

Pelletanlagen im kommunalen Bereich am Beispiel der Stadt Düsseldorf

Dipl.-Phys. Ing. Othmar Verheyen

Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
an der Universität Duisburg-Essen

Lotharstr. 1-21, 47048 Duisburg

Tel.: 0203/379-2921; Fax.: 0203/379-3085

Email: verheyen@uni-duisburg.de

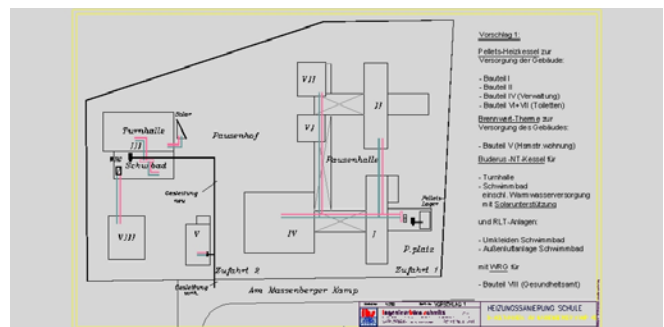
1. Einleitung

Das Institut für Energie- und Umweltverfahrenstechnik in der Fakultät für Ingenieurwissenschaften der Universität Duisburg-Essen hat in 2003 eine Machbarkeitsstudie für verschiedene Energieversorgungskonzepte für die Sonderschule Am Massenberger Kamp 45 in Düsseldorf durchgeführt. In diesem Vortrag werden die Ergebnisse der im Auftrag der Landeshauptstadt Düsseldorf, Amt für Gebäudewirtschaft (Energiemanagement / Projektsteuerung) erstellten Studie und die Umsetzung des ausgewählten Konzeptes vorgestellt. Dabei wird auch kurz auf die Ist-Analyse eingegangen und die Rahmenbedingungen für Holzpellettheizung und Kraft-Wärme-Kopplung diskutiert. Abschließend wird die Wirtschaftlichkeit und die Umweltauswirkungen (CO₂-Emissionen) mittels einer Vollkostenrechnung nach VDI 2067 bewertet.



Der Sonderschulkomplex Am Massenberger Kamp 45 besteht aus acht im Jahre 1966 erbauten Einzelobjekten in einschaliger Bauweise, teilweise noch mit Einfachverglasung. Neben den Klassentrakten gibt es ein Verwaltungstrakt mit Aula und Küche, zwei Toilettengebäude, eine Hausmeisterwohnung und ein weiteres Pavillon mit zwei Sonderklassen sowie ein Schwimmbad (Beckenoberfläche: 90m²) mit Turnhalle und entsprechenden Nebenräumen.

Das Objekt ist nahwärmeversorgt (Wärmeverteilsystem in den Kellerräumen und in Kriechschächten zwischen den Gebäuden, Schwimmbad/Turnhalle wurde im Zuge der Sanierung angebunden). Alle Übergabestationen und die regelungstechnische Ausstattung im gesamten Objekt waren nicht mehr funktionsfähig. In den Klassenräumen waren nur vereinzelt Heizkörper-Thermostatventile vorhanden.



In zwei Heizzentralen, für den Nahwärmebereich und für Schwimmbad/Turnhalle, wurden aus dem Jahr 1967 stammende Buderus-Ölkessel mit einer max. Leistung von 235200 kcal/h betrieben. In dem Gebäude Schwimmbad/Turnhalle sind zusätzlich Schwimmbadtechnik und Lüftungsanlagen untergebracht. Der dort vorhandene Niedertemperatur-Kessel (290 kW Wärmeleist., Buderus Logano GE 515, Öl) Kessel wird für Notfälle und Spitzenlast weiter eingesetzt. Warmwasser wird über einen 3000 Liter-Speicher zur Verfügung gestellt.

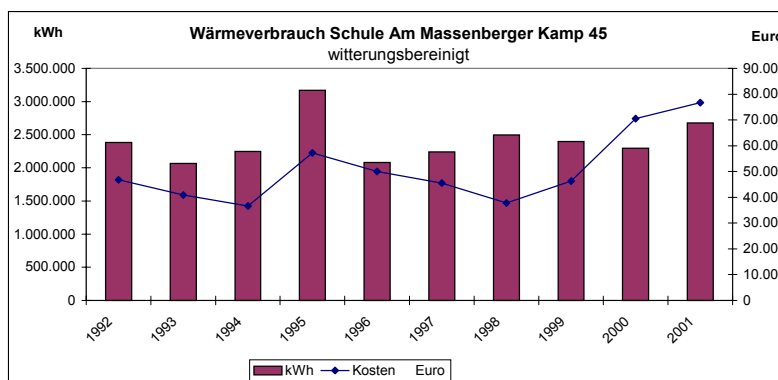


2. Ist-Analyse

Da es verschiedene Angaben über die Flächen gab, wurden eine Plausibilitätskontrolle und eigene Berechnungen durchgeführt. Nach DIN 277 beträgt die Bruttogrundfläche (incl. Keller) 6653 m², die Nettogrundfläche (beheizte Fläche) 4719 m² und die reine Nutzfläche 2975 m².

Die Analyse der vier letzten Abrechnungen für Elektrizität ergab einen durchschnittlichen Verbrauch von 135.000 kWh pro Jahr und spezifischen Kosten von 0,105 €/kWh. Die abgenommene Arbeit hat bei etwa 10 % Schankung eine leicht steigende Tendenz.

Im Keller des Verwaltungsgebäudes befindet sich ein Heizöltank mit einer Füllmenge von 148.000 Litern. 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 $H_u = 10$ 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.



Nach VDI 3807 Bl. 1 war der Wärmeverbrauch des untersuchten Objekts im Mittel (1995 - 2001) witterungsbereinigt 2.454.800 kWh/a (bez. auf Würzburg: 2.772 MWh/a).

Mit Hilfe von Energiekennzahlen können verschiedene Objekte mit ähnlicher Nutzung verglichen werden. Die Kennzahlen werden durch das Verhältnis des Energieverbrauchs zu verschiedenen Bezugsgrößen

ßen, 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
Agas GmbH ¹ - 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 ²	249	43	kWh/m ² a
SIA-Kommission 380/1 „Energie im Hochbau“ ³	194	14	kWh/m ² a

Folgende Daten im Vorgriff auf die Berechnung nach VDI 2067, Blatt 2:

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

Über die umfangreichen messtechnischen Aktivitäten vor Ort und die Berechnungen zur Ermittlung der Grundlagen wird in diesem Vortag nicht näher - nur Ergebnisse - eingegangen. Die Studie kann als pdf-Datei von der Internetseite des Instituts für Energie- und Umweltverfahrenstechnik (<http://www.uni-duisburg.de/FB7/FG02/index.html>) heruntergeladen werden. Neben der Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN 4701 wurde der voraussichtliche Jahresheizwärmebedarf nach VDI 2067 Blatt 2 ermittelt. Um für geplante Wärmeschutzmaßnahmen eine Planungshilfe zu haben, wurde eine Thermografieanalysen von der Verbraucherberatung Duisburg durchgeführt. Bei Außentemperaturen unter 0° C waren die Bedingungen ideal.

Die niederspannungsseitige Strommessung ergab für die Leistung nachts ca. 15 kW und Tags Spitzen von etwa 50 bis 70 kW vor der Mittagszeit. 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. 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.

¹ Verbrauchskennwerte 1996, Forschungsbereich der ages GmbH, Münster (es gibt eine neue Auflage)

² Staatliche Hochbauverwaltung, Finanzministerium Baden-Württemberg „Energiebericht 1991-92“

³ SIA-Dokumentation 80, ab S. 82, (Schweiz)

Wärmemengenmessungen wurden von der Stadt Düsseldorf durchgeführt. Das Nahwärmesystem wird mit 150 bis 280 kW Wärme versorgt. Die Wärmemengenmessung in der Heizzentrale Schwimmbad/Turnhalle ergab einen von der Außentemperatur unabhängigen Wärmebedarf. Während in den Ferien bzw. am Wochenende eine Durchschnittsleistung von etwas mehr als 40 kW abgefragt wurde (mit zwei Ausnahmen von 109 und 125 kW), gab 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.

Um die energetische Situation eines Objekts und die Wirtschaftlichkeit einer Investition beurteilen zu können, ist die Ermittlung des Jahresheizwärmebedarf unabdingbar. 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, wurde der Jahresheizwärmebedarf nach VDI 2067 Blatt 2 bestimmt. [Dieser Richtlinienenteil 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 befand sich in Überarbeitung, war aber noch nicht ganz fertig.⁴

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 machen. Der Einfluss einer neuen Regelung und der Gebäudesanierung (neue Fenster, Fassadendämmung) lassen sich so vorausberechnen. Das dafür in Anhang 2 der VDI 2067 Bl. 2 enthaltene Formblatt wurde als rechenaktive Excel-Datei erstellt.

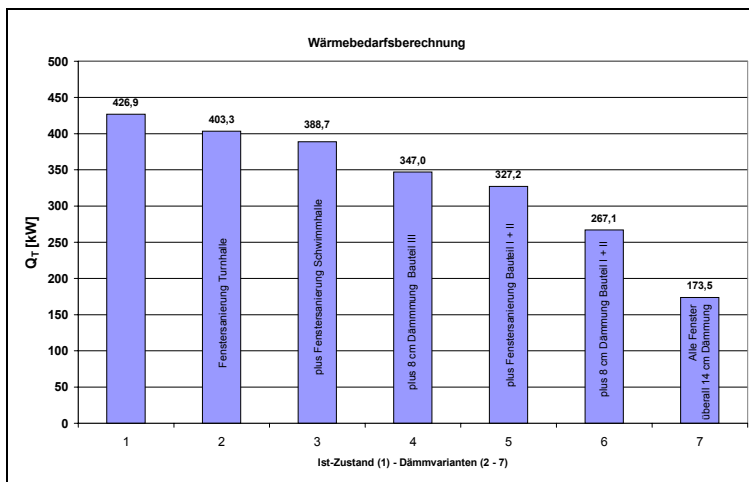
Im oberen Teil werden die Grunddaten für das Klima, Norm-Wärmebedarf, Norm-Innen-temperatur und Nutz- sowie Fensterfläche, eingegeben. Berechnet wird hier nur der flächenbezogene Wärmebedarf. Es folgen verschiedene Korrekturfaktor für den zusätzlichen Lüftungswärmebedarf durch Nutzerverhalten, den eingeschränkten Heizbetrieb, die Ausstattung mit Regelgeräten, die geänderten Innentemperaturen. In einem Zwischenschritt erhält man den Jahresheizwärmebedarf ohne Berücksichtigung des äußeren bzw. inneren Wärmeeinflusses. Bei der Fremdwärmenutzung gehen die Wohn- und Fensterflächen, das Heizsystem, das Nutzerverhalten, die Trägheit des Gebäudes und die regelungstechnische Ausstattung mit ein.

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.

⁴ 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

Abschließend wurde der Warmwasserbedarfs durch die Auftraggeberin messtechnisch erfasst. An Werktagen streut der Bedarf zwischen 500 und 2500 Liter pro Tag und der Wärmebedarf zwischen 30 und 130 kWh pro Tag. Nach einer Bewertung aller Parameter kann der Jahreswarmwasserbedarf auf 23.440 kWh abgeschätzt werden. Dies ist weniger als 1 % des Heizenergiebedarfs des Objekts.

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. Es wurde die Änderung des Wärmebedarfs nach VDI 4701 für verschiedene Stufen einer Gebäudesanierung berechnet. Dies wurde benötigt, um sicher zu stellen, dass die neuen Heizungskonzepte auch bei verringertem Wärmebedarf ihre Effizienz nicht einbüßen. Die geplanten Maßnahmen der Stadt Düsseldorf, werden den Nutzwärmebedarf um 30 % reduzieren. Ein kompletter Wärmeschutz (Dach, Kellerdecke, Außenwände und Fenster) und die geregelte Lüftung können Einsparungen von ist zu 80 % erbringen.⁵



Für die Beurteilung, wie wirtschaftlich die vorgeschlagenen Varianten für eine neue Heizwärmeversorgung nach einer Gebäudesanierung zu betreiben sein werden, wird ein „zukünftiger“ Normwärmebedarf von 372 kW angenommen, d. h. Fenstersanierung der Schwimm- und Turnhalle und der Komplettsanierung der Klassentrakte.

3. Innovative Versorgungskonzept (Vorschläge)

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

In diesem Vortrag werden die Vorschläge zur Sanierung des Verteilsystems, der hydraulischen Einbindung der Komponenten und der (Zonen-) Regelung des Gesamtsystems nicht näher erläutert. [Die Verluste des Verteilsystems werden nach der Sanierung mit 2 % angenommen, d. h. etwa 10,5 kW. Eine Verlustrechnung nur für die Nahwärmerohre mit MathCad ergibt etwa 3,5 kW⁶]

Nur zwei Beispiele zeigen die Bedeutung dieser Systemkomponenten für die Energieeinsparung auf: Eine hydraulische Optimierung kann selbst bei Neuanlagen Energieeinsparungen von 4 bis 7 % bedeu-

⁵ Prof. K. Petzold, U. Meinhold „Energetische Untersuchung an einem Schulgebäude“, KI Luft- und Kältetechnik 11/1999, S. 589 - 594

⁶ Rechnung mit dem Programm MathCad von cand.ing. Darius Wagner

ten. Auch drehzahlgeregelte Umwälzpumpen setzen ein großes Einsparpotenzial frei, da die Leistungsaufnahme mit der 3. Potenz zum Volumenstrom steigt.

Die Variante 1 ist als Bezugsvariante mit einem Gas-Brennwertkessel mit 400 kW (neu) und einem Gas-Niedertemperaturkessel (aus dem Bestand)⁷ gewählt worden. Sie stellt eine nach heutigen Regeln der Technik verbreitete Lösung für Sanierungsfälle dar. Das System 2 ist nur noch mit einer Solaranlage zur Teilabdeckung des Warmwasserbedarfs in der Turn- und Schwimmhalle erweitert worden.

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

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 zu große BHKW kann mit etwa 100 kW therm. auch einen nennenswerten Heizwärmeanteil liefern, so dass der bereits vorhandene 290 kW-Kessel durch einen zweiten - gleich großen - ergänzt wird.



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 vorhandenen 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. 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).

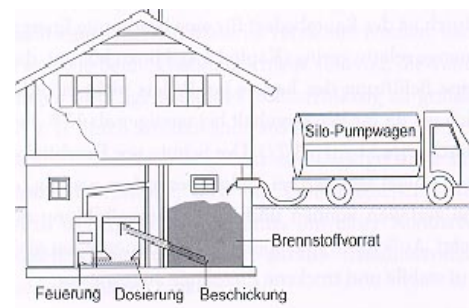
Es folgen einige allgemeine Angaben zu effizienten Heiztechnologien, deren energiewirtschaftliche Rahmenbedingung sowie zur Umweltrelevanz.

⁷ Der Buderus-Logano-GE-515-Niedertemperaturkessel mit 290 kW soll einen neuen Gasbrenner bekommen

Die quasi CO₂-Neutralität (das Programm GEMIS⁸ ermittelt brutto - also inklusive Verarbeitung und Transport - 70,1 g CO₂/kWh) des Brennstoffes Holz, seine Regeneration bzw. die gute Angebotslage sowie die Speicherfähigkeit 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 Wärmemarkt sprechen.

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.⁹ 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).

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.¹⁰ Bei Pelletkesseln ist die Anlieferung mittels Silowagen, die automatische Beschickung des Kessels und die Ascheentsorgung deutlich unproblematischer (bei letzterer gab es allerdings anfängliche Staubprobleme).



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.¹¹ 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.¹² 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

⁸ GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), 4.14, Sept. 2002, Öko-Institut e.V.

⁹ Landesinitiative Zukunftsenergien NRW „5 Jahre Holzabsatzförderung in Nordrhein-Westfalen - Entwicklungen und Perspektiven“, 06-2003

¹⁰ 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.

¹¹ „Neue Energien für's Land“ aus energie pflanzen I/2003, S.17

¹² M. Kraleman, G. Höher „Qualitätsbrennstoff Holz“, Seminar der Bioenergie Niedersachsen

Qualität/Service und Preis-/Leistungsverhältnis können keine Angaben gemacht werden) von Pelletkesseln mit automatischer Beschickung in diesem Leistungsbereich sind:

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
Ökothem-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. Marktangebot Pelletkessel¹³

Der ausgewählte Kessel, Pyrot 350 bzw. Pyrot 400, ist im Vergleich zu einem Erdgaskessel gleicher Leistung deutlich schwerer und größer. Die Einbringung in einen Heizungskeller und das notwendige große Lager für den Brennstoff bedingten die Verlegung des Heizraums in das Verwaltungsgebäude, hier stand genügend Kellerfläche zur Verfügung, da dort der 160.000 Liter-Öltank abgebaut werden konnte.

Bei Brennstofflagerräumen mit mehr als 15.000 kg müssen gewisse Bestimmungen - insbesondere hinsichtlich der Feuerbeständigkeit (F90) - beachtet werden. Die Dimensionierung erfolgte so, dass zwei Silowagenladungen hineinpassen, d. h. etwa 42 t, bzw. 64 m³. Das ca. 8 m lange Lager wurde mit einem Schneckenausstrag (s. Abb. 37) versehen. Der 300 kW-Kessel benötigt bei Vollast 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.

Neben einem Holzpelletkessel wurde ein Mini-BHKW (Blockheizkraftwerk) installiert. Umfassende Informationen zur Technologie der Blockheizkraftwerke sind im Leitfaden für den Anwender von Horst

¹³ 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

Meixner zu finden.¹⁴ Die nächste Tabelle bzw. Abbildung geben Daten, die von der ASUE¹⁵ ermittelt wurden, wieder.¹⁶

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, Probetrieb und Abnahme	3 %

Tab. 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. Ein 5 kW-Modul kostet demnach 3100 €/kW, ein 50 kW-Modul entsprechend 1270 €/kW. Für die durchgeführten Berechnungen wurden aber konkrete Angebotspreise berücksichtigt.

Tab. Kostenaufteilung BHKW

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 darstell



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. Dachs der Fa. Senertec

Um die Einbindung der beiden Dachs-BHKW-Module und die wirtschaftlichen Auswirkungen besser abschätzen zu können, wurden Ergebnisse aus einem älteren Excel-Programm¹⁷ präsentiert und kom

¹⁴ BINE-Informationdienst: Horst Meixner, Rudolf Stein „Blockheizkraftwerke: Ein Leitfaden für den Anwender“, 5 aktualisierte Aufl., Köln - TÜV-Verlag 2002, ISBN 3-8249-0640-6

¹⁵ Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

¹⁶ ASUE und Energierreferat der Stadt Frankfurt - BHKW-Kenndaten 2001,

¹⁷ © Andreas Lehmann, Othmar Verheyen (kann nicht zur Verfügung gestellt werden)

mentiert. Darin wird insbesondere die Auswirkung der elektrischen Leistungsabgabe (von ein bzw. zwei Klein-BHKW mit je 5 kW und einem 50 kW-BHKW) in das Lastprofile des Objekts dargestellt (z. B. ob Strom ins Netz eingespeist werden muss). Schließlich wird berechnet, wie viel Strom und Wärme (jeweils in kWh/d) mit der erforderlichen Gasmenge produziert werden kann.

4. Wirtschaftlichkeit

Eine Kostenermittlung wurde nach VDI 2067 durchgeführt. Das rechenaktive Excel-Programm 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.

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. In die Felder F5 und H5 kann der voraussichtliche Jahresheizenergiebedarf und der Energiebedarf für das Brauchwarmwasser eingegeben werden.

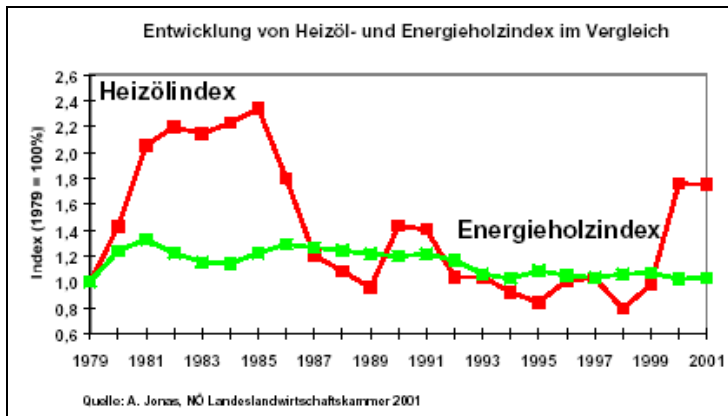
In den Zeilen 12 bis 14 wird der jeweilige Anlagenanteil an der Jahresheizarbeit vorgegeben - dies lässt sich später z. B. nach Brennstoffkosten einregeln (Anlage mit niedrigen Kosten bekommt den höchsten Anteil). In allen Varianten (nicht System 4) dient der vorhandene Kessel zur Abdeckung der Spitzenlast,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

Der Anlagenwirkungsgrad 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.

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.

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 einerseits 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).

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 Abbildung¹⁸ links von Jonas, Österreich 2001, zeigt.

Neben der erwarteten Preisentwicklung, spricht für den Brennstoff Holz die relativ günstige Versorgungssicherheit und die Umsetzung der Wertschöpfungskette im lokalen Rahmen (heimischer Energieträger). Der angesetzte spezifischen Brennstoffpreis für Holzpellets wurde aus Angeboten mit 3,32 ct/kWh ermittelt (alle Angaben beziehen sich auf H_u).

Für die Berechnung der kapitalgebunden 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.

Herausgenommen wurden die „Sowieso“-Kosten, die also für alle Systeme gleich sind, wie die Sanierung der Wärmeverteilung, der Einbau einer übergeordneten Regelung, der Gasanschluss etc. (diese Kosten sind Teil einer separaten Kostenschätzung¹⁹).

Für die Berechnung der Solaranlage gehen die technischen Daten des Flachkollektors Euro C20 mit selektiver Beschichtung und Antireflexglas (Wagner GmbH) ein. Der spezifischer Preis beträgt mit Aufständigung 380 €/m². Investitionskostenansatz für eine 20 m²-Anlage: 7600 € Kollektoren und 10.600 € Montage, die Einbindung in das Heizsystem (Speicher) und die Steuerung. Die resultierenden 910 €/m² liegen im Bereich des Ansatzes²⁰ 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 %. Daraus ergibt sich für die veranschlagten Investkosten von 18.200 € einen Anteil von 385 €/m².

¹⁸ 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

¹⁹ ibs ingenieurbüro schmitz GmbH, 40670 Meerbusch

²⁰ BINE Informationsdienst, themeninfo III/02 „Große Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung“

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

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. Im Keller des Verwaltungsgebäudes kann im bisherigen Lageraum 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 Holzpellettheizungen 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 Lagerung 350 €/a dazu) berechnet die Excel-Tabelle mit einer vorgegebenen Laufzeit von 20 Jahren und einem Zinssatz pro Zahlungszeitraum von 4 %.

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).

Aus dem nächsten Balkendiagramm (links) 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-Holzkessel 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 bereitgestellt werden. Eine detailliertere Darstellung der Kostenaufteilung (rechtes Bild) gibt weitere Aufschlüsse.

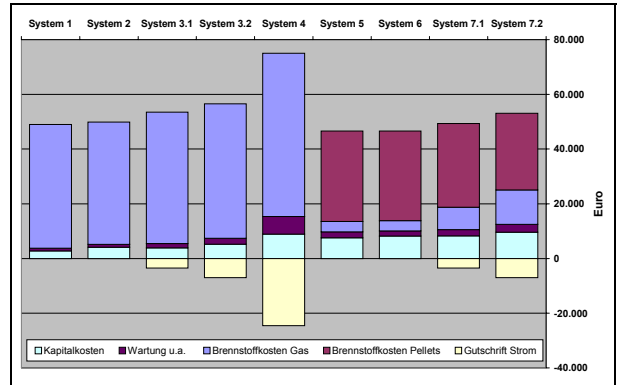
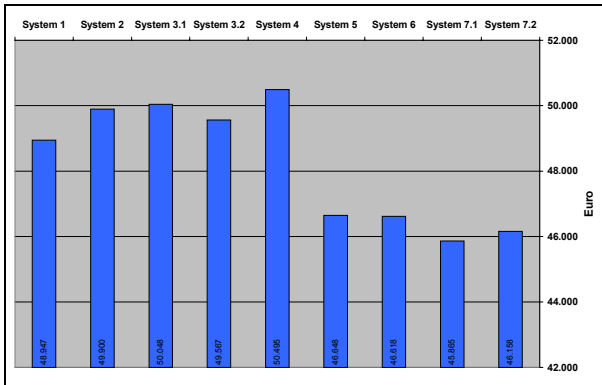


Abb. Ergebnis der Vollkostenrechnung (VDI 2067) **Abb.** Kostenaufteilung

Die blauen Säulen aus der Vollkostenrechnung (oben rechts) entsprechen in der unteren Abb. 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 beige 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.

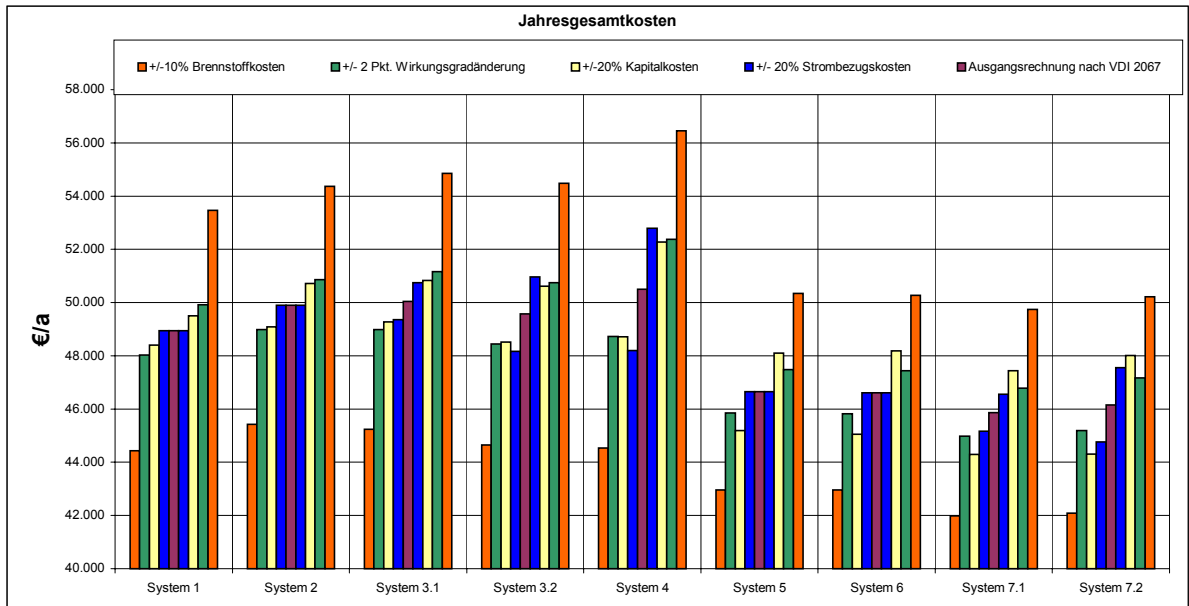


Abb. Vollkostenrechnung mit veränderten Parametern

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.

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 €).

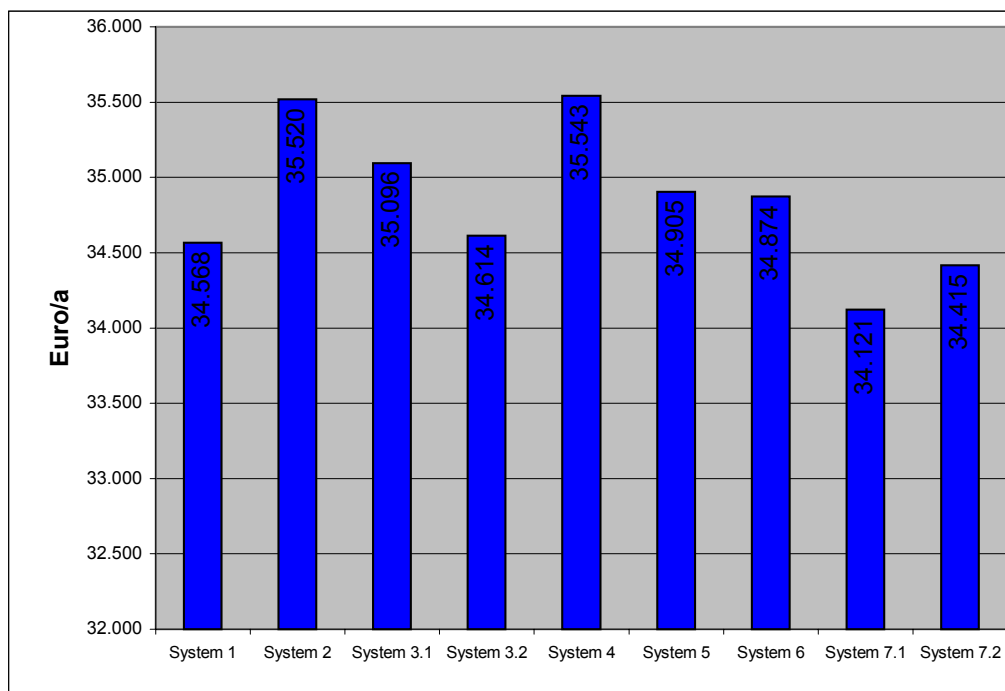


Abb. Jahresgesamtkosten nach reduziertem Heizwärmebedarf

5. Umweltbilanz

Im Excel-Arbeitsblatt „Kostenermittlung nach VDI 2067.xls“ wurden auch Berechnungen zu den CO₂-Emissionen - nicht aber zu sonstigen Schadstoffemissionen - der ausgewählten Systeme durchgeführt. Deshalb zuerst Bemerkungen über die sonstigen Schadstoffe. Die Energieverwertungsgesellschaft Öster

reichs (E.V.A.) hat für eine 400 kW Heizlast eine Ökobilanzen mittels der GEMIS Datenbank erstellt²¹, die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle wiedergeben:

	SO ₂	NO _x	Staub	CO	NMVOG
Heizölkessel 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

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-Programms²² 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.²³ Die Systemgrenze umschließt den gesamten Lebenszyklus, incl. Transporte und Materialvorleistungen, aber ohne Entsorgung. Die Faktoren sind dann:

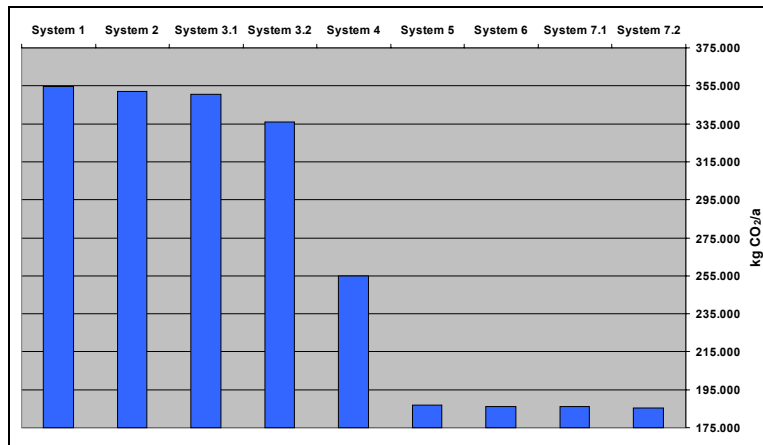
Ölheizungen	317,7 g/kWh
Gasheizungen	254,1 g/kWh
Holzpellets	70,1 g/kWh
Strommix	682,6 g/kWh

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

²¹ 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

²² GEMIS (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), 4.14, Sept. 2002, Öko-Institut e.V.

²³ 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)



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.

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.

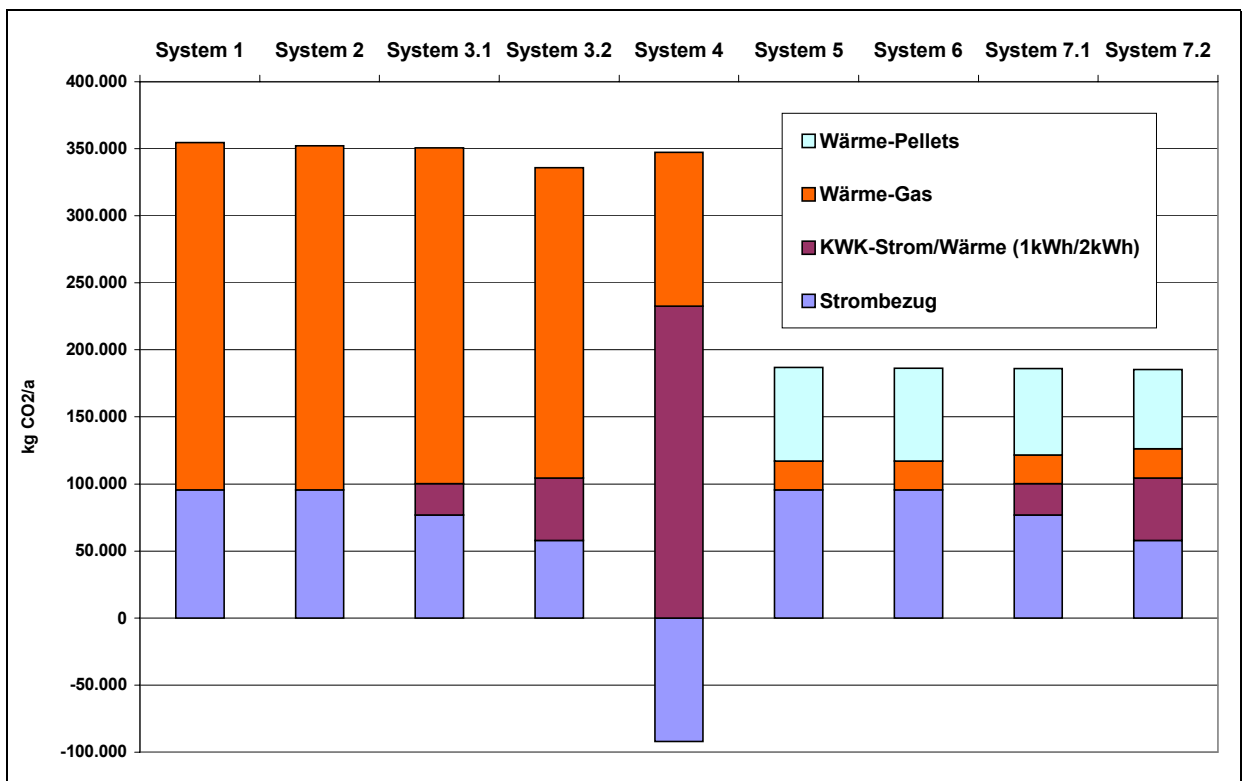


Abb. Detaillierte Betrachtung der CO₂-Emissionen

6. Umsetzung

Das ausgewählte Konzept wurde zügig umgesetzt, d. h. Einbau der Hauptkomponenten in den Herbstferien 2003. Im folgenden einige fotografische Impressionen.²⁴



²⁴ © ibs Ingenieurbüro Schmitz GmbH, Meerbusch

7. Zusammenfassung

Die sanierungsbedürftige Kesselanlage der Sonderschule Am Massenberger Kamp in Düsseldorf sollte durch ein innovatives Versorgungssystem ersetzt werden. Der hohe spezifische Heizenergiekennwert von $369 \text{ kWh/m}^2_{\text{BGFa}}$ und technische Ausfälle zwangen zum Handeln. Für die Machbarkeitsstudie wurde zunächst eine gründliche Ist-Analyse durchgeführt.

Nach der Auswahl der verschiedenen Versorgungssysteme (neun) wurde anhand einer Vollkostenrechnung nach VDI 2067 eine Bewertung vorgenommen. Mit der Festlegung der Parameter Investitionskosten, Wirkungsgrad, Brennstoffkosten u.s.w. ergab die Vollkostenrechnung deutliche Vorteile für Lösungen, die sich durch den Einsatz von Holz als Brennstoff auszeichnen. 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 früheren Zustand aber gut 33 bis 40 % ausmachen (wesentlich bedingt durch das neue Verteilungssystem und die neue Regelung - Investition nicht berücksichtigt). Eine sanierte Heizungsanlage kann darüber hinaus 59 bis 81 % der jetzigen CO_2 -Emissionen einsparen.

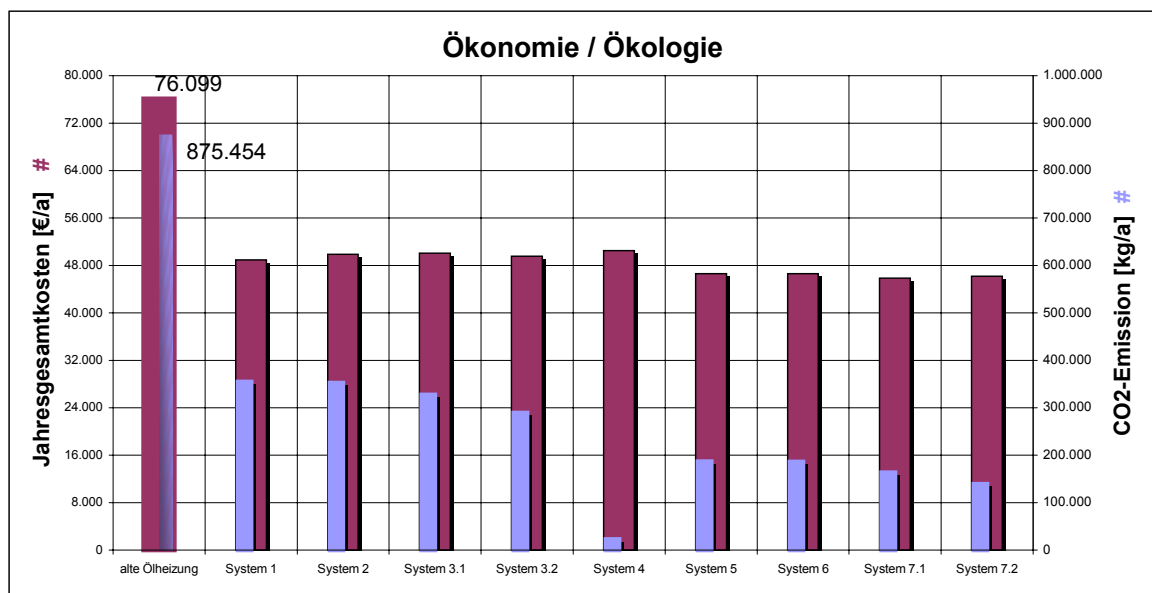


Abb. Ökonomischer und ökologischer Vergleich der ausgewählten Varianten zum Ist-Zustand

Die Entscheidung für den Brennstoff Holz, machte den Weg für eine zukunftsfähige (Brennstoffpreise) und klimaschonende (CO_2 -neutral) Wärmeversorgung frei. Das Konzept - 300 kW-Holzpelletkessel und Mini-BHKW - wurde zügig umgesetzt. Erste Erfahrungen aus der letzten Heizperiode lassen erkennen, dass nach weiterer Optimierung der Regelung, z. B. Laufzeitverlängerungen von Pelletkessel und BHKW, die Zielwerte der Studie erreicht werden können. Das vorgestellte Beispiel für erneuerbare Energien, soll andere Kommunen anregen, schon im Vorgriff auf die EU-Gebäuderichtlinie, effiziente Technologien stärker zu berücksichtigen. Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!