

**Machbarkeitsstudie
für den Standort Am Massenberger Kamp 45
in Düsseldorf**

Innovatives Wärmeversorgungskonzept

Abschlussbericht

Othmar Verheyen

Duisburg

Juli 2003

Auftraggeberin:

Stadtverwaltung Düsseldorf
Amt für Gebäudewirtschaft
40200 Düsseldorf

	SEITE
1. AUFGABENSTELLUNG	5
2.1. ANLAGENTECHNIK - BAUTEIL I.....	7
2.2. ANLAGENTECHNIK - SCHWIMMBAD/TURNHALLE.....	8
3. BEZUGSDATEN	11
4. STATISTISCHE AUSWERTUNG DER VERBRAUCHSRECHNUNGEN.....	12
4.1. ABRECHNUNG STROM	12
4.2. HEIZÖL	14
4.3. ENERGIEKENNZAHLEN	17
5. MESSUNG - BERECHNUNGEN	18
5.1. STROMMESSUNG.....	18
5.2. WÄRMEMENGMESSUNG BAUTEIL I.....	22
5.3. WÄRMEMENGMESSUNG BAUTEIL III.....	24
5.4. BERECHNUNG DES JAHRESHEIZWÄRMEVERBRAUCHS.....	26
5.5. WARMWASSER.....	29
5.6. THERMOGRAFIE	31
6. EINSPARMÖGLICHKEITEN	32
6.1. WÄRMEDÄMMUNG	33
6.2. BELEUCHTUNG.....	35
6.3. LÜFTUNGSANLAGE	35
6.4. EINZELRAUMREGELUNG (BUSGESTEUERT).....	36
7. INNOVATIVE VERSORGUNGSKONZEPTE	38
7.1. HOLZHEIZUNG.....	38
7.2. KRAFT-WÄRME-KOPPLUNG	42
7.3. SOLARENERGIE.....	49
8. KONZEPTVORSCHLÄGE.....	52
8.1. VARIANTE/SYSTEM 1 UND 2	52
8.2. VARIANTE/SYSTEM 3.1 UND 3.2.....	52
8.3. VARIANTE/SYSTEM 4	53
8.4. VARIANTE/SYSTEM 5 UND 6	53
8.5. VARIANTE/SYSTEM 7.1 UND 7.2.....	53
9. WIRTSCHAFTLICHKEIT	54
9.1. GRUNDLAGENDATEN	54
9.2. VERBRAUCHSGEBUNDENE KOSTEN	55
9.3. KAPITALGEBUNDENE KOSTEN	58
9.4. JAHRESGESAMTKOSTEN	59
10. UMWELTBILANZ	64
11. ZUSAMMENFASSUNG.....	66
12. VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN UND TABELLEN	68

1. Aufgabenstellung

Das Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik in der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen hat die Aufgabe¹ übernommen, eine Machbarkeitsstudie für verschiedene Energieversorgungskonzepte für die Sonderschule Am Massenberger Kamp 45 in Düsseldorf zu erstellen. In einem ersten Schritt wurden die Grundlagen ermittelt. Die Ergebnisse der Ist-Analyse, d. h. Auswertung aller verfügbaren Daten und Durchführung eigener Messungen, werden zusammengefasst und die spezifischen Daten, d. h. Jahresverbrauchswerte pro Fläche (kWh/m^2), mit Daten aus Reihenuntersuchungen von Schulen verglichen. Es folgen Berechnungen zum Jahresenergiebedarf und kurze Erläuterungen zu einigen Energieeinsparmöglichkeiten (gehört nicht zur Aufgabenstellung). Die Rahmenbedingungen effizienter Technologien wie Brennwerttechnik, Solarenergie, Kraft-Wärme-Kopplung, Holzpellettheizung und Wärmepumpe werden dargestellt. Abschließend wird eine Auswahl verschiedener Versorgungskonzepte diskutiert und mittels einer Vollkostenrechnung nach VDI 2067 wirtschaftlich bewertet.

2. Objektbeschreibung

Der Sonderschulkomplex Am Massenberger Kamp 45 besteht aus acht im Jahre 1966 erbauten Einzelobjekten in einschaliger Bauweise, teilweise noch mit Einfachverglasung.



Abb. 1 Ansicht Hautgebäude (Bauteil I wie Bauteil II)

¹ Siehe Anlage 1, Aufgaben- und Angebotsprofil, Stadt Düsseldorf, Amt 16, Abt. 23/46, 04.09.2003

Auf dem Gelände befinden sich zwei Klassentrakte (Bauteile I und II mit je 9 Klassen), ein Verwaltungstrakt mit Aula (Bauteil IV - Verwaltung), je ein Toilettengebäude für Mädchen und Jungen (Bauteil VIIa (VI) - WC-Haus, Bauteil VIIb - WC-Haus (Milchausgabe)), eine Hausmeisterwohnung (Bauteil V - Hausmeisterwohnung) und ein weiterer Pavillon (Bauteil VIII - ehemaliges Gesundheitsamt) mit zwei Sonderklassen sowie ein Schwimmbad (Beckenoberfläche: 90m²) mit Turnhalle und entsprechenden Nebenräumen (Bauteil III - Schwimmbad/Turnhalle).

Das Objekt ist nahwärmeversorgt, d. h. ein Wärmeverteilsystem ist in den Kellerräumen und in Kriechschächten zwischen den Gebäuden installiert. Ausgenommen ist davon das Bauteil III (Schwimmbad/Turnhalle).



Abb. 2



Die beiden Heizzentralen werden mit Heizöl betrieben. Dazu befindet sich im Gebäudeteil IV (Verwaltung) drei Tanks (2 x 59.800 l, 1 x 28.700 l) mit einem Gesamtfassungsvermögen von 148.000 Litern.

Abb. 3

Der Nahwärmebereich wird von drei sehr alten Ölkesseln aus dem Bauteil I heraus versorgt. Im Bauteil III sind diese alten Kessel schon demontiert bzw. stillgelegt worden - die Wärme liefert ein neuer NT-Heizöl-Kessel.

Alle Übergabestationen und die regelungstechnische Ausstattung im gesamten Objekt sind nicht mehr funktionstüchtig und müssen komplett ausgewechselt werden. In den Klassenräumen sind nur vereinzelt Heizkörper-Thermostatventile vorhanden. Die gesamte Anlage wird nur durch Verstellung der Vorlauftemperatur per Handbedienung durch den Hausmeister geregelt. In den Klassenräumen selbst ist keine Regelung mehr möglich, da Heizkörper-Ventile festsitzen und eine Anpassung der Raumtemperatur nur durch Öffnen der Fenster möglich ist.

Die hier vorliegende Untersuchung beschränkt sich in der Hauptsache auf die Heizungsanlagen.

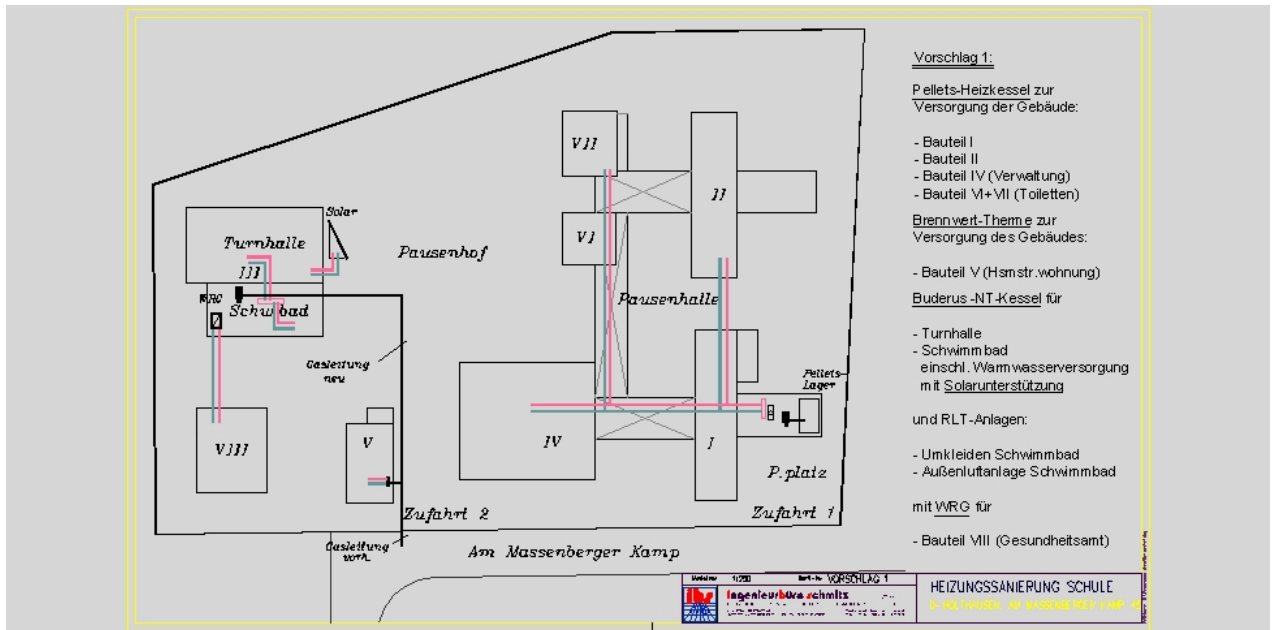


Abb. 4 Lageplan mit Wärmeverteilsystem (neu)²

2.1. Anlagentechnik - Bauteil I

Im Bauteil I befindet sich die Heizzentrale für den gesamten Komplex mit Ausnahme des Schwimmbads und der Turnhalle.

Der Schulkomplex wird von drei Kesseln der Fa. Buderus versorgt. Die aus dem Jahr 1967 stammenden Ölkessel haben eine max. Leistung von 235200 kcal/h (entsprechend 273 kW).

Die Abgasverluste wurden den Schornsteinfegerprotokollen aus dem Jahr 2003 entnommen (11 ... 16 %) und mit der Laufzeit vom 12.12.2002 bis zum 17.02.2003 der jeweiligen Kessel gewichtet, so dass die Rechengröße 14,3 % beträgt. (In einem späteren Kapitel wird der Wirkungsgrad der alten Kesselanlage mit 75 % angenommen, d. h. andere Kesselverluste mit 10,7 %.)

	Abgasversl.	h
Kessel 1	12,5 %	621
Kessel 1	11 %	40
Kessel 1	15,5 %	1088

Tab. 1 Abgasverluste aus Schornsteinfegerprotokoll und Betriebsstundenzählerdaten

² Ausführung: cand.-ing. Franz Schmitz (auf CD: Lageplan.wmf und Lageplan.jpg)

Der mittlere Kessel ist nicht mehr betriebsbereit, auch die beiden anderen sind vom Ausfall bedroht. Die Erneuerung der Heizzentrale (evtl. an einem anderen Ort) bedingt auch die Sanierung des Verteilsystems, da es keine funktionstüchtige Regelung gibt und die Stellorgane sich teilweise nicht mehr bewegen lassen.



Abb. 5 Durch hohe Oberflächentemperaturen (Gebläse 146 °C, Ofenklappe 127 °C, Sammelrohr 79°C, Kesselmantel: 39 - 45°C) der Kessel sind auch die Abstrahlverluste hoch.



Abb. 6 Die Verteilstationen im Nahwärmenetz (hier im Bauteil I) sind gleichermaßen in schlechtem Zustand, so dass eine Regelung - selbst von Hand - kaum möglich ist. Auf dem Bild hier sieht man den Heizkreisverteiler mit den Abgängen für die rechte und linke Gebäudehälfte und für das Nahwärmesystem.

Die Wärmebilanz einer alten Kesselanlage weist im Mittel 10 % Abgas- und 10 % Verteilungsverluste aus [für Neuanlagen gelten etwa 6 bzw. 2 %]. Die Oberflächenverluste können in Abhängigkeit von der Kesselauslastung 10 bis 30 % ausmachen [Neuanlage ca. 2 %], so dass die Nutzenergie nur 70 bis 50 % beträgt.³

2.2. Anlagentechnik - Schwimmbad/Turnhalle

In dem Gebäude Schwimmbad/Turnhalle (Bauteil III) ist neben der Schwimmbadtechnik und der Lüftungsanlagen eine zusätzliche Heizungszentrale untergebracht, die nur dieses Bauteil mit Heizenergie für Raumwärme, für die Beckenwassererwärmung und für die Warmwasserbereitung (3000 Liter-Speicher) versorgt.

³ Prof. Dr. G. Hauser, H. Stiegel, Dr. F. Otto: „Energieeinsparung im Gebäudebestand“, Hrsg. Gesellschaft für rationelle Energieverwendung e.V. (GRE), Berlin, 2. Auflage, Oktober 1997

Nach einem Schaden im letzten Jahr an einem von zwei Heizungskesseln (ebenfalls Bj. 1966) wurden beide Kessel stillgelegt und durch einen großen Niedertemperatur-Kessel mit 290 kW Wärmeleistung ersetzt (Fabr.: Buderus Logano GE 515, Ölbrenner). Nach den Erfahrungen in der ersten Heizperiode ist aber das Schwimmbad unterversorgt. Die Schwimmhalle ließ sich bei niedrigen Außentemperaturen nicht mehr auf die erforderliche Raumtemperatur aufheizen.

Im Vorgriff sei erwähnt, dass dieser moderne Niedertemperaturkessel in allen Varianten als Spitzenlastkessel Berücksichtigung findet.



Abb. 7 Niedertemperaturkessel 290 kW (Buderus Logano GE 515, Ölbrenner)



Abb. 8 Veraltete Verteilstationen im Nahwärme-netz (hier im Bauteil III)

Angeschlossen sind: Heizkreise für die Radiatoren im Schwimmbad (mit Duschen u. Umkleiden) sowie im Bereich Duschen und Umkleiden Turnhalle (1), für die Lüftungsgeräte Schwimmbad und Turnhalle (2), für den Gegenströmer [118 kW] zur Badewassererwärmung (3) und für Warmwasserspeicher /Lüftungsgerät Duschen Schwimmbad (4).

Der Heizkessel versorgt die statischen Heizflächen im Schwimmbad und in den Lüftungsanlagen für das Schwimmbad (Lufteintritt 29,5 °C), die Umkleideräume und die Turnhalle (Lufteintritt 32,7 °C - die Turnhalle verfügt nicht über statische Heizflächen, sie wird ausschließlich über die Zuluft beheizt). Die Heizregister erwärmen den vollen Außenluftstrom, die Vor- Rücklauftemperatur beträgt 78/68 °C. Die hier angegebenen Temperaturen wurden durch eine Handmessung ermittelt.



Abb. 9

Der Warmwasserspeicher der Fa. Fröling Wasserwärmer (DIN 4753 Typ M 1000 D5 III, 180 kW) wird laut Anzeige auf 48°C gehalten und fasst 3000 Liter. Zum Warmwasserverbrauch wurde von der Stadt Düsseldorf ebenfalls eine Messung durchgeführt (siehe Kap. 5.5).

Abb. 10 Lüftungsanlagen

Vorn im Bild die Anlage für die Turnhalle, mit einer Luftfördermenge von 6.800 m³/h und einer Heizleistung von 60.400 kcal/h (entspricht 70 kW) - der Ventilator wird von einem 2,2 kW-Motor angetrieben. Im Hintergrund die etwas kleinere Anlage für die Schwimmhalle.



Abb. 11

Eine kleine Lüftungsanlage versorgt die Duschräume des Schwimmbads mit etwa 4750 m³/h (Heizregister ca. 48 kW, Antriebsmotor etwa 0,75 kW).

Abb. 12

Die Steuerung für die Heizzentrale in Bauteil III.



3. Bezugsdaten

Es lagen weitgehend die Baupläne der Objekte vor. Da es verschiedene Angaben über die Gebäudegrundflächen gab, wurden eine Plausibilitätskontrolle und eigene Berechnungen durchgeführt. In der folgenden Tabelle sind die ermittelten Werte der Flächen nach DIN 277 dargestellt, die Bruttogrundfläche (incl. Keller), die Nettogrundfläche (beheizte Fläche, hierauf bezieht sich auch das Volumen) und die reine Nutzfläche.

	BGF	NGF	Volumen	NF
	[m ²]	[m ²]	[m ³]	[m ²]
Bauteil I	1376	1023	3600	561
Bauteil II	1360	1023	3600	561
Bauteil IV Verwaltung	1563	1049	3749	758
Bauteil V Hausmeisterwohnung	232	116	319	102
Bauteil VIIa WC-Haus	72	72	261	43
Bauteil VIIb WC-Haus (Milchausg.)	63	63	228	38
Bauteil VIII ehem. Gesundheitsamt	388	196	656	114
Summe I	5054	3542	12413	2177
Bauteil III (Schwimmbad/Turnhalle)	1599	1177	5607	798
Summe II	6653	4719	18020	2975

Tab. 2 Bezugsflächen der Bauteile und Bauteilevolumen

4. Statistische Auswertung der Verbrauchsrechnungen

Um die Entwicklung der Jahresverbräuche von Strom und Heizöl bewerten zu können, werden die Aufstellungen der Stadtverwaltung Düsseldorf aus den letzten Jahren herangezogen. Der Stromverbrauch lag nur in Form von Jahresabrechnungen vor.

4.1 Abrechnung Strom

Den Stromverbrauch zeigt die Abbildung 13 im Jahresvergleich - diese Daten wurden, wie auch die für die Ölbeschaffung, von der Auftraggeberin zur Verfügung gestellt. Es zeigt sich eine steigende Tendenz, die in der Darstellungsweise der Abbildung 14 durch eine Ausgleichsgerade quantifiziert wird. Die wichtigsten Daten der Stromstatistik sind in Tabelle 3 dargestellt.

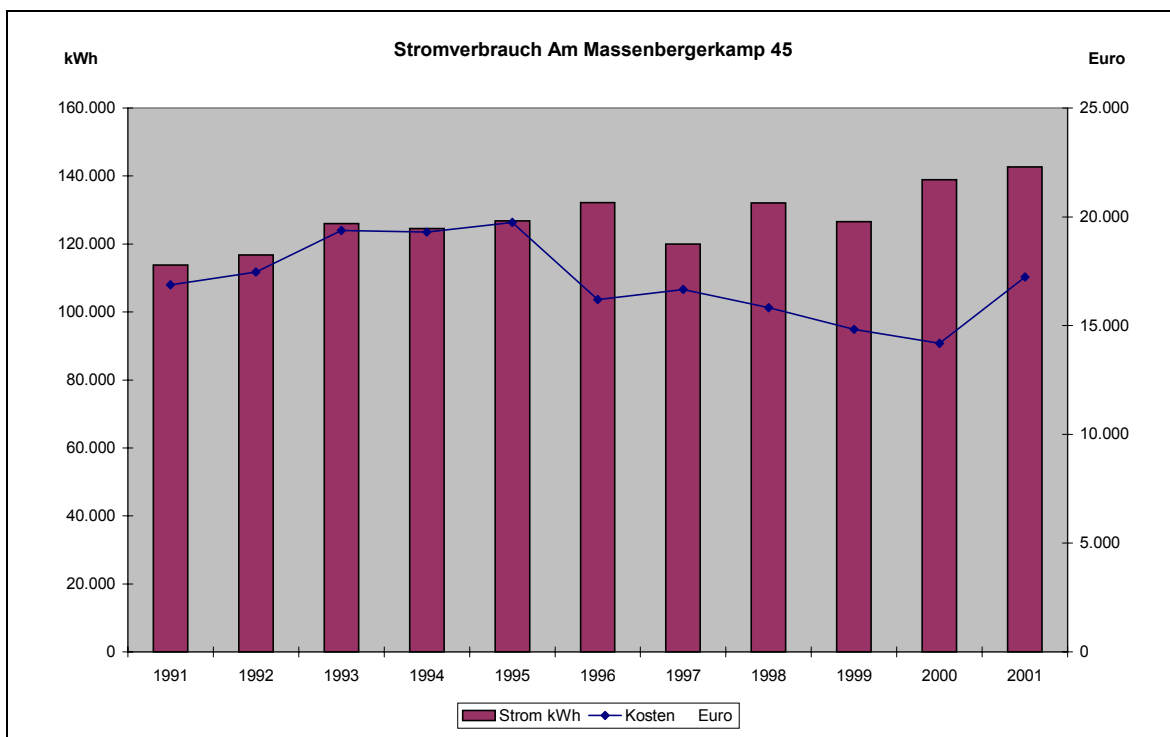


Abb. 13 Jahresvergleich des Stromverbrauchs und der Kosten von 1991 bis 2001⁴

⁴ Stadtverwaltung Düsseldorf

						Veränderung in %		
		1998	1999	2000	2001	1999-1998	2000-1999	2001-2000
Jahresverbrauch HT	kWh	81.200	79.295	87.570	89.995	-2,3	+10,4	+2,8
Jahresverbrauch NT	kWh	50.820	47.315	51.325	52.660	-6,9	+8,5	+2,6
Jahresverbrauch	kWh	132.020	126.610	138.895	142.655	-4,1	+9,7	+2,7
Gesamtkosten (brutto)	€	15.473	14.053	12.735	14.192	-9,2	-9,4	+11,4
spezif. Preis	€/kWh	0,1172	0,1110	0,0917	0,0995	-5,3	-17,4	+8,5

Tab. 3 Daten aus Stromrechnungen von 1998 bis 2001

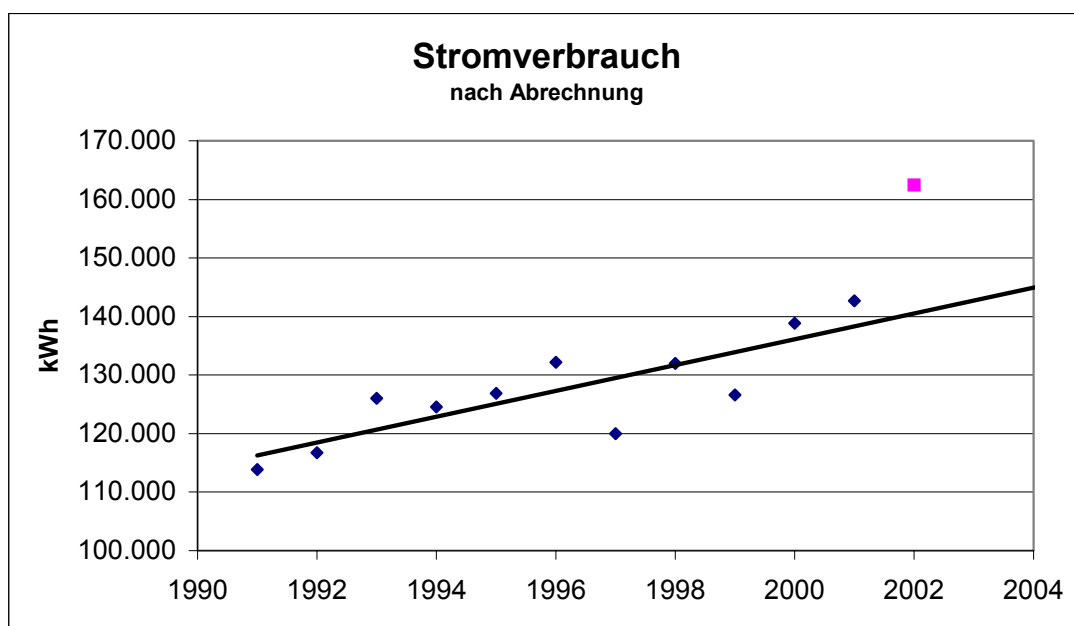


Abb. 14 Stromverbrauchsprognose

Der Stromverbrauch stieg von 1999 auf 2001 um 12,7 % - hier wird angenommen, daß keine zusätzlichen Verbraucher installiert wurden - und zum Jahr 2002 nochmals um fast 18 %. Die Ursache dafür ist das Hinzukommen des Gebäudeteils VIII (ehemaliges Gesundheitsamt). In dieser Studie wird der Jahresverbrauch mit 140.000 kWh angenommen (vgl. Kap. 5.1).

4.2. Heizöl

Im Keller des Bauteils IV (Verwaltung) befindet sich ein Heizöltank mit einer Füllmenge von 148.000 Litern. Für die rechtzeitige Betankung ist der Hausmeister verantwortlich. In saisonal bedingten Tiefpreiszeiten wird möglichst vollgetankt. Da der Tank nicht immer gleich aufgefüllt wird, ist eine Zuordnung der Brennstoffmenge zu einem Heizbedarf des Objektes z.B. für einen Monat nicht bzw. nur unter groben Annahmen möglich. Im folgenden Diagramm sind Jahreswerte für den Wärmeverbrauch (witterungsbereinigt über die Gradtagzahlen für Düsseldorf aus dem Brennstoffverbrauch unter der Annahme von $H_u = 10 \text{ kWh/l}$ berechnet) und die Kosten (alte Werte von DM in Euro umgerechnet) dargestellt. Auffallend sind die höheren Kosten für die Jahre 2000 und 2001. Im letzten Jahr und bis heute war der Ölpreis auf gleich hohem Niveau (vgl. Kap. 9.).

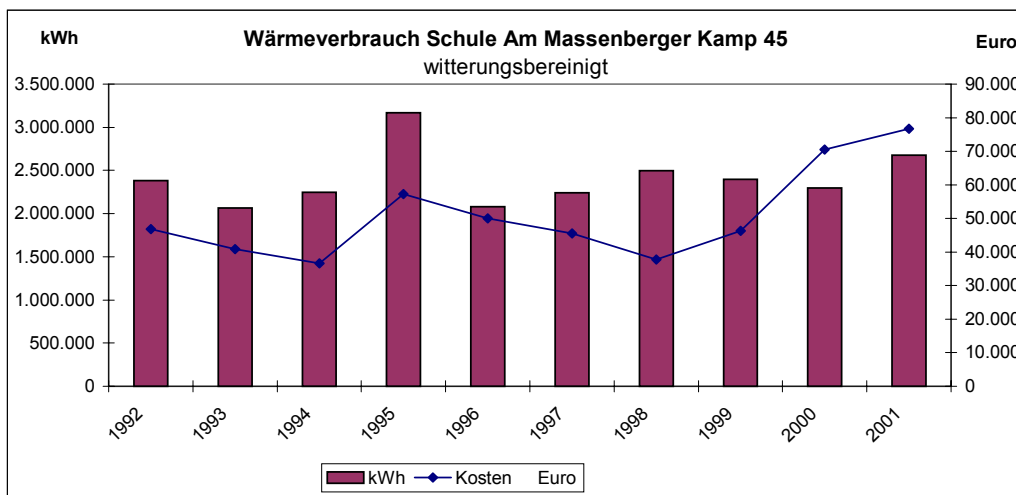


Abb. 15 Jahresvergleich des Wärmeverbrauchs und der Kosten von 1992 bis 2001⁵

Die Gradtagzahl wird zur Beurteilung und zum Vergleich des Wärmeverbrauchs in verschiedenen Zeiträumen herangezogen. Sie ist das Produkt aus der Anzahl der Heiztage und der Differenz zwischen der mittleren Rauminnentemperatur und der mittleren Außentemperatur. Heiztage sind dabei Tage an denen die gemittelte Außentemperatur 15 °C nicht übersteigt. Mit Hilfe der Gradtagzahl (GTZ, G_t) können Heizenergieverbräuche witterungsbereinigt dargestellt und mit den Vorjahren verglichen werden. Nach VDI 3807 Bl. 1 ist für den überregionalen Vergleich die Gradtagzahl 3883 (Würzburg) zu verwenden. Der Wärmeverbrauch des untersuchten Objekts „Am Massenber-

⁵ Stadtverwaltung Düsseldorf

ger Kamp 45“ betrug im Mittel (1995 - 2001) witterungsbereinigt 2.454.800 kWh/a (bez. auf Würzburg: 2.772 MWh/a).

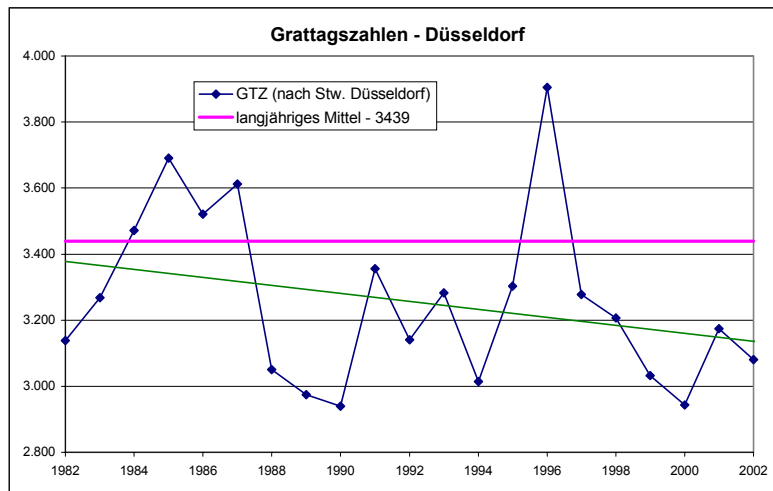


Abb. 16 Entwicklung der Gradtagzahl von 1982 bis 2002 (grün: Trendlinie)

	Heizöl EL [l]	kWh ($H_u=10$)	MWh/a witterungs- bereinigt	MWh/a Bezogen auf Würzburg	€	€/kWh
1995	292.502	2.925.020	3.045,8	3.439,1	50.146	0,0171
1996	228.116	2.281.160	2.009,1	2.268,5	49.981	0,0219
1997	213.865	2.138.650	2.243,6	2.533,3	45.563	0,0213
1998	233.674	2.336.740	2.505,5	2.829,0	37.815	0,0162
1999	212.268	2.122.680	2.407,0	2.717,7	46.244	0,0218
2000	196.418	1.964.180	2.294,6	2.590,8	70.509	0,0359
2001	247.193	2.471.930	2.677,7	3.023,4	76.722	0,0310
2002	170.635	1.706.350	-	-	49.234	

Tab. 4 Heizölverbrauch von 1995 bis 2002 (2002 nicht vollständig)

In der nächsten Abbildung ist der Versuch unternommen worden, die Abhängigkeit des Brennstoffbedarfs des Objektes von der Außentemperatur zu ermitteln. Zwischen den einzelnen Tankvorgängen lagen mal einige Tage, aber auch schon mal ein halbes Jahr. Bereits erwähnt wurde, dass nicht immer gleich voll getankt wurde. Die Streuung der Ergebnisse lässt eine Auswertung nicht zu.

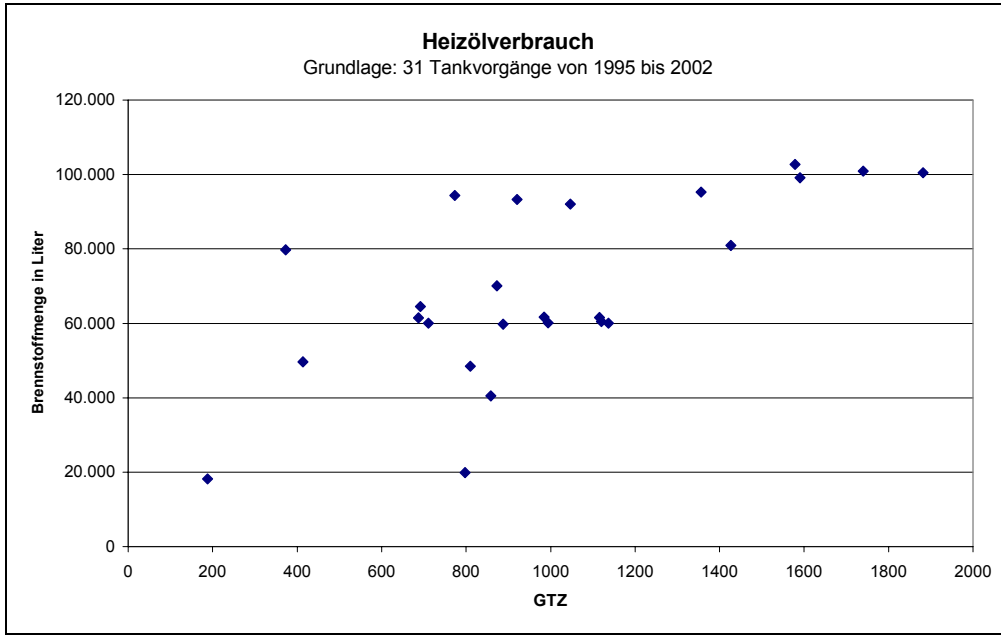


Abb. 17 Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur

4.3. Energiekennzahlen

Mit Hilfe von Energiekennzahlen können verschiedene Objekte mit ähnlicher Nutzung verglichen werden. Die Kennzahlen werden durch das Verhältnis des Energieverbrauchs (hier ist die Energie gemeint, die ins Gebäude zur Umwandlung z. B. in Wärme und Licht gelangt) zu verschiedenen Bezugsgrößen, wie Bruttogeschossfläche (BGF) oder Nutzfläche (NF) gebildet. Leider ist die Bezugsgröße nicht immer ausgewiesen.

	Wärme	Strom	
Am Massenberger Kamp 45 (6.653 m ² _{BGF})	369	21	kWh/m ² _{BGF} a
„ (2.975 m ² _{NF})	825	47	kWh/m ² _{NF} a
Energieagentur NRW - Schulen (mittel)	102 - 402		kWh/m ² _{NF} a
„ - Hallenbäder	320 - 1.721		kWh/m ² _{NF} a
„ - Turnhallen	72 - 816		kWh/m ² _{NF} a
Ages GmbH ⁶ - Sonderschulen	145	14	kWh/m ² _{BGF} a
„ - Turnhallen	157	18	kWh/m ² _{BGF} a
„ - Schwimmhallen	4.199	879	kWh/m ² _{BGF} a
Baden-Württemberg ⁷	249	43	kWh/m ² a
SIA-Kommission 380/1 „Energie im Hochbau“ ⁸	194	14	kWh/m ² a

Folgende Daten im Vorgriff auf die Berechnung nach VDI 2067, Blatt 2 (s. Kap. 9):

Am Massenberger Kamp 45 (neue Heizung)	140		kWh/m ² _{BGF} a
„	314		kWh/m ² _{NF} a
Am Massenberger Kamp 45 (gedämmt)	94		kWh/m ² _{BGF} a
„	211		kWh/m ² _{NF} a

Tab. 5 Vergleich von Energiekennzahlen für Schulen

⁶ Verbrauchskennwerte 1996, Forschungsbereich der ages GmbH, Münster (es gibt eine neue Auflage)

⁷ Staatliche Hochbauverwaltung, Finanzministerium Baden-Württemberg „Energiebericht 1991-92“

⁸ SIA-Dokumentation 80, ab S. 82, (Schweiz)

5. Messung - Berechnungen

In diesem Abschnitt werden die messtechnischen Aktivitäten vor Ort und die Berechnungen zur Ermittlung der Grundlagen dargestellt. Die Messung an den elektrischen Verbrauchern fand von Mitte Dezember 2002 bis Mitte Februar 2003 statt. Etwa zeitgleich dazu wurden von der Auftraggeberin Wärmemengenmessungen in den Heizkreisen und eine Volumenstrommessung am Kaltwasserzulauf für den Speicher durchgeführt.

Neben der Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN 4701 wird die Ermittlung des voraussichtlichen Jahresheizwärmebedarfs nach VDI 2067 Blatt 2 durchgeführt.

In Zusammenarbeit mit dem IUTA⁹ und der Verbraucherberatung Duisburg wurden thermografische Aufnahmen zur Offenlegung von Dämmschwachstellen gemacht.

5.1. Strommessung

Zur Ermittlung der Tagesgänge der Stromeinspeisung und der einzelnen Verbraucher des Schulobjekts wurden niederspannungsseitig in der Hauptverteilung die Stromflüsse erfasst.

Als Messgerät diente ein Energieanalysator der Fa. Ebro (Typ: EB 1288). Neben der Netzspannung werden die Stromstärken für jede Phase mit einem Zangenamperemeter aufgenommen. Die Stromstärke wird dabei über magnetische Induktion gemessen. Mittels Spannung, Stromstärke, Frequenz, Schein- und Blindleistung kann die Wirkleistung berechnet werden. Die Erfassungsgeräte sind mit Meßstellenumschaltern nachgerüstet, so dass acht Verbraucher - siehe Tabelle 5 - dreiphasig gemessen werden konnten. Die Daten werden über die serielle Schnittstelle an einen Computer weitergegeben und aufgezeichnet.

Ein Messdatenerfassungs- und Auswertungsprogramm¹⁰ mittelt die eingehenden Daten und speichert sie als 3-Minuten-Mittelwerte ab. Diese Werte ergeben, über die Zeit aufgetragen, die aufgenommenen Leistungen der einzelnen Verbraucher.

⁹ Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA), Bliersdorfer Straße, Duisburg-Rheinhausen, An-Institut der Universität Duisburg-Essen

¹⁰ © Dipl.-Ing. N. Bochnig, IfE Energietechnik GmbH, Oberhausen

Die folgende Tabelle schlüsselt die Abgangsbezeichnungen der gemessenen Verbraucher auf und gibt die zugehörigen Gebäudeteile bzw. Bereiche an (zusätzlich sind typische Leistungswerte aufgelistet).

Ebro / Kanal	Bezeichnung	Leistung / kW	
		min	max
1 / 1	Einspeisung	13,6	62,3
1 / 2	Turnhalle / Schwimmhalle	7,8	21,7
1 / 3	Verwaltung	0,4	6,6
1 / 4	Bauteil I	0	5,1
1 / 5	Küche	0	15,1
1 / 6	Gesundheitsamt	0	7,0
1 / 7	Bauteil II	0	9,6
1 / 8	Allgemein	3,5	5,7

Tab. 6 Aufteilung der dreiphasigen Strommessung vom 12. Dezember 2002 bis 17. Februar 2003
(letzten beiden Spalten: min./max. Werte vom 13.01.2003, höchster Tagesbedarf: 621 kWh/d)

In der Hauptverteilung lief die Messung vom 12.12.2002 bis zum 17.02.2003 (mit kurzen Unterbrechungen zur Datensicherung). Die einzelnen Tage sind auf der CD¹¹ als sogenannte lan-Dateien abgelegt. Sie können mit dem Programm¹² #wandler.exe ausgewertet und betrachtet werden. Dazu sind nach dem Programmstart die Dateien „Datum“.lan zu öffnen. Es lassen sich verschiedene Größen in unterschiedlicher Auflösung darstellen.

Die Tagesgänge der Wirkleistungen zeigen - wie zu erwarten - sowohl für die Schultage als auch für die Wochenend- bzw. Ferientage jeweils sehr ähnliche Profile.

¹¹ Die CD befindet sich am Ende des Berichts und enthält alle zum Projekt gehörende Dateien (insbesondere Word- und Excel-Dateien, aber auch die hier besprochenen Messdateien).

¹² © Dipl.-Ing. N. Bochnig, IfE Energietechnik GmbH, Oberhausen

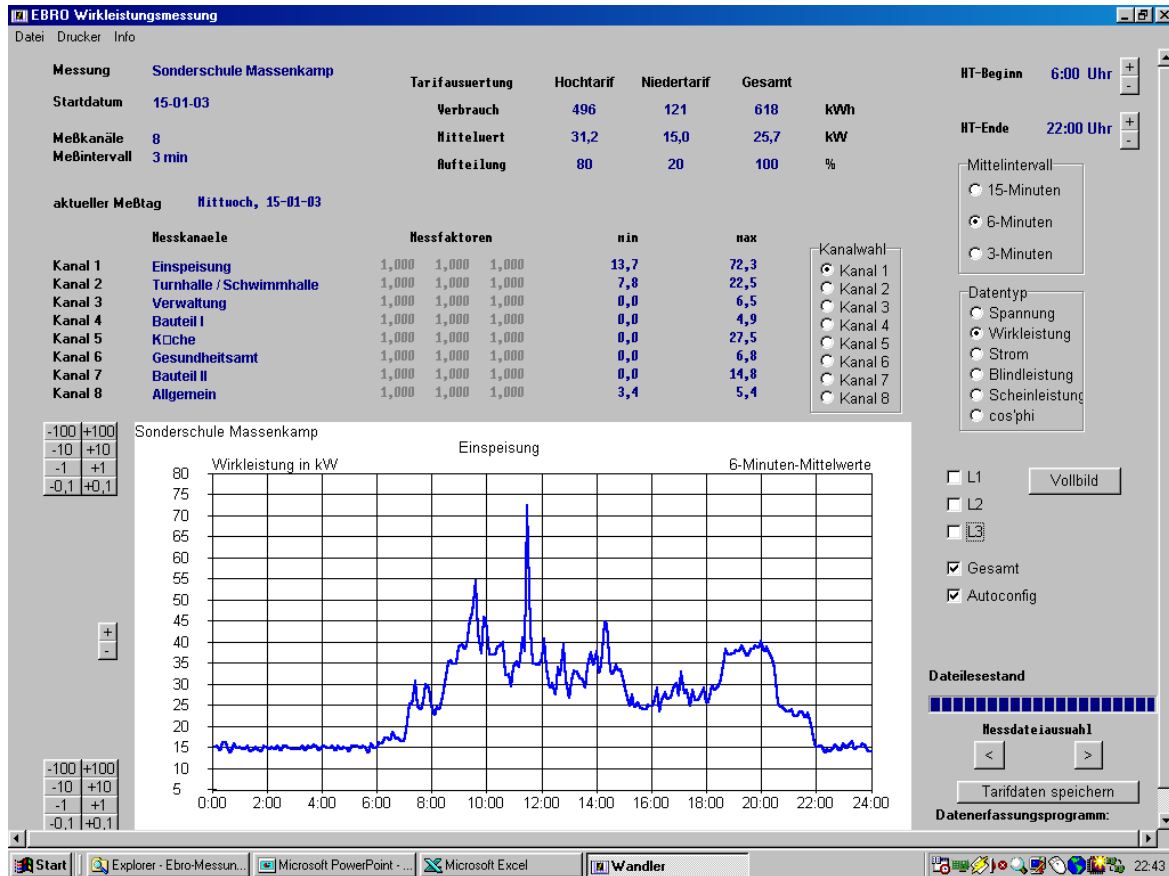


Abb. 18 Bildschirmansicht des Auswerteprogramms für die Strommessung

Aus den Messkurven für die Einspeisung in die Niederspannungsverteilung (siehe CD) kann entnommen werden, dass alle drei Phasen gleichmäßig belastet sind. Die Leistung beträgt nachts ca. 15 kW und erreicht den Tagesspitzenwert von etwa 50 bis 70 kW vor der Mittagszeit (höherer Verbrauch in der Küche). An Werktagen gibt es häufig zwischen 18:30 und 20:30 Uhr einen erneuten Anstieg des Strombedarfs, dies wohl wegen der Nutzung der Turnhalle (auch der Schwimmhalle) und evtl. wegen in Betrieb befindlicher Keramikbrennöfen.

Die gemessenen Ergebnisse für die Abgänge 1/3 bis 1/7 (s. Tab. 6) spiegeln einen relativ geringen Strombedarf an Werktagen und ein Absinken auf nahezu Null an Wochenenden bzw. in der Ferienzeit wider. Auffallend ist der konstante Bedarf im Abgang 1/8 (Allgemein, ca. 100 kWh/d) - hier liegen wahrscheinlich die Heizungspumpen mit auf - und die auch am Wochenende und in der Ferienzeit nicht deutlich reduzierte Abnahme des Schwimmbades (150-200 kWh/d, statt Werktags 250-300 kWh/d) - Ursache hierfür ist der quasi Dauerbetrieb der Lüftungsanlagen.

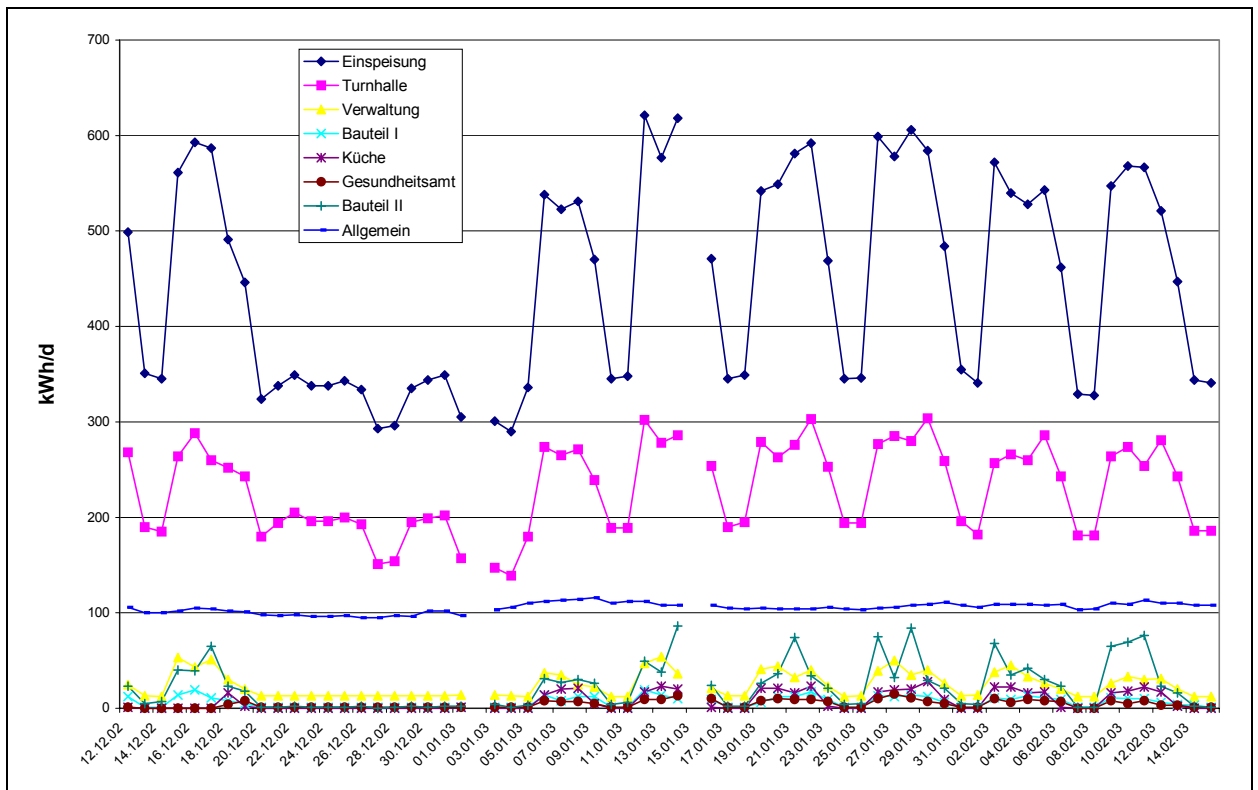


Abb. 19 Energieverbrauch Strom in kWh pro Tag

Eine Hochrechnung für den Jahresverbrauch aus der Messung führt mit 192 Schultagen mit je 546 kWh/d und 173 freien Tagen mit je 333 kWh/d zu einem theoretischen Jahresbedarf von 162.460 kWh. Dies trifft genau den tatsächlichen Wert für das Jahr 2002 (vgl. Abb. 14). Es wurde angenommen, dass die Messung in der Winterzeit zu dem erhöhten Jahreswert geführt hat. Für die weiteren Rechnungen wurde der Jahresverbrauch mit 140.000 kWh/a angenommen. [Nach späterer Erkenntnis resultierte der höhere Wert aber auf das Hinzukommen des Gebäudeteils VIII (ehem. Gesundheitsamt)].

Da das Objekt nur einen geringen Strombedarf hat und damit nur kleine Ströme in den Kabeln fließen, wird bei den verwendeten Stromzangen der Meßfehler größer. Dies ist in Abbildung 20 veranschaulicht: Aufgetragen ist - neben der Einspeisung - die Abweichung der Summe aller Abgänge gegenüber dieser Einspeisung. Die einzelnen Abgänge „verlieren“ 10,9 % der eingespeisten Energien. Mit dieser reduzierten Annahme beträgt der Jahresbedarf 144.750 kWh (Annahme: 140.000 kWh/a besteht).

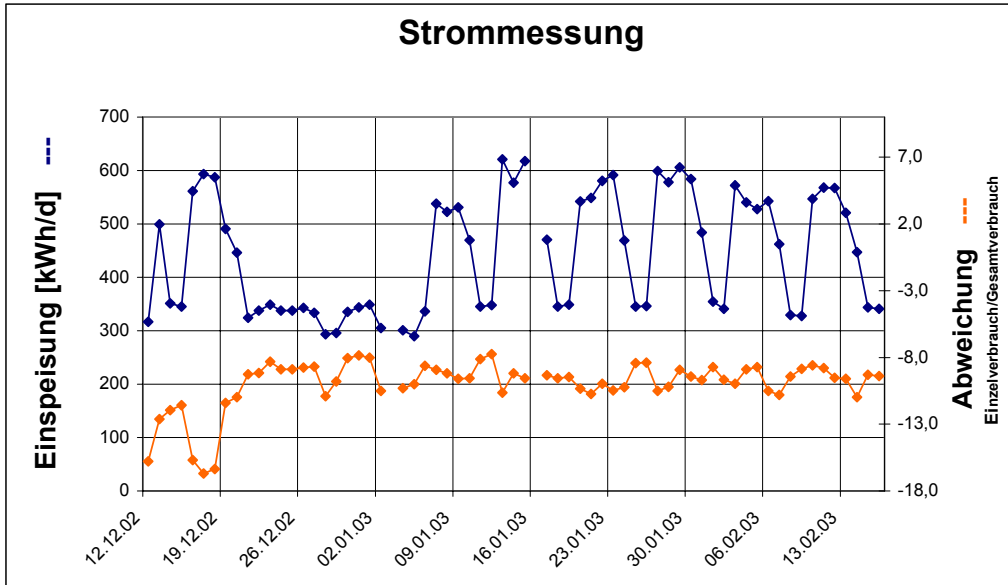


Abb. 20 Messungengenauigkeit bei der Strommessung

5.2. Wärmemengenmessung Bauteil I

Alle Wärmemengenmessungen wurden von der Stadt Düsseldorf durchgeführt. In der Zeit vom 12.12.2002 bis zum 16.01.2003 wurden die Messungen in der Heizzentrale im Bauteil I durchgeführt, und zwar gleichzeitig die Wärmeabgabe in das Bauteil I und in die Nahwärmeversorgung (gesamtes Objekt, ohne Bauteil I und ohne Schwimm-/Turnhalle). Die Tagesdiagramme für das Bauteil I haben einen ähnlichen Verlauf wie in Abbildung 21 gezeigt. Es gibt kaum eine regelungstechnische Änderung, die abgegebene Wärmeleistung liegt zwischen 80 und 120 kW. Das Nahwärmesystem wird mit 150 bis 280 kW Wärme versorgt (s. Abbildung 22).

Aus diesen Messungen wurde die mittlere Wärmeleistung eines Tages gebildet und über die Außentemperatur (Daten von den Stadtwerken Düsseldorf) aufgetragen (s. Abbildung 23). Das Bauteil I zeigt eine sehr schwache Abhängigkeit. Bei der Normaußentemperatur von -10 °C werden durchschnittlich 120 kW und bei der Heizgrenztemperatur von 15 °C noch 80 kW benötigt. Dies legt den Schluss nahe, dass bei höheren Temperaturen mit geöffneten Fenstern „geregelt“ wird. Das Nahwärmesystem zeigt einen eher typischen Verlauf, bei -10 °C werden etwa 250 kW und bei der Heizgrenztemperatur von 15 °C noch 135 kW benötigt, d. h. die Grundlast beträgt ca. 54 % der Auslegeleistung - ein außergewöhnlich hoher Wert. Da kein Warmwasser bereitet wird und keine Lüftungsanlagen installiert sind, ist auch hier anzunehmen, dass eine Regelung nicht stattfindet.

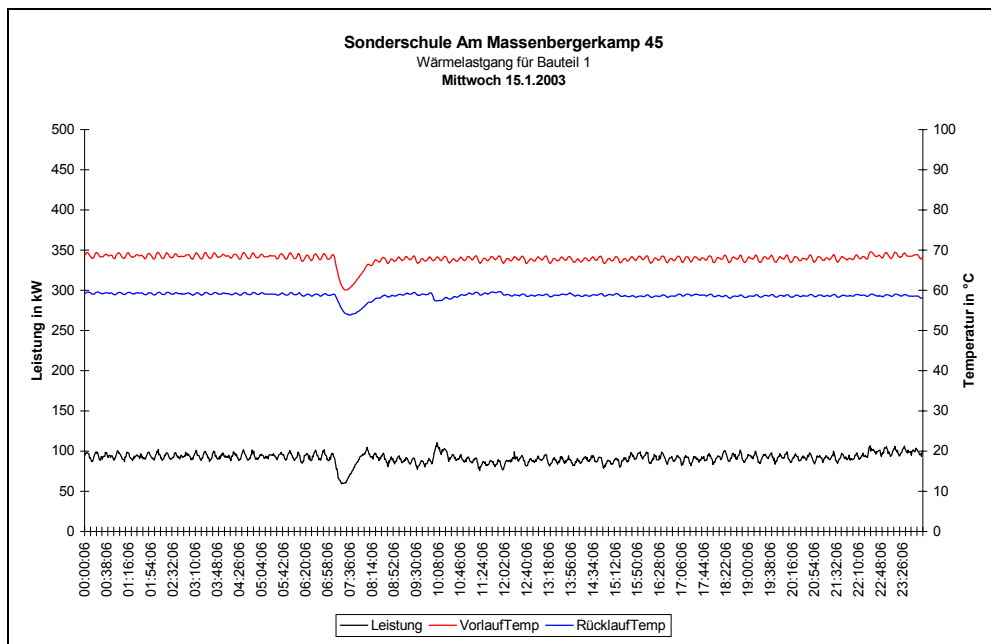


Abb. 21 Wärmemengenmessung Heizzentrale Bauteil I (nur Bauteil I)

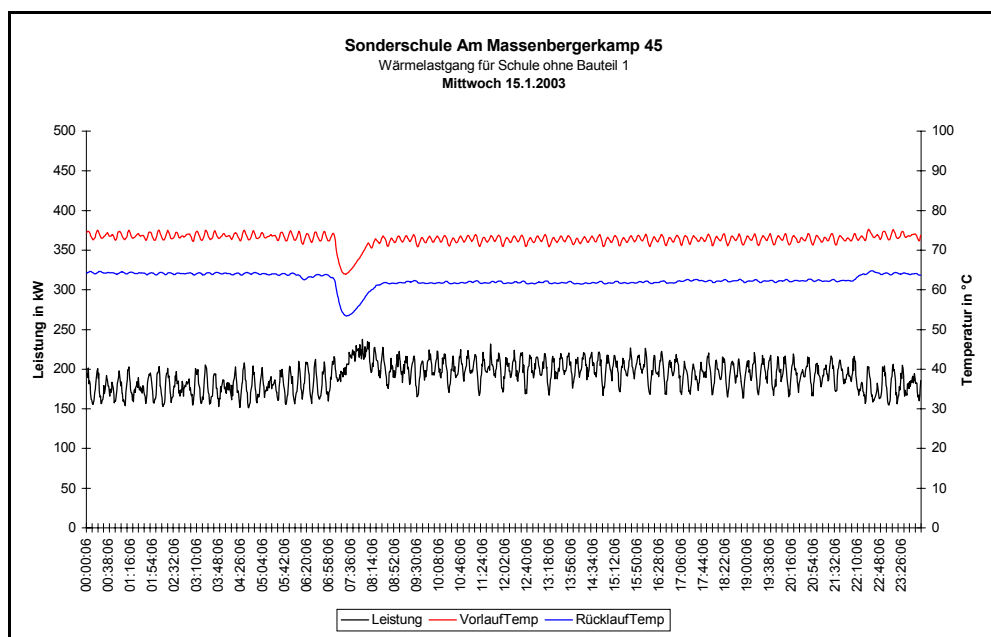


Abb. 22 Wärmemengenmessung Heizzentrale Bauteil I (Gesamt, ohne Bauteil I)

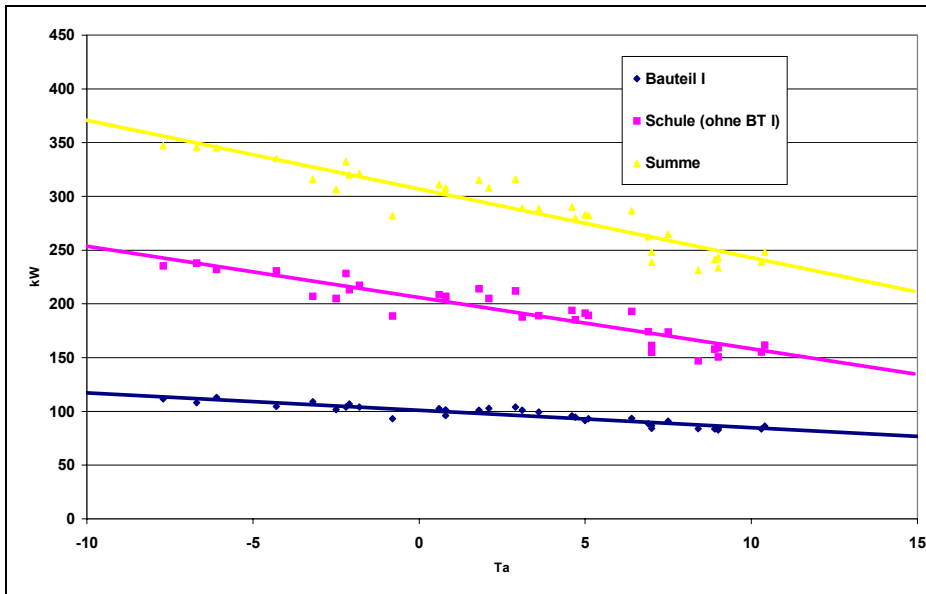


Abb. 23 Wärmebedarf (kWh/d) über Außentemperatur

5.3. Wärmemengenmessung Bauteil III

Die Wärmemengenmessung im Bauteil III (Heizzentrale Schwimmbad/Turnhalle) erfolgte vom 16.01. bis zum 20.02.2003. Die erhöhte Wärmeabnahme während der Betriebszeiten ist deutlich zu erkennen (s. Abbildung 24).

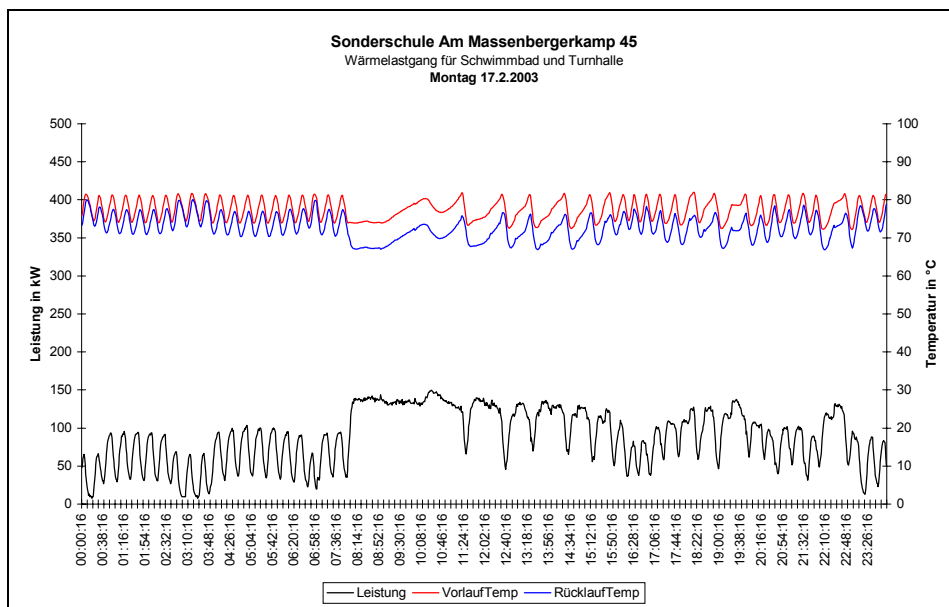


Abb. 24 Wärmemengenmessung Schwimmbhalle / Turnhalle

Aber auch hier zeigt sich bei der Analyse der Messwerte, dass eine Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der Außentemperatur scheinbar nicht besteht. In Abbildung 25 sind

die Tagesverbräuche - unterteilt in Werktagen und Wochenendtage - über der Außentemperatur aufgetragen. Während in den Ferien bzw. am Wochenende eine Durchschnittsleistung von etwas mehr als 40 kW abgefragt wird (mit zwei Ausnahmen von 109 und 125 kW), gibt es eine Häufung an Werktagen zwischen 60 und 80 kW einerseits und zwischen 130 bis 180 kW andererseits. Es kann vermutet werden, dass die Anzahl der Besucher möglicherweise unterschiedliche Erwärmung des Beckenwassers, die nicht erfasst wurde, bedingt.

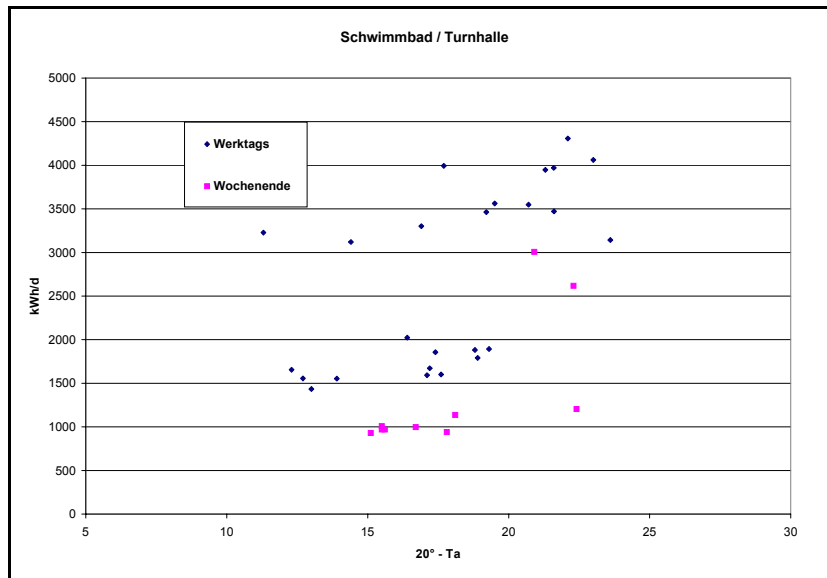


Abb. 25 Wärmebedarf Schwimmbad/Turnhalle (kWh/d) über Außentemperatur

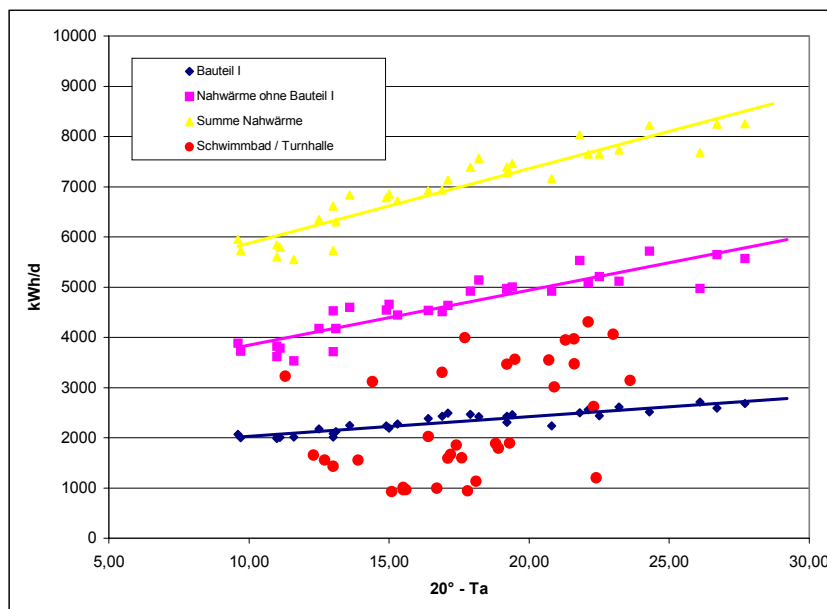


Abb. 26 Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der Außentemperatur

5.4. Berechnung des Jahresheizwärmeverbrauchs

Der Wärmebedarf wurde nach DIN 4701-1 bestimmt (ebenso wie die Wärmebedarfsberechnungen für das sanierte Objekt, siehe Kap. 6.1).¹³ In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse zusammengefasst.

DIN-Innentemperatur Ti = 20°C	QT [kW]	QL [kW]	Qt+L [kW]
Bauteil I	95,2	20,5	115,7
Bauteil II	95,2	20,5	115,7
Bauteil IV Verwaltung	72,1	21,4	93,5
Bauteil V	9,8	1,8	11,6
Hausmeisterwohnung			
Bauteil VIIa WC-Haus	9,8	1,3	11,1
Bauteil VIIb WC-Haus (Milchausg.)	10,9	1,5	12,3
Bauteil VIII ehem. Gesundheitsamt	17,9	3,7	21,7
Summe I	310,8	70,8	382
Bauteil III (Schwimmbad/Turnhalle)	116,1	34,1	150,2
Summe II	427	105	532

Tab. 7 Wärmebedarfsrechnung nach DIN 4701

Um die energetische Situation eines Objekts und die Wirtschaftlichkeit einer Investition beurteilen zu können, ist der Jahresheizwärmebedarf unbedingt zu ermitteln. Dies kann durch Analyse der Rechnungen des Energieversorgers und durch die Auswertung von Wärmemengenmessungen erfolgen. Da bei beiden Methoden Unsicherheiten vorlagen und um belastbare Daten des Ist-Zustandes zu bekommen, wird der Jahresheizwärmebedarf nach VDI 2067 Blatt 2 bestimmt. [Dieser Richtlinienteil wurde Ende 2002 durch die neue VDI 2067 Blatt 20 ersetzt. In der VDI 2067 Blatt 10 und 11 wird der Referenzenergiebedarf für das Heizen ermittelt, Blatt 20 berücksichtigt die Betriebsführung, die Regelungsgüte und die Energieaufwendung für Verteilung und Bereitstellung.] Das gesamte Regelwerk VDI 2067 befindet sich in Überarbeitung, ist aber noch nicht ganz fertig.¹⁴ Seit dem 04.01.2003 ist die EU-Richtlinie „Gesamteffizienz von Gebäuden“ in Kraft, sie muss innerhalb von drei Jahren in nationales Recht einfließen. In der EnEV ist ein Großteil bereits umgesetzt.

Neben sehr wichtigen Begriffsbestimmungen enthält die Richtlinie VDI 2067 Bl. 2 ein Berechnungsverfahren, in dem mit Hilfe sogenannter Korrekturfaktoren der voraussichtliche Jahresheizwärmeverbrauch (in der Regel für neu geplante Objekte) bestimmt werden kann. Für diese Studie ist das ebenso eine Möglichkeit, Zukünftiges fassbar zu ma-

¹³ Durchführung: Darek Wagner, Studienarbeit

¹⁴ R. Hunfeld, I. Gores, K. Fitzner „Die neue VDI 2067“, HLH Bd. 51 (2000) Nr. 6 - Juni, S. 34 - 44 und H. Bach, R. Hirschberger „Kurzverfahren zur Bestimmung des Energiebedarfs von Warmwasserheizungen“, HLH Bd. 53 (2002), Nr. 10 - Oktober, S. 22 - 26

chen. Der Einfluss einer neuen Regelung (z.B. mit selbstlernenden Heizkurven) und der Gebäudesanierung (neue Fenster, Fassadendämmung) lassen sich so vorausberechnen - Rechnung siehe Kap. 9.

Das dafür in Anhang 2 der VDI 2067 Bl. 2 enthaltene Formblatt ist als rechenaktive Excel-Datei vorhanden und befindet sich auf der beigegefügt CD.

Im oberen Teil werden die Grunddaten für das Klima, hier Daten von der Wetterstation Düsseldorf, und Gebäudedaten, Norm-Wärmebedarf (s. Tabelle 7), Norm-Innentemperatur und Nutz- sowie Fensterfläche, eingegeben. Berechnet wird hier nur der flächenbezogene Wärmebedarf.

VDI 2067 Blatt 2		Anhang 2:		Berechnung des voraussichtlichen Jahres-Heizwärmeverbrauchs					
Projektbezeichnung:		Massenberger Kamp 45		Datum:	Mai	03		1	
Gebäudeart:	Sonderschule		Art der Heizung:	Radiatoren / Ist-Zustand				2	
Klimadaten gemäß Anhang A7:			Norm-Wärmebedarf (nach DIN 4701)		$Q_{N,Geb} =$	532	kW	3	
Wetterstation:		Düsse	dorf	mittlere Norm-Innentemperatur		$\vartheta_{im} =$	22	°C	4
Norm-Außentemperatur	$\vartheta'_a =$	-10	°C	Bauart nach DIN 4701 Teil 1, Abschnitt 5.2.1				5	
Außentemperaturkorrektur:	$\Delta\vartheta_a =$	2	K	leicht=1, mittel=2, schwer=3	Bauart=	1		6	
tiefste rechn. Außentemperatur	$\vartheta_{amin} =$	-8	°C	Nutzfläche des Gebäudes		$A_E =$	2975	m ²	7
mittlere Außentemperatur:	$\vartheta_{am} =$	7,1	°C	flächenbezogener Wärmebedarf		$q =$	178,8	W/m ²	8
Anzahl Heitztage/Jahr	$z =$	266,2	d/a	Gesamte Fensterfläche des Gebäudes		$A_{Fe} =$	1376	m ²	9
TRY-Region (Anhang 7):		3		(Anhaltswert 15...25 % der Nutzfläche)				10	

Im nächsten Abschnitt wird der Korrekturfaktor f_1 bestimmt, der einen zusätzlichen Lüftungswärmebedarf durch Nutzerverhalten berücksichtigt. Normalerweise wird in Wohngebäuden oder Schulen ein Luftwechsel (n) etwa 0,5 mal pro Stunde durchgeführt. Für das betrachtete Objekt wurde ein leicht erhöhter Luftwechsel (n=0,75) angenommen.

$f_1 =$ Korrekturfaktor Lüftungswärmebedarf	Luftwechsel	n =	0,75	l/h			11
Richtwert bei lichter Höhe 2,5 m, $\vartheta_a = -12$ °C	lichte Raumhöhe	$h_{Raum} =$	2,75	m			12
Luftwechsel normal n=0,5 1/h $f_L = 0$	Lüftungswärmeanteil	$\zeta =$	0,5	nach DIN 4701 Teil 2 Tab. 14			13
Luftwechsel erhöht n=0,75 1/h $f_L = 6,8$	Lüftungswärmebedarf	$Q_L =$	105	kW			14
Luftwechsel stark n=1,0 1/h $f_L = 13,6$	f_L nach Gl. 14	$f_L =$	7,48				15
$f_L = (n - 0,5) * 0,34 * h_{Raum} * (\vartheta_{im} - \vartheta_a)$	Gl. (14), S. 6	$f_1 = 1 + (A_E / Q_{N,Geb})$	Gl. (12), S. 6	$f_1 =$	1,0418		16

Es folgt die Korrektur durch einen eingeschränkten Heizbetrieb. Es gehen Abhängigkeiten der Bauweise, des Heizsystems, der Dauer der Heizpause, der regelungstechnischen Ausstattung u.a. ein. Letzteres führt zu einer Veränderung von f_2 von 1 auf 0,80571.

f_2 =zeitlich eingeschränkter Heizbetrieb									17
Bauweise gemäß Tab.1 1, S. 7: (a / b / c / d)	Bauweise:	b							18
Gebäudekonstante nach Tab. 1, S. 7	τ =	15							19
Bei Fußbodenheizung: Aufbau leicht=1, mittel=2, schwer=3	Fb-Aufbau	0							20
Erhöhung der Gebäudekonstante dadurch auf	τ =	15							21
Raumgruppe mit unterschiedlicher Betriebszeit		1	2	3					22
Wärmebedarfsanteil (bzw. Außenwandanteil) der Raumgruppe	a_w =	100	0	0	%				23
Regelung: Absenkung=1, Abschaltung=2, Optimierung=3	Regelung=	1	1	1					24
Dauer der Einschränkung werktags 0...16 h	werktags=	0	0	0	h				25
daraus der Bewertungsfaktor f_{ET} nach Tab. 2, S. 8	f_{ET} =	1	1	1					26
Dauer der Einschränkung Wochenende 0...60 h	Sa/So	0	0	0	h				27
daraus der Bewertungsfaktor f_{EW} nach Tab. 2, S. 8	f_{EW} =	1	0	0					28
Bewertungsfaktor Raumgruppe $f_E = 4/7 * f_{ET} + 3/7 * f_{EW}$ Gl. (17)	f_E =	1	1	1					29
Korrekturfaktor alle Zonen nach G.(18), S. 7							f_2 =	1	30

Es findet keine Berücksichtigung des räumlich eingeschränkten Heizbetriebes (Zeile 31 bis 33 statt. Die Ausstattung mit Regelgeräten führt aber nach der Sanierung zu einer Änderung von f_4 von 1,13 nach 1,015. Der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer geänderten Innentemperatur bleibt ebenfalls unberührt.

f_4 = Ausstattung mit Regelgeräten									34
Ausstattung mit Regelgeräten gemäß Tab. 4, S.9	(a, b, ... X)		k						35
Gütefaktor nach f_R Tab.4, S.9			f_R =	1,13					36
$f_4 = (f_R * \vartheta_{im} - \vartheta_{am}) / (\vartheta_{im} - \vartheta_{am})$	Gl. (20), S.9					f_4 =	1,130		37

In einem Zwischenschritt erhält man den Jahresheizwärmebedarf ohne Berücksichtigung des äußeren bzw. inneren Wärmeeinbaus.

Jahresheizwärmebedarf ohne Fremdwärme									41
$Q_{GA} = f_1 * f_2 * f_3 * f_4 * f_5 * 24 * z * (\vartheta_{im} - \vartheta_{am}) / (\vartheta_{im} - \vartheta_a) * \dot{Q}_{N,Geb}$			Q_{Ga} =	1863	MWh				42

Dies geschieht im Abschnitt zur Berechnung von f_6 . Bei der Fremdwärmenutzung gehen die Wohn- und Fensterflächen, das Heizsystem, das Nutzerverhalten, die Trägheit des Gebäudes und die regelungstechnische Ausstattung mit ein.

f_6 = Ausnutzung der Fremdwärme									43
Wohng.=1, Büro=2, Krankenh.=3, Schule ein-/zweischichtig=3/4, Sonstige=6			3						44
Innerer Fremdwärmeeinfall je m ² Nutzfläche und Jahr (S. 10)	q_{ia} =	55	kWh/m ² a						45
Innerer Fremdwärmeeinfall je Jahr, Gl. (23), S.10	$Q_{ia} = A_E * q_{ia}$	Q_{ia} =	164	MWh/a					46
Äußerer Fremdwärmeeinfall bei i.M. 291 kWh/m ² a (Tab. 7, S. 21)	Q_{sa} =	256	MWh/a						47
Bewertungsfaktor Fremdwärmenutzung gemäß Tab. 4, S.9	f_f =	0,1	Q_{sa}/Q_{Ga} =	0,14					48
Fremdwärmenutzungsgrad $\eta_F = e^{(-0,5 * \text{Bewertungsfaktor})}$	Gl. (25), S. 11	η_F =	1,0712						49
$f_6 = f_f * \eta_F$	Gl. (24), S. 10					f_6 =	0,107		50

Der Fremdwärmegewinn ist also wegen der schlechten Regelung sehr gering (Sonnenschein im Winter oder in der Übergangszeit muss häufig mit geöffneten Fenstern begegnet werden). So bestimmt sich der Jahresheizwärmebedarf zu 1,8 Mio. kWh, ein Wert, der unter Berücksichtigung eines Kesselwirkungsgrades von 75 % (alte und neuer Ölkessel, gemittelt), d. h. also 2.424 MWh/a, gut mit dem aus den Ölrechnungen ermittelten 2.404.900 kWh/a übereinstimmt - nur etwa 1 % mehr.

Jahres-Fremdwärmegewinn	$Q_{FG} = f_6 * (Q_{SA} + Q_{ia})$	Gl. (9), S. 5	$Q_{FG} =$	45	MWh	51
Voraussichtl. Jahresheizwärmebedarf	$Q_{ha} = Q_{ga} - Q_{FG}$	Gl. (7), S. 5	$Q_{ha} =$	1.818	MWh	52
Voraussichtl. Jahres-Vollbenutzungsstunden	$b_{VH} = Q_{ha} / Q_{N,Geb}$	Gl. (6), S. 4	$b_{VH} =$	3418	h/a	53

5.5. Warmwasser

Die Messung des Warmwasserbedarfs wurde in der Zeit vom 07.11. bis zum 09.12.2002 durch die Auftraggeberin durchgeführt. In Abbildung 27 sind für den 27.11.2002 typische Zapfzeiten für Warmwasser dargestellt. Es werden maximal 35 l/min entnommen. An Werktagen streut der Bedarf zwischen 500 und 2500 Liter pro Tag (s. Abbildung 28). Damit ergibt sich mit der spezifischen Wärmekapazität von Wasser (1,161 kWh/m³K) und einem angenommenen ΔT von 44 K (abgelesene Speichertemperatur 53 °C) ein Wärmebedarf von 30 bis 130 kWh pro Tag. Nimmt man den Speicherverlust mit 0,4 K/h an, so addieren sich dazu noch mal 33,4 kWh/d. Nach einer Bewertung aller Parameter kann der Jahreswarmwasserbedarf auf 23.440 kWh abgeschätzt werden. Dies ist weniger als 1 % des Heizenergiebedarfs des Objekts. (Hinweis: Für die Auslegung einer Solaranlage werden 103 kWh/d angesetzt)

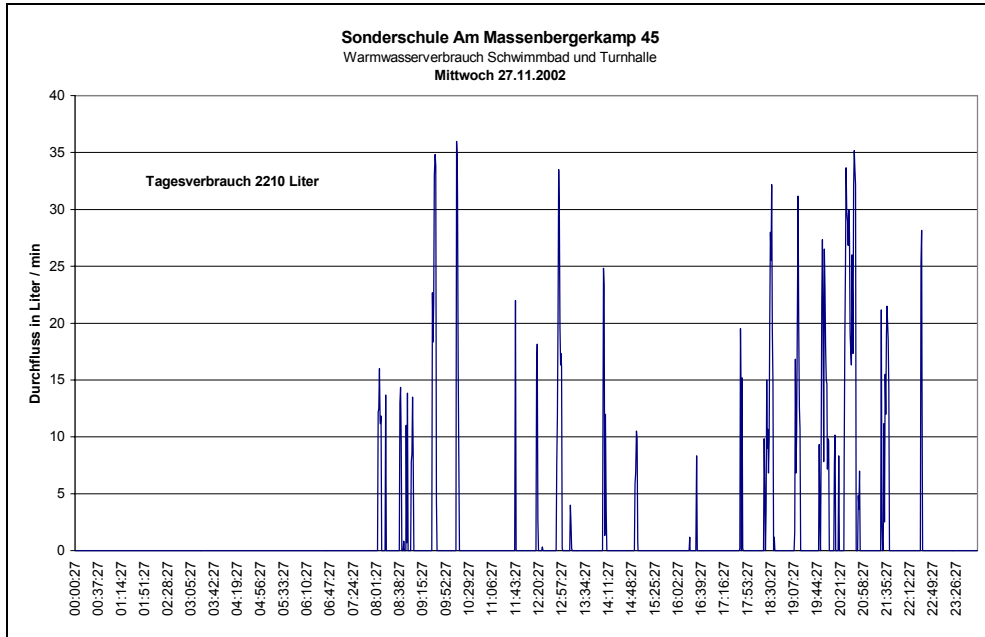


Abb. 27 Warmwasserzapfzeiten am 27.11.2002

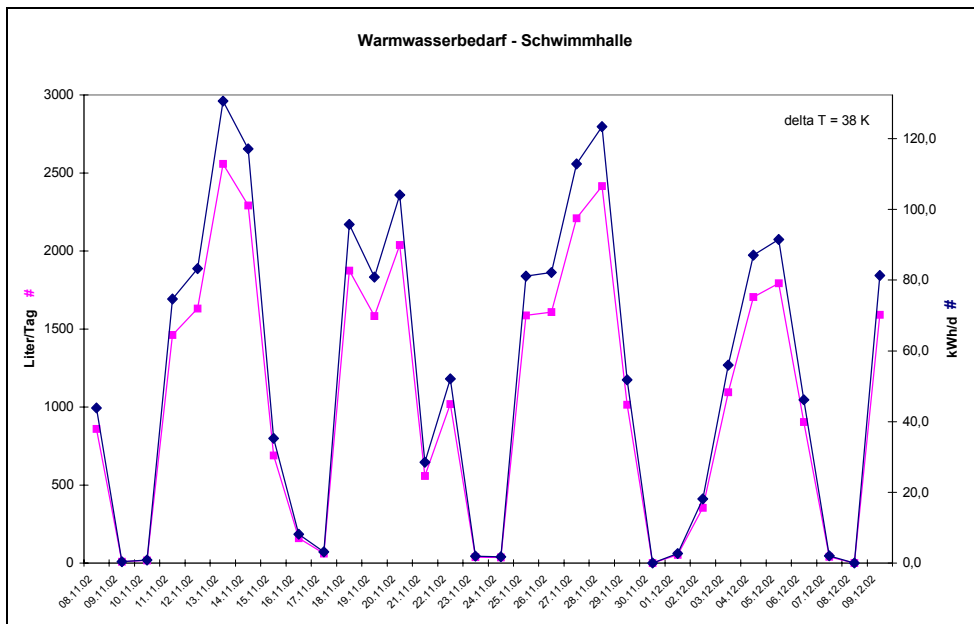
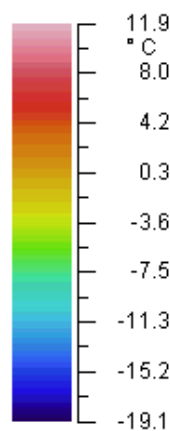
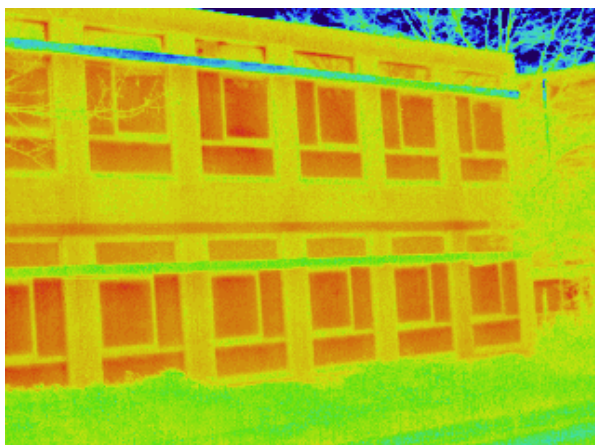


Abb. 28 Tageswarmwasserbedarf über Messperiode

5.6. Thermografie

Die von allen Körpern abgegebene Infrarotstrahlung kann mit speziellen Sensoren, bzw. Kameras sichtbar gemacht werden. Bei der Gebäudeanalyse dienen solche Thermografieaufnahmen zur Beurteilung von Dämmqualitäten und zum Aufdecken von Wärmebrücken.

Das Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.¹⁵ führt solche Thermografieanalysen für Ein- und Zweifamilienhäuser in Zusammenarbeit mit den Stadtwerken Duisburg durch. Die von uns beauftragte Untersuchung wurde am 11. Februar 2003 von einem Mitarbeiter der Verbraucherberatung NRW durchgeführt. Bei Außentemperaturen unter 0° C waren die Bedingungen ideal.



Bei dieser Aufnahme sind die Zwischendecken sehr gut als Wärmebrücken zu identifizieren.

Abb. 29

Sehr extrem fallen die schlechten Fenster in der Schwimm-/Turnhalle auf. Die opake Wand schneidet mit einem u-Wert von etwa 1,73 W/m²K noch vergleichsweise gut ab.

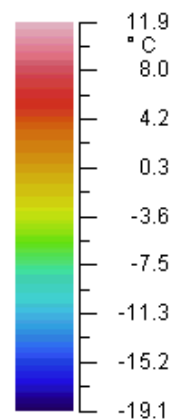
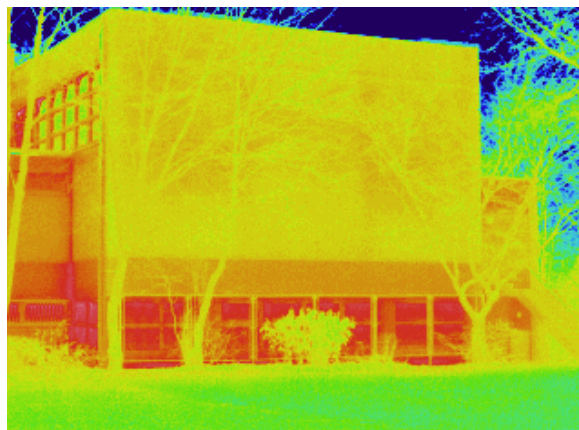


Abb. 30

Im Anhang und auf der CD sind die Thermografieaufnahmen zu finden.

¹⁵ IUTA, Bliersheimer Straße 60, 47229 Duisburg, Dr.-Ing. M. Koepsell, An-Institut der Universität Duisburg-Essen

6. Einsparmöglichkeiten

Speziell für Schulgebäude, Schwimmbäder und Turnhallen sind ganz besonders vielfältige Möglichkeiten der Energieeinsparung bereits beschrieben und wirtschaftlich bewertet worden. Da die vorliegende Studie nur die Konzipierung einer neuen Energieversorgung beinhaltet, werden in diesem Kapitel einige Beispiele angerissen.

Die Änderung des Heizenergiebedarfs durch eine sukzessive Sanierung einzelner Gebäudeteile, z. B. durch Erneuerung der Fenster oder eine Fassadendämmung, kann Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Heizungsanlage (Überdimensionierung) haben. Deshalb wurde die Vollkostenrechnung auch unter Berücksichtigung einer reduzierten Heizleistung von 372 kW durchgeführt (dies entspricht der Variante 6, siehe S. 32: Fenster saniert in Turnhalle, Schwimmbad, Bauteil I + II sowie 8 cm Dämmung Bauteil I + II).

Die möglichen Einsparungen durch die Modernisierung der Beleuchtung und der Lüftungsanlagen hat eine deutliche Verminderung der elektrischen Leistungsspitzen und eine noch höhere der elektrischen Jahresarbeit zur Folge. Dies hat Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit eines BHKW-Betriebes. Wegen der schlechten Vergütung bei der Einspeisung ins öffentliche Netz sollte die Einspeisung möglichst vermieden werden, bei sinkendem Bedarf kann dies aber unumgänglich werden.

Die neue Heizungsanlage bedingt eine völlig neue Steuerung. Kurze Betrachtungen sollen zeigen, welche wirtschaftliche Chance eine Einzelraumregelung hätte.

Viele Sanierungs- und Einsparmaßnahmen scheitern an den zur Verfügung stehenden Finanzmitteln. Hier hat sich in der Vergangenheit das Contracting bewährt. Es bietet den Kommunen u. a. folgende Vorteile:

- keine Kapitalbindung durch Investitionen
- kein Planungs-, Anlagen- und Betriebsrisiko
- schneller erzielbare CO₂-Einsparungen
- budgetierbare Kosten

Wichtig ist dabei aber für den Nutzer (und auch für den Contractor) eine gute Vertragsgestaltung, d. h. eine Aufgabenbeschreibung mit definierten Zielen, ein Investitionsplan und klar abgegrenzte Schnittstellen müssen vorher festgelegt werden.

6.1. Wärmedämmung

In der Vergangenheit sind bereits einige Maßnahmen bezüglich der Verbesserung der Gebäudequalität durchgeführt worden. Hier ist insbesondere der Austausch von Fenstern mit Einscheibenglas zu nennen. Dies soll in den nächsten ein bis zwei Jahren abgeschlossen werden. Es ist auch geplant, die beiden großen Klassenraumtrakte (Bauteil I

Bauteil	spezifische Kosten
Fenster	420 EUR/m ²
WDVS	110 EUR/m ²
Innendämmung	320 EUR/m ² (Turnhalle) sonst 165 EUR/m ²
Dach	68 EUR/m ²
Kellerdecke (Geb. 3)	48 EUR/m ²

Tab. 8 Kosten für Dämmmaßnahmen¹⁶

und II) mit einer Fassadendämmung zu versehen. Im Rahmen einer Studienarbeit¹⁷ wurde u.a. die Änderung des Wärmebedarfs nach VDI 4701 für verschiedene Stufen einer Gebäudesanierung berechnet. Im Kapitel Wirtschaftlichkeit fließen diese Ergebnisse ein, um aufzuzeigen, dass die neuen Heizungskonzepte bei verringertem Wärmebedarf ihre Effizienz nicht einbüßen (die eintretende Überdimensionierung reduziert die Kesselwirkungsgrade nur wenig - Erhöhung der Versorgungssicherheit).

In den Abbildungen 31 und 32 ist als Sanierungsbeispiel die Verglasung des Eingangsbereichs bzw. des Treppenhauses der Schwimm- und Turnhalle zu sehen.



Abb. 31 Eingangsbereich Schwimmhalle



Abb. 32 Einfachverglasung im Treppenhaus

¹⁶ BINE projektinfo 04/02 „Energetische Schulsanierung“

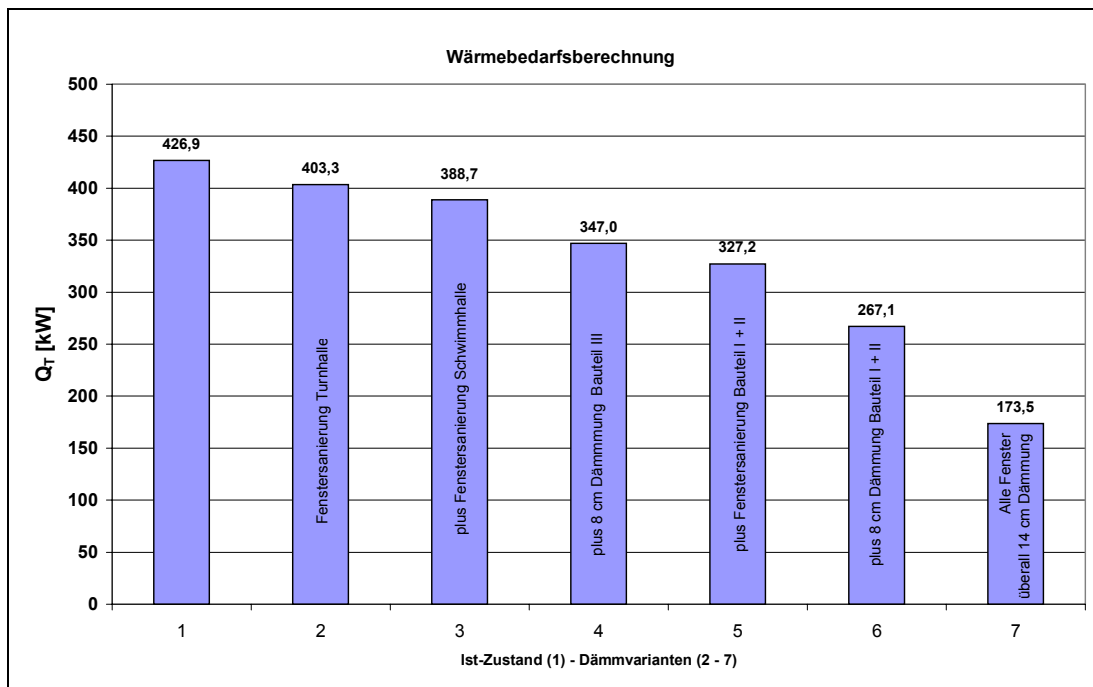
¹⁷ Darek Wagner

Verbesserungsstufen	1	2	3	4	5	6	7
Bauteil I	95,2	95,2	95,2	95,2	85,3	56,0	45,0
Bauteil II	95,2	95,2	95,2	95,2	85,3	56,0	45,0
Bauteil IV Verwaltung	72,1	72,1	72,1	72,1	72,1	72,1	25,9
Bauteil V (Hausmeister)	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	6,0
Bauteil VIIa WC-Haus	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	4,1
Bauteil VIIb WC-Haus	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	10,9	4,7
Bauteil VIII (Gesundheitsamt)	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	8,0
Bauteil III (Schwimmb./Turnh.)	116,1	92,5	77,9	36,2	36,2	34,7	34,7
Summe	426,9	403,3	388,7	347,0	327,2	267,1	173,5

1 Ist-Zustand	5 neue Fenster Bauteil I + II (Nordseite)
2 neue Fenster Turnhalle (1,3)	6 + Dämmung (8 cm) Bauteil I + II
3 + neue Fenster Schwimmhalle	7 alle Fenster saniert, überall 14 cm Dämmung
4 + Bauteil III 8 cm gedämmt	

Tab. 9 Veränderung des Transmissionswärmebedarfs (Angaben in kW) durch Gebäudesanierung

Nach den Planungen der Stadt Düsseldorf wird die Variante 6 in einiger Zeit erreicht werden. Dies entspricht immerhin einer Reduzierung des Nutzwärmebedarfs von 30 %. Beispiele zeigen, dass ein kompletter Wärmeschutz (Dach, Kellerdecke, Außenwände und Fenster) eine Erhöhung der Kompaktheit und die geregelte Lüftung Einsparungen von ist zu 80 % erbringen können.¹⁸ Erfolgreich durchgeführte Maßnahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes sind in vielen Publikationen dokumentiert.



¹⁸ Prof. K. Petzold, U. Meinhold „Energetische Untersuchung an einem Schulgebäude“, KI Luft- und Kältetechnik 11/1999, S. 589 - 594

Abb. 33 Reduzierung des Transmissionswärmebedarfs durch verschiedene Maßnahmen

Für die Beurteilung, wie wirtschaftlich die vorgeschlagenen Varianten für eine neue Heizwärmeversorgung nach einer Gebäudesanierung zu betreiben sein werden, wird der Transmissionswärmeverlustwert der Stufe 6 ausgewählt. D. h. nach der Fenstersanierung der Schwimm- und Turnhalle und der Komplettanierung von Bauteil I und II berechnet sich der Normwärmebedarf zu 372 kW. Die Ergebnisse der Vollkostenrechnung unter dieser Annahme sind in Kapitel 9 und im Anhang dargestellt.

6.2. Beleuchtung¹⁹

Die Beleuchtung besteht - abgesehen von einigen Sonderlampen, z.B. in der Aula - aus Leuchtstofflampen mit konventionellen Vorschaltgeräten. Bei einer Sanierung kommen häufig 3-Banden-Leuchtstofflampe mit verlustarmen Vorschaltgeräten zum Einsatz (seltener auch mit deutlich teureren elektronischen Vorschaltgeräten, die noch mal 17 % Einsparung bringen). Bei einer solchen Sanierung sind sowohl in der benötigten Leistung, als auch bei der elektrischen Arbeit, Einsparungen von über 60 % zu realisieren. Nähere Angaben sind der Fachliteratur zu entnehmen.²⁰

6.3. Lüftungsanlage

Um grundsätzliche Fragen der Lüftung in Schulen zu skizzieren, wird der Leitfaden für die Innenraumlufthygiene in Schulgebäuden des Umweltbundesamtes²¹ herangezogen:

Als möglicher Parameter und „Gradmesser“ der Luftqualität in Innenräumen, in denen sich Personen aufhalten, gilt seit langem das Kohlendioxid (CO₂). CO₂ wird beim Ausatmen freigesetzt. Für Aufenthaltsräume existiert ein hygienischer Richtwert von 0,15 Vol.-% CO₂, der in der DIN 1946 Teil 2 festgelegt ist. Bei höheren Kohlendioxidgehalten ist mit Müdigkeit, Konzentrationsschwäche etc. zu rechnen. Höhere CO₂-Gehalte der Luft gehen außerdem häufig einher mit Belästigungen durch Körpergerüche. Maßgebend für die Erneuerung der Luft in einem Raum ist die Luftwechselzahl. Diese ist der Quotient aus dem Zuluftvolumenstrom in den Raum und dem Raumvolumen. Sie wird als dimensionslose Größe pro Zeiteinheit (meistens eine Stunde) definiert. Eine Luftwechselzahl von 1/h („Eins pro Stunde“) bedeutet z.B., dass (rechnerisch) das gesamte Raumluftvolumen eines Raumes innerhalb von einer Stunde vollständig ausgetauscht wird. Man unterscheidet zwischen Luftwechsel bei geschlossenen Fenstern („natürlicher“ Luftwechsel) und bei geöffneten Fenstern („freier“ Luftwechsel). Bei weit geöffneten Fenstern beträgt z.B. die (freie) Luftwechselzahl 10–20/h (vgl. Abschnitt B-1).

Die erforderliche Luftwechselzahl ist desto größer, je stärker die Belastung der Innenraumluft mit Kohlendioxid (CO₂) und anderen Stoffen ist. In Klassenzimmern kann pro Schüler ein notwendiger Raumbedarf von etwa 5 m³ (ca. 1,5 m² Grundfläche) angesetzt werden, um „angemessene Bewegungsfreiheit“ zu gewährleisten. Gemäß DIN 1946 Teil 2 ist dann ein etwa 3- bis 4-facher Luftwechsel pro Stunde erforderlich, um das beim Ausatmen produzierte Kohlendioxid aus der Raumlufte in ausreichendem Maße

¹⁹ Grundlage für die Beleuchtung ist die DIN 5035 „Beleuchtung mit künstlichem Licht“, Teil 4 „Spezielle Empfehlungen für die Beleuchtung von Unterrichtsräumen“

²⁰ Energiesparende Beleuchtungsanlagen für Bürogebäude, Verkaufsstätten und Werkhallen, Hrsg. Hessische Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, 3. Auflage 6/89, 25 S.

²¹ erarbeitet von der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes, Bearbeiter Dr. H.-J. Moriske, Berlin, Juni 2000

abzuführen. Ein solcher Luftwechsel ist nicht mehr mit Fensterfugenlüftung (also mit natürlicher Lüftung bei geschlossenen Fenstern) zu erreichen, sondern dadurch, dass die Fenster regelmäßig (am besten in jeder Unterrichtspause), kurzzeitig und weit geöffnet werden („Stoßlüftung“ für circa 5–10 Minuten).

Dies findet teilweise Berücksichtigung, in dem bei der Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs mit einem erhöhten Luftwechsel gerechnet wird (im Mittel, also auch wenn die Klassenräume nicht belegt sind, mit 0,75/h).

Die vorhandenen Lüftungsanlagen - für die alleinige Beheizung der Turnhalle und für die Zusatzheizung und Entfeuchtung des Schwimmbades - müssen dringend saniert werden, z. B. lassen sich die Jalousieklappen nicht mehr betätigen. Eine anspruchsvolle Regelung mit einem Feuchtesensor kann die Luftmenge bedarfsabhängig steuern, so dass insgesamt mit erheblichen Einsparungen zu rechnen ist. Ein angefragtes Angebot zur Sanierung der Lüftungsanlagen liegt bis heute leider nicht vor.

Der Einbau einer Beckenabdeckung kann eine weitere deutliche Einsparung bei der Lüftungsanlage für das Schwimmbad bewirken. Dazu gibt es einerseits Systeme mit einer Mehrschichtfolie, die z. B. an der Decke aufgerollt werden kann, andererseits Systeme mit einer Jalousie, die teurer sind, wegen des höheren Gewichts am Rand gelagert werden müssen, aber auch etwa doppelt so lange halten.²² Die durch eine Abdeckung stark reduzierte Verdunstung und die verminderte Beckenauskuhlung verringert die benötigte Wärmeenergie. Zusätzlich kann Strom für die Belüftung eingespart werden. Das Umweltamt der Stadt Stuttgart macht folgende Rechnung auf: Gesamtinvestition (für 6 Abdeckungen) ca. 47.600 €, die Einsparungen betragen bei Gas bzw. Fernwärme ca. 174.000 kWh/a (6.000 €/a) und bei Strom 64.500 kWh/a (4.020 €/a). Daraus ist die statische Kapitalrückflusszeit von 4,7 Jahren und eine CO₂-Emissionsminderung von 76,7 t/a bestimmbar.²³

6.4. Einzelraumregelung (busgesteuert)

Eine Erhebung²⁴ über die im Objekt vorhandene Anzahl der Heizkörper und der zu öffnenden Fenster (siehe Datei Heizkörper-Fenster.xls) war Grundlage für die grobe Vorplanung einer busgesteuerten Einzelraumregelung. In der Literatur wird neben dem Komfortgewinn auch immer wieder auf ein Einsparpotenzial von 8 bis 15 % der Heizenergie hingewiesen. Prof. Nordmann, Fachhochschule Hannover, hat in Abhängigkeit der Regelstrategie (Jahres-, Wochen-, Stundenplan, Fensterkontakte, Bewegungsmelder) sogar Einsparungen für die Heizenergie von 25 bis 40 % ermittelt.

²² Informationen des Amtes für Umweltschutz der Landeshauptstadt Stuttgart

²³ im Internet veröffentlichte Zahlen

²⁴ cand.ing. Darek Wagner

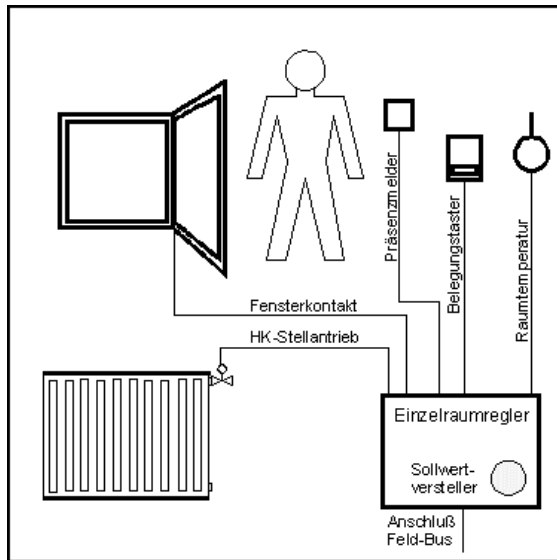


Abb. 34 Konzept einer Einzelraumregelung²⁵

Es werden Magnetkontakte und Magnete in Fenster zur Öffnungsüberwachung eingebaut. Zusätzlich werden INSTABUS-Raumtemperaturregler benötigt, die durch Präsenzmelder und Belegungstaster ergänzt werden können. Weiterhin ist eine funktionsorientierte Gebäudemanagement-Software erforderlich, um die Einspareffekte auch realisieren zu können.

Aus einem vorliegenden Angebot können für das Objekt Gesamtkosten von über 68.500 € (79.500 € inc. MWSt.) ermittelt werden. Unter der Annahme, dass 8 - 15 %

der Brennstoffkosten eingespart werden können, wäre eine statische Amortisationszeit für das System 5 (vgl. Kap. 8) nach 21,4 bzw. 11,4 Jahren erreicht. Bessere Bedingungen findet die Einzelraumregelung bei häufig geänderten Innenraumtemperatur, ständig wechselnder Belegung und relativ großen Räumen (niedrigere Investitionskosten).

²⁵ Prof. Dr. Nordmann, Fachhochschule Hannover, <http://www.fh-hannover.de/mbau/ensys/enspar.htm>

7. Innovative Versorgungskonzepte

In diesem Kapitel werden allgemeine Angaben zur Technologie, deren energiewirtschaftliche Rahmenbedingung sowie zur Umweltrelevanz gemacht. Einige speziell auf das betrachtete Objekt bezogene Angaben schließen sich an.

7.1. Holzheizung

Die quasi CO₂-Neutralität (das Programm GEMIS²⁶ ermittelt brutto - also inklusive Verarbeitung und Transport - 70,1 g CO₂/kWh) des Brennstoffes Holz, seine Regeneration bzw. die gute Angebotslage sowie die Speicherfähigkeit (im Gegensatz zu Sonne und Wind) haben zu einer Renaissance der Holznutzung geführt. Auch die dazugehörigen Technologien wurden weiterentwickelt, so dass Handhabung (Brennstoff, Asche), Betriebssicherheit und Schadstoffbilanz heute für einen verstärkten Einsatz im Wärme- markt sprechen.



Abb. 35 Kessel für Holzpellets

Die Landesregierung NRW hat durch die 1998 in Kraft getretene Holzabsatzförderungsrichtlinie im Zeitraum von 1999 bis 2002 den Bau von 937 Anlagen mit einer Gesamtleistung von ca. 107 MW erst möglich gemacht.²⁷

Dies waren überwiegend Hackschnitzelanlagen, da bis zum September 2000 nur Anlagen mit einer Wärmeleistung von mindesten 100 kW gefördert wurden. 2001 bzw. 2002 wurden 211 bzw. 390 Pelletanlagen bis 100 kW geförderte, allerdings nur eine größere (in einem Kinderheim in Olsberg, ein 540 kW-Kessel der Fa. KÖB & Schäfer, Pyrot 540, ca. 200 t/a Pellets).

²⁶ GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), 4.14, Sept. 2002, Öko-Institut e.V.

²⁷ Landesinitiative Zukunftsenergien NRW „5 Jahre Holzabsatzförderung in Nordrhein-Westfalen - Entwicklungen und Perspektiven“, 06-2003

Für das Objekt Massenberger Kamp ist eine Hackschnitzelanlage wegen des höheren Betreuungsaufwandes ungeeignet, insbesondere da die Auftraggeberin mit dem Brennstoff Holz noch keine Erfahrung sammeln konnte.²⁸ Bei Pelletkesseln ist die Anlieferung mittels Silowagen, die automatische Förderung in den Kessel und auch die Ascheentsorgung deutlich unproblematischer.

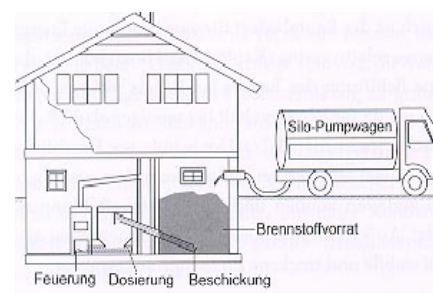


Abb. 36 Anlieferung

Holzpellets werden aus unbehandelten Säge-Hobelspänen mittels hohem Druck und ohne Bindemittel hergestellt. Die Versorgungssicherheit sieht sehr günstig aus, da der Rohstoff reichlich vorhanden ist (Pellets könnten sogar aus Getreidestroh gepresst werden) und die Produktionskapazitäten ausgeweitet werden. Der deutsche Energie Pellet Verband bezifferte diese auf 63.100 Tonnen im letzten Jahr.²⁹ Prognosen gehen von einem Bedarf in 2007 von über 350.000 Tonnen aus. In diesem Jahr, 2003, rechnet man schon mit einer heimischen Produktion von 140.500 t, so dass die Importe aus Österreich und Schweden abnehmen werden.³⁰ Genormt sind die etwa 4 bis 10 mm großen Pellets in der DIN 51731 (Die österreichisch Variante ist die ÖNORM M 7135 - beide werden in der neuen DIN CERTCO „DIN plus“ zusammengefasst.), dort sind die wichtigen Parameter Wasser- (< 12 %) und Aschegehalt (< 1,5 %) festgelegt.

Die eventuelle Entscheidung für Holzpellets verringert die Zahl der möglichen Anbieter. Für diese Studie wurden die Daten der 300 bzw. 400 kW-Kessel der Fa. KÖB & Schäfer herangezogen. Anbieter (über Qualität/Service und Preis-/Leistungsverhältnis können keine Angaben gemacht werden) von Pelletkesseln mit automatischer Beschickung in diesem Leistungsbereich sind:

²⁸ Der Leitfaden für Initiatoren „Holzenergie für Kommunen“, herausgegeben vom Holzabsatzfonds, Bonn 2003, beschäftigt sich mit Hackschnitzelanlagen und nicht mit Pellet-Anlagen. Die Daten aus diesem kommunalen Ratgeber sind nicht übertragbar.

²⁹ „Neue Energien für's Land“ aus energie pflanzen 1/2003, S.17

³⁰ M. Kraleman, G. Höher „Qualitätsbrennstoff Holz“, Seminar der Bioenergie Niedersachsen

Hersteller/Vertrieb	Ort	Nennwärme-Leistungsbereich (kW)	Bauart Feuerung
Dan Trim A/S	DK - 7480 Vildbjerg	25 - 1750	Vorofen
Walter Huber GmbH	D - 84561 Mehringöd	48 - 300	Vorofen
KÖB & Schäfer OHG	A - 6922 Wolfurt	75 - 1000	Unterschub
Ing. H. Nolting GmbH	D - 32760 Detmold	45 - 2500	Vorofen / Unterschub
Ökotherm-Projekt GmbH	D - 09453 Scharfenstein	49 - 800	Quereinschub
Maskinfabrik REKA	DK - 9600 Års	20 - 3500	Unterschub / Quereinschub / Vorschubrost
Schmid GmbH	D - 70794 Filderstadt	20 - 3000	Unterschub / Vorschubrost

Tab. 10 Marktangebot Pelletkessel³¹

Der ausgewählte Kessel, Pyrot 350 bzw. Pyrot 400, ist im Vergleich zu einem Erdgaskessel gleicher Leistung deutlich schwerer und größer (bauliche Maßnahmen siehe Kapitel 9). Die Einbringung in einen Heizungskeller und das notwendige große Lager für den Brennstoff bedingen die Verlegung des Heizraums aus dem Gebäudeteil I in das Verwaltungsgebäude (Bauteil IV). Hier steht genügend Kellerfläche zur Verfügung, da dort der 160.000 Liter-Öltank abgebaut werden kann.

Einbaubeispiel 3

Der Heizraum befindet sich neben dem Brennstofftanker. Die Beschickung erfolgt über eine hydraulische Schubstangenaustragung, Querförder-schnecke und Förder-schnecke zur Stokerschnecke. Dieses System wird vor allem in Kellerräumen eingebaut (ideal bei Brennstoffzufuhr durch Öffnungen in der Bunkerdecke).

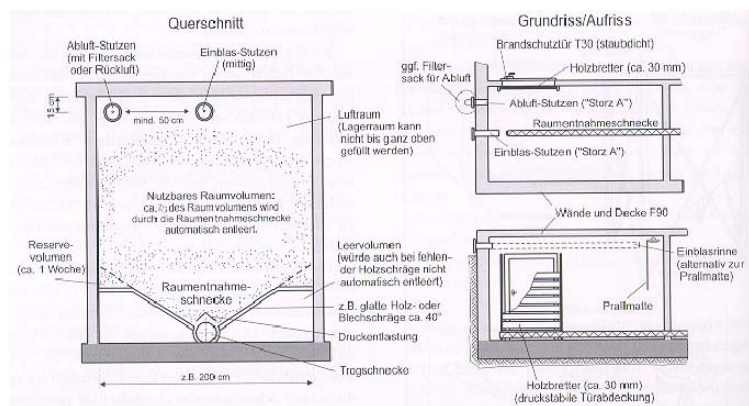
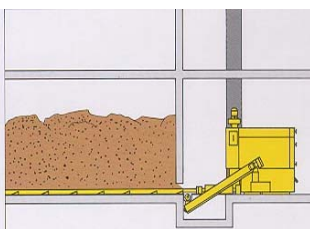


Abb. 37 Schneckenausrag

Abb. 40 Lagerkonzept

³¹ Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, Hrsg. Dr. Hans Hartmann, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow, Februar 2003
ebenda: Abb. 27 und Abb. 29; Abb. 26, 28 und 30 aus Firmenschrift KÖB & Schäfer

Bei Brennstofflagerräumen mit mehr als 15.000 kg müssen gewisse Bestimmungen - insbesondere hinsichtlich der Feuerbeständigkeit - beachtet werden. Das Lager (s. Abb. 40) in Bauteil IV würde mit einem Schneckenaustrag (s. Abb. 37) versehen werden. Die Dimensionierung sollte so erfolgen, dass zwei Silowagenladungen hineinpassen, d. h. etwa 46 t, bzw. 70 m³. Das Pelletlager würde im bisherigen Heizöllager eine Länge von ca. 8 m haben. Der 400 kW-Kessel benötigt bei Volllast am Tag - unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades und des Heizwertes - etwa 2.250 kg Pellets, d. h. die Lagergröße würde für gut 20 Volllasttage ausreichen. Für den nach der Heizungsanierung prognostizierten Heizwärmebedarf, bzw. für den durch den Pellet-Kessel bereitgestellten Anteil, wären pro Jahr 8 bis 10 Silowagen nötig. Nach der angenommenen Gebäudesanierung kann diese Zahl auf 5 bis 6 sinken.

7.2. Kraft-Wärme-Kopplung

Durch die gleichzeitige Erzeugung von Strom und Wärme wird der eingesetzte Brennstoff optimal genutzt. Unabhängig von der Brennstoffart und der verwendeten Technologie (Motor, Turbine, Brennstoffzelle u.a.) sind bei guter Auslegung Gesamtwirkungsgrade von 90 % erreichbar. Dieser naturgesetzliche Vorteil der Kraft-Wärme-Kopplung wird in einigen Publikationen in Frage gestellt - hier kommt es natürlich auf die betrachteten Anlagen und die Festlegung der Randbedingungen an. Ein nur im Winter in KWK arbeitendes Heizkraftwerk (im Sommer ohne Abwärmenutzung) hat nicht die Effizienz, wie modernste Technologien der getrennten Erzeugung (GuD-Kraftwerk, Brennkessel). Allerdings wäre dieser Vergleich auch unzulässig.

Auch für kleine Leistungen stehen heute Motoren - in der Studie ist der Dachs der Firma Senertec ausgewählt worden (andere Hersteller s. Tab. 13) - zur Verfügung. Das grundsätzliche Prinzip eines Motor-BHKW ist in Abbildung 41 umfassend dargestellt.

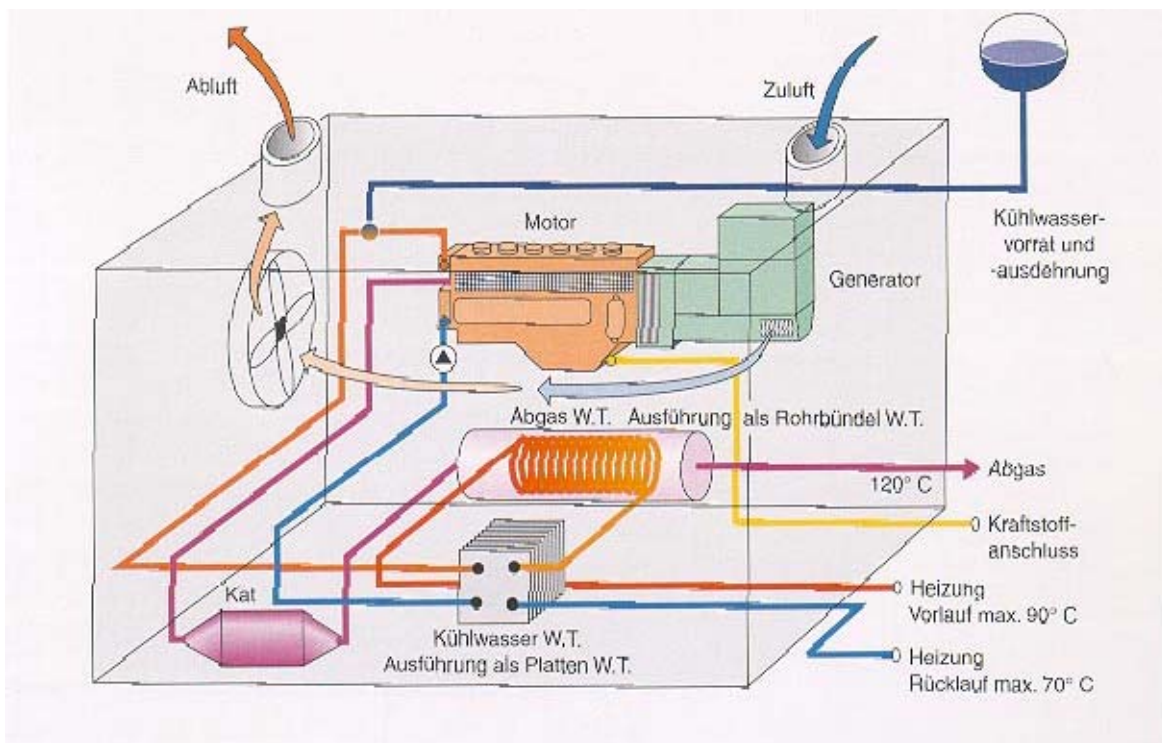


Abb. 41 Funktionsbild eines Blockheizkraftwerks³²

³² BHKW-Fibel, Kleine Blockheizkraftwerke - Technik, Planung, Genehmigung, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Febr. 2003

Weitere Informationen zur Technologie der Blockheizkraftwerke sind im Leitfaden für den Anwender von Horst Meixner zu finden.³³

Die nächste Tabelle bzw. Abbildung geben Daten, die von der ASUE³⁴ ermittelt wurden, wieder.³⁵

Kostenaufteilung BHKW-Anlagen		
Elektrische Leistung in kW:		<= 50
Pos. 1	KWK-Modul	57 %
Pos. 1b	Schalldämpfung	8 %
Pos. 1c	Katalysator	4 %
Pos. 2	Schmierölver- und -entsorgung	3 %
Pos. 3	Schaltschrank	17 %
Pos. 4	Be- und Entlüftung	5 %
Pos. 6	Transport und Montage	3 %
Pos. 7	Inbetriebnahme, Probebetrieb und Abnahme	3 %

Tabelle 2-2: Kostenaufteilung BHKW bis zu einer Größe von

Die spezifischen Investitionskosten für ein BHKW sinken mit der Leistungsgröße. Für ein BHKW kleiner 50 kW teilen sich die Kosten entsprechend der Tabelle 11 auf. Alle dort genannten Positionen enthält die Kostenabschätzung aus Abb. 42. Ein 5 kW-Modul kostet demnach 3100 €/kW, ein 50 kW-Modul entsprechend 1270 €/kW. Für die Berechnungen in Kapitel 9 sind aber konkrete Angebotspreise berücksichtigt.

Tab. 11 Kostenaufteilung BHKW

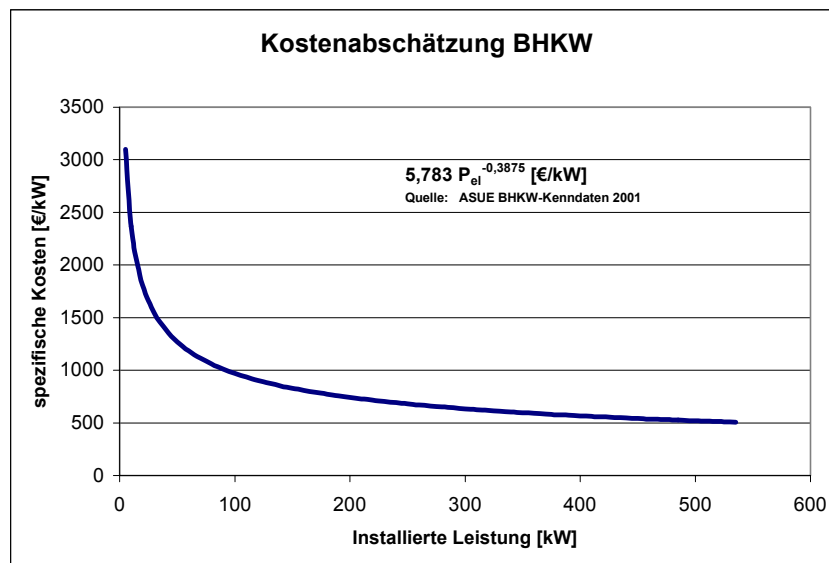


Abb. 42 Abschätzung der spezifischen Kosten eines BHKW

³³ BINE-Informationdienst: Horst Meixner, Rudolf Stein „Blockheizkraftwerke: Ein Leitfaden für den Anwender“, 5 aktualisierte Aufl., Köln - TÜV-Verlag 2002, ISBN 3-8249-0640-6

³⁴ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

³⁵ ASUE und Energierreferat der Stadt Frankfurt - BHKW-Kenndaten 2001,

Die relativ teureren Klein-BHKW erreichen die Wirtschaftlichkeit nur dann, wenn sie mit der Eigenproduktion teureren Strom („Haushaltsstrom“) verdrängen. Große und sehr große Anlagen haben nach der Liberalisierung des Strommarktes aufgrund sinkender Strompreise wirtschaftliche Schwierigkeiten. Es waren im Jahr 2000 gut 5000 MW KWK-Kapazität in der Industrie und etwa ein Drittel der KWK-Anlagen in den öffentlichen Fernwärmeversorgungen bedroht. Dies führte über Zwischenschritte (nähere Informationen auf der Internetseite des Bundesverbandes Kraft-Wärme-Kopplung e. V., www.bkww.de) zu einem Fördergesetz, dem sogenannten KWKModG, in dem nur der ins öffentliche Netz eingespeiste Strom eine Bonusförderung erhält (s. Tab. 12 - wird für die Variante 4, 50 kW-BHKW, benötigt). In der unten aufgeführten Aufstellung der hessenENERGIE wird allerdings schon deutlich, dass für Neuanlagen (auch für die unter 50 kW) wegen der geringen Einspeisevergütung eine Wirtschaftlichkeit schwer darstellbar ist.

Preis (variabel)		2,65	3,2 Ct/kWh	
Anlage	Zuschlag (Ct/kWh)	"optimistische" Gesamtvergütung von ... bis ... (Ct/kWh) *	"pessimistische" Gesamtvergütung (Ct/kWh) **	
Alte Bestandsanlagen (IBN bis 31.12.1989)	1,54 (fällt bis auf 0,97 im Jahr 2006)	4,2	4,7	3,1
Neue Bestandsanlagen (IBN 01.01.1990 -)	1,54 (fällt bis auf 0,56 im Jahr 2010)	4,2	4,7	3,1
Modernisierte Anlagen (IBN ab 01.04.2002)	1,74 (fällt bis auf 1,59 im Jahr 2010)	4,4	4,9	3,3
Neuanlagen (51 kW el. – 2 MW el./ IBN ab 01.04.2002):	2,56 (fällt bis auf 1,94 im Jahr 2010)	5,2	5,8	4,1
Neuanlagen < 50 kW el. / IBN ab 01.04.2002 -	5,11 (bleibt 10 Jahre ab Inbetriebnahme)	7,8	8,3	6,6

Legende: * Einspeisevergütung bei "optimistischer" Variante: 2,65 - 3,2 Ct/kWh
 ** Einspeisevergütung bei "pessimistischer" Variante: 1,54 Ct/kWh

Tab. 12 Mögliche Einspeise Vergütung für KWK-Strom³⁶

³⁶ Dr. Horst Meixner, hessenENERGIE GmbH, Berliner Energietage 2003, 17. Juni 2003, "KWK im Spannungsfeld von Politik und Markt - Zubauchancen von BHKW unter dem KWK-G"

Hersteller/Vertrieb	Elektrische Leistung (kW)	Nennwärme-Leistungsbereich (kW)
Anlagen- und Antriebstechnik Nordhausen	7,9	17,7
EAW Energieanlagen Westenfeld	8,0	19,0
Franke, Baehr, Ritter, Dessau	8,0	17,0
Giese Energie- und Regeltechnik, München	5,5	12,0
Höfler Blockheizkraftwerke, Lindau	7,0	18,0
KW-Energietechnik, Freystadt	8,0	18,0
Senertec, Schweinfurt	5,0	12,3
Valentin Energie- und Umwelttechnik, Mainz	4,7	12,5

Tab. 13 Marktangebot erdgasbetriebener Klein-BHKW³⁷



Beim Dachs handelt es sich um einen 4-Takt-Motor, der in der gekapselten Form (links) in einem Meter Abstand einen Lärmpegel von 56 dB(A) hat. Alle 3.500 h ist ein Ölwechsel fällig, die Anlage ist auf über 80.000 Betriebsstunden ausgelegt. Das Abgas (150 °C) kann in jeden Kamin eingebracht werden.

Abb. 43 Dachs der Fa. Senertec

Um die Einbindung der beiden Dachs-BHKW-Module und die wirtschaftlichen Auswirkungen besser abschätzen zu können, werden Ergebnisse aus einem älteren (Preisangaben in DM) Excel-Programm³⁸ präsentiert und kommentiert.

³⁷ BHKW-Fibel, Kleine Blockheizkraftwerke - Technik, Planung, Genehmigung, Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg, Stuttgart, Febr. 2003

³⁸ © Andreas Lehmann, Othmar Verheyen (kann nicht zur Verfügung gestellt werden)

In einem ersten Schritt werden aus der Messung der elektrischen Einspeisung (vgl. Kap. 5.1) getrennt für Werktage und Sonn- bzw. Ferientage Stundenmittelwerte gebildet, die um einen Faktor reduziert werden müssen, um auf den Jahresverbrauch von 140.000 kWh zu kommen (Abb. 44). In der nächsten Abbildung (45) ist zu erkennen, dass die zwei Klein-BHKW mit je 5 kW elektrischer Leistung gut in die Lastprofile hineinpassen, es muss kein Strom ins Netz eingespeist werden. Schließlich wird berechnet, wie viel Strom und Wärme (jeweils in kWh/d) mit der erforderlichen Gasmenge produziert werden kann (Abb. 46).

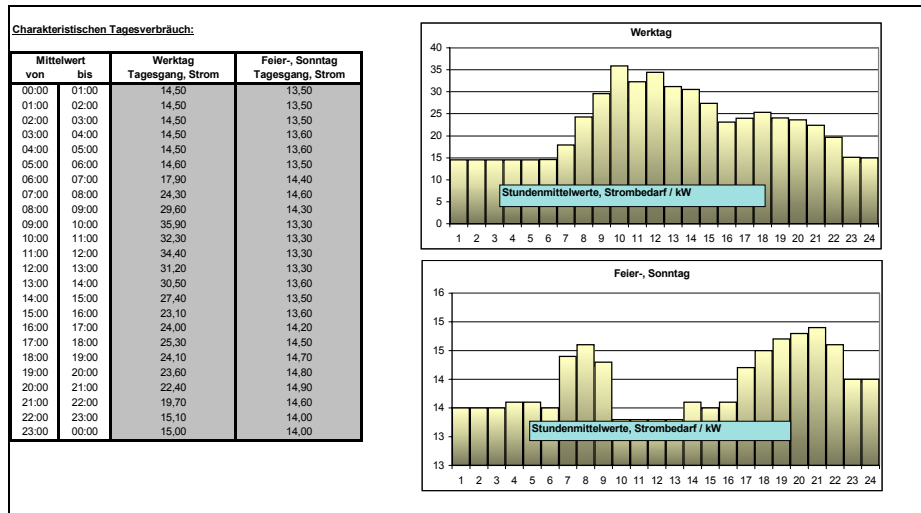


Abb. 44
Konstruktion der Tageslastgänge für die Einbindung eines BHKW

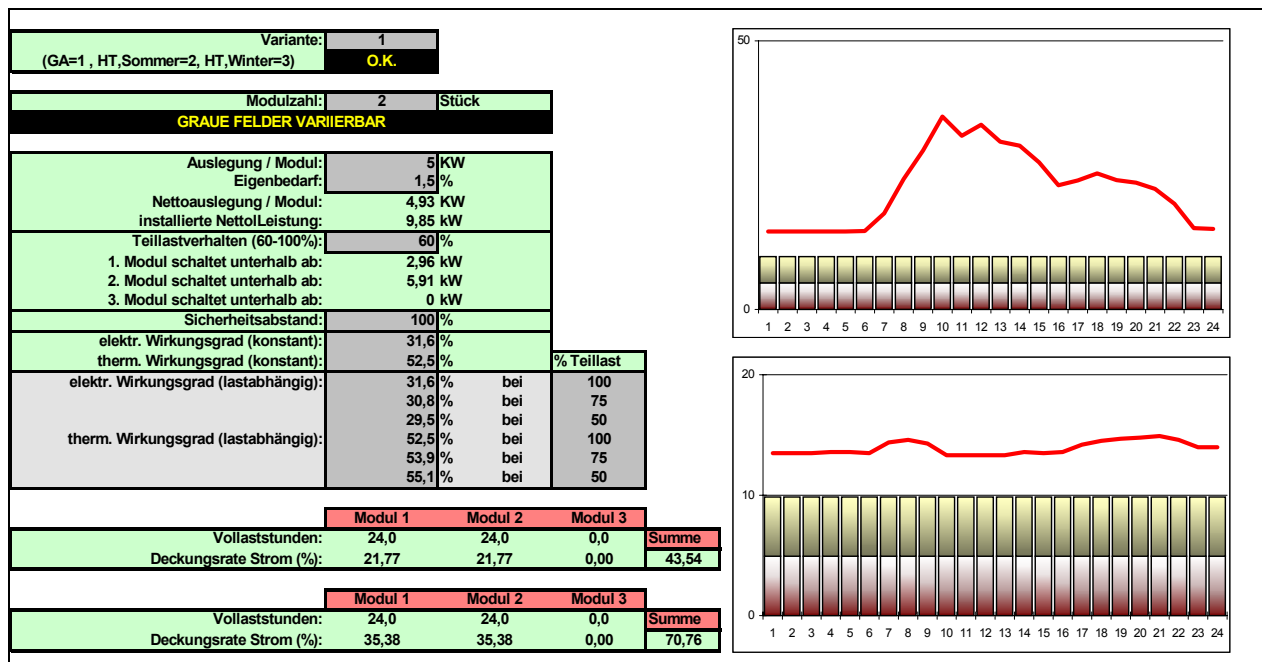


Abb. 45 Lastprofil BHKW und Bedarf

WERKTAG				
	Modul 1	Modul 2	Modul 3	Summen:
Strom bei Vollast (kWh/d):	118,2	118,2	0	236
tatsächl. Stromproduktion (kWh/d):	118	118	0	236
Vollaststunden:	24,0	24,0	0,0	24,0
Deckungsrate Strom (%):	21,77	21,77	0,00	
Gesamtdeckungsrate (%):		43,54		
Gasbedarf (kWh/d):	374	374	0	748
Wärmeproduktion (kWh/d):	196	196	0	393
bei lastabhängigen Wirkungsgrad:				Abweichung / %:
Gasbedarf (kWh/d):	334	334	0	668
Wärmeproduktion (kWh/d):	186	186	0	372
				-10,73
				-5,29

SONN-, FEIERTAG				
	Modul 1	Modul 2	Modul 3	Summen:
Strom bei Vollast (kWh/d):	118,2	118,2	0	236
tatsächl. Stromproduktion (kWh/d):	118	118	0	236
Vollaststunden:	24,0	24,0	0,0	24,0
Deckungsrate Strom (%):	35,38	35,38	0,00	
Gesamtdeckungsrate (%):		70,76		
Gasbedarf (kWh/d):	374	374	0	748
Wärmeproduktion (kWh/d):	196	196	0	393
bei lastabhängigen Wirkungsgrad:				Abweichung / %:
Gasbedarf (kWh/d):	334	334	0	668
Wärmeproduktion (kWh/d):	186	186	0	372
				-10,73
				-5,29

Abb. 46 Ermittlung der Eckdaten

In Zwischenschritten können die tagesabhängige Stromproduktion und der Bezug der restlichen Strommenge (Abb. 47) und desgleichen die Wärmemengen (ohne Abb.) dargestellt werden.

In weiteren Excel-Blättern müssen die Randbedingungen, u. a. die Tarifstruktur für den Strombezug, die Wärmekosten für das Objekt u.a.m., eingegeben werden. Das Datenblatt „Kostenanalyse“ kann dann die Jahreseinnahme und -ausgaben sowie die Wirtschaftlichkeit der BHKW-Lösung wiedergeben (Spalte 2 in Abb. 48, in Spalte 3 ist die Situation bei Betrieb nur in der Hochtarifzeit (Strom) dargestellt - in Ausnahmefällen eine bessere Option).

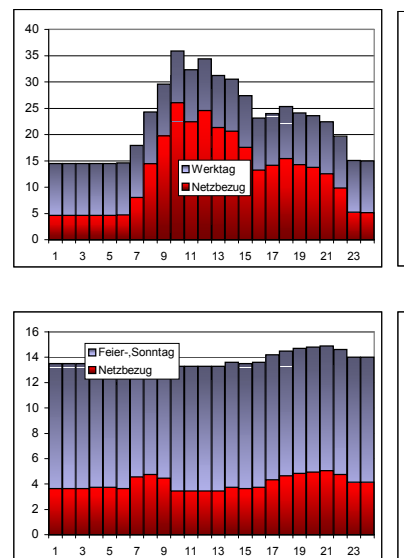


Abb. 47 Eigenerzeugung und Bezug Strom

Kostenanalyse:			
Installierte Leistung:	10	kW	
Spezif. Invest.kosten:	5.400	DM/kW (incl. Einbindung)	
Investitionskosten:	54.000	DM	
	Variante GA	Variante HT	
Stromeinsparung:	21.311	11.248	DM/a
Wärmegutschrift:	11.343	5.987	DM/a
Einnahmen:	32.654	17.234	DM/a
Gaskosten:	9.702	5.121	DM/a
Versicherungspauschale:	1,5		% der Invest.kosten
Versicherungskosten:	810		DM/a
Wartungspauschale:	0,04		DM/kWh-prod.
Wartungskosten:	3.451	1.821	DM/a
Leistungsreserve:	0		DM/a
Reservekosten:	0		DM/a (bzgl. 1 Modul)
Ausgaben:	13.963	7.752	DM/a
Einnahmen - Ausgaben:	18.691	9.482	DM/a
Amortisationsdauer:	2,89	5,69	a
Zins / %:	4,00		%
Jahre	10		nach VDI-Bericht S.206
Annuität / %	0,113		aus Tabelle 14 VDI 2067 Blatt 1
kapitalgebundene Kosten:	6.102		DM/a
Kapitalrückflußzeit:	2,18	3,47	a
Laufzeit:	15		a
Einsparung:	219.349	81.215	DM

Abb. 48 Amortisationsrechnung BHKW

7.3. Solarenergie

Bei der Nutzung von Solarenergie ist z. Zt. die Fotovoltaik die wirtschaftlichere Variante. Durch direkte Landeszuschüsse (Schulen bekommen übrigens mehr als andere Antragsteller), günstige Kredite (100.000-Dächer-Programm der Kreditanstalt für Wiederaufbau KfW - läuft allerdings jetzt aus) und die Vergütung für den eingespeisten Strom (z. Zt. 45,7 ct/kWh; nächstes Jahr 43,4 und ab 2005 noch 41,2 ct/kWh - jeweils für 20 Jahre fest) amortisiert sich die Anlage sicher innerhalb der Lebensdauer. (Es sei an dieser Stelle auf die Internetseite der Energieagentur NRW www.ea-nrw.de verwiesen, dort finden sich auf den Seiten „Fahrplan zur Sonne an Schulen“ und „Elf Schritte zur Photovoltaikanlage auf dem Schuldach“ wertvolle Tipps. Interessant auch das vom Wuppertal Institut betreute Projekt *EnergieSchule 2000+*.)³⁹

Die Installation einer thermischen Solaranlage hat (geringen) Einfluss auf das hier betrachtete Heizsystem. Die Wirtschaftlichkeit ist auch bei großen Anlagen recht schwer darstellbar. Die Nutzwärme kostet bei 100 m²-Anlagen etwa 0,13 €/kWh⁴⁰ für Kapitaldienst, bzw. knapp 0,16 €/kWh insgesamt (inkl. MWSt.), also gut dreimal soviel wie Wärme, die in konventionellen Anlagen (Kessel) erzeugt wird.

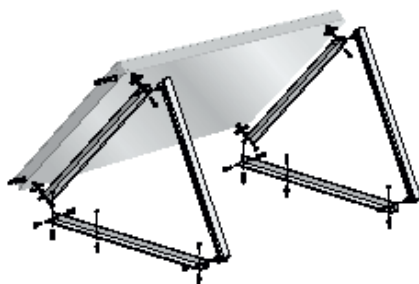


Abb. 49 Aufständigung einer Solaranlage⁴¹

Aus der Analyse des Warmwasserbedarfs (vergl. Kap. 5.5) ist bereits zu erkennen, dass die Solaranlage nicht sehr groß sein muss. Das Turnhallenflachdach eignet sich gut für aufgeständerte Kollektoren, so dass die wasserseitige Einbindung auf relativ kurzem Wege - zum Speicher im Keller - erfolgen kann. Zu prüfen ist die statische Belastbarkeit des Fachdachs und

die Möglichkeit, mit dem Glycol-Solarkreislauf über einen Wärmeübertrager die Wärme direkt in den 3000-Liter-Speicher einzukoppeln.

³⁹ <http://www.wupperinst.org/solarundsparr/index.html>

⁴⁰ BINE-Informationdienst themeninfo III/02 „Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung“, FIZ Karlsruhe

⁴¹ Quelle: Wagner & Co Solartechnik GmbH, D-35091 Cölbe

Mit dem Simulationsprogramm GetSolar⁴² wurde eine Ertragsberechnung für unterschiedliche Kollektorflächen und Speichergößen durchgeführt.

Projekt: Massenberger Kamp 45					
Standort: Düsseldorf	geogr. Breite:		48,8°		
Kollektor: 20,00 m ²	Flachkollektor, selektiv beschichtet				
Kennlinie: c0 = 0,780	c1 = 3,900 W/(m ² K)	c2 = 0,015 W/(m ² K ²)			
Neigung: 45,0°	Südabweichung: 0,0°				
Anlagentyp:	Brauchwarmwasserbereitung mit einem Speicher				
Speicher: 3000 Liter	Temperatur : min. 42°C / max. 90°C				
Wärmebedarf	103,00 kWh/Tag = 2530 Liter/Tag von 10°C auf 45°C				
Monat	Solar- Ertrag [kWh]	Ein- strahlung [kWh]	Fremd- energie [kWh]	Deckungs- rate [%]	Wirkungs- grad [%]
Januar:	514,6	992,1	2727,8	15,9	51,9
Februar:	697,9	1309,2	2340,9	23,0	53,3
März:	1250,7	2357,0	2014,8	38,4	53,1
April:	1470,2	2758,0	1689,3	46,6	53,3
Mai:	1704,9	3113,0	1562,5	52,2	54,8
Juni:	1673,0	2936,3	1484,5	52,9	57,0
Juli:	1814,5	3131,5	1455,7	55,5	57,9
August:	1688,9	2873,8	1574,8	51,7	58,8
September:	1470,8	2533,9	1683,5	46,6	58,0
Oktober:	1028,7	1732,6	2215,5	31,6	59,4
November:	489,2	844,9	2643,2	15,6	57,9
Dezember:	370,7	711,9	2764,3	11,8	52,1
Summe:	14174,0	25294,2	24156,8	37,0	56,0

Spezifischer Kollektor-Jahresertrag: **709 kWh/m²**

Tab. 14 Solarertrag einer 20 m²-Anlage

Von diesem Solarertrag, 14.174 kWh/a, wird für die Nutzung in der Schwimm- und Turnhalle wegen der langen Sommerferien und der insgesamt geringen Zahl der Belegtage von einer echten Einsparung für das Heizsystem von 10.000 kWh/a ausgegan-

⁴² GetSolar für Windows, Version 6.0 (neuste Vers. 7.1), April 2000, © Dipl.-Ing. (FH) A. Horn, Sauerlach

gen (dies entspricht 500 kWh/m²a). Eine Untersuchungen der hessenEnergie⁴³ an 125 Sporthallen-Solaranlagen ergab, dass die mittleren spezifischen Kosten 1.180 €/m² betragen, die kostengünstigsten Anlagen lagen bei 500 €/m² (in der Vollkostenrechnung hier wurden 900 €/m² angesetzt). Die Bandbreite des spezifischen Ertrags für Flachkollektoranlagen mit Wärmemengenmessung lag zwischen 177 bis 344 kWh/m²a.

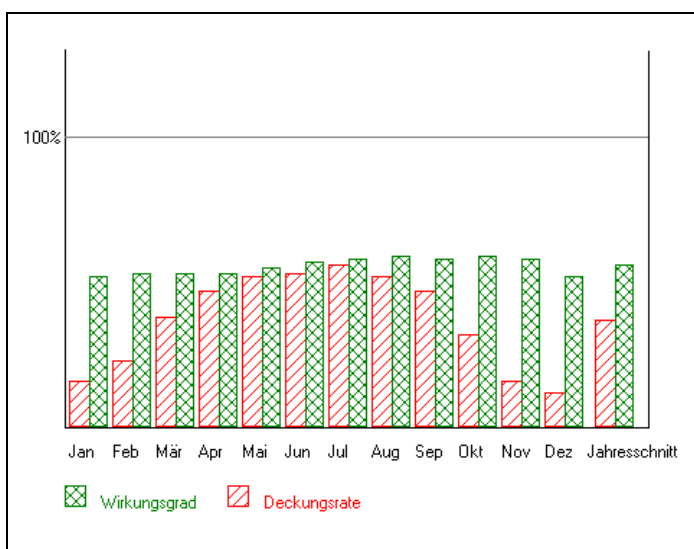


Abb. 50

Monatliche Ergebnisse des Simulationsprogramms GetSolar.

Der Wirkungsgrad liegt zwischen 52 und 59 %. Die Deckungsrate hat ihr Maximum mit 55 % im Juli - leider in den Sommerferien.

Über den Stand und die Problematik der Nutzung erneuerbarer Energien in öffentlichen Gebäuden informiert das Landesinstitut für Bauwesen des Landes NRW.⁴⁴

⁴³ Stefan Gensler, Volker Lenz (hessenEnergie GmbH) „Thermische Solaranlagen für Turn- und Sporthallen und Freibäder - Auswertung“, Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten, Wiesbaden, November 2002

⁴⁴ z.B. Bernd Döring „Nutzung erneuerbarer Energien in Landesbauten“, LB Aachen, 1996

8. Konzeptvorschläge

Für die Sanierung der Heizungsanlage der Schule ist insbesondere der Vergleich von konventioneller Energiebereitstellung mit Erdgaskesseln und regenerativer Energiebereitstellung mittels Holz-Heizsystem untersucht worden. Beide Anlagen wurden weiter kombiniert mit einer Solaranlage, bzw. mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.

In diesem Bericht nicht näher erläutert werden die Vorschläge⁴⁵ zur Sanierung des Verteilsystems, der hydraulischen Einbindung der Komponenten und der (Zonen-) Regelung des Gesamtsystems.

[Die Verluste des Verteilsystems werden nach der Sanierung mit 2 % angenommen (vgl. Kap. 9), d. h. etwa 10,5 kW. Eine Verlustrechnung nur für die Nahwärmerohre mit MathCad ergibt etwa 3,5 kW⁴⁶]

Nur zwei Beispiele zeigen die Bedeutung dieser Systemkomponenten für die Energieeinsparung auf: Eine hydraulische Optimierung kann selbst bei Neuanlagen Energieeinsparungen von 4 bis 7 % bedeuten. Auch drehzahlgeregelte Umwälzpumpen setzen ein großes Einsparpotenzial frei, da die Leistungsaufnahme mit der 3. Potenz zum Volumenstrom steigt.

8.1. Variante/System 1 und 2

Die Variante 1 ist als Bezugsvariante mit einem Gas-Brennwertkessel mit 400 kW (neu) und einem Gas-Niedertemperaturkessel (aus dem Bestand)⁴⁷ gewählt worden. Sie stellt eine nach heutigen Regeln der Technik verbreitete Lösung dar, die häufig bei Sanierungen Anwendung findet. Das System 2 ist nur noch mit einer Solaranlage zur Teilabdeckung des Warmwasserbedarfs in der Turn- und Schwimmhalle erweitert worden.

8.2. Variante/System 3.1 und 3.2

Bei den Varianten 3.1 und 3.2 wird der Brennwertkessel durch einen Niedertemperaturkessel mit 350 kW ersetzt und zusätzlich kommen Klein-BHKW zum Einsatz, nämlich 5 kW (3.1) bzw. 10 kW (3.2) elektrischer Leistung. Dabei wird die vollständige

⁴⁵ i.W. von cand.ing. Franz Schmitz

⁴⁶ Rechnung mit dem Programm MathCad von cand.ing. Darius Wagner

⁴⁷ Der Buderus-Logano-GE-515-Niedertemperaturkessel mit 290 kW soll einen neuen Gasbrenner (statt des jetzigen Ölbrenners) bekommen und dann in jeder Variante als Spitzenlastkessel fungieren.

Nutzung des KWK-Stroms im Objekt angenommen, d. h. es findet keine Einspeisung in das Netz der öffentlichen Versorgung statt.

8.3. Variante/System 4

In der Variante 4 hingegen wird ein deutlich größeres BHKW mit einer elektrischen Leistung von knapp unter 50 kW vorgesehen. Diese Anlage kann den Spitzenbedarf des Objekts abdecken, da dort selten höhere Leistungen benötigt werden. Der größere Anteil - etwas mehr als 2/3 - des erzeugten KWK-Stroms dient also nicht der Objektversorgung sondern wird eingespeist. Dies wird z. Zt. nach dem KWKModG mit einem Bonus von 5,11 ct/kWh bedacht (diese Förderung war nach der Liberalisierung und den damit stark sinkenden Strompreisen nötig geworden). Die Stadtwerke Düsseldorf vergüten den eingespeisten Strom, einschließlich der vermiedenen Netzkosten bei Einspeisung in das Niederspannungsnetz, mit 2 ct/kWh. Dieses eigentlich zu große BHKW kann mit etwa 100 kW thermisch auch einen nennenswerten Heizwärmeanteil liefern, so dass der bereits vorhandene 290 kW-Kessel durch einen zweiten - gleich großen - ergänzt wird.

8.4. Variante/System 5 und 6

Die folgenden Systeme sind i. W. durch den Einsatz von Holz als Brennstoff gekennzeichnet. Bei der Variante 5 kommt ein Holz-Pellet-Kessel mit 300 kW und bei den Varianten 6 und 7 ein solcher mit 400 kW zum Einsatz, die Pelletkessel dienen als Grundlastkessel und decken zwischen 78 und 91 % des erforderlichen Jahresenergiebedarfs ab. Neben dem immer vorhanden 290 kW-Kessel ist im System 5 ein weiterer Spitzenlastkessel mit 115 kW vorgesehen. Im System 6 entfällt dieser, dafür ist der Pelletkessel 100 kW größer und eine Solaranlage ergänzt diese Variante.

8.5. Variante/System 7.1 und 7.2

Hier wird der Gaskessel (290 kW) und der Pelletkessel (400 kW) durch kleine BHKW komplettiert und zwar einmal mit 5 kW elektrischer Leistung (System 7.1) und einmal mit zwei solcher Anlagen (System 7.2).

9. Wirtschaftlichkeit

Eine Kostenermittlung wurde nach VDI 2067 durchgeführt. Das rechenaktive Excel-Programm⁴⁸ hat im vertikalen Aufbau die oben beschriebenen Varianten aufgelistet und im horizontalen Aufbau die notwendigen Eingangsgrößen, die im einzelnen anhand der Zeilennummern beschrieben werden. Hier nicht behandelte Zeileninhalte werden im Kapitel 10 Umweltbilanz ausführlich beschrieben.

9.1. Grundlagendaten

Die Kopfzeilen der Excel-Datei geben Auskunft über den bisherigen Verbrauch (2.454.800 kWh/a Wärme, 140.000 kWh/a Strom), die verwendeten Emissionsfaktoren und die Gesamt-CO₂-Emission (s. Kap. 10). In die Felder F5 und H5 kann der voraussichtliche Jahresheizenergiebedarf und der Energiebedarf für das Brauchwarmwasser eingegeben werden.

In den Zeilen 12 bis 14 wird der jeweilige Anlagenanteil an der Jahresheizarbeit vorgegeben - dies lässt sich später z. B. nach Brennstoffkosten einregeln (Anlage mit niedrigen Kosten bekommt den höchsten Anteil). In allen Varianten (nicht System 4) dient der vorhandene Kessel zur Abdeckung der Spitzenlast, seine Heizarbeit im Jahr hat nur einen Anteil von 8 % - Begründung: Begrenzt bis zur Heizgrenztemperatur von 15 °C entspricht die Fläche unter der Jahresdauerlinie (s. Abbildung 50) dem Jahresheizwärmebedarf (15 °C entspricht 0 % und -10 °C entspricht 100 % der Kesselleistung). Das Diagramm zeigt, dass 40 % der Kesselleistung nur ca. 8 % der Heizarbeit entsprechen.

⁴⁸ Das Excel-Programm, Kostenermittlung nach VDI 2067.xls, befindet sich auf der beigelegten CD. Alle in diesem schriftlichen Bericht dargestellten Ergebnisse wurden auf Plausibilität überprüft und teilweise nachgerechnet. Da die Datei aber nicht schreibgeschützt ist, Eingaben sollen ja verändert werden können, kann keine Garantie für das Programm übernommen werden. Alle Excel-Dateien sind darüber hinaus Dritten nicht zugänglich zu machen.

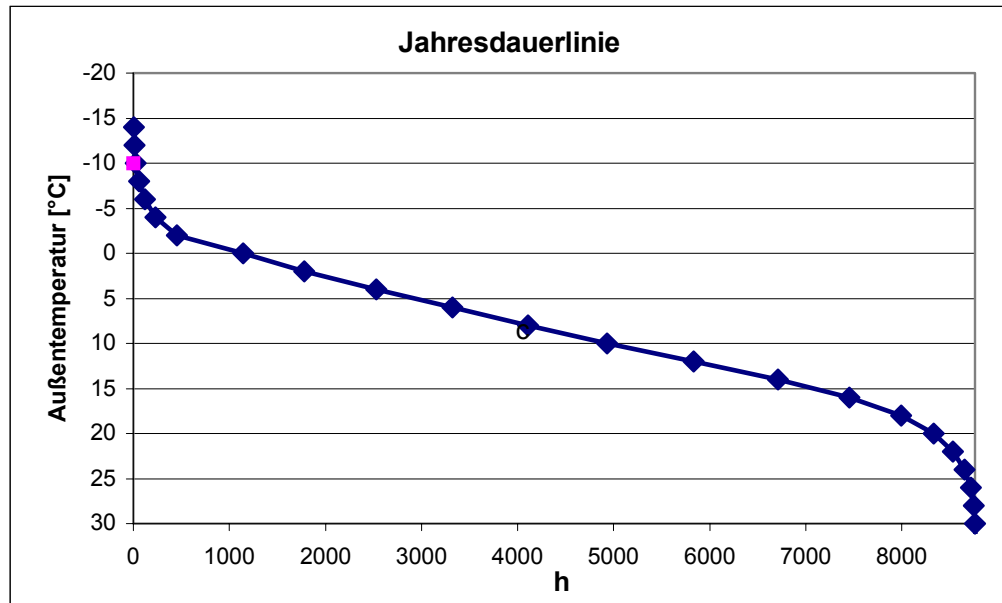


Abb. 51 Jahresdauerlinie

Der Anlagenwirkungsgrad (Zeile 16, 23 und 30) wird für Gas-Niedertemperaturkessel mit 92 %, für Brennwertkessel mit 96 %, für Pelletkessel 90 % und für die Kraft-Wärme-Kopplung mit 63 % bzw. 57 % thermisch festgesetzt. Mit der Aufteilung der Heizarbeit und den Anlagenwirkungsgraden errechnet sich die benötigte Brennstoffmenge.

9.2. Verbrauchsgebundene Kosten

Die verbrauchsgebundenen Kosten sind Brennstoffkosten, die um die Stromgutschrift für den eigenerzeugten Strom aus den BHKW reduziert wird, letzteres ist unterteilt in die Gutschrift für den verdrängten Strom (der nicht mehr bezogen werden muss) und den ins öffentliche Netz eingespeisten Strom. Die Wärmegutschrift für die Solaranlage wird nicht abgezogen, da sich der Arbeitsanteil und damit die Brennstoffkosten für die anderen Anlagen schon vorher reduziert hat. Wegen der langen Sommerferien bzw. den niedrigen Belegtagen (192 Schultage und 173 schulfreie Tage) wurde angenommen, dass nur 10.000 kWh/a von den benötigten 23.440 kWh solar bereitgestellt werden können (s. Blatt Kostenvergleich, Zeile 14 - die Arbeit der Brennwertkessel (System I und II) ändert sich entsprechend, Zeile 13). Wie man später sehen wird, lohnt eine genauere Betrachtung insbesondere der Brennstoffkosten.

Der Gaspreis beruht auf einer Angabe der Auftraggeberin (wie übrigens auch der durchschnittliche Strombezugspreis von 12,63 ct/kWh). Er wird für die vorgeschlagenen Gaskessel mit 4,43 ct/kWh und für den Betrieb der BHKW mit 4,03 ct/kWh - wegen der steuerlichen Vergünstigungen - angesetzt. Die Betrachtungen zum Ölpreis sind einer-

seits zur Bewertung der bisherigen Kosten - alte und neue Ölkessel - und andererseits zum Vergleich der Kosten für Holzpellets verwendbar. Auch wenn die Bezugsmenge, 3000 Liter, geringer ist als die bisher im Objekt üblicherweise getankte Menge, so lassen sich doch Relationen gut erkennen (s. Abb. 51).

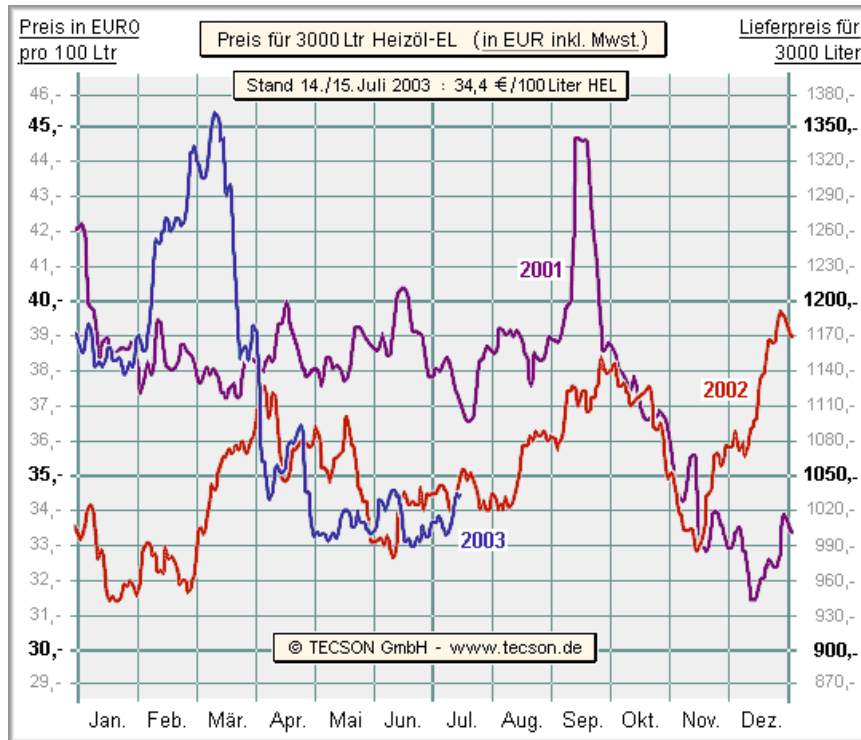


Abb. 52 Ölpreisentwicklung 2001 - 2003⁴⁹

In diesem Jahr lag der Heizölpreis für 3000 l zwischen 33 und 45 €. Es kann im Mittel mit 34 €/100 l gerechnet werden. Wenn noch für größere Liefermengen ein Rabatt von 3 €/100 l angenommen wird, so belaufen sich die Brennstoffkosten für Heizöl auf 3,1 ct/kWh. Dies ergibt Jahresbrennstoffkosten der alten Anlage (2.454.800 kWh/a) von 76.099 €/a.

Bei der Prognose für einen wirtschaftlichen Betrieb der Anlage haben die Brennstoffpreise einen wesentlichen Einfluss. Die heftigen Preisschwankungen der Vergangenheit machen die Einschätzung einer Preisentwicklung der Brennstoffkosten bei Öl besonders schwierig. Gegenüber Öl sind die Preisschwankungen bei Holz äußerst gering, wie die folgende Abbildung⁵⁰ von Jonas, Österreich 2001, zeigt:

⁴⁹ TECSON Apparate GmbH, 24972 Steinbergkirche, Internetpräsentation

⁵⁰ aus: Christian Rakos, Herbert Tretter: „Vergleich der Umweltauswirkungen einer Pelletheizung mit denen konventioneller Energiebereitstellungssysteme am Beispiel einer 400 kW Heizanlage“, Energieverwertungsagentur (E.V.A.), Wien, Februar 2002

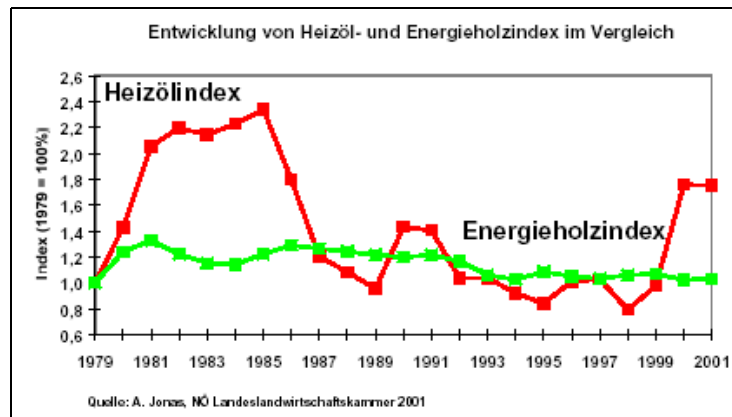


Abb. 53 Vergleich Preisentwicklung Öl / Holzpellets

Neben der erwarteten Preisentwicklung, spricht für den Brennstoff Holz die relativ günstige Versorgungssicherheit und die Umsetzung der Wertschöpfungskette im lokalen Rahmen (heimischer Energieträger). Um für die Studie einen spezifischen Brennstoffpreis ansetzen zu können, wurden Angebote eingeholt (s. Tab. 15), aus diesen ermitteln sich 3,32 ct/kWh für Holzpellets (alle Angaben beziehen sich auf H_u).

		Silopumpenwagen [t]			
Blankenburg-Öhls GmbH	24	150/159 €/t*	30.06.03	Markus_oehts@t-online.de ("Markus Öhls")	
Rhön-Hessen-Forstconsulting GbR	24	160 €/t	03.06.03	"Andreas Schubert" <Schubert@rhoen-hessen-forstconsulting.de>	
	29	140 €/t	02.06.03	"Andreas Krug" <Andreas.Krug@Emil-Mann.de>	
Friedrich Apenbrink & Co	22	138 €/t	27.05.03	apenbrink@t-online.de (Schwarze)	
WEAG & Mohr GmbH & Co. KG	24	160 €/t	27.05.03	"Lutz Gubernator" <lg@weag-ag.de>	
	25	145 €/t**	27.05.03	Kurt Jauschnegg [mailto:Kurt.Jauschnegg@kwb.at]	
Raiffeisen Waren-Zentrale Rhein-Main eG	23	142 €/t	27.05.03	Markus Wolff <wolffma@rwz.de>	
FERITHERM	24,5	155 €/t	27.05.03	Gehrke Bernd <bgehrkeferihum@fehring.de>	
	Summe:	1040			
	Durchschnitt:	149 €/t		159 €/t incl. 7 % MWSt.	

* Preise Mai-Okt./Nov.-April, Wert findet keine Berücksichtigung (zu spät eingegangen)

** Mittelwert aus der Angabe 140 - 150 €/t

Tab. 15 Preisangebote Holzpellets

9.3. Kapitalgebundene Kosten

Für die Berechnung der kapitalgebundenen Kosten wurden zunächst die Investitionskosten abgeschätzt. Darin sind für jeden Wärmeerzeuger die gesamten Kosten für Lieferung, Montage und Inbetriebnahme (Brutto-Preise) enthalten, einschließlich der Sicherheitsarmaturen (Ausdehnungsgefäße, Gaseinrichtungen, Regelkomponenten, Kaminanlage etc.), also alle Anlagenkomponenten vom Kessel bis zum Verteileranschluss (s. Anhang).

Herausgenommen wurden die „Sowieso“-Kosten, die also für alle Systeme gleich sind, wie die Sanierung der Wärmeverteilung, der Einbau einer übergeordneten Regelung, der GUV-Gasanschluss etc.. Die Kosten sind Teil einer separaten Kostenschätzung.⁵¹ Ebenfalls nicht enthalten sind die Kosten für den Umbau der Heizungsanlage Bauteil V (Hausmeisterwohnung). Hierfür ist ein Wandheizkessel mit 12 kW zur Deckung des Energiebedarfs vorgesehen. Die Kosten für diese Anlage sind ebenfalls für alle Systeme gleich und gehen nicht mit ein.

In die Berechnung gehen die technischen Daten des Flachkollektors Euro C20 mit selektiver Beschichtung und Antireflexglas der Fa. Wagner GmbH ein. Ein Kollektor mit einer Aperturfläche von 2,39 m² kostet 827 € (incl. MWSt.), die dazugehörige Aufständerung noch mal 82 €, so dass ein spezifischer Preis von 380 €/m² anzusetzen ist. Der Investitionskostenansatz für eine 20 m²-Anlage ist also: 7600 € für die Kollektoren und 10.600 € für die Montage, die Einbindung in das Heizsystem (Speicher) und die Steuerung.

Die daraus resultierenden 910 €/m² liegen im Bereich des Ansatzes⁵² für kleine Anlagen von 800 bis 1000 €/m² (incl. Planungskosten und MWSt.). Eine Mittelung über alle durch das Programm Solarthermie 2000 geförderten Anlagen (nur große Anlagen) ergibt einen Kostenanteil für die Kollektoren von 31,2 % und für den Unterbau von 11,1 %. Diese Zahlen ergeben für die veranschlagten Investkosten von 18.200 € einen Anteil von 385 €/m².

Die Kosten für die BHKW-Lösung müssen wegen der Vergleichbarkeit hochgerechnet werden, da die BHKW nicht 20 Jahre betrieben werden können (vgl. S. 40). Bei einer angenommenen Laufzeit von 5.500 h/a (Feld A14) ergibt sich die Gesamtlaufzeit der BHKW zu 110.000 h/20 a. Daher werden die Kosten für die Module, 5 kW 13.500 € und 50 kW 65.000 €, um 37,5 % erhöht (Zeile 48 und 49).

⁵¹ ibs ingenieurbüro schmitz GmbH, 40670 Meerbusch

⁵² BINE Informationsdienst, themeninfo III/02 „Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung“

Der Investitionskostenansatz für die Pelletkessel, 75.000 € für 300 kW und 85.000 € für 400 kW, ist konkreten Angeboten entnommen worden, die der Auftraggeberin vorliegen. Dort sind auch die berücksichtigten Nebenleistungen, z. B. für das Pelletlager, aufgelistet.

Da Pelletkessel nur äußerst beschränkt demontierbar sind, müssen für die Einbringung in den Heizkeller Vorkehrungen getroffen werden. So wird vorgeschlagen die Anlage in das Bauteil IV (Verwaltung) einzubauen. Dort kann auch im bisherigen Lagerraum für Öl ein genügend großes Pelletlager errichtet werden. Ein äußerer Zugang in den Heizungsraum ist erforderlich und muss über einen Schacht und einen Durchbruch der Kellerwand realisiert werden. Alle Baukosten werden durch die Landesförderung von Holzpelletheizungen nach der Holzabsatzförderungsrichtlinie des Landes NRW (Hafö) gedeckt. Die 35 %ige Unterstützung beläuft sich für die ausgewählten Kessel auf mehr als 20.000 €.

Die resultierenden kapitalgebundenen Kosten (nur bei den Pellet-Varianten kommen noch für die Lagernutzung 350 €/a dazu) berechnet die Excel-Tabelle mit einer vorgegebenen Laufzeit von 20 Jahren und einem Zinssatz pro Zahlungszeitraum von 4 % (Felder D52 und D53).

9.4. Jahresgesamtkosten

Zu den verbrauchs- und kapitalgebundenen Kosten wird noch die Position Wartung/Gebühren hinzuaddiert - sie beträgt zwischen 1.000 €/a für die Standard-Gas-Lösung (System 1) und 6.500 €/a für das große BHKW (System 4). Die Jahresgesamtkosten sind deutlich niedriger als die „früheren“ reinen Brennstoffkosten.

Aus dem nächsten Balkendiagramm (Abb. 54) wird deutlich, dass die Systeme 5 bis 7.2 besser abschneiden - eine offensichtliche Folge des günstigen Preises für Holzpellets. Die Kostensteigerung von System 1 nach System 2 ist durch die Solaranlage erklärbar, einer Brennstoffkosteneinsparung von 471 €/a stehen um 1.324 €/a höhere Kapitalkosten entgegen. Den gleichen Sprung erwartet man auch von System 5 nach System 6 (ebenfalls mit Solaranlage). Hier kommt aber noch eine weitere Änderung hinzu. Gaskessel (115 kW) und Pelletkessel (300 kW) werden durch einen 400 kW-Holzessel ersetzt (gilt auch für Systeme 7.1 und 7.2), so dass die Investitionsaufwendungen geringer werden. Interessant ist auch, dass beim Wechsel von einem auf zwei kleine BHKW die Ergebnisse bei den Systemen 3.1 und 3.2 umgekehrt zu denen der Systeme 7.1 und 7.2 sind. Die Systeme 3.2 und 7.2 bekommen für die doppelte Investitionssumme zwar den gleichen Betrag für den vermiedenen Strombezug gutgeschrieben, aber die erzeugte Heizwärme konnte mit Pellets günstiger als mit Gas bereitge-

stellt werden. Eine detailliertere Darstellung der Kostenaufteilung (Abb. 55) gibt weitere Aufschlüsse.

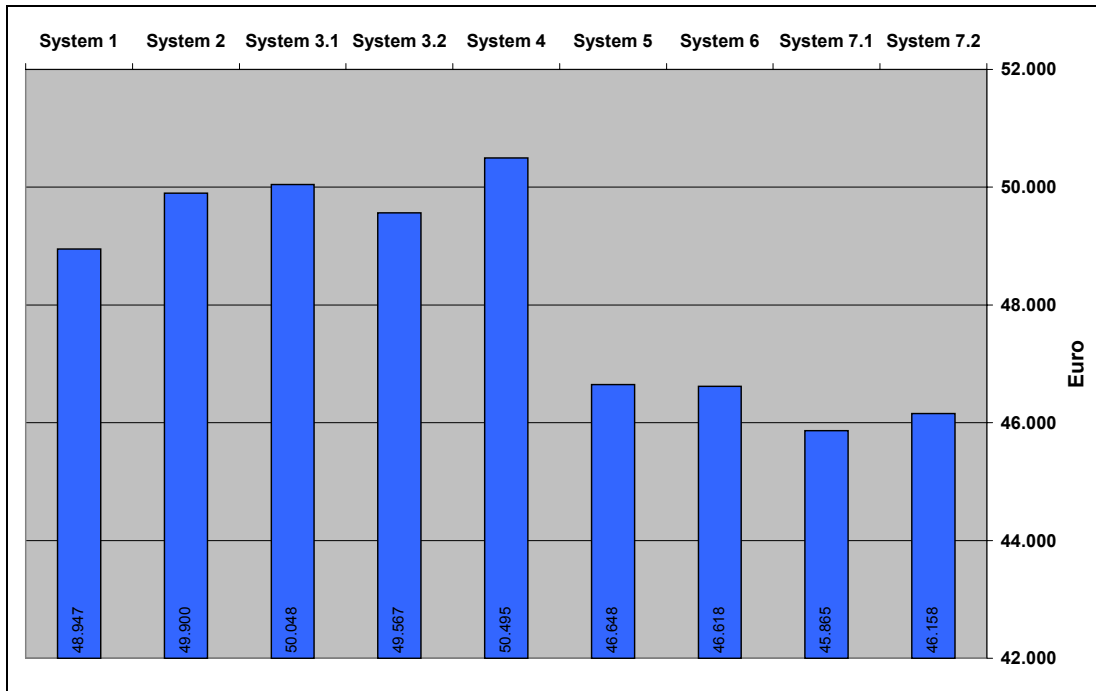


Abb. 54 Ergebnis der Vollkostenrechnung nach VDI 2067

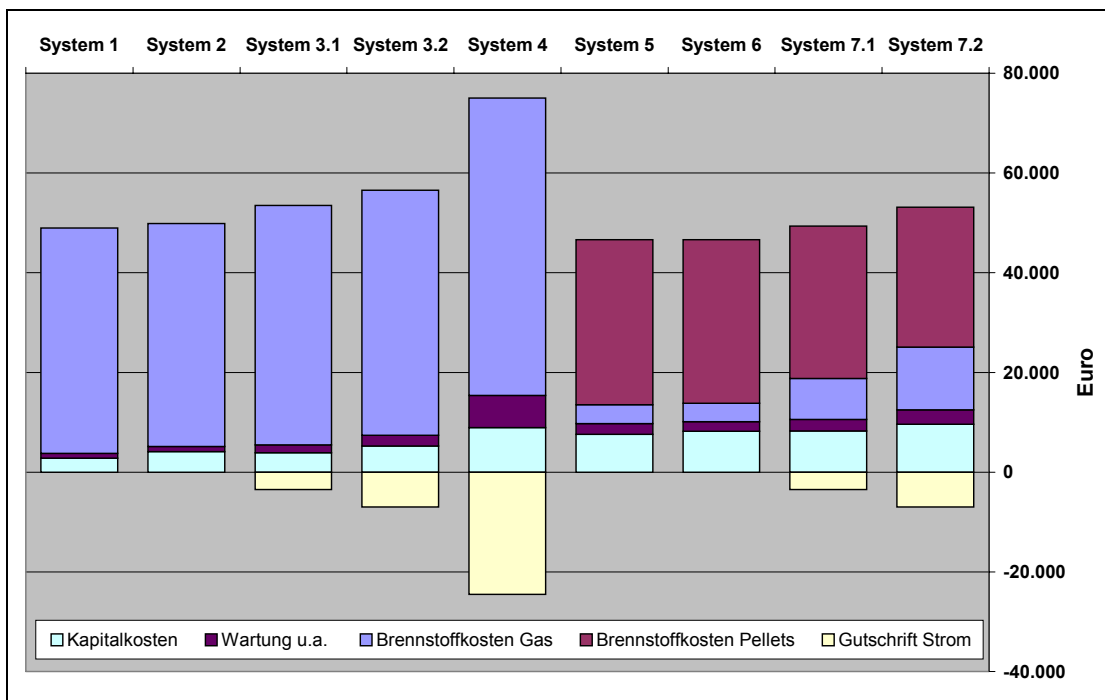


Abb. 55 Kostenaufteilung

Die blauen Säulen der Vollkostenrechnung in Abb. 54 entsprechen in der Abb. 56 der mittleren violetten Säule. Variationsrechnungen zeigen den Einfluss einzelner Parameter auf das Gesamtergebnis. Die blauen Säulen hier geben die Veränderung an, die sich bei einer Steigerung, bzw. Senkung, der Strombezugspreise um 20 % ergeben. Die beigen Säulen zeigen das gleiche für eine Veränderung der Kapitalkosten. Es ist auch der Einfluss der Anlagenwirkungsgrade berechnet worden, die grünen Säulen stehen für 2 Punkte bessere (linke Säule, da dann ja die Kosten sinken) und 2 Punkte schlechtere Wirkungsgrade (rechte). Die Brennstoffbezugskosten sind nur um jeweils 10 % in beide Richtungen verändert worden, wie aus den orange-braunen Säulen zu sehen ist, verändert dies das Gesamtergebnis aber stärker als die anderen Variationen.

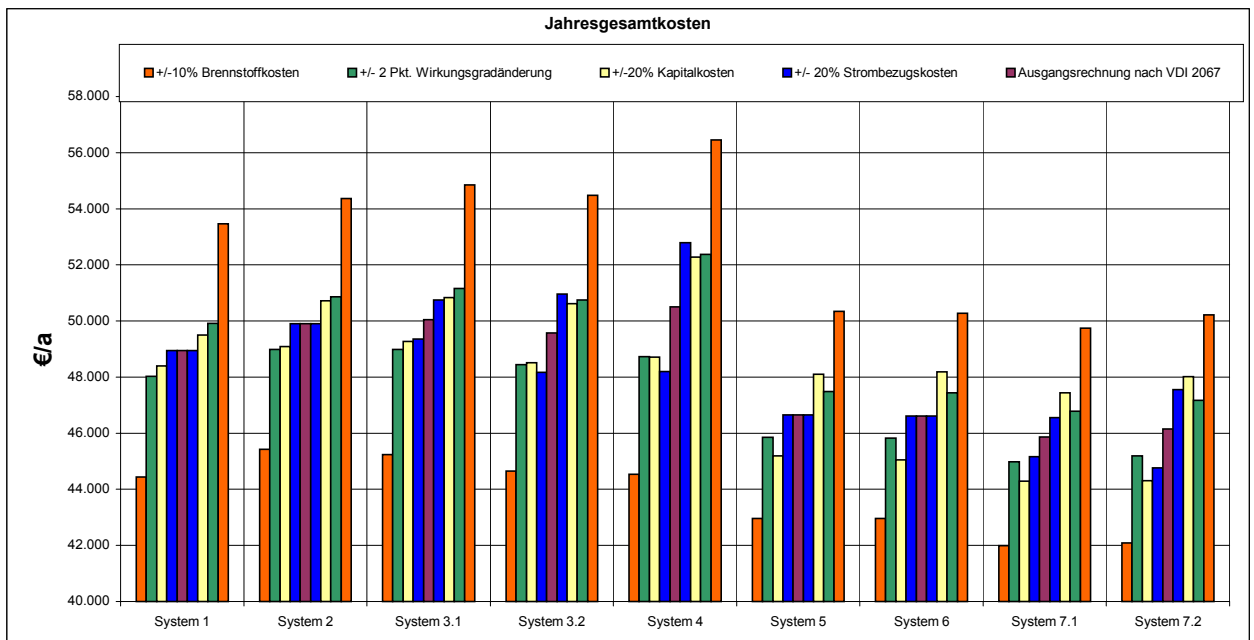


Abb. 56 Vollkostenrechnung mit veränderten Parametern

Für fünf der neun Systemvarianten sind einige dieser Abhängigkeiten in einem Diagramm (Abb. 57) dargestellt. Solche Sensitivitätsanalysen sollen insbesondere deutlich machen, dass kleine Änderungen der Ausgangsparameter das Ergebnis stark verändern können. Betrachtet man z. B. die als günstigste hervorgegangene Variante 7.1, dann zeigt sich, dass es für die Jahresgesamtkosten gleich ist, ob die Investitionskosten um 15 % steigen oder der Brennstoff um gut 3 % teurer wird.

In der Excel-Datei findet man in Zeile 61 eine sogenannte Bewertung. Dort ist die relative Veränderung gegenüber System 1 und nicht zum früheren Zustand ausgewiesen.

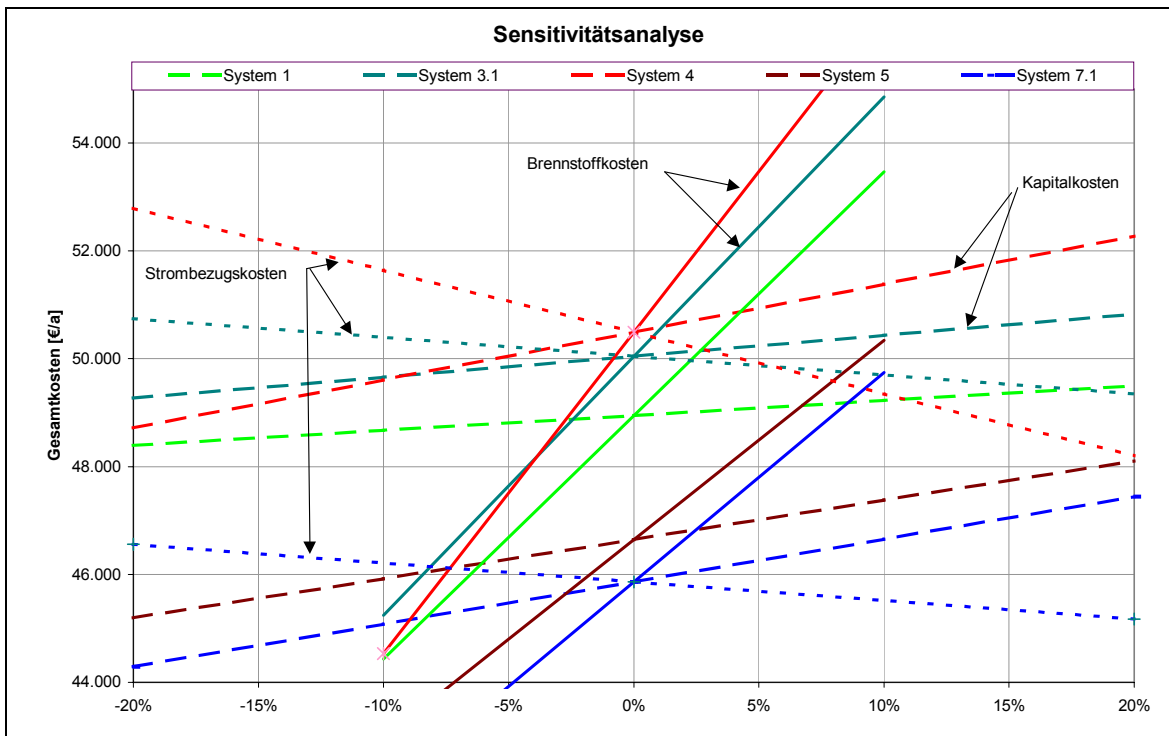


Abb. 57 Sensitivitätsanalyse für Investitionskosten, Brennstoffkosten und Strombezugskosten

Um eine Einschätzung zu bekommen, wie zukünftige wärmetechnische Sanierungsmassnahmen die Kostenrelation zwischen den einzelnen Varianten beeinflussen, wurde die Vollkostenrechnung für einen reduzierten Norm-Wärmebedarf durchgeführt. Der Wärmebedarf wird um 30 % geringer (vergl. S. 32, vorher: 532 kW, reduziert: 372 kW) angenommen. Daraus resultiert eine Abnahme des Jahresheizwärmebedarfs um 32,6 % auf 628,5 MWh/a.

Eine Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs lässt die Kosten für die Varianten 1 bis 4 um ca. 14.700 € sinken. Die schon vorher von den niedrigen Brennstoffkosten profitierenden Systeme 5 bis 7.2 sparen noch etwa 11.600 € ein, so dass die beiden Gruppen näher zusammenrücken. Die konstant bleibenden Kapitalkosten schlagen jetzt stärker zu Buche.

Das System 4 bleibt die jeweils unwirtschaftlichste Variante (50.495 €/35.543). Auch jetzt liegt für die Auslegung mit reduziertem Verbrauch die Variante 7.1 mit Pelletkessel und einem kleinen BHKW vorn (34121 €), diesmal aber gefolgt von der Variante 7.2 und der Standardlösung (System 1, 34.568 €).

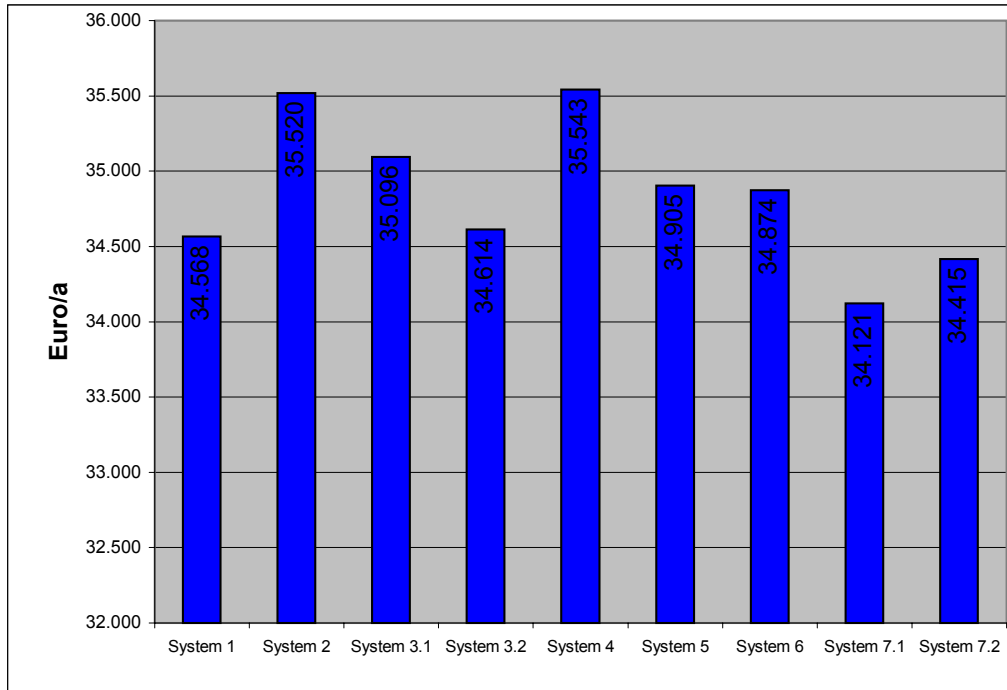


Abb. 58 Jahresgesamtkosten nach reduziertem Heizwärmebedarf

10. Umweltbilanz

Im Excel-Arbeitsblatt „Kostenermittlung nach VDI 2067.xls“ werden auch Berechnungen zu den CO₂-Emissionen - nicht aber zu sonstigen Schadstoffemissionen - der ausgewählten Systeme durchgeführt. Deshalb zuerst Bemerkungen über die sonstigen Schadstoffe. Die Energieverwertungsagentur Österreichs (E.V.A.) hat für eine 400 kW Heizlast eine Ökobilanzen mittels der GEMIS Datenbank erstellt⁵³, die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle wiedergeben:

	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NM VOC
Heizkessel Buderus G515-350	130	78,2	0	2,3	<3
Gasgebläsekessel Buderus GE 515-350, Brenner Weishaupt G 3/1-E	0	44,5	0	14,8	0
Gas Brennwertkessel Buderus GE 434 X-375	0	12,2	0	7,4	0
Pelletkessel K&S Schäfer Pyrot 300	27	81	24	6	<1

Tab. 16 Schadstoffemissionen verschiedener Heizanlagen

Diese Angaben wurden nicht in die Bewertung einbezogen. Bezüglich CO₂ weist das Excel-Programm die bisherigen Werte des Ist-Zustandes aus, d. h. für Wärme werden 779,9 und für Strom 95,6 t CO₂ jährlich emittiert. Für diese und alle weiteren Berechnungen liegen die CO₂-Emissionskennwerte des GEMIS-Programms⁵⁴ zugrunde. Hierbei handelt es sich um CO₂-Äquivalentwerte für den gesamten Prozess, d. h. die anderen Treibhausgase werden hinsichtlich ihrer Treibhauswirkung (ihres Erwärmungspotenzials) nach den Richtlinien des IPCC auf CO₂ umgerechnet.⁵⁵ Die Systemgrenze umschließt den gesamten Lebenszyklus, incl. Transporte und Materialvorleistungen, aber ohne Entsorgung. Die Faktoren sind dann:

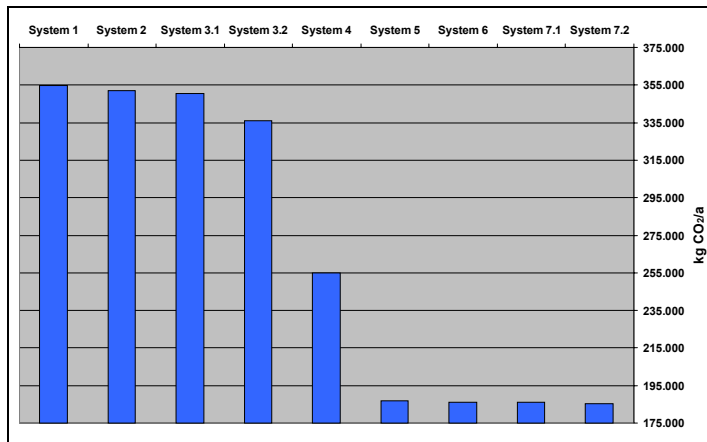
Ölheizungen	317,7 g/kWh
Gasheizungen	254,1 g/kWh
Holzpellets	70,1 g/kWh
Strommix	682,6 g/kWh

⁵³ Christian Rakos, Herbert Tretter: „Vergleich der Umweltauswirkungen einer Pelletheizung mit denen konventioneller Energiebereitstellungssysteme am Beispiel einer 400 kW Heizanlage“, Energieverwertungsagentur (E.V.A.), Wien, Februar 2002

⁵⁴ GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), 4.14, Sept. 2002, Öko-Institut e.V.

⁵⁵ Treibhausgase: CH₄ Methan (Faktor: 21), N₂O Distickstoffoxid (310), HFC Teilhalogenierte Kohlenwasserstoffe (140 ... 11.700), PFC Perfluorierte KW (6.500 ... 9.200) und SF₆ Schwefelhexafluorid (23.900)

Strommix heißt, die Werte sind gemittelt über die bundesdeutsche Kraftwerkslandschaft bzw. über das Deutsche Stromnetz. Es lassen sich auch lokale Emissionskennwerte für Strom einsetzen.



Im linken Bild sind die so ermittelten jährlichen CO₂-Emissionen dargestellt. Deutlich unterscheiden sich die Ergebnisse für die vier Lösungen mit Gas (links) und die vier Systeme mit Holz (rechts). Dazwischen liegt das System mit dem großen BHKW, hier gibt es eine Gutschrift für den eingespeisten Strom.

Abb. 59 CO₂-Emissionen im Vergleich

Etwas schwieriger ist die Bewertung der CO₂-Emissionsveränderung durch eine Kraft-Wärme-Kopplungsanlage. Es wurden die GEMIS-Daten für KWK-Strom incl. einer Gutschrift für die KWK-Wärme (allerdings auf Basis von Ölkesseln) herangezogen. Sie sind für die kleinen BHKW mit 150,7 und für das 50 kW-BHKW mit 101,9 g/kWh_{Strom} anzusetzen. Für die Abbildung 60 ist eine andere Methode gewählt worden. Es wird ein Emissionsfaktor für die gleichzeitige Erzeugung von 1 kWh Strom und 2 kWh Wärme (846 g/kWh_{Strom}) angenommen.

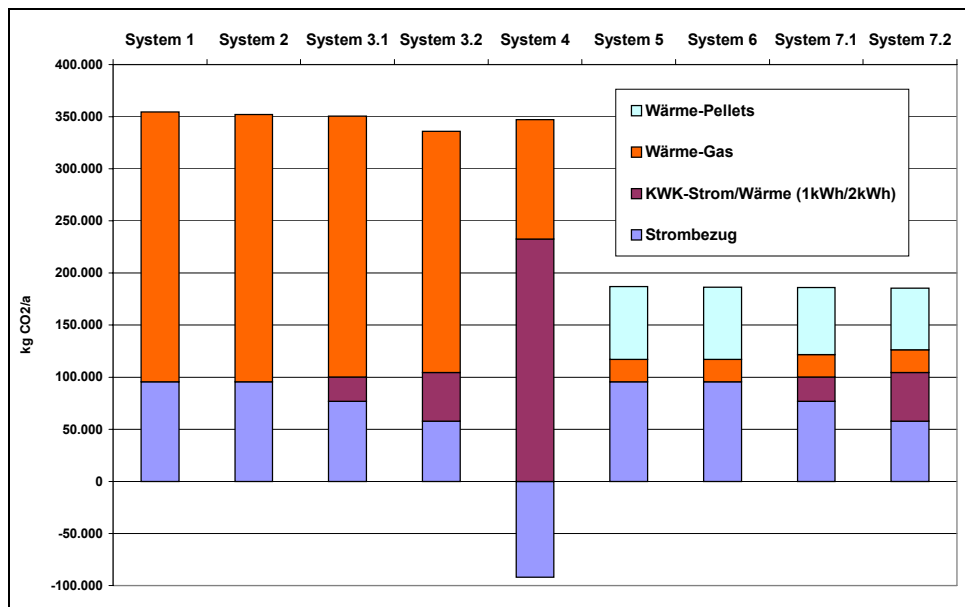


Abb. 60 Detaillierte Betrachtung der CO₂-Emissionen

11. Zusammenfassung

Entsprechend der Aufgabenstellung wurde eine systematische Ist-Analyse durchgeführt, die z. T. auf eigene Messungen basiert. Die Untersuchung erstreckte sich auf die sanierungsbedürftige Kesselanlage aus dem Jahre 1967 so wie auf das zu versorgende Gebäude. Der hohe spezifische Heizenergiekennwert von $369 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ war angesichts der Heizölkosten zu erwarten.

Die Energiesparpotenziale werden nur kurz angerissen. Für die wärmetechnische Gebäudesanierung (Vollwärmedämmsystem, Fenstererneuerung, Vermeidung von Wärmebrücken u. ä.) konnten thermografische Aufnahmen wichtige Hinweise geben. Die Auswirkungen solcher Dämmmaßnahmen werden mit einer Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN 4701 nachgewiesen. Diese Rechnung ist auch Grundlage für die Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs nach VDI 2067 Bl. 2 (noch nach alter Methodik).

Nach der Auswahl verschiedener Versorgungssysteme (7) wird anhand einer Vollkostenrechnung nach VDI 2067 eine Bewertung vorgenommen. Nach der Investitionskostenbestimmung werden die Parameter für den Wirkungsgrad, die Brennstoffkosten und für weitere Eingangsgrößen ermittelt, so dass eine belastbare Rechnung durchgeführt werden konnte.

Die Ergebnis der Vollkostenrechnung zeigt einen deutlichen Vorteil für Lösungen, die sich durch den Einsatz von Holz als Brennstoff auszeichnen. Durch die Variation einiger Parameter (Sensitivitätsanalyse), lässt sich deren Einfluss ermitteln.

Die betrachteten neun Systeme entsprechen alle dem Stand der Technik, so dass es nicht erstaunt, dass die Jahresgesamtkosten zwischen den Systemen nur um $\pm 5 \%$ von einem fiktiven Mittelwert abweichen, die Einsparungen gegenüber dem jetzigen Zustand aber gut 33 bis 40 % ausmachen (zum großen Teil tragen aber das neue Verteilsystem und die geplante Regelung dazu bei, die in der Vollkostenrechnung investiv nicht berücksichtigt sind). Eine sanierte Heizungsanlage kann darüber hinaus 59 bis 79 % der jetzigen CO_2 -Emissionen einsparen.

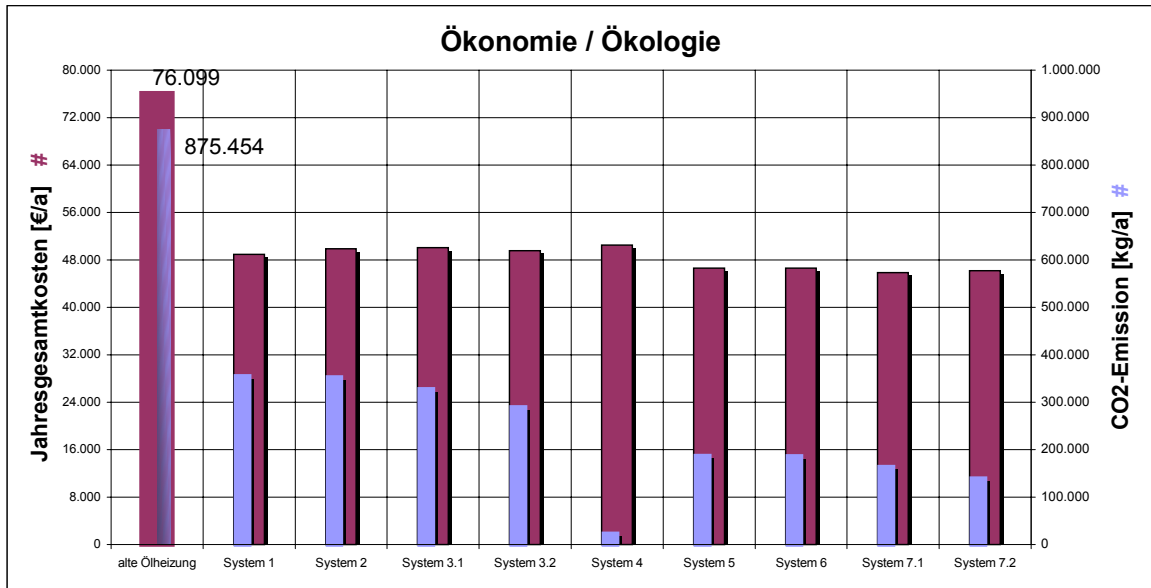


Abb. 61 Ökonomischer und ökologischer Vergleich der ausgewählten Varianten zum Ist-Zustand

Eine abschließende Betrachtung der ökonomischen Veränderungen des Anlagenbetriebes durch die Reduzierung des Jahresheizwärmebedarfs, z. B. durch Wärmedämmmaßnahmen, ergibt kein anderes Bild. Die Varianten mit und ohne Holznutzung rücken zwar wegen der höheren Investitionskosten für den Pelletkessel enger zusammen, das System mit Pelletkessel und einem kleinen BHKW hat auch dann die geringsten Jahreskosten.

Die Investitionsentscheidung sollte aber, insbesondere wegen der starken Abhängigkeit des wirtschaftlichen Betriebs vom Brennstoffpreis (vgl. Abb. 57), die zukünftige Entwicklung der Preise für Öl, Gas und Holz - so weit das geht - mit einbeziehen. Auch aus diesem Blickwinkel - insbesondere auch aus Gründen des Klimaschutzes - könnte ein Einstieg der Stadt Düsseldorf in die Objektversorgung mit Pelletkesseln mittlerer Leistung interessant sein.

12. Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abbildungen

- Abb. 1 Ansicht Hautgebäude (Bauteil I wie Bauteil II)
- Abb. 2 Wärmeverteilsystem, hier Kriechschacht
- Abb. 3 Heizöltank mit einem Gesamtfassungsvermögen von 148.000 Litern
- Abb. 4 Lageplan mit Wärmeverteilsystem (neu)
- Abb. 5 Hohe Oberflächentemperaturen der Kessel - hohe Abstrahlverluste
- Abb. 6 Verteilstationen im Nahwärmenetz (hier im Bauteil I)
- Abb. 7 Niedertemperaturkessel 290 kW (Buderus Logano)
- Abb. 8 Veraltete Verteilstationen im Nahwärmenetz (hier im Bauteil III)
- Abb. 9 Warmwasserspeicher (3000 l)
- Abb. 10 Lüftungsanlagen: Trunhalle / Schwimmbad
- Abb. 11 Lüftungsanlage für die Duschräume des Schwimmbads
- Abb. 12 Steuerung für die Heizzentrale (Bauteil III)
- Abb. 13 Jahresvergleich des Stromverbrauchs und der Kosten von 1991 bis 2001
- Abb. 14 Stromverbrauchsprognose
- Abb. 15 Jahresvergleich des Wärmeverbrauchs und der Kosten von 1992 bis 2001
- Abb. 16 Entwicklung der Gradtagzahl von 1982 bis 2002
- Abb. 17 Wärmebedarf in Abhängigkeit von der Außentemperatur
- Abb. 18 Bildschirmansicht des Auswerteprogramms für die Strommessung
- Abb. 19 Energieverbrauch Strom in kWh pro Tag
- Abb. 20 Messungenauigkeit bei der Strommessung
- Abb. 21 Wärmemengenmessung Heizzentrale Bauteil I (nur Bauteil I)
- Abb. 22 Wärmemengenmessung Heizzentrale Bauteil I (Gesamt, ohne Bauteil I)
- Abb. 23 Wärmebedarf (kWh/d) über Außentemperatur
- Abb. 24 Wärmemengenmessung Schwimmhalle / Turnhalle
- Abb. 25 Wärmebedarf Schwimmbad/Turnhalle (kWh/d) über Außentemperatur
- Abb. 26 Abhängigkeit des Wärmebedarfs von der Außentemperatur
- Abb. 27 Warmwasserzapfzeiten am 27.11.2002
- Abb. 28 Tageswarmwasserbedarf über Messperiode
- Abb. 29 Thermografieaufnahme Bauteil I

- Abb. 30 Thermografieaufnahme Schwimmhalle/Turnhalle
- Abb. 31 Eingangsbereich Schwimmhalle
- Abb. 32 Einfachverglasung im Treppenhaus
- Abb. 33 Reduzierung des Transmissionswärmebedarfs durch verschiedene Maßnahmen
- Abb. 34 Konzept einer Einzelraumregelung
- Abb. 35 Kessel für Holzpellets
- Abb. 36 Anlieferung
- Abb. 37 Schneckenaustrag
- Abb. 40 Lagerkonzept
- Abb. 41 Funktionsbild eines Blockheizkraftwerks
- Abb. 42 Abschätzung der spezifischen Kosten eines BHKW
- Abb. 43 Dachs der Fa. Senertec
- Abb. 44 Konstruktion der Tageslastgänge für die Einbindung eines BHKW
- Abb. 45 Lastprofil BHKW und Bedarf
- Abb. 46 Ermittlung der Eckdaten
- Abb. 47 Eigenerzeugung und Bezug Strom
- Abb. 48 Amortisationsrechnung BHKW
- Abb. 49 Aufständigung einer Solaranlage
- Abb. 50 Monatliche Ergebnisse des Simulationsprogramms GetSolar
- Abb. 51 Jahresdauerlinie
- Abb. 52 Ölpreisentwicklung 2001 - 2003
- Abb. 53 Vergleich Preisentwicklung Öl / Holzpellets
- Abb. 54 Ergebnis der Vollkostenrechnung nach VDI 2067
- Abb. 55 Kostenaufteilung
- Abb. 56 Vollkostenrechnung mit veränderten Parametern
- Abb. 57 Sensitivitätsanalyse für Investitionskosten, Brennstoffkosten und Strombezugskosten
- Abb. 58 Jahresgesamtkosten nach reduziertem Wärmebedarf
- Abb. 59 CO₂-Emissionen im Vergleich
- Abb. 60 Detaillierte Betrachtung der CO₂-Emissionen
- Abb. 61 Ökonomischer u. ökologischer Vergleich der ausgewählten Varianten zum Ist-Zustand

Tabellen

- Tab. 1 Abgasverluste aus Schornsteinfegerprotokoll und Betriebsstundenzählerdaten
- Tab. 2 Bezugsflächen der Bauteile und Bauteilevolumen
- Tab. 3 Daten aus Stromrechnungen von 1998 bis 2001
- Tab. 4 Heizölverbrauch von 1995 bis 2002
- Tab. 5 Vergleich von Energiekennzahlen für Schulen
- Tab. 6 Aufteilung der dreiphasigen Strommessung vom 12. Dezember 2002 bis 17. Februar 2003
- Tab. 7 Wärmebedarfsrechnung nach DIN 4701
- Tab. 8 Kosten für Dämmmaßnahmen
- Tab. 9 Veränderung des Transmissionswärmebedarfs (Angaben in kW) durch Gebäudesanierung
- Tab. 10 Marktangebot Pelletkessel
- Tab. 11 Kostenaufteilung BHKW
- Tab. 12 Mögliche Einspeise Vergütung für KWK-Strom
- Tab. 13 Marktangebot erdgasbetriebener Klein-BHKW
- Tab. 14 Solarertrag einer 20 m²-Anlage
- Tab. 15 Preisangebote Holzpellets
- Tab. 16 Schadstoffemission

13. Anhang

Auf einer beigefügten CD (s. unten) befinden sich alle Dateien, die in einem Zusammenhang mit dem Projekt stehen. Auf den nächsten drei Seiten ist der CD-Inhalt genau aufgelistet.

Die CD fehlt aus rechtlichen Gründen hier.

Rückfragen an den Autor der Studie unter: verheyen@uni-duisburg.de



CD-Inhalt

(Fettgedruck: Verzeichnis, bzw. Unterverzeichnis,
Kursivdruck: Erläuterungen)

Die CD enthält 16 Ordner mit 255 Dateien, die Datengröße beträgt 356 MB.

Bericht

Bilder

(17 jpg-Dateien)

Massenberger Kamp.doc
Massenberger Kamp.pdf
Vorabexemplar.doc

Bilder

(23 jpg-Dateien)

Dateien - pdf

Kostenermittlung +10Brenn.pdf
Kostenermittlung +20Kap.pdf
Kostenermittlung +20Stromb.pdf
Kostenermittlung +2Wirk.pdf
Kostenermittlung -10Brenn.pdf
Kostenermittlung -20Kap.pdf
Kostenermittlung -20Stromb.pdf
Kostenermittlung -2Wirk.pdf
Kostenermittlung nach VDI 2067.pdf
Massenberger Kamp.pdf
Preise Solarkollektor Wagner.pdf
VDI2067BI2_1.pdf
VDI2067BI2_2.pdf
VDI2067BI2_3.pdf
Verluste Verteilsystem.pdf

Dateien - sonst

Lageplan.jpg
Lageplan.wmf

Dateien - Excel

Aufstellung_Heizkörper-Fenster.xls
gemis_results.xls
Gtz.xls
Kessel-Bauteil1_Verluste.xls
Kostenermittlung nach VDI 2067.PDF
Kostenermittlung nach VDI 2067.xls
Kostenermittlung nach VDI 2067_fest.xls
Lastgang_Stundenwerte_BHKW.xls
Pelletpreise.xls
VDI2067Battl2.xls
VDI2067Battl2_fest.xls
WW-Bedarf-gem.xls
WW-Tagesdiagramme.xls

Dateien - Word

Investitionskosten020701.doc
Mas Tabelle Kosten_Varianten.doc
Massenberger Kamp.doc
Solarkollektor_Ergebnisse.doc

Messung_Heizung

(Durchführung Stadt Düsseldorf)

MassWaerme-Bauteil-021219.xls
MassWaerme-Bauteil-021230.xls
MassWaerme-Bauteil-030113.xls
MassWaerme-Bauteil-030116.xls
MassWaerme-ges-021219.xls
MassWaerme-ges-021230.xls
MassWaerme-ges-030113.xls
MassWaerme-ges-030116.xls
MassWaerme-Schwimm-03-01-31.xls
MassWaerme-Schwimm-03-02-20.xls

Messung_Strom

Messzeitraum (insgesamt): 12.12.02 - 17.02.03
Nicht vollständig: 12.12.02, 03.01.03, 17.02.03
Kurze Unterbrechung: 19.12.02, 16.01.03

Lan-Dateien

68 Meßdateien (Typ: *.lan)

pdf-Dateien

Allgemein-06.02.03-6min.pdf
Bauteil-1-06.02.03-3min.pdf
Bauteil-2-06.02.03-3min.pdf
Gesamt-06.02.03-15min.pdf
Gesamt-06.02.03-3min.pdf
Gesamt-06.02.03-6min.pdf
Gesundheitsamt-06.02.03-3min.pdf
Küche-06.02.03-3min.pdf
Turn-Schwimmhalle-06.02.03-3min.pdf
Verwaltung-06.02.03-3min.pdf

Gesamt (3 min, 6 min und 15 min Darstellung), weitere in 3-min-Auflösung:

Allgemein, Bauteil 1, Bauteil 2, Gesundheitsamt, Küche, Turn-Schwimmhalle, Verwaltung

#wandler.exe Auswerteprogramm

Messung_Warmwasser

(Durchführung Stadt Düsseldorf)

WW-Rohdaten.xls
WW-Tagesdiagramme.xls

Thermografie

Fotografie

28 jpg-Dateien *(die Fotos finden Entsprechung in Thermografie)*

Thermografie

44 bmp-Dateien *(43 thermografische Aufnahmen, 1 Temperaturskala)*

WORD 7.0

Am Massenberger Kamp - Foto-Word 7.doc
Am Massenberger Kamp - Thermo-Word 7.doc
Thermo-43_WinWord.doc