

bericht

Dr. Klaus-Dieter Clausnitzer

Biomasseheizungen für Wohngebäude
mit mehr als 1.000 m² Gesamtnutzfläche

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung
(Aktenzeichen: Z 6 – 10.07.03-05.14 / II 13 -80 01 05-14
und



Bremer Energie-Konsens GmbH, Bremen,
gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt beim
Autor.

bericht

Dr. Klaus-Dieter Clausnitzer

Biomasseheizungen für Wohngebäude
mit mehr als 1.000 m² Gesamtnutzfläche

unter Mitarbeit von:

Dipl.-Ing. Martin Hellwig

Dipl.-Ing. Nadine Hoffmann

cand. ing. Dominique Frerichs

Bremen, April 2007



Inhalt

1.	Einleitung	13
2.	Modell und Ergebnisse.....	15
2.1	Modellaufbau.....	15
2.2	Modellannahmen.....	16
2.3	Ergebnisse der Vollkostenvergleiche	21
3.	Hintergrund: Technik und Umwelt.....	46
3.1	Brennstoffe	46
3.2	Emissionen.....	51
3.3	Anlagentechnik.....	63
3.4	Brennstofflieferung und Lagerung der Brennstoffe	80
3.5	Bauliche Maßnahmen	86
3.6	EnEV und primärenergetische Bewertung	87
4.	Hintergrund: Ökonomische Daten.....	89
4.1	Investitionsbeträge	89
4.2	Energiepreise	106
4.3	Betriebskosten	111
4.4	Finanzielle Förderung	113
4.5	Umlagefähigkeit der Investitionen bei Modernisierungen auf die Mieter.....	116
4.6	Realisierung und Finanzierung durch Contracting	119
5.	Zusammenfassung.....	121
6.	Abkürzungsverzeichnis und Definitionen	137
7.	Literatur	138

Anhang

Anlage 1	Kennzahlen geförderter Holzhackschnitzelanlagen in Hessen
Anlage 2	Kennzahlen geförderter Holzpelletsanlagen in Hessen
Anlage 3	Detaillierte Informationen zu den Modellgebäuden
Anlage 4	Investitionsbeträge für konventionelle Heizsysteme
Anlage 5	Gewählte Investitionsbeträge pro Modellgebäude und Heizungsvariante

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Gebäude 1, Jahresvollkosten	24
Abbildung 2	Gebäude 2, Jahresvollkosten	24
Abbildung 3	Gebäude 3, Jahresvollkosten	27
Abbildung 4	Gebäude 4, Jahresvollkosten	27
Abbildung 5	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer	29
Abbildung 6	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer	30
Abbildung 7	Gebäude 3, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer	30
Abbildung 8	Gebäude 4, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer	31
Abbildung 9	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sicht Mieter	32
Abbildung 10	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sicht Mieter	32
Abbildung 11	Gebäude 3, Jahresvollkosten, Sicht Mieter	33
Abbildung 12	Gebäude 4, Jahresvollkosten, Sicht Mieter	33
Abbildung 13	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise + 50 %	35
Abbildung 14	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise + 50 %	35
Abbildung 15	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise - 50 %	36
Abbildung 16	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise - 50 %	36
Abbildung 17	Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „Differenzierte Energiepreise (s.o.)“	37
Abbildung 18	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise „fossile Energiepreise stark steigend“	38
Abbildung 19	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Zins 8 %	39
Abbildung 20	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Zins 8 %	40
Abbildung 21	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag + 30 %	41
Abbildung 22	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag + 30 %	41
Abbildung 23	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag - 30 %	42
Abbildung 24	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag - 30 %	42
Abbildung 25	Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität „Biomasse mit Bundesförderung“	44
Abbildung 26	Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität „Biomasse mit Bundesförderung“	44
Abbildung 27	Heizwert von Hackschnitzeln in Abhängigkeit vom Wassergehalt	49
Abbildung 28	Entwicklung der Gesamtstaubemission in Deutschland	56
Abbildung 29	Aschekasten an einem Biomassekessel	64
Abbildung 30	Heizhaus, 100 kW, mit unterirdischem HHS-Lager	65
Abbildung 31	HHS-Brennstofflager-Abdeckung.	65

Abbildung 32 HHS-Brennstofflager-Abdeckung. MFH, 140-kW.	66
Abbildung 33 Abdeckung eines HHS-Brennstofflagers, Wohnsiedlung.....	66
Abbildung 34 Zuführung der HHS über Förderschnecke aus Lagerraum in Kessel	68
Abbildung 35 Brennstoffaustrag: Rührwerk mit Blattfeder	70
Abbildung 36 Schnitt durch einen Holzpellets-Schrägboden-Lagerraum	71
Abbildung 37 Schrägboden-Pelletslager mit Förderschnecken-Kanal.....	72
Abbildung 38 Aufstellung einer 145-kW-Holzpellets-Anlage und des Brennstofflagers in einem Industriebetrieb	73
Abbildung 39 Heizhaus/ Brennstofflager einer 450-kW-Holzpelletsanlage (aufeinander gestellte Fertiggaragen) (Schnitt)	74
Abbildung 40 Heizhaus/Brennstofflager in aufeinander gestellten Fertiggaragen. 450 kW; Scharnstein (Österreich).....	74
Abbildung 41 Stroh-Häckselverbrennung mit Ballenauflöser.....	76
Abbildung 42 Stroh-Vergaseranlage für Rundballen	76
Abbildung 43 Stroh-Verbrennung: Prinzipskizze Scheibenteiler-Feuerung	76
Abbildung 44 Stroh-Verbrennung: Prinzipskizze eines Zigarrenbrenners	77
Abbildung 45 Anlagen-Hersteller für Strohpellets	78
Abbildung 46 Grundriss zur Lage eines Lagerraum für Holzpellets.....	82
Abbildung 47 Grundriss eines Pellets-Lagerraums.....	82
Abbildung 48 Möglichkeit der Verbindung mehrerer Keller zum Pelletslagerraum.....	84
Abbildung 49 Kompakt-Heizzentrale inkl. Pelletslager	85
Abbildung 50 Container-Heizzentrale inkl. Pelletslager für Anlagen > 100 kW.	85
Abbildung 51 Kostenstruktur von Holzhackschnitzel-Anlagen.....	97
Abbildung 52 Kostenstruktur von 26 HHS-Anlagen in der Steiermark.....	99
Abbildung 53 Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln	107
Abbildung 54 Holzpelletpreise 2005	107
Abbildung 55 Holzpelletpreise 2006	108
Abbildung 56 Jahresvollkosten, Gebäude 2	129
Abbildung 57 Jahresvollkosten, Gebäude 3	129
Abbildung 58 Jahresvollkosten, Gebäude 4	130
Abbildung 59 Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „Alle Energiepreise +50%“	132
Abbildung 60 Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „differenzierte Energiepreise“.	133
Abbildung 61 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität „fossile Energiepreise stark steigend“	133

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Merkmale der Modellgebäude	17
Tabelle 2	Nutzungsdauer, Instandsetzung und Wartung nach [VDI 2067 Bl. 1]	19
Tabelle 3	Gebäude 1, Jahresvollkosten	22
Tabelle 4	Gebäude 2, Jahresvollkosten	23
Tabelle 5	Gebäude 3, Jahresvollkosten	25
Tabelle 6	Gebäude 4, Jahresvollkosten	26
Tabelle 7	Eigenschaften von Holzpellets nach DIN 51731 und DIN <i>plus</i>	47
Tabelle 8	Merkmale von Stroh im Vergleich zu Fichtenholz.....	51
Tabelle 9	Genehmigungsvorschriften für die Verfeuerung von fester Biomasse	52
Tabelle 10	Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Feststofffeuerungen nach 1.BImSchV, letzte Fassung: 2003	53
Tabelle 11	Geplante Emissionsgrenzwerte für ausgewählte Brennstoffe nach [Entw 1.BImSchV 2007].....	54
Tabelle 12	Feinstaub-Emissionen aus Holzfeuerungen und Straßenverkehr in D.....	57
Tabelle 13	Feinstaub-Grenzwerte der 22. BImSchV für (Atem-)Luft seit 1.1.05	58
Tabelle 14	Strohfeuerung: Brennstoffform und Anlagentechnik.....	75
Tabelle 15	Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen in NRW.....	90
Tabelle 16	Investitionsbeträge von ProKlima 2005/2006 geförderter Pelletsanlagen ..	91
Tabelle 17	Investitionsbeträge geförderter Holzpelletsanlagen von 30 bis 50 kW (Marktanreizprogramm des Bundes)	92
Tabelle 18	Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen nach Fachliteratur	94
Tabelle 19	Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen	95
Tabelle 20	Investitionsbeträge von Holzhackschnitzel-Anlagen, Förderung NRW	95
Tabelle 21	Investitionsbeträge geförderter HHS-Anlagen von 25 bis 100 kW (Marktanreizprogramm des Bundes)	98
Tabelle 22	Investitionsbeträge von HHS-Anlagen in der Steiermark	100
Tabelle 23	Investitionsbeträge von HHS-Anlagen nach Fachliteratur	101
Tabelle 24	Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Holzhackschnitzelanlagen	102
Tabelle 25	Investitionsbeträge für Strohfeuerungsanlagen laut Fachliteratur	103
Tabelle 26	Investitionsbeträgen bezüglich baulicher Maßnahmen, Lagerräumen und Heizhäusern laut Fachliteratur.....	105
Tabelle 27	Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Nebenanlagen	106
Tabelle 28	Verwendete Energiepreise	110



Tabelle 29	Schornsteinfegergebühren für Biomasse-Anlagen	111
Tabelle 30	Berücksichtigte Förderkonditionen in der Sensitivitätsanalyse „Förderung“	116
Tabelle 31	Untersuchte Gebäude und Heizungsvarianten	122
Tabelle 32	Endenergiebedarf (ohne Hilfsenergie) für die Gebäude und Heizungsvarianten	123
Tabelle 33	Checkliste für die Eignung von Wohngebäuden > 1.000 m ² für Biomasseheizung	126
Tabelle 34	Wesentliche Eingangsdaten der Vollkostenrechnungen.....	127
Tabelle 35	Beispiel: Jahresvollkosten, Gebäude 2.....	128



1. Einleitung

Das **Ziel** des Forschungsprojekts bestand in der Herstellung einer Übersicht zu technischen, ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten von Biomasseheizungen für Mehrfamilienhäuser mit mehr als 1.000 m² Gesamtnutzfläche. Innerhalb der Biomasse wurde eingegrenzt auf Holzpellets, Holzhackschnitzel, Strohpellets und Strohballen.

Relevanz erhält das Forschungsprojekt aus vier Gründen:

1. den Anforderungen der EU (siehe unten),
2. den seit 2004 erheblich gestiegenen Preisen insbesondere von Heizöl und Erdgas,
3. dem Klimaschutz durch Nutzung von Biomasse,
4. der Option aus dem Koalitionsvertrag der CDU- und SPD-Bundestagsfraktionen, in der Legislaturperiode 2006-2010 ein „regeneratives Wärmenutzungsgesetz“ auf den Weg zu bringen.

Die Anforderungen der Europäischen Union (EU) sind noch relativ unbekannt, weil ihre Umsetzung in deutsches Recht noch nicht vollzogen wurde. Deshalb werden sie hier kurz erläutert:

In ihrer Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden [EU 2002-91] fordert die EU von den Mitgliedsstaaten eine nationale Umsetzung folgender Vorgabe:

„Bei neuen Gebäuden mit einer Gesamtnutzfläche von mehr als 1.000 m² gewährleisten die Mitgliedsstaaten, dass die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit alternativer Systeme, wie

- *dezentraler Energieversorgungssysteme auf der Grundlage von erneuerbaren Energieträgern,*
- *KWK,*
- *Fern-/Blockheizung oder Fern-Blockkühlung, sofern vorhanden,*
- *Wärmepumpen, unter bestimmten Bedingungen,*

vor Baubeginn berücksichtigt wird.“

In der Erläuterung der Gründe im Vorspann der EU-Richtlinie wird in Punkt 12 ausgeführt:

„Da die Einsatzmöglichkeiten alternativer Energieversorgungssysteme in der Regel nicht voll ausgeschöpft werden, sollte die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit alternativer Energieversorgungssysteme geprüft werden: dies kann einmalig durch den betreffenden Mitgliedsstaat anhand einer Studie erfolgen, die zur Aufstellung einer Liste von Energieeinsparungsmaßnahmen für durchschnittliche örtliche Marktbedingungen unter Einhaltung von Kosteneffizienzkriterien führt. Vor Baubeginn können gegebenenfalls spezifische Studien angefordert werden, wenn die Maßnahme bzw. die Maßnahmen als durchführbar gilt bzw. gelten.“ [EU 2002-91]

In Deutschland wird die Umsetzung der EU-Richtlinie durch das Energieeinspargesetz [EnEG 2005] geschehen. Im [EnEG 2005] gibt es inzwischen nach § 5 Abs. 5 die Möglichkeit, durch Rechtsverordnung Anforderungen auch auf die Einsetzbarkeit alternativer Systeme zu beziehen. Diese Anforderungen sollen in der Novellierung der Energieeinsparverordnung festgelegt werden. Die Novelle wird voraussichtlich noch 2007 in Kraft treten.

Für die nahe Zukunft ist zu erwarten, dass die EU die Anforderung bezüglich der Prüfung des Einsatzes regenerativer Energie auch auf Gebäude mit weniger als

1.000 m² Gesamtnutzfläche erweitert: Im „Aktionsplan für Biomasse“ der Europäischen Kommission [EU 2005] wird darauf hingewiesen, dass die EU in 2006 darüber entscheiden wird, ob und wie die Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden verändert werden soll, um u.a. auch bei der Errichtung von Gebäuden unter 1.000 m² und bei der Modernisierung für eine Prüfung des Einsatzes erneuerbarer Energien zu sorgen.

Zur Bearbeitung der Aufgabenstellung wurden die folgenden wissenschaftlichen **Methoden** angewendet:

- Dokumentenanalyse,
- Experteninterviews und Exkursion nach Österreich und einigen deutschen Anlagen,
- ingenieurwissenschaftliche Berechnungen,
- Vollkostenvergleiche nach der Methodik der VDI 2067 Bl. 1.

Vollkostenvergleiche wurden in der vorliegenden Untersuchung für zwei Mehrfamilienhaus-Neubauten und zwei Mehrfamilienhäuser im Bestand vorgenommen, die jeweils mehr als 1.000 m² Gesamtnutzfläche aufweisen. Hierbei wurden jeweils mehrere Varianten von Heizsystemen untersucht.

Besonderer **Dank** gilt den Mitgliedern des begleitenden Arbeitskreises des Forschungsvorhabens

- Herr Univ.-Doz. Ass. Prof. Dipl.-Ing. Dr. August Raggam, Lebring/Österreich (Mitgründer und Inhaber des Biomasse-Kesselherstellers KWB),
- Herr Baudirektor Dipl.-Ing. Hans-Dieter Hegner, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Berlin,
- Herrn Dr. Hansen, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow,

sowie Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, insbesondere Herrn Dipl.-Ing. Horst Schettler-Köhler sowie Herrn Dipl.-Ing. Guido Hagel, sowie - last but not least – Herrn Dr. Rasmussen und Herrn Langer von der Bremer Energie Konsens GmbH für die kritische Begleitung, aufmunternde Worte und viele nützliche Tipps.



2. Modell und Ergebnisse

2.1 Modellaufbau

Das übliche Verfahren zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Investitionen, die den Energieverbrauch beeinflussen, ist die Vollkostenbetrachtung nach [VDI 2067 Bl. 1] und dort die Annuitätenmethode unter Berücksichtigung von Ersatzbeschaffungen. Sie wird deshalb auch im Rahmen dieser Untersuchung angewendet. Dabei werden Investitionen entsprechend der jeweiligen rechnerischen Nutzungsdauer der Komponenten in jährliche kapitalgebundene Kosten umgerechnet.

Zusätzlich zur Vollkostenbetrachtung, bei der die Sichtweise dem eines volkswirtschaftlich idealen Akteurs entspricht, werden die Kosten aus der Sicht des Hauseigentümers und aus der Sicht des Mieters betrachtet.

Es werden vier Modellgebäude betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass der Jahres-Heizwärmebedarf durch einen guten Wärmeschutz bereits auf einem akzeptablen Niveau liegt ($q_h \leq 65 \text{ kWh}/(\text{m}^2[A_N]*a)$).

Da eine Vollkostenbetrachtung stets auf einer Vielzahl von Annahmen beruht, wurden zu wichtigen Einflussgrößen Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

In der Vollkostenmethodik nach [VDI 2067 Bl. 1] sind Planungskosten nicht enthalten. An Planungskosten ist von 15 % der Investitionsbeträge inkl. MwSt. und Nebenkosten auszugehen, wenn die technische Planung nicht durch eigenes Personal der Wohnungsgesellschaft geleistet wird.

In diesem Forschungsbericht wurde bei der Ermittlung der Vollkosten die Umsatzsteuer in Höhe von 19 % einbezogen. Hintergrund ist, dass Wohngebäude über 1.000 m² häufig von Wohnungsgesellschaften errichtet oder modernisiert werden, die nicht vorsteuerabzugsberechtigt sind.

Strohfeuerungsanlagen haben wir letztlich nicht in die Vollkostenberechnungen einbezogen: Für Wohngebäude > 1.000 m² sind hier nicht genügend positive Erfahrungen vorhanden. Die Nutzung von Stroh für die Beheizung von Wohngebäuden steht noch am Anfang und die Probleme sind nicht gering. Auch im Ausland gelten Strohfeuerungsanlagen der Leistungsklassen für Wohngebäude nicht als ausgereift: So heißt es in [Rauchfangkehrer 2007], dass Kleinf Feuerungsanlagen für Stroh und Energiekorn einen erheblichen Entwicklungsbedarf haben. Zurzeit läuft ein Forschungsvorhaben der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg (Österreich) und des Austrian BIO Energy Centres zur Erforschung der technischen Möglichkeiten für die thermische Nutzung von Energiekorn und Strohpellets an Versuchsanlagen im Praxisbetrieb zu Emissionen, Anlagennutzungsgraden, Langzeiteignung (Korrosionsanfälligkeit) und zum Aufwand für Betrieb und Wartung [Rauchfangkehrer 2007].

Wenn Stroh als Brennstoff in Zukunft für die Beheizung von großen Wohngebäuden eine Rolle spielen könnte, dann - bis auf Ausnahmefälle - in Form von Strohpellets. Für Strohballen und -häcksel sind aufgrund der Platzansprüche für die Brennstofflagerung, der Brandlasten, des Transportaufwands sowie der Bedienungsansprüche keine nennenswerten Marktanteile für Wohngebäude > 1.000 m² zu erwarten – unabhängig von der Lösung feuerungstechnischer Probleme (Verschlackung, Korrosion), der Emissionsproblematik von Stroh sowie der Kosten.

Allerdings muss man auch sehen, dass die Pelletierung von Biomasse ein enormer Wachstumsmarkt in Deutschland und in der Europäischen Union ist. Für die mittlere Zukunft um 2015 ist schon jetzt zu erwarten, dass etliche technische Probleme gelöst sind und pelletierte Biomasse nicht nur in Form von Holzpellets für die Beheizung von wohl mehreren Prozenten der Gebäude genutzt wird.

2.2 Modellannahmen

2.2.1 Modellgebäude

Für die Betrachtung wurden vier Beispielgebäude gewählt: Zwei Wohngebäude, die sich 2006 in Errichtung befanden, sowie zwei Bestands-Wohngebäude, die im Jahre 2007 modernisiert werden. Ihre Auswahl erfolgte so, dass sie eine übliche Bauweise wiedergeben und ein Einsatz von Biomasse-Heizsystemen nicht von vornherein ausgeschlossen erschien.

Die Tabelle 1 fasst wesentliche Merkmale der Modellgebäude zusammen. Die Anlage 3 liefert detaillierte Informationen zu den Gebäuden und Schwierigkeiten der Integration der Biomasse-Heisanlagen in die konkrete Gebäudesituation.

Strohfeuerung wurde letztendlich nicht berücksichtigt, weil sich die Datenlage für einen Vollkostenvergleich als zu schlecht erwiesen hat.



		Neubau-Mehrfamilienhäuser		Bestands-Mehrfamilienhäuser	
		Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude 3	Gebäude 4
Bemerkung		2 zusammenhängende Baukörper	1 Gebäude	1 Gebäude	5 freistehende MFH im Ensemble. Gemeinsame Modernisierung.
A/V-Verhältnis [m ² /m ³]		0,49	0,48	0,42	0,51
Anzahl Wohnungen		37	18	30	16 / 80 (Gebäude/Ensemble)
Gesamtnutzfläche A _N [m ²]		4.320	1.753	1.784	5 * 977
zulässiger Primärenergiebedarf q _P nach EnEV 2004 [kWh/(m ² a)]		88,4	88,3	118,0 (q _P für EnEV-Neubau + 40 %)	129,0 (q _P für EnEV-Neubau + 40 %)
Heizlast		124 kW	62 kW	60 kW	5 * 38 kW
Jahresheizwärmebedarf q _h nach EnEV [kWh/(m ² a)]		45,8	50,9	53,4	62,8
Heizungsvarianten	1	Erdgas, gebäudezentral, Brennwertkessel, WW zentral mit Zirkulation		Öl-NT-Zentralheizung	Gasetagenheizung (NT, wohnungsweise)
		q _P = 76,0	q _P = 82,6	q _P =93,8	q _P = 115,8
	2	Heizöl, gebäudezentral, NT-Kessel		HHS, Aufstellung Keller	Gas-Zentral-Heizung (Nahwärme)
		q _P = 83,6	q _P = 87,2	q _P < 30	q _P = 118,8
	3	Holzpellets, Keller		HHS mit Heizhaus	Holzpellets, Nahwärme, Keller
		q _P = 24,7	q _P = 26,9	q _P < 30	q _P = 12,4
	4	Holzpellets, Heizhaus		-	Holzpellets, Nahwärme, Heizhaus
		q _P = 24,7	q _P = 26,9		q _P = 12,4
	5	Holzhackschnitzel, Keller		-	-
		q _P < 30	q _P < 30		
	6	Holzhackschnitzel, Heizhaus		-	-
		q _P < 30	q _P < 30		

Tabelle 1 Merkmale der Modellgebäude

2.2.2 Energiebedarf

Sowohl zu errichtende Gebäude als auch zu modernisierende Gebäude in Deutschland unterliegen den Anforderungen der Energieeinsparverordnung. Diese wurde zur Zeit der Entstehung dieses Forschungsberichts novelliert, ohne dass jedoch eine abschließende Fassung vorlag. Deshalb wurden die Anforderungen und Regeln der [EnEV 2004] zugrunde gelegt.

Sowohl für Neubauten als auch für größere Modernisierungen werden durch die EnEV Anforderungen an den maximalen jährlichen Primärenergiebedarf Q_P'' in kWh pro m² Gebäudenutzfläche gestellt. Dieser maximale Primärenergiebedarf darf durch die gewählte

Kombination aus Wärmeschutzstandard, Warmwasserbedarf, Heiz- und Lüftungstechnik nicht überschritten werden.

Bei der Wahl der Modellgebäude wurde darauf geachtet, dass die $Q_{p''}$ -Anforderung mit allen untersuchten Heizanlagen-Varianten erfüllt wird. Eine Übererfüllung – die sich besonders bei Benutzung von Biomasse ergibt – wurde nicht durch verminderten Wärmeschutz o.ä. kompensiert. Theoretisch wäre dies möglich: Die Energieeinsparverordnung (EnEV) lässt (bislang) zu, dass bei neu zu errichtenden Gebäuden, die mit einer Biomasse-Heizanlage ausgestattet werden, am Wärmeschutz so weit gespart werden kann, dass die Mindestanforderung an den Transmissionswärmeverlust gerade noch erfüllt wird; andere Normen zum Mindestwärmeschutz einzelner Bauteile müssen dabei allerdings auf Grund anderen Baurechts ebenfalls erfüllt werden. Eine Verminderung des Wärmeschutzes ist jedoch weder übliche Baupraxis noch anzuraten: Zum einen erhöhen sich wegen des höheren Wärmebedarfs die Jahresvollkosten der Beheizung (nicht nur durch höheren Energiebedarf, sondern auch durch höhere Kapital-, Instandsetzungs-, und andere Betriebskosten, weil ja eine größere Heizung benötigt wird), zum anderen vermindert ein schlechterer Wärmeschutz den Komfort und reduziert den Wert des Gebäudes und damit die erzielbare Miete. Schließlich wird der Endenergiebedarf in den künftigen Energieausweisen ausgewiesen. Last but not least besteht ein erhebliches Risiko für die Zukunft: Ein heutiger Verzicht auf einen angemessenen Wärmeschutz führt im Falle einer z.B. in 20 Jahren notwendigen Nachrüstung zu erheblichen Aufwendungen.

Alle Energiebedarfs-Werte wurden – soweit dies möglich war – auf der Grundlage der [EnEV 2004] mit Hilfe der Software Hottgenroth Energieberater Version 5.10e berechnet. Wo eine Berechnung nicht möglich war, wurde geschätzt. Hintergrund ist, dass die DIN V 4701-10 – die Rechengrundlage für Heizung und Warmwasser – bisher nicht darauf ausgelegt ist, schnell und einfach für Biomasse-Anlagen dieser Größenordnung Tabellenwerte (Wärmeerzeuger-Aufwandszahlen e_g) zu liefern. Sie tut dies nur für Holzpelletsanlagen bis zu einer Gebäudegröße von 500 m², wobei hier die Hilfsenergie nicht einmal vollständig enthalten ist. Für Gebäude > 500 m² sowie für die Heizkessel der Brennstoffe HHS, Strohpellets und Strohballen stehen keine tabellarischen Kenngrößen zur Verfügung.

Im Rechenmodell wurden deshalb bei den Gebäudevarianten mit Holzpellets-Heizanlagen die gleichen Wärmeerzeuger-Aufwandszahlen e_g verwendet, die [DIN V 4701-10] für 500 m² große Gebäude angibt (1,36). Für die Gebäudevarianten mit HHS wurde der Endenergiebedarf, der sich für Holzpelletsanlagen ergibt, um 5 % erhöht. Der Hilfsenergiebedarf wurde bei allen Holzpellets-, HHS-versorgten Gebäudevarianten individuell auf der Basis von Erkenntnissen dieser Untersuchung abgeschätzt und in den Vollkosten-Tabellen verwendet.

2.2.3 Technische und Ökonomische Randbedingungen

Untersucht wird nur die monovalente Auslegung des Heizsystems, d.h: eine Volldeckung des Raumwärme- und Warmwasserbereitungsbedarfs durch ein Biomasseheizsystem.

Für den Vollkostenvergleich wurde ein Betrachtungszeitraum von 20 Jahren gewählt.

Nach [VDI 2067 Bl.1] haben die verschiedenen Teile einer Heizungsanlage eine unterschiedliche rechnerische Nutzungsdauer. Für diese wurden die üblichen Ansätze der [VDI 2067 Bl. 1] verwendet. Sofern hierin für bestimmte Komponenten keine Daten enthalten sind, wurden eigene Festsetzungen bzgl. Nutzungsdauer und Aufwand für Instandhaltung gemacht. Die Tabelle 2 fasst die Annahmen zusammen.

Wenn ein Betrachtungszeitraum von z.B. 20 Jahren festgelegt wird, dann haben noch nicht abgenutzte Anlagenteile einen Restwert. Entsprechend [VDI 2067 Bl. 1] wurde der



Restwert durch lineare Abschreibung der Investition bis zum Ende des Betrachtungszeitraums und Abzinsung auf den Beginn des Betrachtungszeitraums ermittelt. Wenn der Betrachtungszeitraum von 20 Jahren die rechnerische Nutzungsdauer der Anlagenkomponente überstieg, wurde nicht der (Anfangs-)Investitionsbetrag linear abgeschrieben, sondern die Ersatzinvestition.

Der Aufzinsungsfaktor wurde mit 1,05 festgelegt, d.h. es wurde von einem Kapitalmarktzins von 5 % ausgegangen. Für Ersatzbeschaffungen innerhalb des Betrachtungszeitraums wurde ein Aufzinsungsfaktor von 2 % festgelegt.

Für die Lagerung von Brennstoffen werden keine Zinskosten angesetzt, da die Brennstoffkosten im Mietwohnungsbau auf die Mieter umgelegt werden, wobei monatlich Abschlagzahlungen der Mieter eintreffen.

Instandsetzung ist nach [VDI 2067 Bl. 1] definiert als „Maßnahmen zur Wiederherstellung des Sollzustands von technischen Mitteln und Geräten“. Die Kostenansätze für Instandsetzung entsprechen [VDI 2067 Bl. 1]. Sie stehen in linearem Zusammenhang zur Höhe der Investition. Die Tabelle 2 zeigt die Annahmen bezüglich des Instandsetzungsaufwands. Für Instandsetzung nehmen wir eine jährliche Preissteigerung von 2 % an.

	Nutzungsdauer [Jahre]	Aufwand für Instandsetzung [in % des Investitionsbetrags p. a.]	Aufwand für Wartung [in % des Investitionsbetrags p.a.]
Gas-Brennwertkessel bis 100 kW	18	1,5	1
Gas.Brennwertkessel 100 bis 200 kW	20	1	1
Heizöl-NT-Kessel (Spezialkessel für Ölfeuerung)	20	2	1,5
Gas-Kombi-Umlaufwasserspeicher	18	2	1
Wohnungsübergabestation	20	2	0
Warmwasserspeicher	25	1	0,3
Verteilung	30	0,5	0
Abgasleitung	k.A.[20]	k.A. [1]	k.A. [0]
bauliche Anlagen	50	1	1
Elektroinstallation	k.A. [25]	k.A. [1]	k.A. [0]
Spezialkessel für Holzpellets, mit Rücklauf temperaturanhebung, für MFH	k.A. [20]	k.A. [2]	k.A.[2]
Spezialkessel für Holzhack schnitzel, mit Rücklauf temperaturanhebung, für MFH	k.A. [20]	k.A. [2,5]	k.A.[3]
Holzpellets-Lager raumeinrichtung (Schrägboden)	k.A. [15]	k.A. [1]	k.a. [0]
Brennstoffaustragsystem (Schrägboden/Schnecke oder Boden/Federarm/Schnecke)	k.A. [20]	k.a. [2]	k.A. [3]
Verteilnetz Nahwärme	40	1	0
Heizöltank	30	1,5	1
Leckanzeigergerät	10	3	1
Tankzubehör u. Leitungen	20	3	1
Pufferspeicher	k.A. [25]	1	0,3

Tabelle 2 Nutzungsdauer, Instandsetzung und Wartung nach [VDI 2067 Bl. 1]
Werte in Klammern hinter „k.A.“ bedeuten, dass die VDI 2067 Bl. 1 keine Zahlen nennt und die Werte vom Autor festgelegt wurden

2.2.4 Investitionsbeträge

Investitionsbeträge bilden ein wichtiges Element einer Vollkostenbetrachtung. Ihrer Ermittlung kommt daher einige Bedeutung zu.¹ In ihre Abschätzung wurde viel Kraft investiert: Erstens wurde eine Literaturrecherche unternommen, zweitens Experten befragt und drittens Auswertungen bei Förderinstitutionen veranlasst. Die in dieser Studie vorgenommene Meta-Analyse von Investitionsbeträgen von Holzpellets- und HHS-Anlagen ist die umfangreichste Analyse, die bisher im deutschsprachigen Raum vorgenommen wurde:

- Ausgangspunkt war eine umfangreiche *Literaturrecherche* in der IRB-Datenbank. Diese wurde um eine eigene Auswertung einschlägiger Periodika, Monographien und Internet-Veröffentlichungen ergänzt. Ferner wurden mehrere Architekten, Wohnungsunternehmen, Energieagenturen, Biomasse-Anlagen-Hersteller und Planer befragt.
- Im Sommer 2006 wurde eine Studienreise nach Österreich zu zwei renommierten Biomasse-Kesselherstellern und 10 realisierten Anlagen unternommen.
- Es wurden zwei *Erhebungen* veranlasst. Dabei wurden (Roh-)Daten, die bei zwei Förderinstitutionen (ProKlima Hannover und hessenEnergie) vorlagen, einer Auswertung zugeführt.²
- Die Ergebnisse der Evaluation des Marktanreizprogramms des Bundes bezüglich Holzpellets und HHS (Stichprobe von 1.000 Anlagen) wurden ebenso betrachtet wie Erfahrungen aus Österreich, wo die Verfeuerung von Biomasse wohl weltweit führend ist.

Die Investitionsbeträge enthalten nur die Positionen, um die sich die Heizungsanlagen-Varianten unterscheiden: So wird für die Neubau-Mehrfamilienhäuser vom Vorhandensein eines Heizraums ausgegangen; ebenso vom Ohnehin-Vorhandensein eines Heizwärmeverteilungssystem, von Raumheizflächen usw.

Zum Vorgehen bei der Abschätzung von Investitionsbeträgen siehe Abschnitt 4.1, die Anlagen 4 und 5 legen die gewählten Ansätze dar.

2.2.5 Energiepreise

Die Preise für Energie unterliegen erheblichen zeitlichen und regionalen Schwankungen. Das Bundeskartellamt hatte Anfang 2007 veröffentlicht, dass es selbst bei dem homogenen Gut „Erdgas“ regionale Preisunterschiede von 45 % gibt [BKartA 2007].

Informationen zu den gewählten Brennstoffpreisen liefert Abschnitt 4.2.

Um den Einfluss unterschiedlicher Brennstoffpreise auf Vollkosten von Biomasse-Heizsystemen im Vergleich zu konventionellen Heizsystem zu berücksichtigen, haben wir Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

¹ Allerdings ist es gerade nicht so, dass die Investitionsbeträge die Vollkosten der Beheizung von Gebäuden *überwiegend* bestimmen. Wie z.B. die Abbildung 1 bis Abbildung 4 zeigen, werden die Vollkosten im Wesentlichen von den Kosten der Energie bestimmt. Deshalb sind Unsicherheiten bei den Investitionsbeträgen nicht so gravierend.

² ProKlima Hannover und die Energieagentur „hessenEnergie“ in Wiesbaden



2.2.6 Betriebskosten

Im Vollkosten-Vergleich werden auch die Betriebskosten berücksichtigt. Holz- und Strohfeuerungs-Heizungsanlagen verursachen höhere Betriebskosten als Erdgas- und Heizöl-Heizungsanlagen. Kosten erhöhend wirken:

- Schornsteinfegertätigkeiten,
- Bedienungs- und Wartungsaufwand,
- Betriebsstromverbrauch.

Der Abschnitt 4.3 beschreibt die Ansätze.

2.3 Ergebnisse der Vollkostenvergleiche

2.3.1 Vollkosten

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Vollkostenvergleiche. Die Tabelle 3 bis Tabelle 6 und die Abbildung 1 bis Abbildung 4 stellen die umfassende, nicht interessegebundene Perspektive dar. Die Kosten aus Sicht des Hauseigentümers zeigen die Abbildung 5 bis Abbildung 8; die Kosten aus Sicht des Mieters werden in den Abbildung 9 bis Abbildung 12 dargestellt.

2.3.1.1 Jahresvollkosten (umfassende Sicht)

Die Jahresvollkosten aus umfassender Sicht beinhalten alle Kostenpositionen, nicht nur die für eine Interessenlage (Mieter, Hauseigentümer) relevanten Positionen. Nicht enthalten ist allerdings der Planungsaufwand. Dieser ist nach [VDI 2067 Bl. 1] nicht Bestandteil der Vollkostenrechnung.

Vollkosten Gesamtbetrachtung		Gebäude 1, Neubau											
A/V-Verhältnis [1/m]	0,49	Var (1) Gas gebäude- zentral, Brennwert	Var (2) Heizöl, gebäude- zentral, NT- Kessel	Var (3) Holzpellets, Keller	Var (4) Holzpellets, Heizhaus	Var (5) HHS, Keller	Var (6) HHS, Heizhaus						
Anzahl Wohnungen	37												
Gesamtnutzfläche A _N [m ²]	4320,0												
Fläche A _N je Wohnung [m ²]	116,8												
zul. Primärenergiebedarf nach EnEV Q _{pr} ''', max.	88,4												
spezifischer Jahresheizwärmebedarf q _n nach EnEV [kWh/(m ² a)]	45,8												
Spezifischer TW-Bedarf q _{TW} [kWh/(m ² a)]	12,5												
Primärenergiebedarf Q _{pr} '' [kWh/(m ² a)]													
								76,00	83,60	24,70	24,70	< 30,00	< 30,00
Endenergiebedarf Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie													
je m ² A _N und Jahr													
Gas/Öl	kWh Hi/(m ² a)	67,2	74,3										
Gas	kWh Hs/(m ² a)	74,4											
Pellets/HHS	kWh Hi/(m ² a)			92,5	92,5	97,2	97,2						
Strom-Hilfsenergie	kWh/(m ² a)	0,70	0,63	2,43	2,43	3,00	3,00						
je Wohnung und Jahr													
Gas/Öl	kWh Hi/(WE*a)	7.840	8.675										
Gas	kWh Hs/(WE*a)	8.682											
Pellets/HHS	kWh Hi/(WE*a)			10.805	10.805	11.345	11.345						
Strom-Hilfsenergie	kWh/(WE*a)	82	74	284	284	350	350						
Gebäude gesamt pro Jahr													
Gas/Öl	kWh Hi/a	290.088	320.976										
Gas	kWh Hs/a	321.243											
Pellets/HHS	kWh Hi/a			399.773	399.773	419.774	419.774						
Strom-Hilfsenergie	kWh/a	3.024	2.722	10.498	10.498	12.960	12.960						
Energiepreise													
Gas-Grundpreis	€/a	812											
Gas-/Öl-Arbeitspreis	€/kWh Hs /(*Öl Hi)	0,059	0,055*										
Pellets	€/kWh Hi			0,047	0,047								
HHS	€/kWh Hi					0,022	0,022						
Strom-Arbeitspreis	€/kWh	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184						
Investitionsbetrag [A₀]													
für das Gebäude	€	16.550	28.050	51.300	54.800	38.600	53.300						
pro Wohnung	€/WE	447	758	1.386	1.481	1.043	1.441						
pro m ²	€/m ²	3,83	6,49	11,88	12,69	8,94	12,34						
Summe der Barwerte [A₀ + A₁ + ... + A_N - R_w]													
für das Gebäude	€	15.898	26.452	49.084	51.793	35.992	47.368						
pro Wohnung	€/WE	430	715	1.327	1.400	973	1.280						
pro m ²	€/m ²	3,68	6,12	11,36	11,99	8,33	10,96						
kapitalgebundene Kosten (Amortisationsmethode VDI 2067, T = 20 Jahre)													
Annuität der Kapitalkosten (Summe Barwerte * Annuitätsfaktor)													
für das Gebäude	€/a	1.276	2.123	3.939	4.156	2.888	3.801						
pro Wohnung	€/(WE*a)	34	57	106	112	78	103						
pro m ²	€/(m ² a)	0,30	0,49	0,91	0,96	0,67	0,88						
Annuität der Instandsetzungskosten													
für das Gebäude	€/a	171	496	1.012	1.053	737	910						
pro Wohnung	€/(WE*a)	5	13	27	28	20	25						
pro m ²	€/(m ² a)	0,04	0,11	0,23	0,24	0,17	0,21						
Energiekosten inkl. Hilfsenergie													
für das Gebäude	€/a	20.192	18.153	20.692	20.692	11.813	11.813						
pro Wohnung	€/(WE*a)	546	491	559	559	319	319						
pro m ²	€/(m ² a)	4,67	4,20	4,79	4,79	2,73	2,73						
sonstige Betriebskosten													
Wartung, Bedienung, Versicherung													
für das Gebäude	€/a	166	521	1.426	1.496	1.558	1.999						
pro Wohnung	€/(WE*a)	4,47	14,07	38,54	40,43	42,11	54,03						
pro m ²	€/(m ² a)	0,04	0,12	0,33	0,35	0,36	0,46						
Schornsteinfeger													
für das Gebäude	€/a	40	70	211	211	211	211						
pro Wohnung	€/(WE*a)	1,08	1,89	5,70	5,70	5,70	5,70						
pro m ²	€/(m ² a)	0,01	0,02	0,05	0,05	0,05	0,05						
Heizkostenverteilung													
für das Gebäude	€/a	2.590	2.590	2.590	2.590	2.590	2.590						
pro Wohnung	€/(WE*a)	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00						
pro m ²	€/(m ² a)	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60						
Jahresgesamtkosten													
für das Gebäude	€/a	24.433	23.953	29.870	30.198	19.796	21.323						
pro Wohnung	€/(WE*a)	660,36	647,37	807,29	816,17	535,04	576,30						
pro m ²	€/(m ² a)	5,66	5,54	6,91	6,99	4,58	4,94						
Gesamtpreis €/kWh = Jahresgesamtkosten des Gebäudes Σ Jahresendenergiebedarf H _i													
		0,075	0,074	0,073	0,074	0,046	0,049						

Tabelle 3 Gebäude 1, Jahresvollkosten

Modell und Ergebnisse

Vollkosten Gesamtbetrachtung		Gebäude 2, Neubau					
A/V-Verhältnis [1/m]	0,48	Var (1) Gas gebäude- zentral, Brennwert	Var (2) Heizöl, gebäude- zentral, NT- Kessel	Var (3) Holzpellets, Keller	Var (4) Holzpellets, Heizhaus	Var (5) HHS, Keller	Var (6) HHS, Heizhaus
Anzahl Wohnungen	18						
Gesamtnutzfläche A_N [m ²]	1753,0						
Fläche A_N je Wohnung [m ²]	97,4						
zul. Primärenergiebedarf nach EnEV $Q_{p,max}$	88,3						
spezifischer Jahresheizwärmebedarf q_h nach EnEV [kWh/(m ² a)]	50,9						
Spezifischer TW-Bedarf q_{TW} [kWh/(m ² a)]	12,5						
Primärenergiebedarf Q_p [kWh/(m ² a)]							
		82,60	87,20	26,90	26,90	< 30,00	< 30,00
Endenergiebedarf Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie							
je m ² A_N und Jahr							
Gas/Öl	kWh Hi/(m ² a)	72,4	77,0				
Gas	kWh Hs/(m ² a)	80,2					
Pellets/HHS	kWh Hi/(m ² a)			100,1	100,1	105,1	105,1
Strom-Hilfsenergie	kWh/(m ² a)	0,96	0,84	2,43	2,43	3,00	3,00
je Wohnung und Jahr							
Gas/Öl	kWh Hi/(WE*a)	7.055	7.501				
Gas	kWh Hs/(WE*a)	7.813					
Pellets/HHS	kWh Hi/(WE*a)			9.749	9.749	10.236	10.236
Strom-Hilfsenergie	kWh/(WE*a)	93	82	237	237	292	292
Gebäude gesamt pro Jahr							
Gas/Öl	kWh Hi/a	126.987	135.016				
Gas	kWh Hs/a	140.626					
Pellets/HHS	kWh Hi/a			175.475	175.475	184.240	184.240
Strom-Hilfsenergie	kWh/a	1.683	1.473	4.260	4.260	5.259	5.259
Energiepreise							
Gas-Grundpreis	€/a	812					
Gas-/Öl-Arbeitspreis	€/kWh Hs / (°Öl Hi)	0,059	0,055*				
Pellets	€/kWh Hi			0,047	0,047		
HHS	€/kWh Hi					0,022	0,022
Strom-Arbeitspreis	€/kWh	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184
Investitionsbetrag [A₀]							
für das Gebäude	€	11.550	24.650	37.100	40.600	33.900	47.400
pro Wohnung	€/WE	642	1.369	2.061	2.256	1.883	2.633
pro m ²	€/m ²	6,59	14,06	21,16	23,16	19,34	27,04
Summe der Barwerte [A₀ + A₁ + ... + A_N - R_N]							
für das Gebäude	€	11.875	23.052	34.937	37.646	31.345	41.792
pro Wohnung	€/WE	660	1.281	1.941	2.091	1.741	2.322
pro m ²	€/m ²	6,77	13,15	19,93	21,47	17,88	23,84
kapitalgebundene Kosten (Amortisationsmethode VDI 2067, T = 20 Jahre)							
Annuität der Kapitalkosten (Summe Barwerte * Annuitätsfaktor)							
für das Gebäude	€/a	953	1.850	2.803	3.021	2.515	3.353
pro Wohnung	€/WE*a)	53	103	156	168	140	186
pro m ²	€/m ² a)	0,54	1,06	1,60	1,72	1,43	1,91
Annuität der Instandsetzungskosten							
für das Gebäude	€/a	162	522	686	727	634	911
pro Wohnung	€/WE*a)	9	29	38	40	35	51
pro m ²	€/m ² a)	0,09	0,30	0,39	0,41	0,36	0,52
Energiekosten inkl. Hilfsenergie							
für das Gebäude	€/a	9.361	7.696	9.019	9.019	5.106	5.106
pro Wohnung	€/WE*a)	520	428	501	501	284	284
pro m ²	€/m ² a)	5,34	4,39	5,14	5,14	2,91	2,91
sonstige Betriebskosten							
Wartung, Bedienung, Versicherung							
für das Gebäude	€/a	116	470	1.142	1.212	1.417	1.822
pro Wohnung	€/WE*a)	6,42	26,10	63,44	67,33	78,72	101,22
pro m ²	€/m ² a)	0,07	0,27	0,65	0,69	0,81	1,04
Schornsteinfeger							
für das Gebäude	€/a	40	70	211	211	211	211
pro Wohnung	€/WE*a)	2,22	3,89	11,72	11,72	11,72	11,72
pro m ²	€/m ² a)	0,02	0,04	0,12	0,12	0,12	0,12
Heizkostenverteilung							
für das Gebäude	€/a	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260
pro Wohnung	€/WE*a)	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00	70,00
pro m ²	€/m ² a)	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
Jahresgesamtkosten							
für das Gebäude	€/a	11.891	11.868	15.121	15.450	11.143	12.663
pro Wohnung	€/WE*a)	660,63	659,31	840,07	858,32	619,07	703,51
pro m ²	€/m ² a)	6,78	6,77	8,63	8,81	6,36	7,22
Gesamtpreis €/kWh = Jahresgesamtkosten des Gebäudes Σ Jahresendenergiebedarf H _i		0,084	0,087	0,084	0,086	0,059	0,067

Tabelle 4 Gebäude 2, Jahresvollkosten

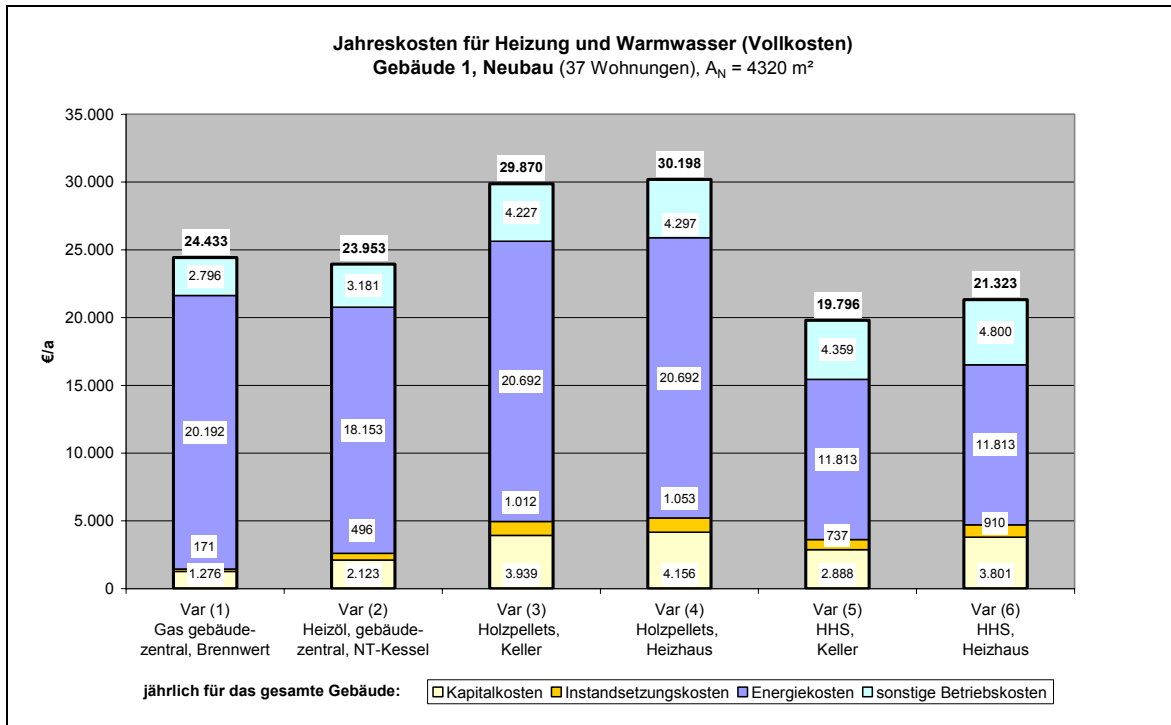


Abbildung 1 Gebäude 1, Jahresvollkosten

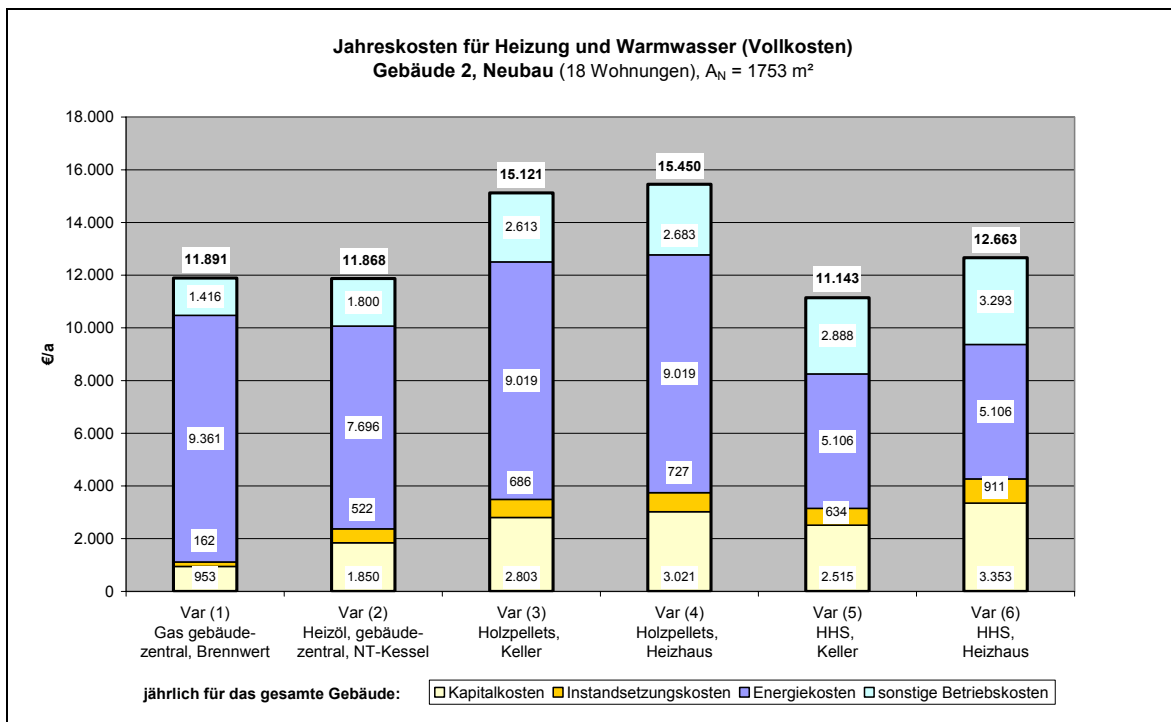


Abbildung 2 Gebäude 2, Jahresvollkosten



Vollkosten Gesamtbetrachtung		Gebäude 3, Altbau		
A/V-Verhältnis [1/m]	0,42	Var (1) Öl Zentral- heizung	Var (2) HHS, Keller	Var (3) HHS, Heizhaus
Anzahl Wohnungen	30			
Gesamtnutzfläche A _N [m ²]	1783,7			
Fläche A _N je Wohnung [m ²]	59,5			
zul. Primärenergiebedarf nach EnEV Q _p ''', max. (EnEV + 40 %)	118,0			
spezifischer Jahresheizwärmebedarf q _h nach EnEV [kWh/(m ² a)]	53,4			
Spezifischer TW-Bedarf q _{TW} [kWh/(m ² a)]	12,5			
Primärenergiebedarf Q _p '' [kWh/(m ² a)]		93,8	< 30,00	< 30,00
Endenergiebedarf Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie				
je m ² A _N und Jahr				
Öl	kWh Hi/(m ² a)	82,8		
HHS	kWh Hi/(m ² a)		100,0	100,0
Strom-Hilfsenergie	kWh/(m ² a)	0,90	3,00	3,00
je Wohnung und Jahr				
Öl	kWh Hi/(WE*a)	4,924		
HHS	kWh Hi/(WE*a)		5,944	5,944
Strom-Hilfsenergie	kWh/(WE*a)	54	178	178
Gebäude gesamt pro Jahr				
Öl	kWh Hi/a	147.708		
HHS	kWh Hi/a		178.316	178.316
Strom-Hilfsenergie	kWh/a	1.605	5.351	5.351
Energiepreise				
Öl-Arbeitspreis	€/kWh Hi	0,055		
HHS	€/kWh Hi		0,022	0,022
Strom-Arbeitspreis	€/kWh	0,184	0,184	0,184
Investitionsbetrag [A₀]				
für das Gebäude	€	14.650	33.900	47.400
pro Wohnung	€/WE	488	1.130	1.580
pro m ²	€/m ²	8,21	19,01	26,57
Summe der Barwerte [A₀ + A₁ + ... + A_N - R_W]				
für das Gebäude	€	14.308	31.345	41.792
pro Wohnung	€/WE	477	1.045	1.393
pro m ²	€/m ²	8,02	17,57	23,43
kapitalgebundene Kosten (Amortisationsmethode VDI 2067, T = 20 Jahre)				
Annuität der Kapitalkosten (Summe Barwerte * Annuitätsfaktor)				
für das Gebäude	€/a	1.148	2.515	3.353
pro Wohnung	€/WE*a	38	84	112
pro m ²	€/m ² a	0,64	1,41	1,88
Annuität der Instandsetzungskosten				
für das Gebäude	€/a	251	752	911
pro Wohnung	€/WE*a	8	25	30
pro m ²	€/m ² a	0,14	0,42	0,51
Energiekosten inkl. Hilfsenergie				
für das Gebäude	€/a	8.419	4.990	4.990
pro Wohnung	€/WE*a	281	166	166
pro m ²	€/m ² a	4,72	2,80	2,80
sonstige Betriebskosten				
Wartung, Bedienung, Versicherung				
für das Gebäude	€/a	320	1.417	1.822
pro Wohnung	€/WE*a	10,66	47,23	60,73
pro m ²	€/m ² a	0,18	0,79	1,02
Schornsteinfeger				
für das Gebäude	€/a	70	211	211
pro Wohnung	€/WE*a	2,33	7,03	7,03
pro m ²	€/m ² a	0,04	0,12	0,12
Heizkostenverteilung				
für das Gebäude	€/a	2.100	2.100	2.100
pro Wohnung	€/WE*a	70,00	70,00	70,00
pro m ²	€/m ² a	1,18	1,18	1,18
Jahresgesamtkosten				
für das Gebäude	€/a	12.308	11.985	13.387
pro Wohnung	€/WE*a	410,26	399,49	446,23
pro m ²	€/m ² a	6,90	6,72	7,51
Gesamtpreis €/kWh = Jahresgesamtkosten des Gebäudes Σ Jahresenergiebedarf H _i				
		0,082	0,065	0,073

Tabelle 5 Gebäude 3, Jahresvollkosten

Vollkosten Gesamtbetrachtung		Gebäude 4 Altbau Gebäude-Ensemble (5 Wohngebäude a 977 m ² A _N , modernisiert; EnEV + 40%) Beim Vergleich werden alle 5 Gebäude als Gruppe behandelt!			
A/V-Verhältnis [1/m]	0,51	Var (1) Gas- etagen- heizung	Var (2) neue Gas- Zentral- heizung (Mikronetz)	Var (3) Holz- pellets, Keller	Var (4) Holz- pellets, Heizhaus
Anzahl Wohnungen	80				
Gesamtnutzfläche A _N [m ²]	4883,5				
Fläche A _N je Wohnung [m ²]	61,0				
zul. Primärenergiebedarf nach EnEV Q _{p''} , max. (EnEV + 40 %)	129,0				
spezifischer Jahresheizwärmebedarf q _s nach EnEV [kWh/(m ² a)]	62,8				
Spezifischer TW-Bedarf q _{TW} [kWh/(m ² a)]	12,5				
Primärenergiebedarf Q _{p''} [kWh/(m ² a)]					
Endenergiebedarf Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie					
je m ² A _N und Jahr					
Gas	kWh Hi/(m ² a)	93,6	89,1		
Gas	kWh Hs/(m ² a)	103,7	98,6		
Pellets	kWh Hi/(m ² a)			90,8	90,8
Strom-Hilfsenergie	kWh/(m ² a)	4,28	1,00	2,43	2,43
je Wohnung und Jahr					
Gas	kWh Hi/(WE*a)	5.714	5.438		
Gas	kWh Hs/(WE*a)	6.328	6.022		
Pellets	kWh Hi/(WE*a)			5.543	5.543
Strom-Hilfsenergie	kWh/(WE*a)	261	61	148	148
Gebäude -Ensemble gesamt pro Jahr					
Gas	kWh Hi/a	457.144	435.022		
Gas	kWh Hs/a	506.242	481.744		
Pellets	kWh Hi/a			443.422	443.422
Strom-Hilfsenergie	kWh/a	20.901	4.884	11.867	11.867
Energiepreise					
Gas-Grundpreis	€/a	812	812		
Gas-Arbeitspreis	€/kWh Hs	0,059	0,059		
Pellets	€/kWh Hi			0,047	0,047
Strom-Arbeitspreis	€/kWh	0,184	0,184	0,184	0,184
Investitionsbetrag [A₀]					
für das Gebäude	€	340.000	170.350	209.300	202.800
pro Wohnung	€/WE	4.250	2.129	2.616	2.535
pro m ²	€/m ²	69,62	34,88	42,86	41,53
Summe der Barwerte [A₀ + A₁ + ... + A_N · R_w]					
für das Gebäude	€	366.156	154.436	194.881	189.850
pro Wohnung	€/WE	4.577	1.930	2.436	2.373
pro m ²	€/m ²	74,98	31,62	39,91	38,88
Kapitalgebundene Kosten (Amortisationsmethode VDI 2067, T = 20 Jahre)					
Annuität der Kapitalkosten (Summe Barwerte · Annuitätsfaktor)					
für das Gebäude	€/a	29.381	12.392	15.638	15.234
pro Wohnung	€/WE*a)	367	155	195	190
pro m ²	€/m ² a)	6,02	2,54	3,20	3,12
Annuität der Instandsetzungskosten					
für das Gebäude	€/a	7.237	1.314	2.641	2.299
pro Wohnung	€/WE*a)	90	16	33	29
pro m ²	€/m ² a)	1,48	0,27	0,54	0,47
Energiekosten inkl. Hilfsenergie					
für das Gebäude	€/a	34.315	29.938	22.992	22.992
pro Wohnung	€/WE*a)	429	374	287	287
pro m ²	€/m ² a)	7,03	6,13	4,71	4,71
sonstige Betriebskosten					
Wartung/Bedienung					
für das Gebäude	€/a	3.400	1.704	4.586	4.456
pro Wohnung	€/WE*a)	42,50	21,29	57,33	55,70
pro m ²	€/m ² a)	0,70	0,35	0,94	0,91
Schornsteinfeger					
für das Gebäude	€/a	3.600	70	211	211
pro Wohnung	€/WE*a)	45,00	0,88	2,64	2,64
pro m ²	€/m ² a)	0,74	0,01	0,04	0,04
Heizkostenverteilung					
für das Gebäude	€/a		5.600	5.600	5.600
pro Wohnung	€/WE*a)		70,00	70,00	70,00
pro m ²	€/m ² a)		1,15	1,15	1,15
Jahresgesamtkosten					
für das Gebäude	€/a	77.933	51.019	51.668	50.793
pro Wohnung	€/WE*a)	974,17	637,73	645,85	634,91
pro m ²	€/m ² a)	15,96	10,45	10,58	10,40
Gesamtpreis €/kWh = Jahresgesamtkosten des Gebäudes Σ Jahresendenergiebedarf H _i					
		0,148	0,105	0,113	0,112

Tabelle 6 Gebäude 4, Jahresvollkosten

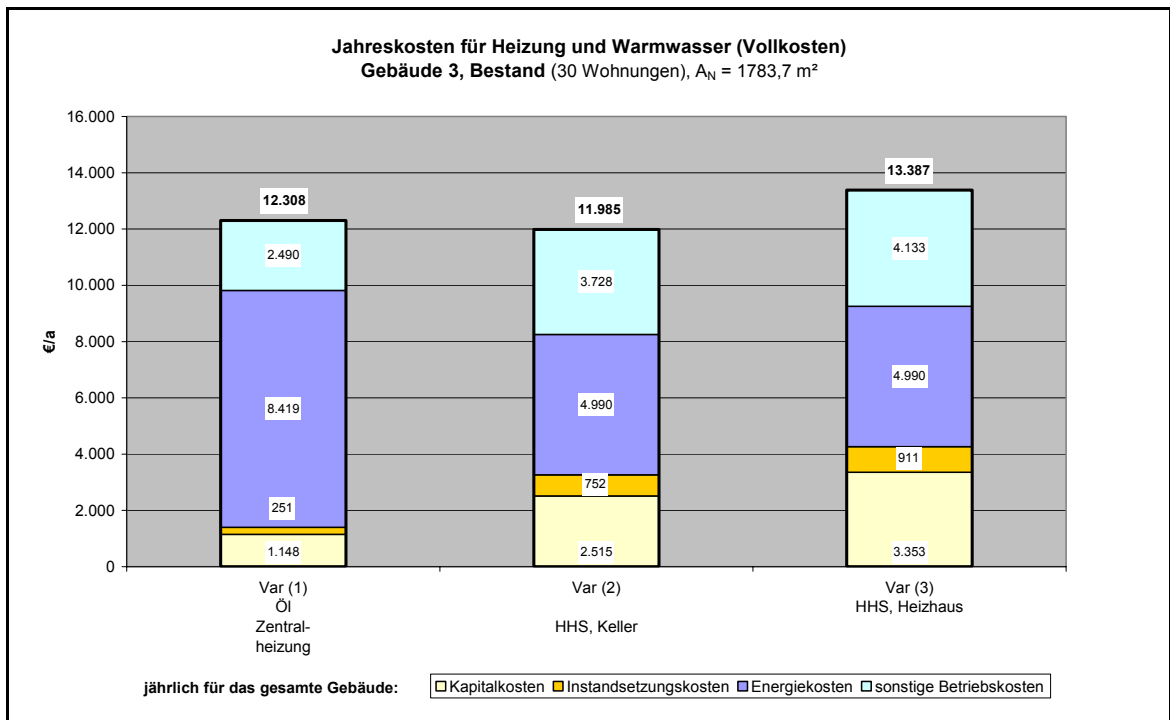


Abbildung 3 Gebäude 3, Jahresvollkosten

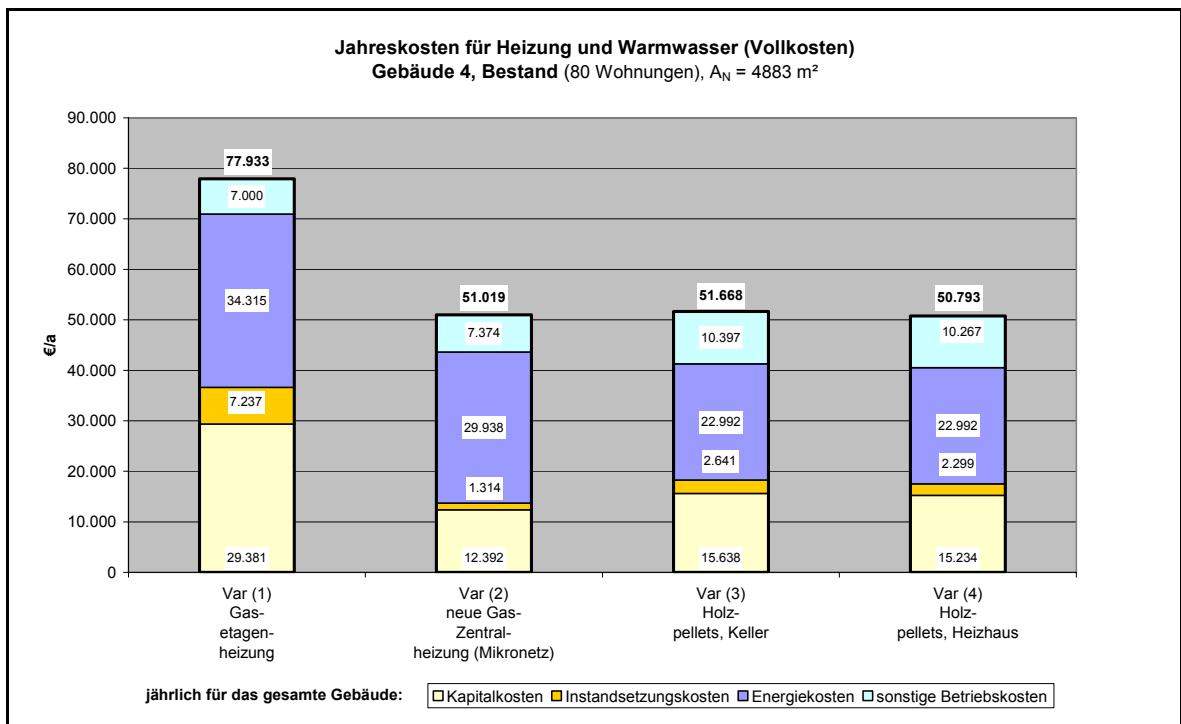


Abbildung 4 Gebäude 4, Jahresvollkosten

Interpretation Jahresvollkosten

Vorbemerkung: Alle hier getroffenen Aussagen gelten zunächst nur für die untersuchten Gebäude mit den dabei getroffenen Annahmen.

Unterschiedliche Gegebenheiten der Gebäude (z.B. bezüglich ihrer Größe) führen zu unterschiedlichen Jahresvollkosten. Bei den beiden **Neubau**-Gebäuden zeigt sich, dass die Jahresvollkosten nur einige tausend Euro auseinander liegen. Holzhackschnitzel-Heizsysteme sind die günstigsten Beheizungsvarianten; die Holzpellets-Heizsysteme haben höhere Jahreskosten als konventionelle Heizungen. Der Unterschied zu konventionellen Systemen ist jedoch kaum durch unterschiedlich hohe Investitionsbeträge bedingt, sondern vielmehr vom Holzpellets-Preis abhängig (angesetzt relativ hoch mit 230 €/t). Sollten die Holzpelletspreise wieder auf das Niveau von ca. 190 € oder darunter fallen – hier lagen sie bis zum IV. Quartal 2006 – , sind Holzpellets-Anlagen ebenso wirtschaftlich zu betreiben wie konventionelle Anlagen. Gleiches gilt für einen Anstieg der Energiepreise für die fossilen Energien: Sollten diese wieder um 30 % gegenüber den relativ niedrigen Ansätzen von 0,055 €/kWh H_i bei Heizöl steigen, sind Holzpellets-Anlagen fossilen Anlagen wirtschaftlich gleichwertig.

Bei den **Bestands-Gebäuden**³ wurden weniger Varianten betrachtet. Auch hier sind die absoluten Jahreskosten erheblich von der Größe des Gebäudes abhängig. Es zeigt sich aber auch, dass die Holzheizungsvarianten mit den fossilen Heizsystemen (Erdgas-Brennwert bzw. Heizöl-Niedertemperatur) auf gleicher Augenhöhe rangieren.

Einen Sonderfall stellt die Sanierung einer kleinen **Siedlung** (80 Whg.) dar: Sofern hier bei einer durchgreifenden Modernisierung alte Gasetagenheizungen wohnungsweise durch neue raumluftabhängige NT-Gasetagenheizungen ersetzt werden, ein neues Gasleitungsnetz eingebaut sowie dezentrale Schornsteinsanierungen vorgenommen werden würden, ist diese Variante teurer als der Aufbau eines Nahwärmesystems mit Gas oder Holzpellets. Es gibt also durchaus Modernisierungsfälle, bei denen die Beheizung mit Biomasse zu wesentlich günstigeren Jahresvollkosten führt als mit konventionellen Brennstoffen.

Zu beobachten ist, dass die Jahresvollkosten stärker durch die Energiepreise bestimmt werden als durch die Kosten der Investitionen.

Bei den fossilen Energien ist in der 100-jährigen Nutzungszeit der Gebäude aufgrund der zunehmenden Konkurrenz um fossile Brennstoffe mit stark steigenden Energiepreisen zu rechnen. Bei den (nachwachsenden!) Biomasse-Brennstoffen sind dagegen im Wesentlichen real stabile Preise zu erwarten. Diesem Einfluss wird in den Sensitivitätsanalysen für Energiepreise nachgegangen, s.u.

2.3.1.2 Jahresvollkosten, Sicht des Hauseigentümers

Für den Hauseigentümer ist in erster Linie interessant, mit welchen Jahreskosten er zu rechnen hat. Die unterscheiden sich von den Jahresvollkosten nach Abbildung 1 bis Abbildung 4, weil er einen Teil der Kosten in aller Regel an die Mieter weiterleitet. Dies sind die Energiekosten, Schornsteinfeger, Wartung, Bedienung und Heizkostenabrech-

³ wobei hier von einer durchgreifenden Modernisierung ausgegangen wird



nungskosten. Nicht umlegbar auf die Mieter sind dagegen die Instandsetzungskosten. Die Kapitalkosten (Kosten für die Investitionen) gehen beim Neubau von vornherein in der Kaltmiete ein; bei der Modernisierung kommt es im laufenden Vertragsverhältnis darauf an, ob es sich um eine Modernisierung handelt. In beiden Fällen muss die höhere Kaltmiete natürlich am Markt auch erzielbar sein.

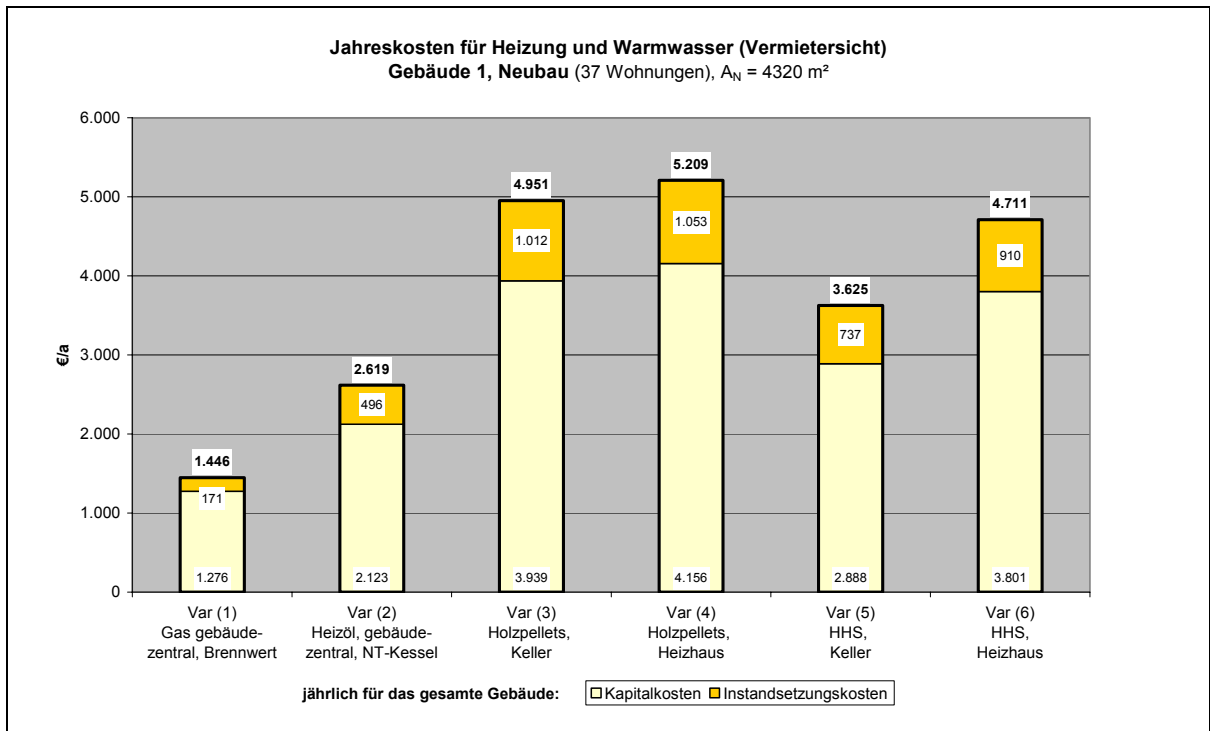


Abbildung 5 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer

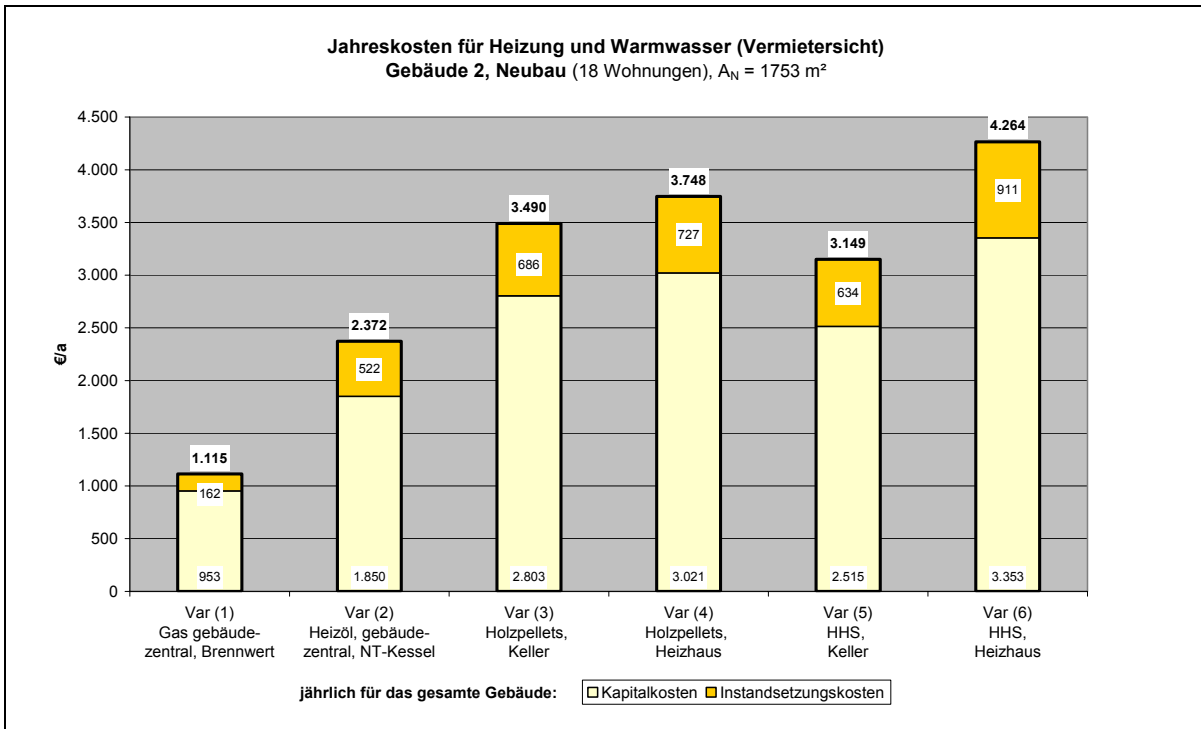


Abbildung 6 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer

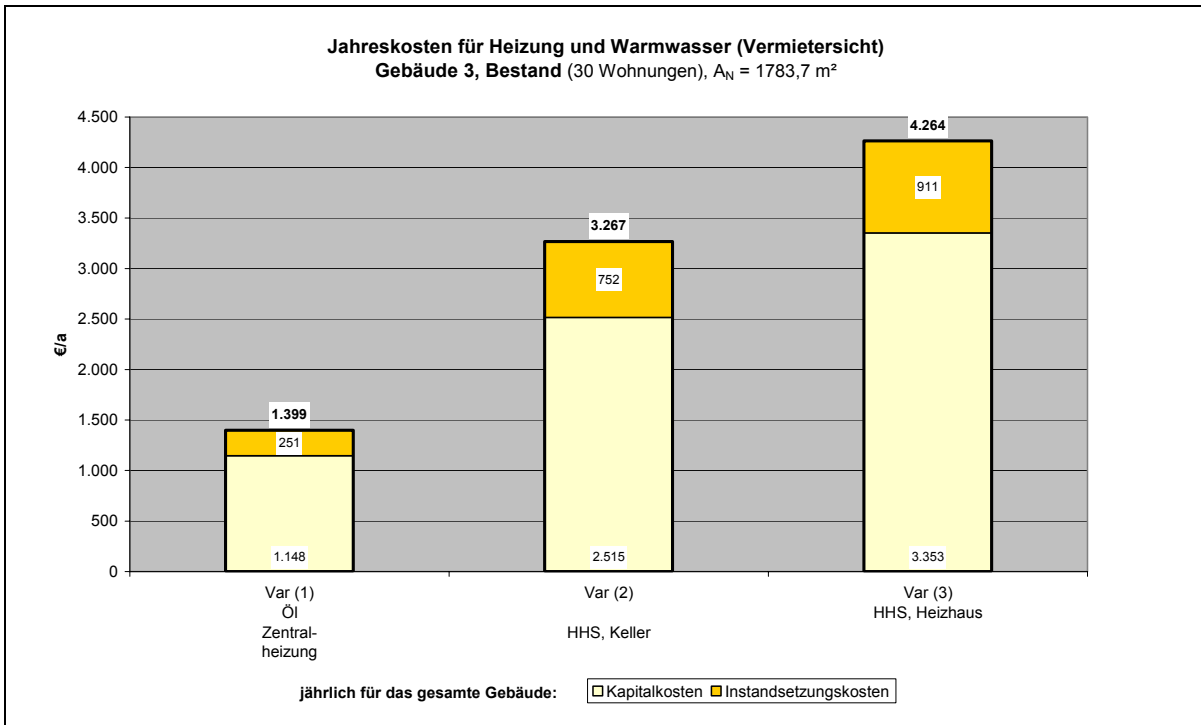


Abbildung 7 Gebäude 3, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer

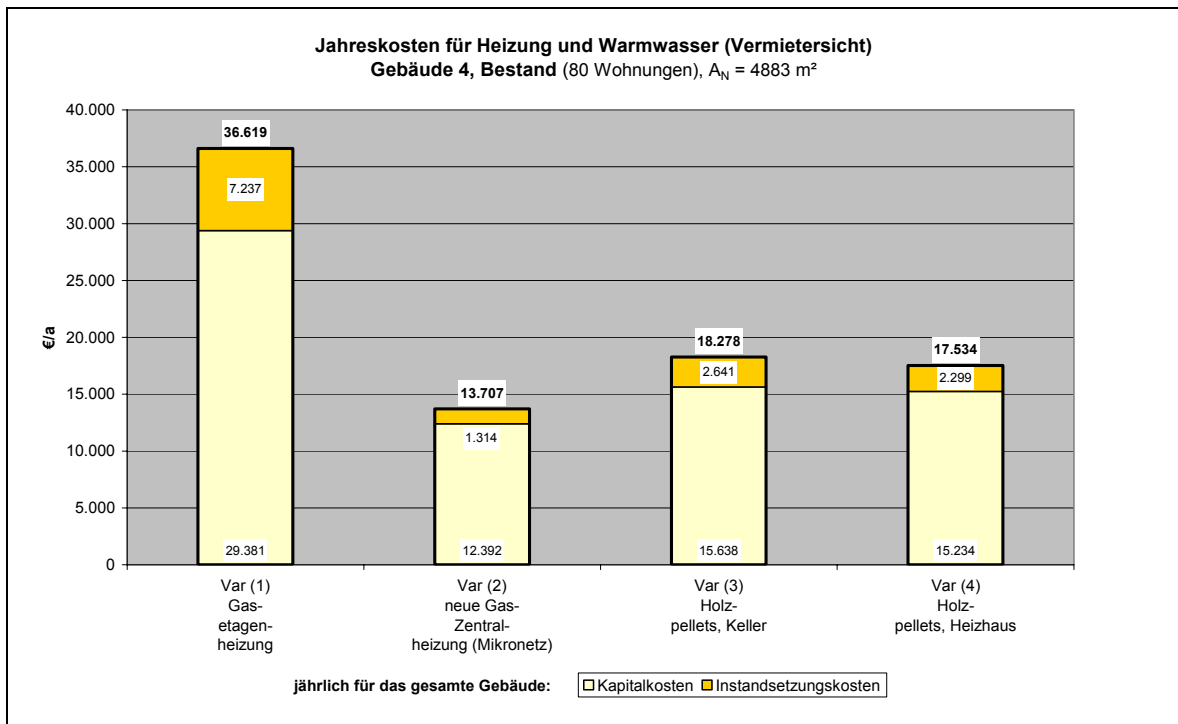


Abbildung 8 Gebäude 4, Jahresvollkosten, Sicht Eigentümer

Interpretation Jahreskosten, Sicht Hauseigentümer

Die Abbildungen geben die Jahreskosten aus Sicht des Vermieters wieder, und zwar jeweils für das gesamte Gebäude (nicht pro Wohnung und nicht pro m^2). Die absoluten Zahlen sind natürlich von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig – nicht zuletzt von der Größe des Gebäudes.

Es zeigt sich, dass die Jahreskosten für konventionelle Heizanlagen mit Gas oder Heizöl für die Vermieter niedriger liegen als bei Holzpellets- bzw. HHS-Heizanlagen. Dies gilt bis auf die Ausnahme Gasetagenheizungen/Schornsteinsanierung/Gasnetzsanierung: bei dieser Variante liegen die Vermieterkosten mehr als doppelt so hoch wie bei anderen Alternativen.

Der Unterschied an Kosten kann das Verhältnis 1 : 3 (konventionell zu Biomasse) ausmachen. Bezogen auf 1 m^2 Fläche A_N kann die Mehrbelastung 1 bis 2 €/a ausmachen, also zu einer rechnerischen Mieterhöhung von 8 bis 17 ct pro m^2 und Monat führen. Aus Sicht des Hauseigentümers ist der Einsatz von Biomasseheizungen also nicht ohne weiteres attraktiv. Es muss sich schon eine bessere Vermietbarkeit bzw. ein höherer Mietpreis ergeben, damit dies finanziell attraktiv wird.

2.3.1.3 Jahresvollkosten, Sicht des Mieters

Die Jahreskosten des Mieters (im Sinne von Betriebskosten) unterscheiden sich von den Jahresvollkosten nach Abschnitt 2.3.1.1, weil er einen Teil nicht unmittelbar übernehmen muss. Dies sind die Instandhaltungskosten und (zumindest einen Teil) der Kapitalkosten. Im Gebäudebestand ist die Umlegbarkeit einer Investition beim Heizsystem nicht in jedem Fall möglich, sondern nur dann, wenn es sich mietrechtlich um eine Modernisierung handelt. Im Abschnitt 4.5 hierzu mehr.

Für die folgenden Abbildungen gehen wir rechnerisch davon aus, dass die Kapitalkosten und Instandsetzungskosten nicht umgelegt werden. Vergleichsmaßstab sind die Jahreskosten für eine einzelne Ebene: Das ist die Ebene, die den Mieter interessiert.

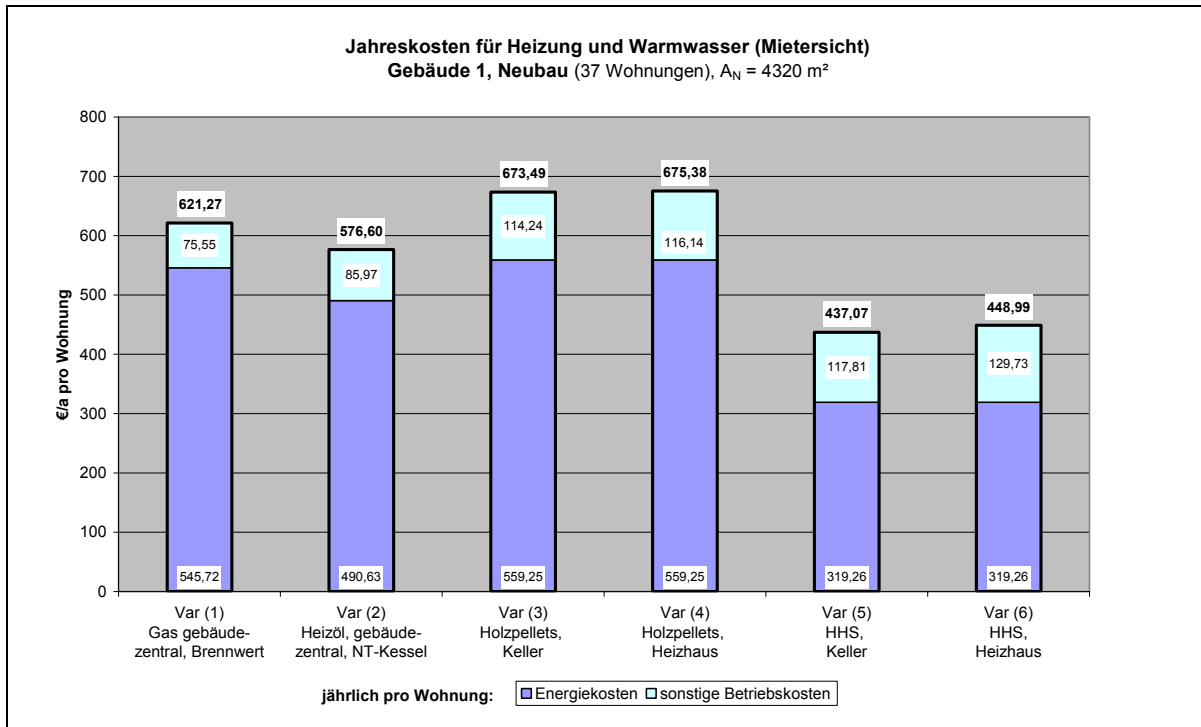


Abbildung 9 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sicht Mieter

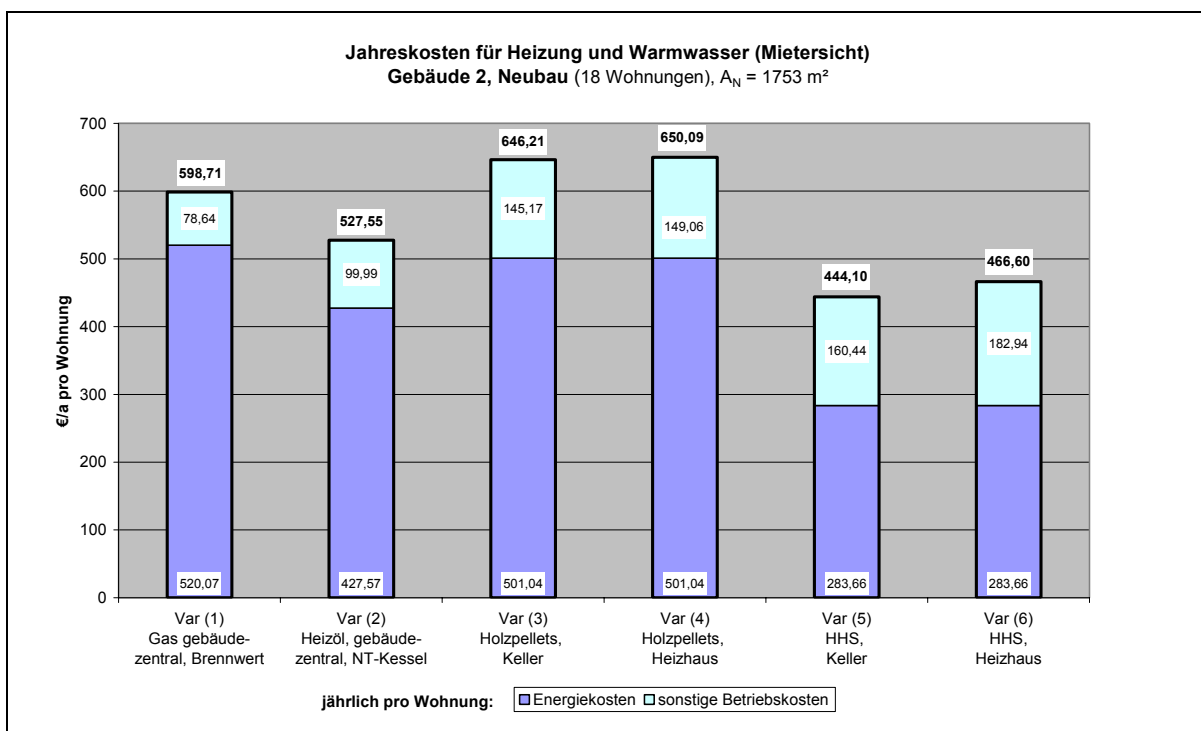


Abbildung 10 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sicht Mieter

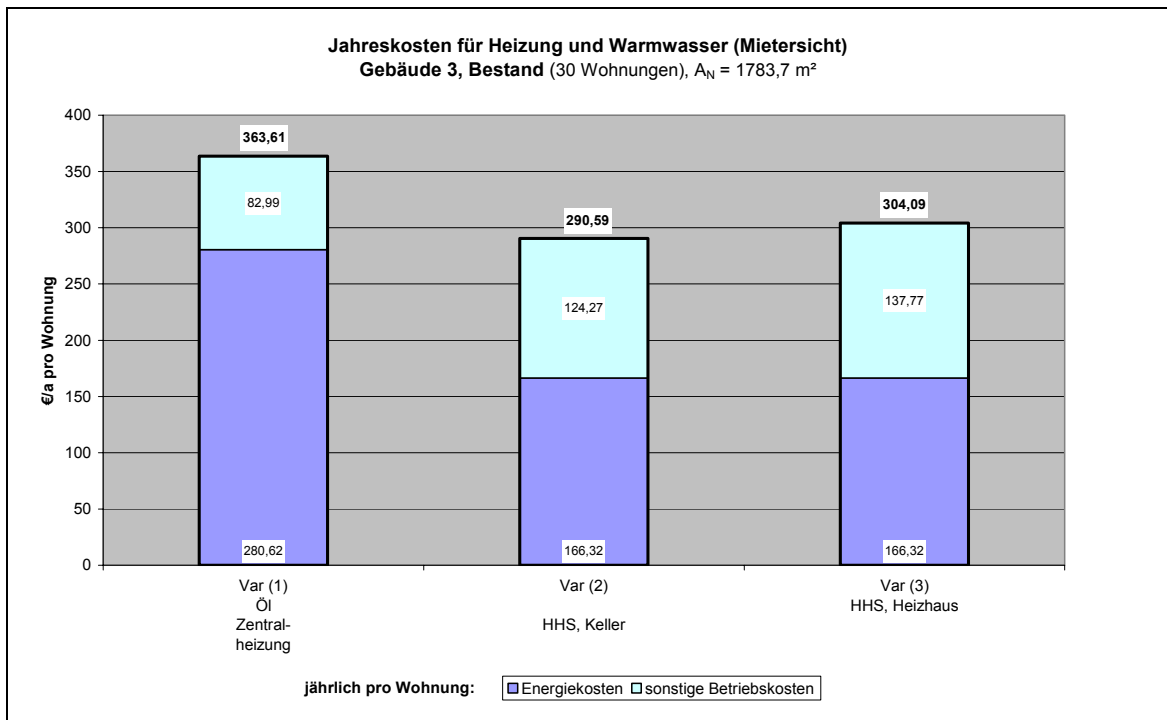


Abbildung 11 Gebäude 3, Jahresvollkosten, Sicht Mieter

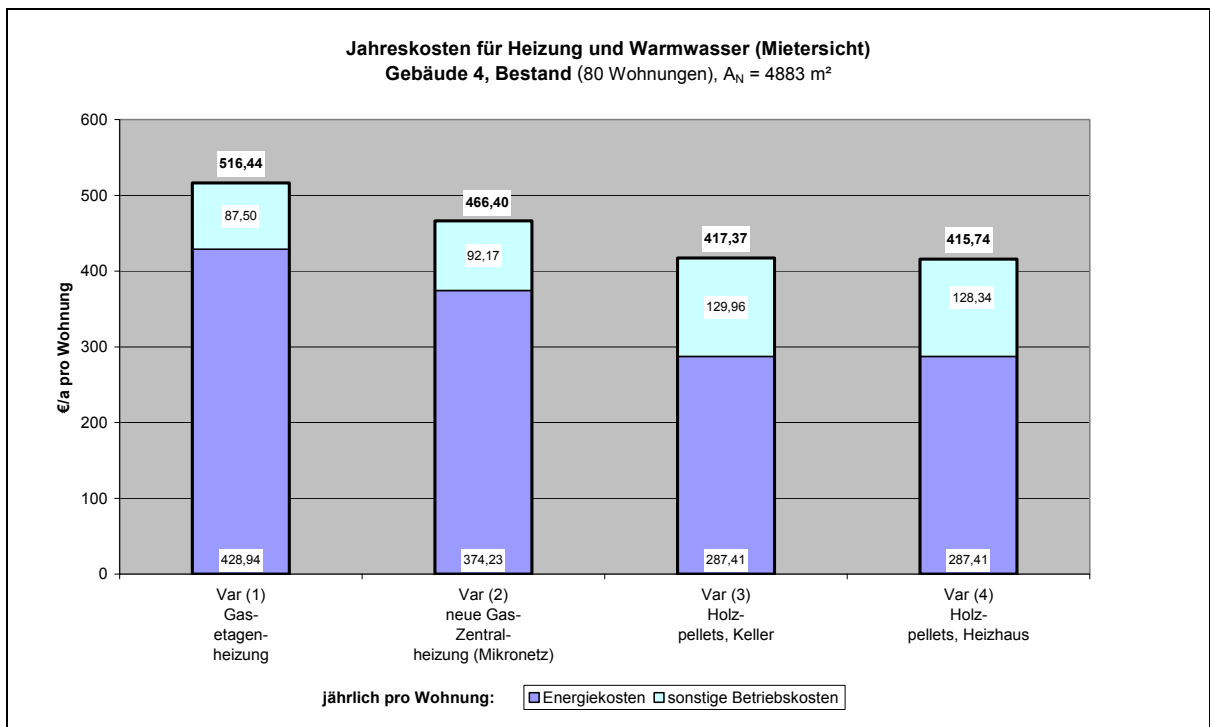


Abbildung 12 Gebäude 4, Jahresvollkosten, Sicht Mieter

Interpretation Jahreskosten, Sicht Mieter

Die Abbildungen geben die Jahreskosten aus Sicht eines Mieters für eine Wohnung wieder. Die absoluten Zahlen sind natürlich von einer Vielzahl von Einflussgrößen abhängig – nicht zuletzt von der Größe der Wohnung. Die Jahreskosten des Mieters enthalten den Bedarf an Heizöl, Erdgas, Holzpellets bzw. HHS (kWh/a), die Grundkosten und die sonstigen Betriebskosten.

Es zeigt sich, dass die Varianten mit HHS bei drei von vier Gebäuden zu den aus Mietersicht geringsten Jahreskosten führen. Beim Gebäude 4 wurden keine HHS betrachtet, sondern nur Holzpellets. Hier sind die Holzpellets-Varianten für den Mieter günstiger als die beiden hier untersuchten Varianten mit fossiler Energie.

Die Beheizung mit Holzpellets ist bei beiden Neubauten (37 bzw. 18 Wohnungen) die aus Mietersicht teuerste Variante (50 bis 125 € teurer als Erdgas bzw. Heizöl). Beim Gebäudeensemble 4 liegt dagegen die Pelletsheizung günstiger als die Nahwärme auf Erdgasbasis bzw. die Beheizung über Wohnungs-Gasetagenheizungen.

2.3.2 Sensitivitätsanalysen

Für die Neubauten (Gebäude 1 und Gebäude 2) wurden für folgende Parameter Sensitivitätsanalysen durchgeführt:

- Energiepreise: + 50 und - 50 %, differenzierte Steigerungen für einzelne Energieträger sowie stark steigende Preise für fossile Energien
- Zins: Aufzinsungsfaktor 1,08 statt 1,05
- Investitionsbeträge: + 30 und - 30 %
- Förderung: Tilgungszuschüsse lt. KfW-Programm zur Förderung Erneuerbarer Energien, Januar 2007 (günstige Zinsen + Zuschuss ab 100 kW (50 €/m für Nahwärmenetz, 20 €/kW Biomassekessel).⁴ Diese Zuschüsse wurden vereinfachend von den Investitionsbeträgen abgezogen.

Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen.

2.3.2.1 Sensitivität Energiepreis

Die Energiepreise wurden in verschiedenen Szenarien verändert; einerseits wegen der erheblichen Unsicherheiten, speziell was die Energiepreise in der Zukunft angeht, andererseits um ihren Einfluss auf die Vollkosten besser erkennen zu können.

In einem ersten Schritt wurden alle Energiepreise gleichermaßen um 50 % erhöht und gesenkt. Eine Reduktion um 50 % mag auf den ersten Blick überflüssig erscheinen. Zum einen ist jedoch zu berücksichtigen, dass die in der Vollkostenrechnung angesetzten Energiepreise eine Momentaufnahme sind, real und regional aber schwanken; zum anderen hat das Bundeskartellamt beim Erdgas regionale Preisunterschiede von 45 % festgestellt. Bei HHS kann es sein, dass diese nicht gekauft werden müssen, sondern „aus eigener Ernte“ bereitstehen.

⁴ Jeweils Aufzinsungsfaktor: 1,04 für die Biomasse-Anlagen. Ferner: Zuschuss für die 120-kW-Anlage von 4.900 € (50 m Netz * 50 €/m + 120 kW * 20 €/kW), für die 220 kW-Anlage von 29.000 € (100 m Netz * 50 €/m + 220 kW * 20 €/kW).

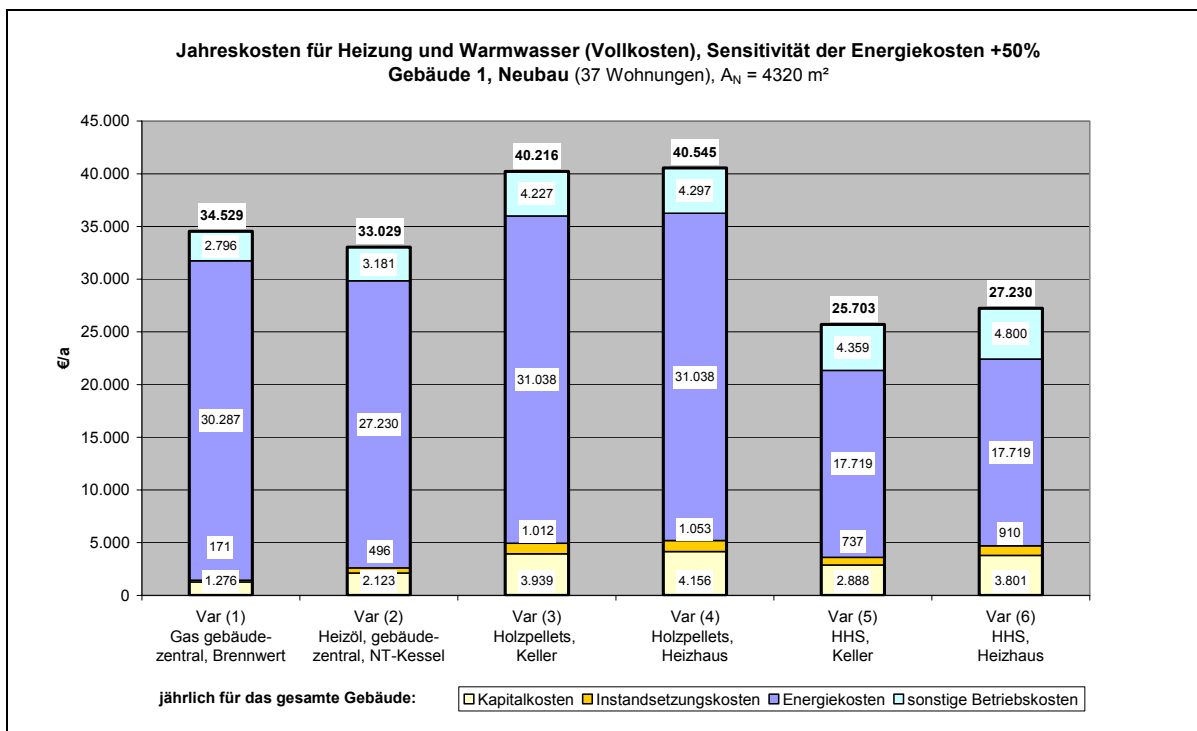


Abbildung 13 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise + 50 %

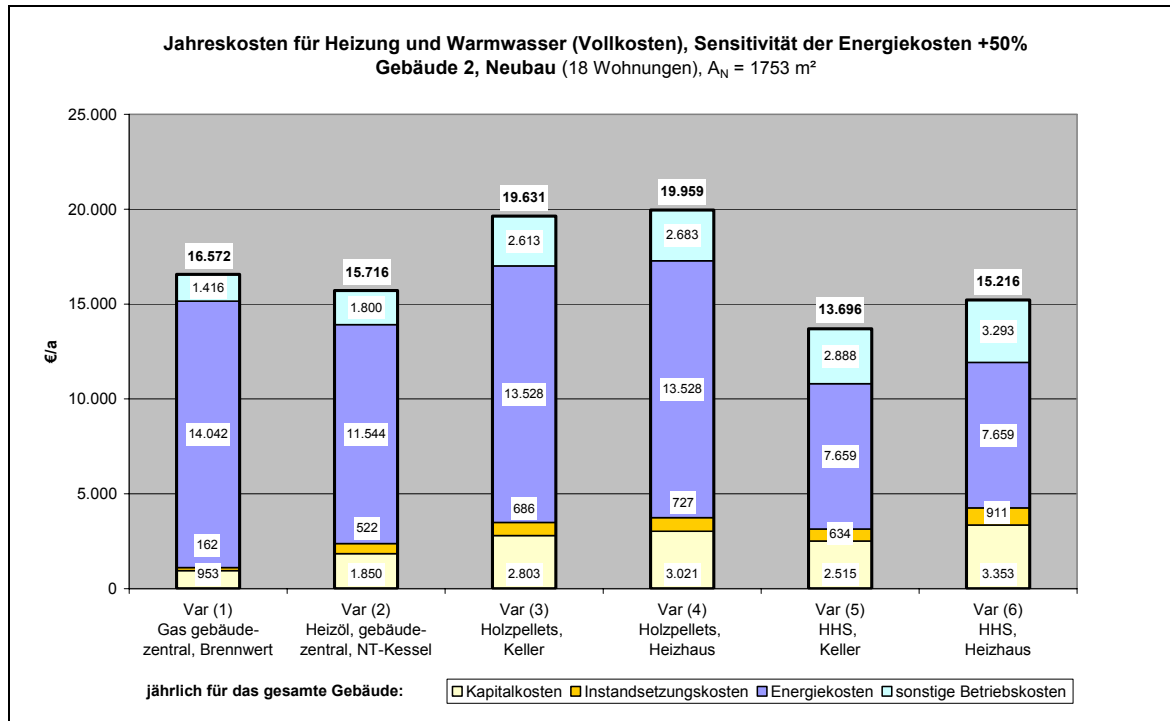


Abbildung 14 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise + 50 %

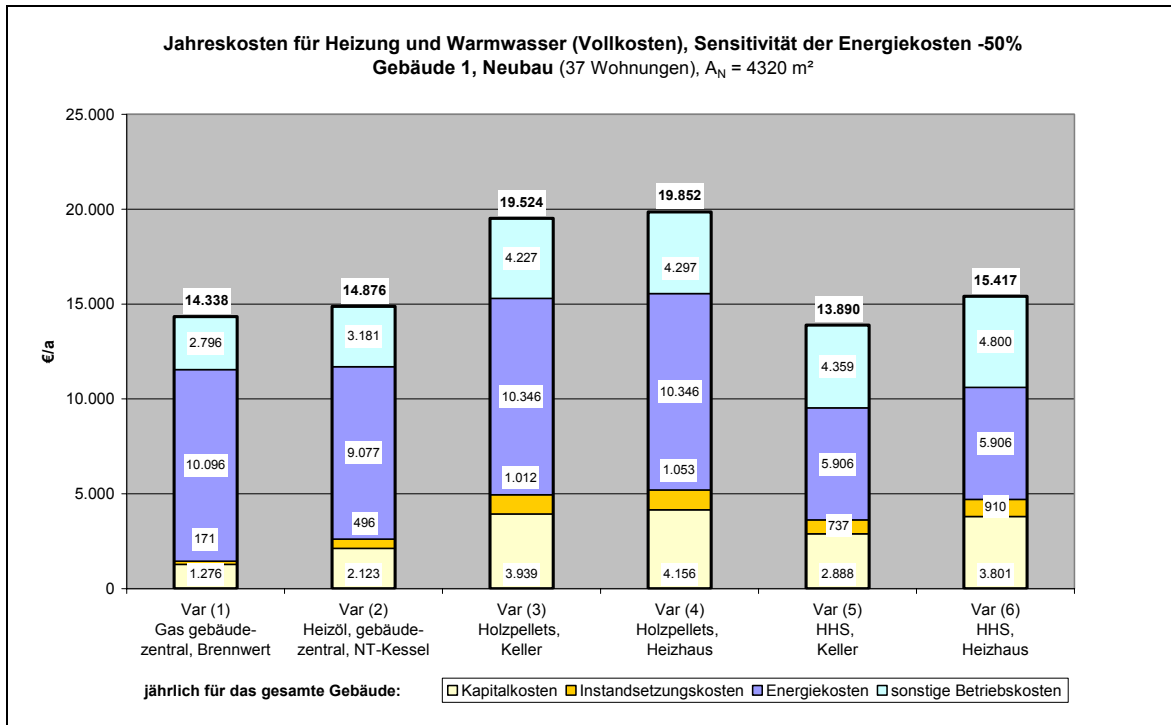


Abbildung 15 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise - 50 %

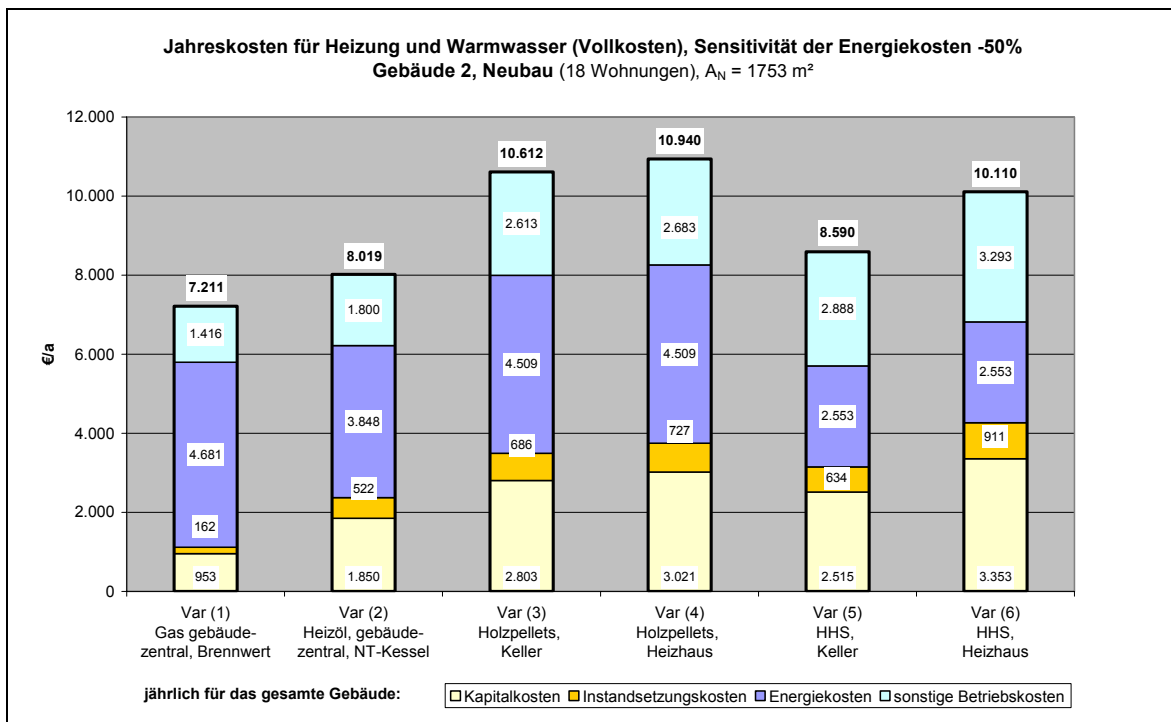


Abbildung 16 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise - 50 %



Eine weitere Sensitivitätsanalyse berücksichtigt die folgenden Energiepreise: Erdgas und Heizöl 0,07 €/kWh Hi (statt 0,055), Pellets 200 €/to (statt 230), HHS 60 €/to (statt 68,54), Strom unverändert. Dies sind Preise, die sich bei einer Steigerung des Heizölpreises innerhalb von wenigen Wochen ergeben könnten (vom Jahreshoch im Aug. 2006 mit ca. 0,83 €/kWh wären sie dabei immer noch ein gutes Stück entfernt); auch ein rückläufiger Pelletspreis auf 200 €/to ist aufgrund Produktionskapazitätserhöhungen nicht unrealistisch, wenn man bedenkt, dass der Preis noch Anfang 2006 unter diesem Wert lag.

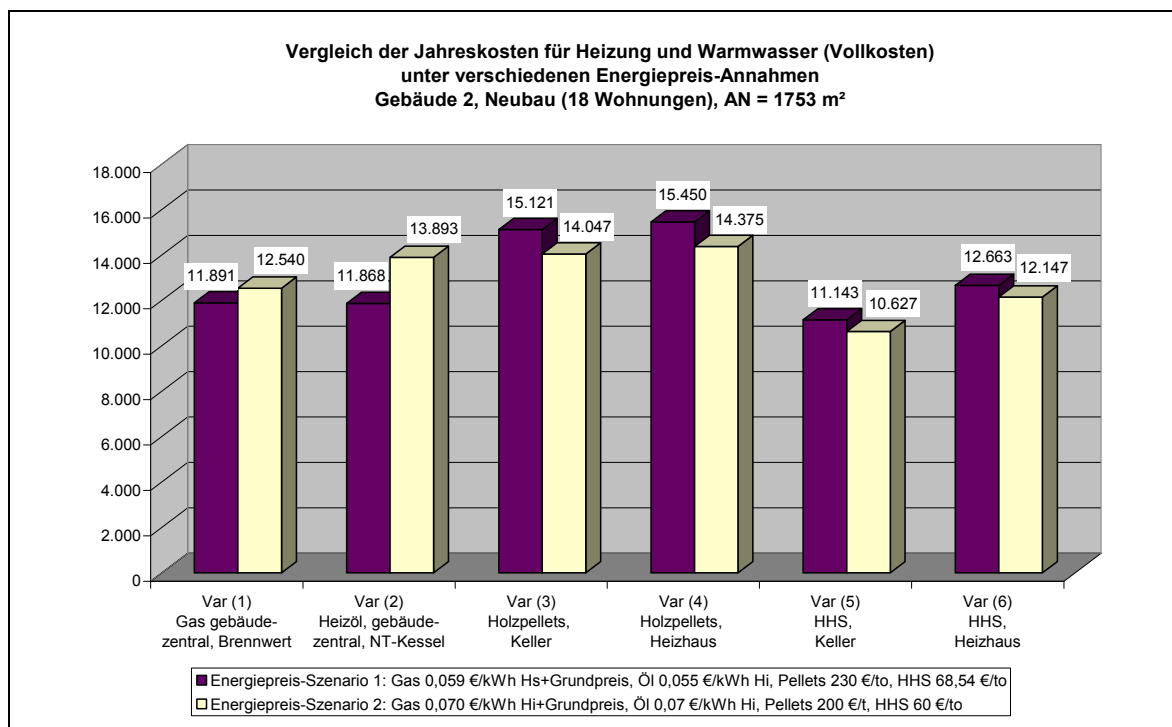


Abbildung 17 Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „Differenzierte Energiepreise (s.o.)“

In Abbildung 18 wird für ein ausgewähltes Gebäude gezeigt, wie sich „in Zukunft stark steigende Preise für die fossilen Energien“ (z.B. infolge der starken Nachfrage aus Indien und China) und etwa 1/2-so stark steigende Preise für Holzpellets und HHS auswirken würden.

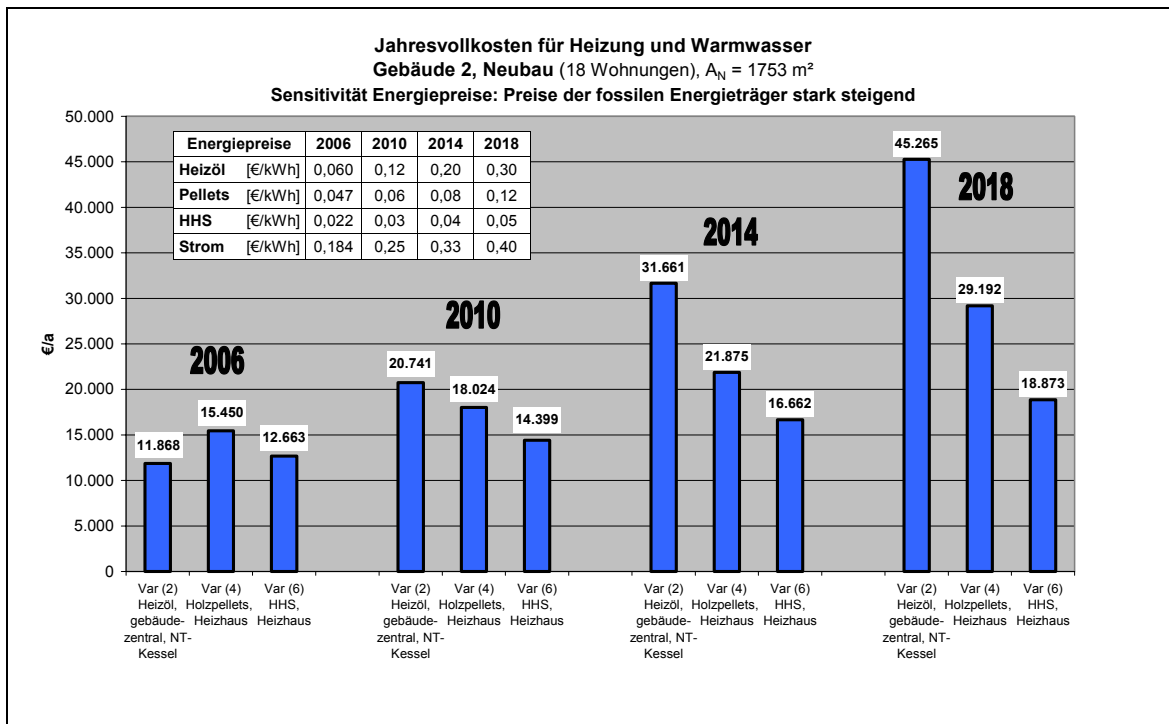


Abbildung 18 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Energiepreise „fossile Energiepreise stark steigend“

Interpretation Sensitivität Energiepreise

Preissteigerungen für alle Energien um 50 %: Liegen die Energiepreise insgesamt um 50 % höher als in Tabelle 3 und Tabelle 4 angesetzt, steigen die Jahresvollkosten bei allen betrachteten Varianten und zwar zwischen 20 und 40 %. Die größte Steigerung entsteht bei Gebäude 1 in der Variante 1 (Gas, gebäudezentral, Brennwert). Am geringsten wirkt sich die Energiepreissteigerung bei Gebäude 2 in der Variante 6 (HHS, Heizhaus) aus. Die „Reihenfolge“ gegenüber dem angenommenen Normalpreis-Szenario bleibt nicht unverändert. Im Hochpreisszenario sind generell die HHS-Varianten die günstigsten Versorgungsalternativen. Was sich auch ändert, sind die absoluten Beträge, um die die Varianten voneinander abweichen. Auch im Hochpreisszenario liegen – unter den getroffenen Annahmen - die Jahresvollkosten der Holzpellets-Varianten um ca. 20 - 25 % über den konventionell gebäudezentral versorgten Gebäuden.

Reduktion aller Energiepreise um 50 %: Eine Reduktion der Energiepreise um 50 % führt dagegen zu einem anderen Bild. Konventionelle Beheizungssysteme können jetzt deutlich günstiger sein als Biomasse-Anlagen. Da bei einer Energiepreisreduktion der Einfluss der Energiepreise auf die Jahresvollkosten sinkt, gewinnen jetzt andere Positionen ein ganz anderes Gewicht: So übertreffen bei den HHS-Systemen nun die sonstigen Betriebskosten die Brennstoffkosten. Bei erheblich gesunkenen Energiepreisen (die zurzeit nicht realistisch erscheinen) würden Unterschiede der Jahresvollkosten absolut gesehen geringer ausfallen als im Normalszenario.

Differenzierte Energiepreise: Bei diesen Energiepreisansätzen liegen die Jahreskosten der Pelletsanlagen zwar nach wie vor über denen der Erdgas- und Heizöl-Anlagen, aber die Differenz ist deutlich geringer geworden.



stark steigende Preise für fossile Energie: Bei der Sensitivität „fossile Energiepreise stark steigend“ ist erkennbar, dass bereits ab dem Jahre 2010 die Jahresvollkosten einer Heizöl-Anlage (ca. 120 kW) um ca. 30 % höher liegen könnten als bei einer HHS-Anlage; auch eine Holzpellets-Anlage wäre mehr als 10 % günstiger. Die in diesem Szenario erheblich steigenden Energiepreise bei fossiler Energie würden dazu führen können, dass die Jahresvollkosten im Jahre 2018 bei einem so beheizten Gebäude ca. 4 mal so hoch sind wie 2006. Biomasse-Anlagen schneiden dagegen sehr viel günstiger ab; man könnte sie als Versicherung gegen steigende fossile Energiepreise bezeichnen.

Bei Biomasse ist auch zu berücksichtigen, dass Langfrist-Lieferverträge möglich sind, die moderate Preisgleitklauseln enthalten. Solche Verträge beginnen sich im Bereich der mit Mais versorgten Biogas-Anlagen zu etablieren.⁵

2.3.2.2 Sensitivität Zins (8 % statt 5 %)

Bei der Sensitivitätsanalyse zum Einfluss der Zinshöhe für die Investitionen wurde der Zins von 5 % auf 8 % erhöht.

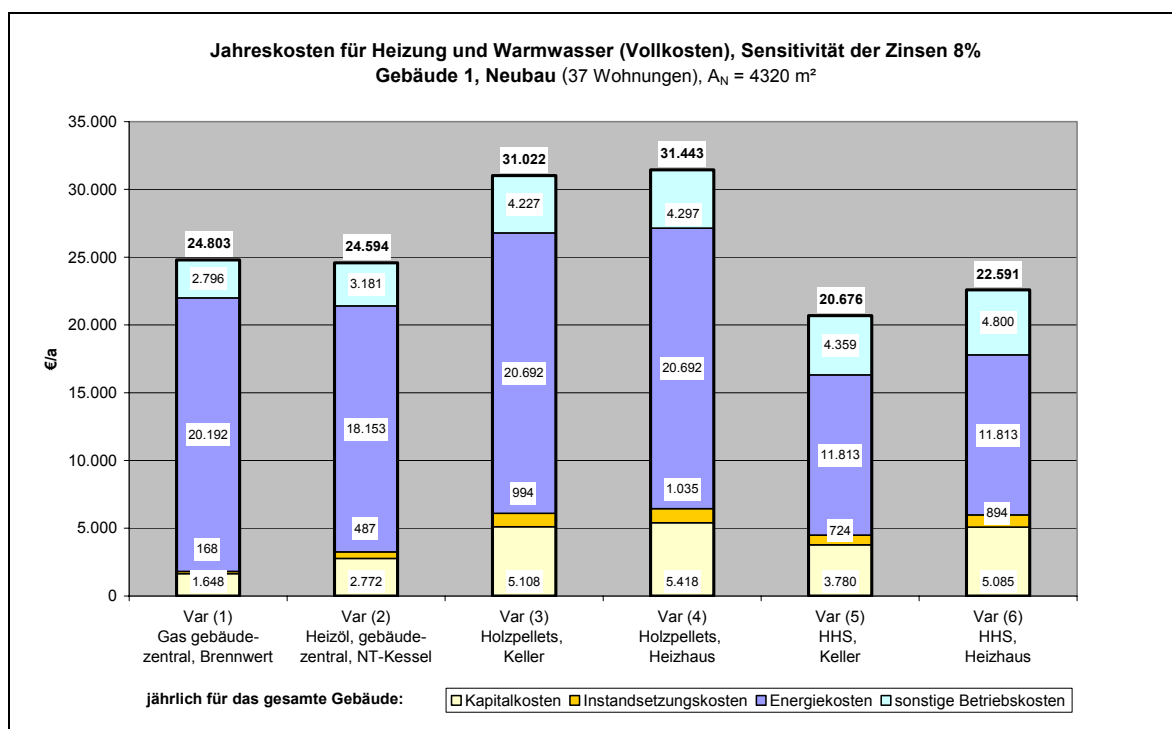


Abbildung 19 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Zins 8 %

⁵ pers. Auskunft Dr. Hansen, FNR, vom März 2007.

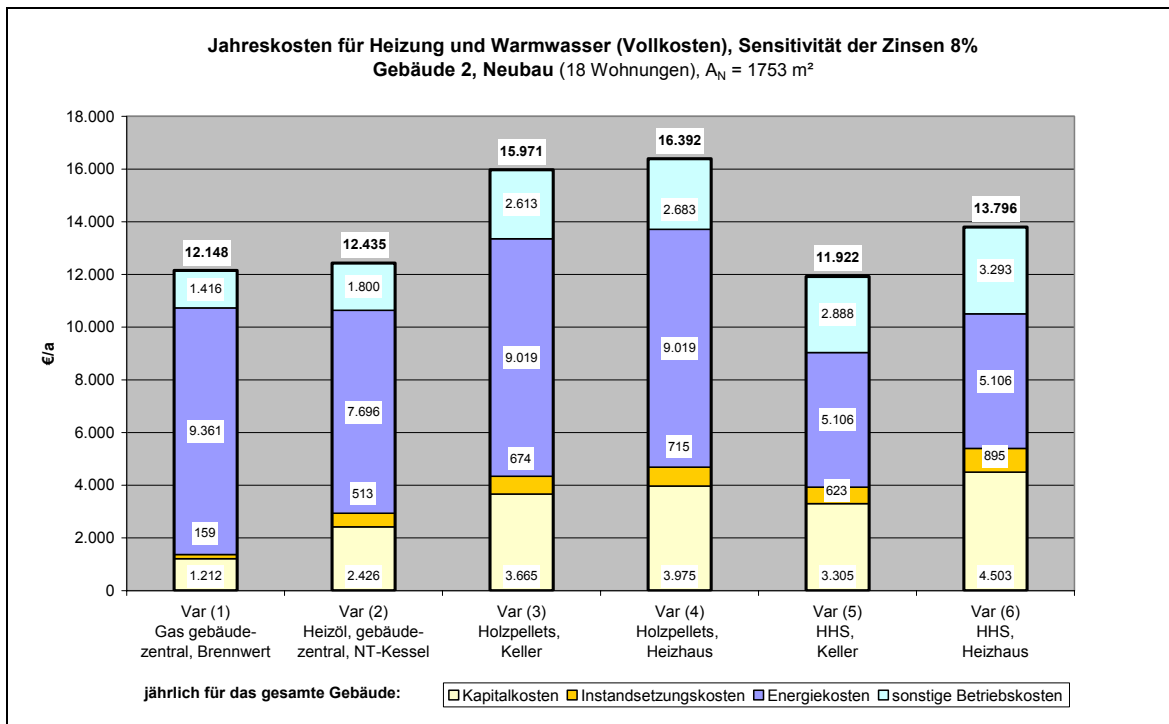


Abbildung 20 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Zins 8 %

Interpretation Sensitivität Zinshöhe

Liegt der Aufzinsungsfaktor bei 1,08 statt bei 1,05, steigen die Jahreskosten für die Gebäude um 300 bis etwa 1.300 € an. Prozentual gesehen sind dies ebenfalls ca. 2-6 % der Jahreskosten; die 6 % betreffen die kapitalintensiveren HHS-Anlagen. Liegen die Zinsen höher, steigen natürlich auch die Jahresvollkosten der konventionellen Anlagen; allerdings jedoch weniger stark als die Jahreskosten der kapitalintensiveren Biomasse-Anlagen. Biomasse-Anlagen sind also Zinssatz-abhängiger als konventionelle Anlagen.

2.3.2.3 Sensitivität Investitionsbeträge (+ 30 und - 30 %)

Eine Sensitivitätsanalyse des Einflusses veränderter Annahmen bei den Investitionsbeträgen wurde am Beispiel der Gebäude 1 und 2 (Neubauten) vorgenommen. Hierbei wurden die anfänglichen Investitionsbeträge A_0 bezüglich des Heizkessels um + 30 % bzw. - 30 % gegenüber den Ansätzen in den Tabellen Tabelle 3 und Tabelle 4 (Details s. Anlage 4 und 5) verändert.

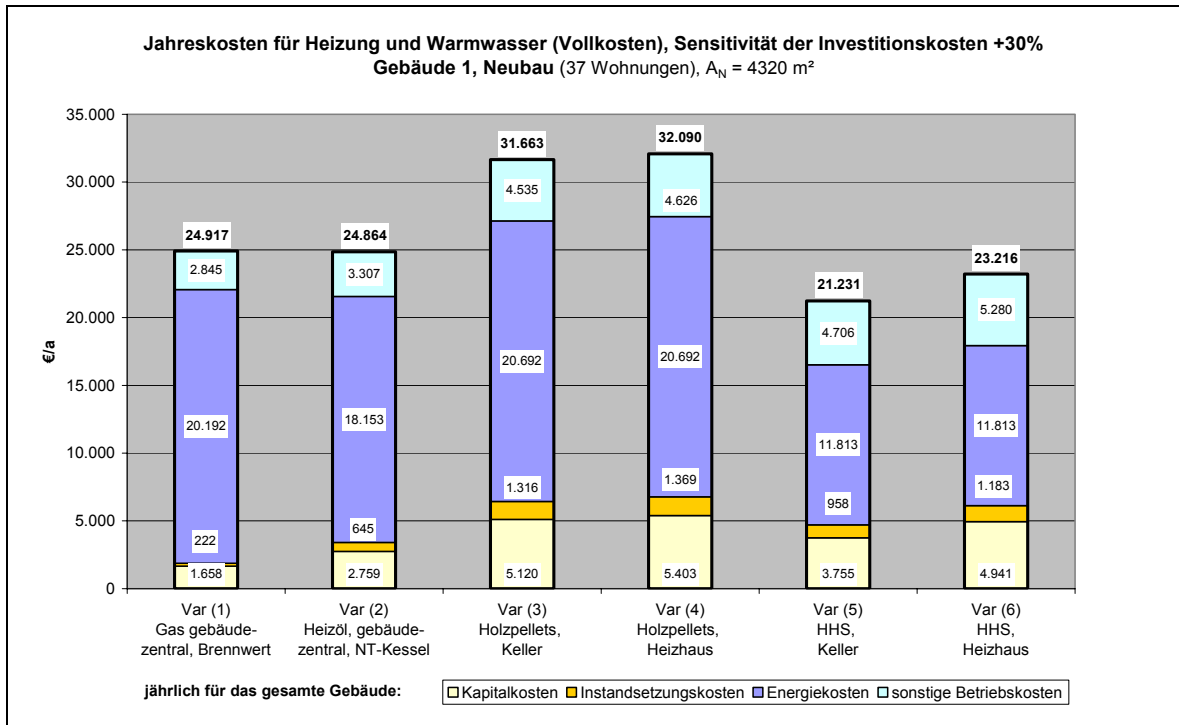


Abbildung 21 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag + 30 %

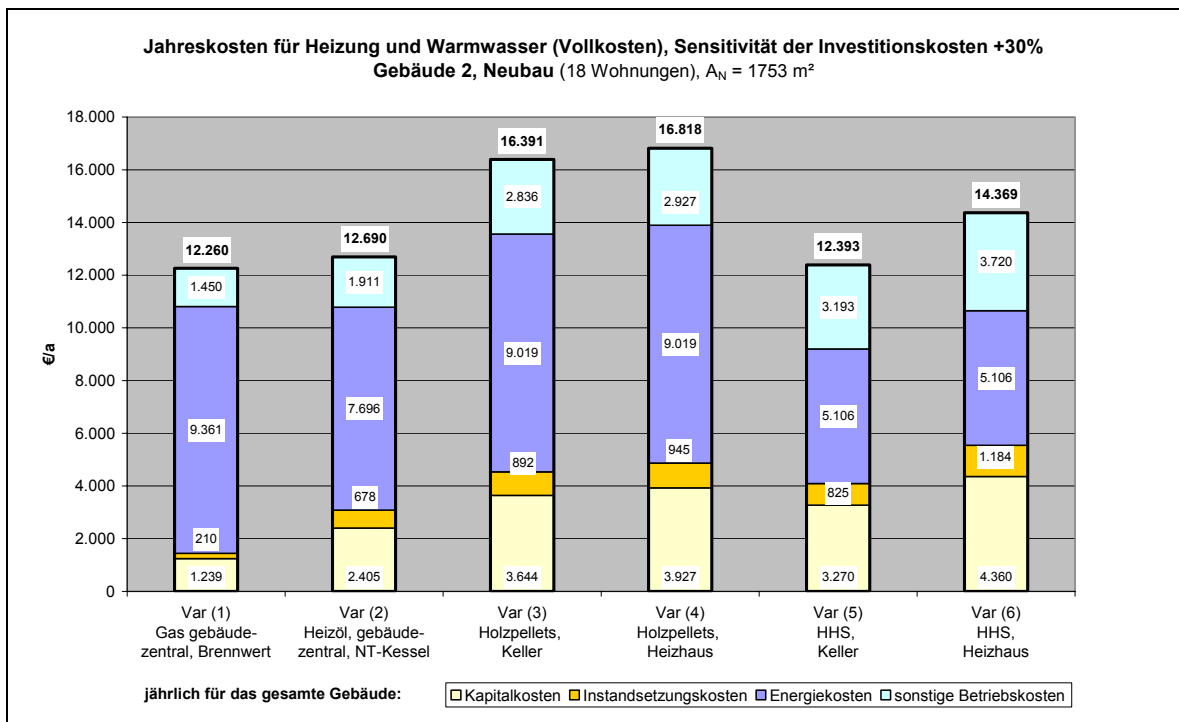


Abbildung 22 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag + 30 %

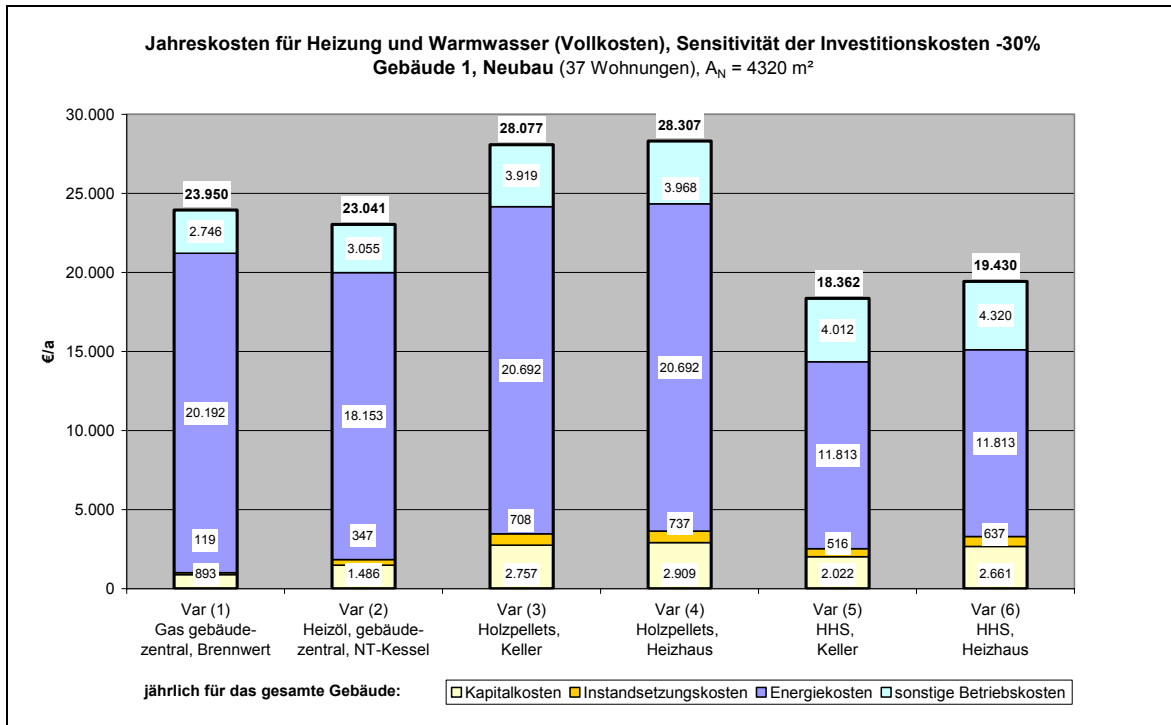


Abbildung 23 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag - 30 %

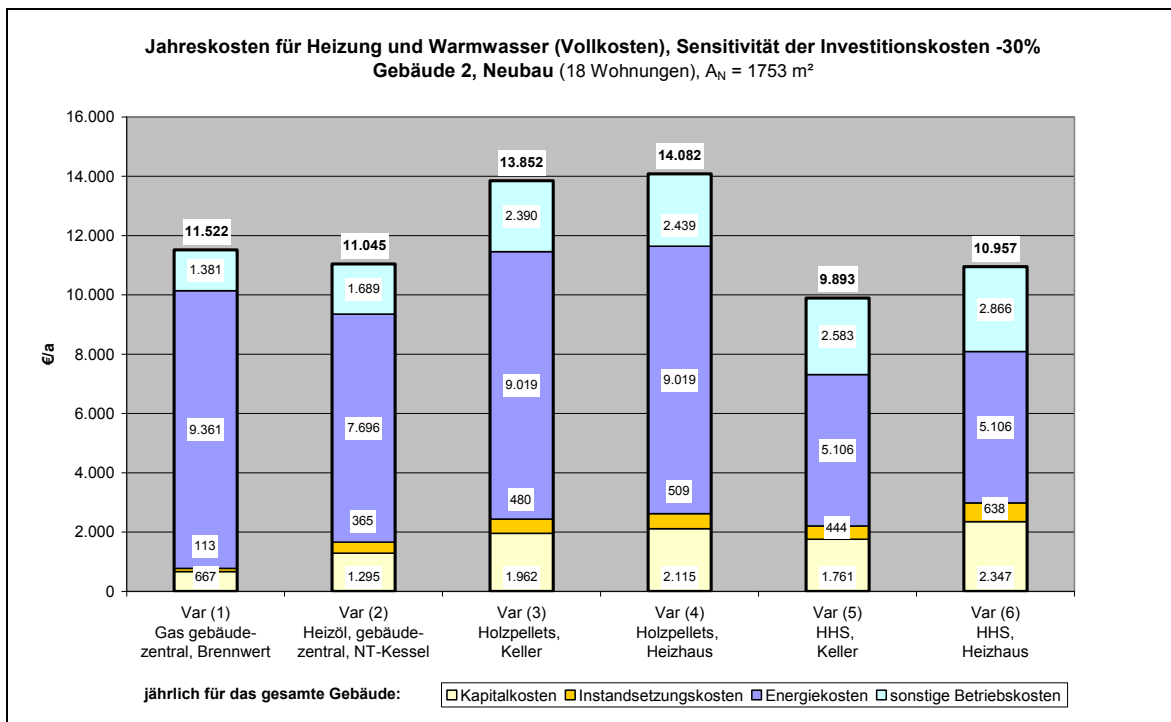


Abbildung 24 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität Investitionsbetrag - 30 %



Interpretation der Sensitivität der Investitionsbeträge

Liegen die **Investitionsbeträge um 30 % höher** als in Tabelle 3 und Tabelle 4 angesetzt, steigen die Jahreskosten beim Gebäude 1 bei den kapitalintensiveren Varianten mit Holzpellets um ca. 1.800 bis 1.900 €; bei den HHS-Varianten um ca. 1.400 bis 1.900 € und bei den konventionellen Varianten um ca. 500 bis 900 €. Die „Reihenfolge“ der Varianten bzgl. ihrer Jahreskosten bleibt gleich: Der Anstieg beträgt bei den kapitalintensiven Pellets- und HHS-Anlagen mit Heizhaus 6-9 %; bei den wenig kapitalintensiven konventionellen Anlagen ca. 2 %. Beim kleineren Gebäude 2 steigen die Jahreskosten der kapitalintensivsten Varianten 4 und 6 (Pellets bzw. HHS mit Heizhaus) bei einer 30 %igen Erhöhung der Investitionsbeträge um 8-13 %; die Jahreskosten der konventionellen Varianten dagegen nur um 3-7 %. Um 30 % höhere Investitionsbeträge als angenommen haben also einen Einfluss auf die Jahreskosten, der recht überschaubar ist.

Sind die **Investitionsbeträge um 30 % niedriger** als in Tabelle 3 und Tabelle 4 angesetzt, sinken die Jahreskosten beim Gebäude 1 bei den kapitalintensiveren Varianten mit Holzpellets um ca. 1.800 bis 1.900 €; bei den HHS-Varianten um ca. 1.400 bis 1.900 € und bei den konventionellen Varianten um ca. 500 bis 1.000 €. An der „Reihenfolge“ der Varianten bzgl. ihrer Jahreskosten ändert sich nichts. Die Reduktion beträgt bei den kapitalintensiven Pellets- und HHS-Anlagen mit Heizhaus um ca. 6-9 %; bei den wenig kapitalintensiven konventionellen Anlagen ca. 2-4 %. Beim kleineren Gebäude 2 sinken die Jahreskosten der kapitalintensivsten Varianten 4 und 6 (Pellets bzw. HHS mit Heizhaus) bei einer 30 %igen Reduzierung der Investitionsbeträge um 8-13 %; die Jahreskosten der konventionellen Varianten dagegen nur um 3-6 %. Die Variante 5 mit HHS im Keller wird bei beiden Gebäuden zur deutlich günstigsten Variante.

2.3.2.4 Sensitivität Förderung

Hier wird untersucht, wie sich die aktuelle Förderung – Anfang 2007 - des Bundes laut „Marktanreizprogramm“ und „KfW-Programm zur Förderung regenerativer Energie“ auf den Vollkostenvergleich auswirkt.

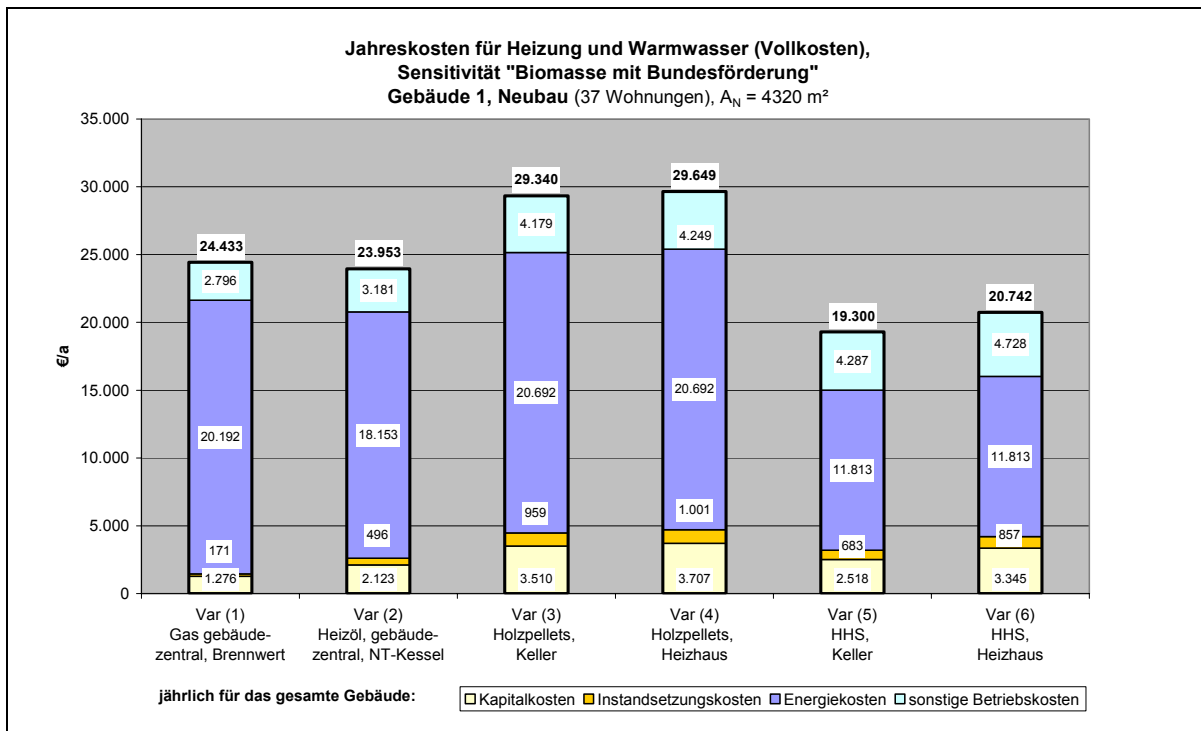


Abbildung 25 Gebäude 1, Jahresvollkosten, Sensitivität „Biomasse mit Bundesförderung“

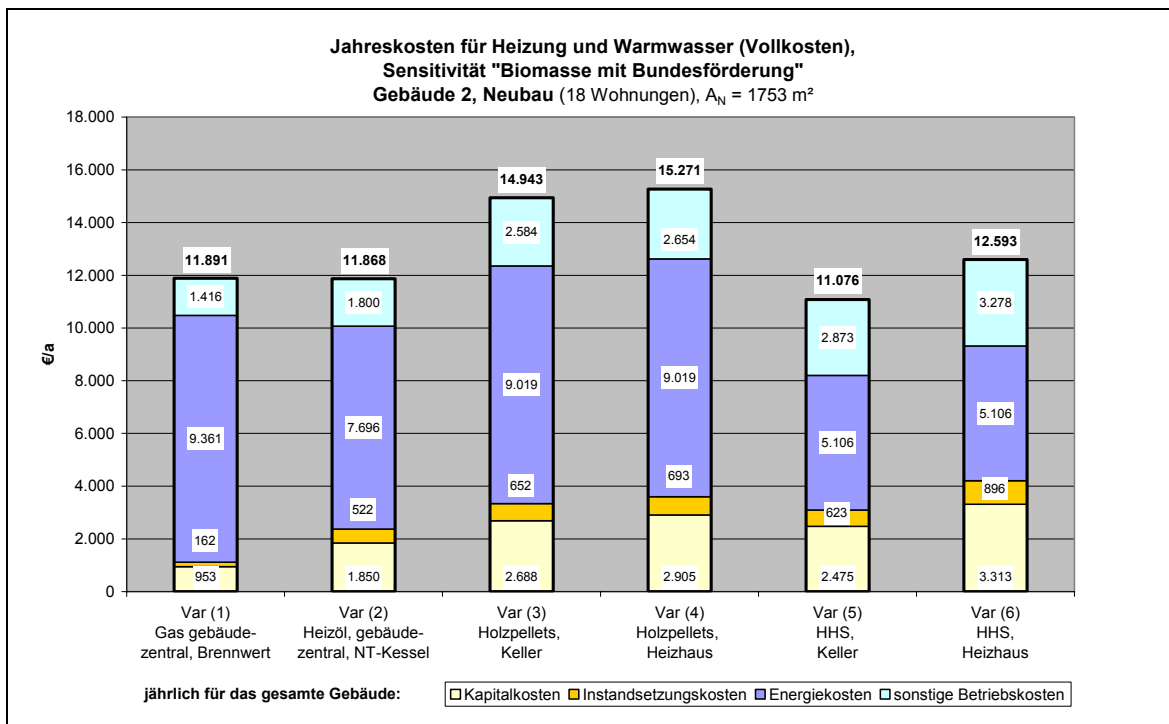


Abbildung 26 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität „Biomasse mit Bundesförderung“



Interpretation Sensitivität Förderung

Die „Reihenfolge“ der Varianten bezüglich der Jahresvollkosten ändert sich nicht (vgl. Abbildung 1 und Abbildung 2).

Bei den Varianten mit Biomasse bringt die Förderung beim größeren Gebäude 1 eine Reduktion der Jahreskosten bei den Pellets- und HHS-Heizungen (Var. 3 und 4) von ca. 500 bis 600 €.

Beim kleineren Gebäude 2 macht sich die Förderung bei den Jahreskosten kaum bemerkbar: die Jahreskosten sinken bei Pellets um ca. 200 €, bei HHS um ca. 70 €.

3. Hintergrund: Technik und Umwelt

Für die in dieser Untersuchung betrachteten Gebäude über 1.000 m² Gesamtnutzfläche kommen in Deutschland nur automatisch beschickte Anlagen in Betracht. Handbeschickte Anlagen werden deshalb nicht betrachtet.

3.1 Brennstoffe

Für die Verbrennung in Kleinfeuerungsanlagen sind nach der [1.BImSchV] u.a. folgende Biomassen-Brennstoffe zugelassen: Holzhackschnitzel (Abkürzung: HHS), Holzpellets und Stroh. Bei Stroh gilt die 1.BImSchV derzeit nur bis 100 kW (ab 100,1 kW gilt die TA Luft). Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Zulässigkeit von Strohfeuerungsanlagen, denn die Grenzwerte der TA Luft bezüglich CO und Staub sind wesentlich schärfer als die der 1.BImSchV, und der technische Aufwand, die Staub- und CO-Emissionen von Strohfeuerungsanlagen > 100 kW unter das zugelassene Maximum zu bekommen, ist nicht unbedeutend.

Der Heizwert von Holz und ähnlichen Brennstoffen hängt im Wesentlichen vom Gewicht (der Dichte) und vom Wassergehalt w (bzw. Feuchte u) ab. Je mehr Wasser enthalten ist, desto geringer ist der Heizwert, da das Wasser im Verbrennungsvorgang verdampft und dafür Energie gebraucht wird.

3.1.1 Holzpellets

Beschreibung des Brennstoffs:

Holzpellets sind kleine Presslinge aus Holz. Sie werden aus Holzspänen oder Waldrestholz ohne Rinde hergestellt. Verschiedene nationale Normen beschreiben zugesicherte Eigenschaften. Die Tabelle 7 gibt hier einen Überblick. Nach [Berner 2005b] werden ca. 6 bis 8 m³ Holzspäne benötigt, um eine Tonne Pellets herzustellen.

Die Presslinge werden zylindrisch geformt und getrocknet. Ihr Heizwert liegt bei etwa 5 kWh pro Kilogramm. 1 m³ Holzpellets hat eine Masse von ca. 650 kg. In der Literatur wird ein Einhalten der DIN 51731 nicht für ausreichend erachtet. Als Mängel werden geringe Anforderungen an Aschegehalt, Restfeuchte, Dichte und Heizwert genannt, vgl. z.B. [Grebe 2005]. Höhere Anforderungen erfüllt die so genannte DIN*plus*-Qualität.



		Vorgaben DIN 51731	Vorgaben DINplus 51731
Durchmesser	mm	5 Größengruppen: HP 1 > 100 HP 2 60 bis 100 HP 3 30 bis 70 HP 4 10 bis 40 HP 5 4 bis 10	$4 \leq d \leq 10$ plusminus 10 %
Länge	mm	5 Größengruppen: HP 1 > 300 HP 2 150 bis 300 HP 3 100 bis 160 HP 4 < 100 HP 5 < 50	$\leq 5 \cdot d$ max. 20 % der Masse der Presslinge dürfen Längen von bis zu $7,5 \cdot d$ aufweisen
Rohdichte	kg/dm ³	$1 < \text{Dichte} < 1,4$	$\geq 1,12$ plus minus 0,02
Wassergehalt	%	≤ 12	$\leq 10,0$
Aschegehalt (wf)	%	$\leq 1,5$	$\leq 0,50$ Der Aschegehalt darf in bestimmten Fällen bis 0,80 % betragen
Heizwert	MJ/kg	$17,5 \leq \text{Heizwert} \leq 19,5$ (entspricht $4,86 \text{ kWh} \leq \text{Heizwert} \leq 5,421 \text{ kWh}$)	$\geq 18,0$ (entspricht Heizwert $\geq 5,004 \text{ kWh}$)
Schwefelgehalt	%	$\leq 0,08$	$\leq 0,04$
Stickstoffgehalt	%	$\leq 0,3$	$\leq 0,30$
Chlorgehalt	%	$\leq 0,03$	$\leq 0,02$
Arsen	mg/kg	$\leq 0,8$	keine Anforderung
Cadmium	mg/kg	$\leq 0,5$	keine Anforderung
Chrom	mg/kg	≤ 8	keine Anforderung
Kupfer	mg/kg	≤ 5	keine Anforderung
Quecksilber	mg/kg	$\leq 0,05$	keine Anforderung
Blei	mg/kg	≤ 10	keine Anforderung
Zink	mg/kg	≤ 100	keine Anforderung
Extrahierbare organisch gebundene Halogene	mg/kg	≤ 3	keine Anforderung
Abrieb	%	keine Anforderung	2,3
Presshilfsmittel	%	0,0	2,0 ⁶

Tabelle 7 Eigenschaften von Holzpellets nach DIN 51731 und DINplus

Die Qualitätsanforderungen von DINplus gehen über die Anforderungen der DIN 51731 hinaus. Anfang Januar 2006 gab es 31 Zeichennehmer aus Deutschland, Österreich und der Tschechischen Republik.

Die Qualität von Holzpellets gilt nach [test 2005] innerhalb genormter Pellets als umso besser,

- je glänzender die Pelletsoberfläche ist,
- je weniger Längs- und Querrisse auf der Oberfläche zu erkennen sind,

⁶ Erlaubt sind „chemisch nicht veränderte Produkte aus der primären land- und forstwirtschaftlichen Biomasse (solche sind z.B. Maisschrot, Maisstärke, Roggenmehl), die aus Gründen der Erleichterung des Pressvorgangs und damit auch der Verbesserung der Energiebilanz sowie zur Erhöhung der Abriebfestigkeit – dem Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Holz- oder Rindenpresslingen beigegeben werden“

- je geringer der Staubanteil und
- je einheitlicher die Größe der Pelletstücke ist.

Holzpellets von 6 bis 8 mm Durchmesser sind am häufigsten anzutreffen. Eine Nutzung unterschiedlicher Abmessungen könne bei der Verbrennung zu unvollständiger Verbrennung führen; eine Anlage sollte deshalb auf eine bestimmte Pelletsgröße eingestellt werden. [Grebe 2005]

Da nicht allein die Herstellung des Brennstoffs qualitätsrelevant ist, sondern auch die Zwischenlagerung, Auslieferung und Lagerung beim Kunden, ist in Deutschland das Zeichen „DIN Pelletlogistik geprüfter Fachbetrieb“ entstanden, sowie in Österreich die ÖNorm M 7137. Sie beschreibt die Grundvoraussetzungen für eine sachgerechte Lagerung beim Kunden, vgl. [Grebe 2005]. Holzpellets werden i.d.R. in geschlossenen Tank-LKW angeliefert. Holzpellets können auch in HHS-Anlagen eingesetzt werden.

Verfügbarkeit

Nach [Witt 2005] wurden 2005 in Europa ca. 2,8 bis 3,0 Mio. t Holzpellets produziert. Der größte Produzent in Europa war Schweden mit 1,2 Mio. Tonnen; Kanada war weltweit die Nr. 1. In Deutschland wurden 140.000 t produziert. Nach [Bensmann 2006] gab es Anfang 2006 in Deutschland 28 Pelletierwerke, die 300.000 t/a herstellen konnten. Für die Jahre 2006-2008 sind nach [Bensmann 2006] 14 weitere Werke sowie Kapazitätserweiterungen bestehender Werke geplant. In den nächsten Jahren werde somit die Produktionskapazität auf über 1 Mio. t/a ausgebaut. In Deutschland existiert ein überregionales Netz von 30 Pelletsherstellern und 300 Händlern [Witt 2005]. Für Österreich wird für das Jahr 2007 mit einem 50 %igen Anstieg der Pelletsproduktion auf über 900.000 t/a bei einem einheimischen Verbrauch in Österreich im Jahre 2006 von 400.000 t gerechnet [proPellets Austria 2007]. Diese zusätzliche Produktion dürfte auch Auswirkungen für Deutschland haben.

Die Nachfrage [Bensmann 2006] lag in Deutschland bei knapp 200.000 t im Jahre 2005. Die Biomassebranche sieht kein Problem in der Befriedigung der Nachfrage, obwohl die Zahl der Pelletsheizungen in Deutschland von ca. 26.000 im Jahre 2004 auf ca. 40.000 Anlagen im Jahre 2005 gestiegen ist. Ab einem Nachfragevolumen von etwa 1,5 Mio. t/a käme es zu verstärktem Konkurrenzkampf um Material für Pellets mit z.B. der Spanplattenindustrie [Bensmann 2006].

3.1.2 Holzhackschnitzel (HHS)

Beschreibung des Brennstoffs

Holzhackschnitzel (HHS) werden aus Restholz der Industrieholzgewinnung, aus Durchforstungs- und Landschaftspflegeholz, aus Sägerestholz und aus Gebrauchtholz hergestellt. Dabei wird das Holz in mobilen oder stationären Hackern zu Hackschnitzeln zerkleinert [Jacobs 2003]. HHS fallen selten holzartenrein an.

Aus einem Kubikmeter fester Holzsubstanz werden ca. 2,4 Schüttkubikmeter (Sm^3) Hackschnitzel hergestellt [Jacobs 2003]. Je nach Wassergehalt und Holzart haben Hackschnitzel ein Gewicht von 200 - 300 kg/Sm^3 und einen Energiegehalt von 650 - 1.100 kWh/Sm^3 [Jacobs 2003]. Nach [Block 2005] haben getrocknete Holzhackschnitzel (Feuchte 10 %) einen Heizwert H_u von 4,7 kWh/kg . [Selbach 2005] rät dazu, von einem Heizwert von 4,0 kWh/kg auszugehen.

Sägefrische HHS haben eine Feuchte von ca. 50 % und einen Heizwert H_u von 1,8 kWh/kg .



Die Qualität der Hackschnitzel hängt neben dem Wassergehalt und der Holzart auch von den mechanischen Eigenschaften und dem Anteil an Fremdstoffen ab. [Jacobs 2003]

Handelsübliche Stückgrößen liegen bei < 3 cm (G30), < 5 cm (G50) oder < 10 cm (G100) [Selbach 2005].

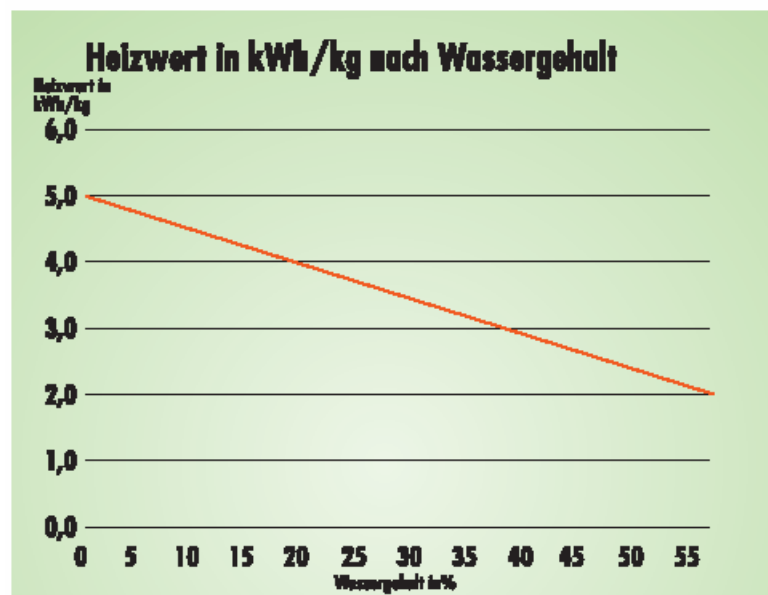
Bei der Planung einer Hackschnitzelheizung sollte die Feuchte und insbesondere die Größe der Hackschnitzel möglichst früh bekannt sein, um die Fördertechnik und die Feuerung dem Brennstoff optimal anzupassen [Jacobs 2003].

Nach [Leitfaden Bioenergie 2002] können unterschieden werden

- Waldhackschnitzel G50 – mittel (Wassergehalt $w = 25\%$; lagerbeständig) mit einem Heizwert von 3,6 bis 3,8 kWh/kg
- (Säge-) Hackschnitzel G50 – mittel (Wassergehalt $w = 45\%$, säge- bzw. erntefrisch) mit einem Heizwert von 2,4 bis 2,6 kWh/kg.

HHS können nicht ohne weiteres in Holzpelletsanlagen eingesetzt werden.

Erfahrungen zeigen, dass 60 %-feuchte HHS nach 3 Wochen belüfteter Lagerung nur noch 30 % Feuchte aufweisen.⁷ HHS, die in Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden, sollten nicht über 35 % Feuchtegehalt aufweisen.



Quelle: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft ④

Abbildung 27 Heizwert von Hackschnitzeln in Abhängigkeit vom Wassergehalt
Quelle: [CARMEN 2005] unter Berufung auf Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Verfügbarkeit und Verbreitung

HHS können aus örtlichen Quellen wie Grünschnitt und Forst-Restholz hergestellt werden. In Schleswig-Holstein seien allein mit dem Restholz aus dem Wald 20 Mio. Liter Heizöl pro Jahr ersetzbar [SH 2005]. Die Anlieferung erfolgt je nach Region und Entfer-

⁷ pers. Mitteilung. Prof. Raggam, Juni 2006.

nung unterschiedlich (vom Traktor-Anhänger bis zum Großraum-Schütt-LKW).

3.1.3 Stroh und Strohpellets

Stroh gehört zu den landwirtschaftlichen Festbrennstoffen, Unterabteilung Halmgut. Es ist i.d.R. ein Restprodukt von Getreide. Pro Hektar Getreideanbaufläche entstehen ca. 8 t Stroh; davon kann man etwa 5 t ernten [SH 2005].

Nach [Agroflamm 2006] hat Getreidestroh einen Heizwert H_i von ca. 4,1 kWh/kg; Strohpellets einen Heizwert H_i von ca. 4,8 kWh/kg.⁸ Damit liegt der Heizwert ungefähr bei dem von Holz, Holzhackschnitzeln bzw. Holzpellets. Wegen des gegenüber Heizöl oder Erdgas schlechteren Wirkungsgrads bei der Verbrennung kann man überschlägig von einer Gleichwertigkeit von 3 kg Stroh und etwa 2 kg Strohpellets zu 1 l Heizöl ausgehen.

Je nach Getreideart weist Stroh unterschiedliche Eigenschaften auf. Im Vergleich zu Holz weist Stroh bei der Verbrennung einige eher negative Eigenschaften auf:

- höherer Aschegehalt,
- niedrigerer Erweichungspunkt,
- höherer Gehalt an Chlor, Schwefel, Stickstoff, Kalium und Kupfer,
- höhere CO- und Staubemissionen (s. hierzu Kapitel 3.2).

Die Hauptprobleme der Strohverbrennung sind der hohe Staubanteil, die Verschlackung der Aschen und der Chloranteil, der zu starker Korrosion führen kann. [LWK NRW 2005]

Der höhere Aschegehalt (von 4 - 6 %, d.h. um den Faktor 4-10 höher als bei Fichtenholz) und der niedrigere Erweichungspunkt (je nach Pflanzenart von ca. 900 bis ca. 1.275 °C, vgl. Tabelle 8) können zu Verschlackungen führen, die wiederum die Luftzuführung behindern und einen erhöhten Wartungs- und Reinigungsaufwand bewirken können [Bröckel 2005] [Hartmann 2001].

Chlor, Schwefel, Stickstoff und Kalium sind an der Bildung von Luftschadstoffen beteiligt oder tragen zur Korrosion und Verschlackung im Kessel bei. Im Zusammenhang mit der Verschlackungsgefahr führt dies zu deutlich höheren Anforderungen an die Kesseltechnik als bei Erdgas- oder Heizölkesseln. [Hartmann 2001], [Block 2005], [Launhardt 1994]. Der Verschlackung kann durch eine Kühlung der primären Feuerung oder durch eine laufende Entfernung der heißen Asche begegnet werden [HANEG 2005]. Auch eine laufende Bewegung des Brenngutes soll die Verschlackung vermeiden. Einige Betreiber versuchen der Verschlackung durch die Beigabe von Kalk zu begegnen.

Der Chlor-Gehalt beruht nicht nur auf der Düngung: auch bei nicht mit Kunstdünger gedüngtem Getreide-Stroh wurde Chlor in erheblichem Maße festgestellt. Im konkreten Fall wurde vermutet, dass das Chlor über den Seewind eingetragen wird.⁹

⁸ Der Wassergehalt ist nicht angegeben. Andere Quellen nennen: 1 kg Stroh bei 15 % Wassergehalt: Heizwert H_i von ca. 3,8 kWh, 1 kg Stroh bei 20 % Wassergehalt: = ~ 3,5 kWh/kg. [agrarplus 2007]

⁹ pers. Mitteilung einer Bank, die ein entsprechendes Projekt gefördert hat



Brennstoff	Gehalt wichtiger Elemente in % der Trockenmasse				Heizwert H_i (w_f) in MJ/kg	Aschegehalt (w_f) in %	Erweichungspunkt der Asche ° C
	N	K	S	Cl			
Fichtenholz (mit Rinde)	0,13	0,13	0,015	0,005	18,8	0,6	1.426
Roggen- stroh	0,55	1,7	0,085	0,4	17,4	4,8	1.002
Weizen- stroh	0,48	1,0	0,082	0,19	17,2	5,7	998
Rapsstroh	0,84	0,8	0,27	0,47	17,1	6,2	1.273

Tabelle 8 Merkmale von Stroh im Vergleich zu Fichtenholz

Bei *Strohballen* werden heute überwiegend großformatige Rundballen von ca. 1,5 * 2,5 m hergestellt; sie wiegen etwa 350 bis 400 kg pro Stück [SH 2005]. Ein Rundballen ersetzt somit ca. 120 l Heizöl [SH 2005]. Die Lagerungsdichte beträgt etwa 110 bis 150 kg/m³ [Block 2005].

Strohpellets sind aus Stroh zusammengesetzte stabförmige Produkte. In Deutschland sind sie noch kaum verbreitet und werden nur in wenigen „Manufakturen“ hergestellt mit geringer Jahresproduktion. In Dänemark ist dies anders, dort befindet sich in Koege eine Strohpelletsfabrik mit einer Produktionskapazität von 130.000 t pro Jahr [Block 2005]. Die Schüttdichte liegt bei etwa 520 bis 580 kg/m³. [Hartmann 2001] Bei der Verbrennung von Halmgutpellets fällt etwa 10 x mehr Asche an als bei der Verbrennung von Holzpellets (5,2 % statt 0,5 %) [Gerlinger 2005]. Strohpellets haben hinsichtlich der Emissionen und der Verschlackungsgefahr keine wesentlichen Vorteile gegenüber Ballen- oder Quaderstroh; die Hauptvorteile liegen in der Transportlogistik und der Lagerung.

Die Eignung von Rundballen für den Transport wird im Nahbereich als sehr gut, im Fernbereich als gut eingestuft; bei Quaderballen und Pellets auch im Fernbereich als sehr gut [Brökeland 2005].

3.2 Emissionen

Für den Betrieb von Feuerungsanlagen von 15 kW bis 1 MW mit den Brennstoffen Gas, Heizöl und Holz gelten die Bestimmungen der 1. BImSchV („KleinfeuerungsanlagenVO“), Ausnahme: Stroh. Für Stroh gilt bislang die 1. BImSchV nur bis zu einer Nennleistung von 100 kW. Die vorgesehene Novelle wird diese Grenze möglicherweise auf 500 kW verschieben.

An Anlagen unter 15 kW stellt die 1. BImSchV bei den Regelbrennstoffen keine Anforderungen. In der Tabelle 9 sind die Genehmigungsvorschriften zusammengestellt.

Zurzeit bereitet der Bund eine Novellierung der 1. BImSchV vor. Das Umweltbundesamt regt hierbei an, die Anforderungen zur Begrenzung des Ausstoßes von CO und Feinstaub zu verschärfen [UBA 2006a]. Ferner sind folgende Änderungen in der Diskussion (soweit für die Thematik der Studie relevant) [Entw 1. BImSchV 2007]:

- in Feuerungsanlagen dürfen Holzpellets nur eingesetzt werden, wenn sie den brennstofftechnischen Anforderungen des DINplus Zertifizierungsprogramm DIN 51731-HP 5 vom Januar 2004 entsprechen oder gleichwertige Qualität haben,
- Neben Stroh dürfen künftig auch „Getreideganzpflanzen, Getreidekörner und -bruchkörner, Pellets aus Getreideganzpflanzen oder Getreidekörnern, Getreideausputz, Getreidespelzen und Halmreste in Feuerungsanlagen verwendet werden; allerdings soll - mit Ausnahme von Stroh - der Einsatz zunächst für 4 Jahre auf Gartenbau- und Landwirtschaftsbetriebe begrenzt sein.
- Für Brennstoffe wie Holzpellets, HHS , Stroh und Strohpellets sollen für neue Anlagen Pufferspeicher vorgeschrieben werden, sofern kein Spitzenlastkessel mit einem anderen Brennstoff eingesetzt wird

Brennstoff	Feuerungswärmeleistung	Emissionsgrenzwerte nach ...	Genehmigungsverfahren	Anmerkungen
nach 1. BImSchV § 3, Abs. (1), Nr.4: Holz-Hackschnitzel	bis 15 kW	entfällt (1. BImSchV stellt keine Anforderungen)	entfällt	
	15,1 kW bis 1 MW	1. BImSchV	entfällt	
nach 1. BImSchV § 3 Abs. (1) Nr. 5a und § 3 Abs. (4): Holzpellets natur oder mit Bindemitteln aus Stärke, pflanzlichem Paraffin oder Melasse	bis 15 kW	entfällt (1. BImSchV stellt keine Anforderungen)	entfällt	
	15,1 kW bis 1 MW	1. BImSchV	entfällt	
	1-50 MW	TA-Luft	vereinfacht ¹⁾	s. 4. BImSchV, Sp. 2, Abs. 1.2
nach 1. BImSchV „ Stroh und ähnliche pflanzliche Stoffe“	bis 15 kW	Verwendung nach 1. BImSchV § 5 nicht zugelassen		
	15,1 kW bis 100 kW	1. BImSchV	entfällt	s. 1. BImSchV
	0,1 – 1 MW	TA-Luft	vereinfacht ¹⁾	s. 4. BImSchV, 1.3, Sp. 2
	1 - 50 MW	TA-Luft	förmlich ²⁾	s. 4. BimSchV 1.3. Sp. 1

Tabelle 9 Genehmigungsvorschriften für die Verfeuerung von fester Biomasse

¹⁾ Genehmigungsverfahren nach § 19 BImSchG: „vereinfachtes Verfahren“ ohne öffentliche Auslegung

²⁾ Genehmigungsverfahren nach § 10 BImSchG: „förmliches Verfahren“ mit öffentlicher Auslegung

Die Tabelle zeigt, dass bei Stroh zurzeit bereits ab 100 kW die TA Luft gilt. Eine Feuerungsleistung von 100 kW kann bei neuen Gebäuden bereits ab etwa bei 1.800 m² Gesamtnutzfläche erreicht sein. Zwar sind die Gebühren hierbei noch im Rahmen (etwa 1 % des Investitionsbetrags), aber die Kosten der Bereitstellung der Unterlagen können durchaus einen Ingenieur-Aufwand von 5.000 bis 10.000 € verursachen. In Zukunft (2008?) soll durch die Novellierung der 1. BImSchV die Grenze „100 kW“ entfallen; Anla-



gen bis 500 kW sollen dann auch bei Stroh und Strohpellets unter den Geltungsbereich der 1.BImSchV fallen. Die Wirtschaftlichkeit wird sich dadurch in Zukunft verbessern.

Nennwärmeleistung	Vorschrift	Bezugs-sauerstoff (Vol. %)	Emissionsgrenzwerte				
			CO (g/m ³ _n)	Staub (mg/m ³ _n)	Ges. C ¹⁾ (mg/m ³ _n)	NO _x ²⁾ (mg/m ³ _n)	SO ₂ (g/m ³ _n)
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von Holzhackschnitzeln und Holzpellets							
bis 15 kW	1. BImSchV	-	-	-	-	-	-
15,1 – 50 kW	1. BImSchV	13	4	150	-	-	-
50,1 – 150 kW	1. BImSchV	13	2	150	-	-	-
150,1 – 500 kW	1. BImSchV	13	1	150	-	-	-
> 500 bis 1.000 kW	1. BImSchV	13	0,5	150	-	-	-
1 bis 2,5 MW für naturbelassenes Holz	TA Luft, Abschnitt 5.4.1.2.1	11	0,15 ³⁾	100	10	0,25 ⁴³⁾	-
2,51 bis 5 MW für naturbelassenes Holz	TA Luft Abschnitt 5.4.1.2.1	11	0,15	50	10	0,25	-
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von Stroh und nicht naturbelassenem Holz							
bis 15 kW	Einsatz unzulässig						
15,1 – 100 kW	1. BImSchV	13	4	150	-	-	-
100,1 kW – < 1 MW	TA Luft, Abschnitt 5.4.1.3	11	0,25	50		500	
1 MW bis 5 MW	TA Luft, Abschnitt 5.4.1.3	11	0,25	20		400	

Tabelle 10 Emissionsgrenzwerte für Biomasse-Feststofffeuerungen nach 1.BImSchV, letzte Fassung: 2003

(1 m³_n = Normkubikmeter bei 0 °C und 1013 mbar)

¹⁾ Flüchtige organische Kohlenstoffverbindungen als „Gesamt-Kohlenstoff“ (Ges. C) angegeben

²⁾ angegeben als Stickstoffoxid (NO₂)

⁴³⁾ bis 2,5 MW Feuerungsleistung gilt der Grenzwert nur bei Betrieb mit Nennlast

Nach [Hartmann 2001] sind die Staubgrenzwerte für Strohfeuerungsanlagen ab 100 kW nur schwer einzuhalten; ohne sekundäre Entstaubungsmaßnahmen sei die Einhaltung kaum zuverlässig denkbar. Der Nachweis der Einhaltung der Grenzwerte ist alle drei Jah-

re zu erbringen, was zusätzliche Kosten in der Größenordnung von 2.000 € mit sich bringt.

Durch die geplante Novellierung der 1.BImSchV sind niedrigere Grenzwerte für Emissionen geplant [Entw 1.BImSchV 2007]. Diese zeigt Tabelle 11.

	Brennstoff	Nennwärmeleistung [kW]	Staub [mg/m ³]	CO g/m ³
Stufe 1: Anlage, die nach Inkrafttreten der Verordnung errichtet werden	Holzhackschnitzel Stroh, Strohpellets, Getreidekörner u.ä.	≥ 4 bis 500	100	1
		> 500	100	0,6
	Holzpellets nach DIN 51731-HP 5	≥ 4	60	0,8
Stufe 1: Anlage, die nach dem 31.12.2014 errichtet werden	Holzhackschnitzel Stroh, Strohpellets u.ä. Holzpellets nach DIN 51731-HP 5	≥ 4	20	0,4

Tabelle 11 Geplante Emissionsgrenzwerte für ausgewählte Brennstoffe nach [Entw 1.BImSchV 2007]

Der Vergleich der geplanten mit den aktuell geltenden Grenzwerten für CO und Staub-Emissionen bei Feuerungsanlagen mit Biomasse-Brennstoffen zeigt, dass wesentliche Verschärfungen geplant sind. So ist z.Zt. bei einer 150 kW-HHS-Anlage beim Staub noch eine Emission von 150 mg/m³ zulässig; nach 2015 (für ab dann erreichte Anlagen!) sollen es nur noch 20 mg/m³ sein. Dies stellt eine erhebliche Herausforderung an viele Kesselhersteller dar.

3.2.1 CO₂

Holz und Stroh verbrennen weitgehend CO₂-neutral: Bei der Verbrennung wird genau so viel CO₂ freigesetzt wie zuvor aus der Atmosphäre aufgenommen wurde.

Für Bearbeitung, Transport etc. sowie für die benötigte Hilfsenergie bei der Wärmeerzeugung und -verteilung werden überwiegend fossile Energieträger eingesetzt. Deshalb wird auch bei der Verbrennung von Holzpellets, Hackschnitzeln und Stroh eine geringe Menge zusätzliches CO₂ freigesetzt.

3.2.2 CO

Die 1. BImSchV (Kleinf FeuerungsanlagenVO) sieht maximale Konzentrationen für CO im Abgas von Kleinf Feuerungsanlagen vor. Die Grenzwerte zeigt die Tabelle 10. Für mit Stroh gefeuerte Anlagen ab 100 kW sieht die TA Luft einen maximalen CO-Gehalt von 0,25 mg pro m³ Abgas vor.

Messungen von [Hartmann u. a. 2003] an verschiedenen Anlagen bis 50 kW zeigten, dass der CO-Grenzwert der 1. BImSchV bei Nennwärmeleistung bezogen auf 13 % O₂



von Holzhackschnitzelanlagen um den Faktor 20, von Holzpelletsanlagen um den Faktor 60 unterschritten wird. Der Feuchtegehalt von Hackschnitzeln ($w = 15$ oder 35%) hat auf die CO-Emissionen bei Nennwärmeleistung nur einen sehr geringen Einfluss. Während Holzpelletsanlagen bei kleinster Wärmeleistung eine etwa doppelt so hohe CO-Emission haben wie bei Nennwärmeleistung, haben Holzhackschnitzelanlagen bei kleinster Wärmeleistung eine etwa 5-fache CO-Emission (bei $w = 15\%$) bzw. eine etwa 12-fache CO-Emission (bei $w = 35\%$) gegenüber Betrieb bei Nennwärmeleistung. Für den praktischen Einsatz im Wohnungsbau heißt das, dass bei Holzhackschnitzelanlagen zumindest im Sommer, bei Gebäuden mit gutem Wärmeschutz auch im Frühjahr und Herbst, eine deutlich höhere CO-Emission zu erwarten ist als bei Holzpelletsanlagen.

3.2.3 Staub und Feinstaub

In der Diskussion sollte zwischen Staub und Feinstaub unterschieden werden.

Staubemissionen haben verschiedene Quellen. Neben natürlichen wie z.B. Bodenerosion, Vulkanausbrüchen und Waldbränden gibt es anthropogene Quellen wie Landwirtschaft, Verkehr, Schüttgutumschlag sowie Verbrennungs- und Produktionsprozesse [Lahl 2005]. Alle Feststofffeuerungen emittieren Staub, insbesondere Feinstaub, weil bei der Verbrennung eines festen Brennstoffs Asche anfällt. Asche ist grober Staub.

Feinstaub ist eine Fraktion des Staubs und wird folgendermaßen definiert: Partikel, die einen gröÑenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von $10\ \mu\text{m}$ eine Abscheidewirksamkeit von 50% aufweist, werden als PM10 bezeichnet [1999/30/EG]. PM steht für Particulate Matter.

Feinstaub gilt als ein überregionales Problem, dass allein mit lokalen Maßnahmen nicht gelöst werden kann.

Mengen

Staub und Feinstaub sind nicht erst seit 2005 bekannt, jedoch hat die Aufmerksamkeit insbesondere für Feinstaub erheblich zugenommen.

Die Gesamtstaubemission (soweit erfasst) hat sich in den letzten Jahrzehnten ständig verringert, vgl. Abbildung 28.

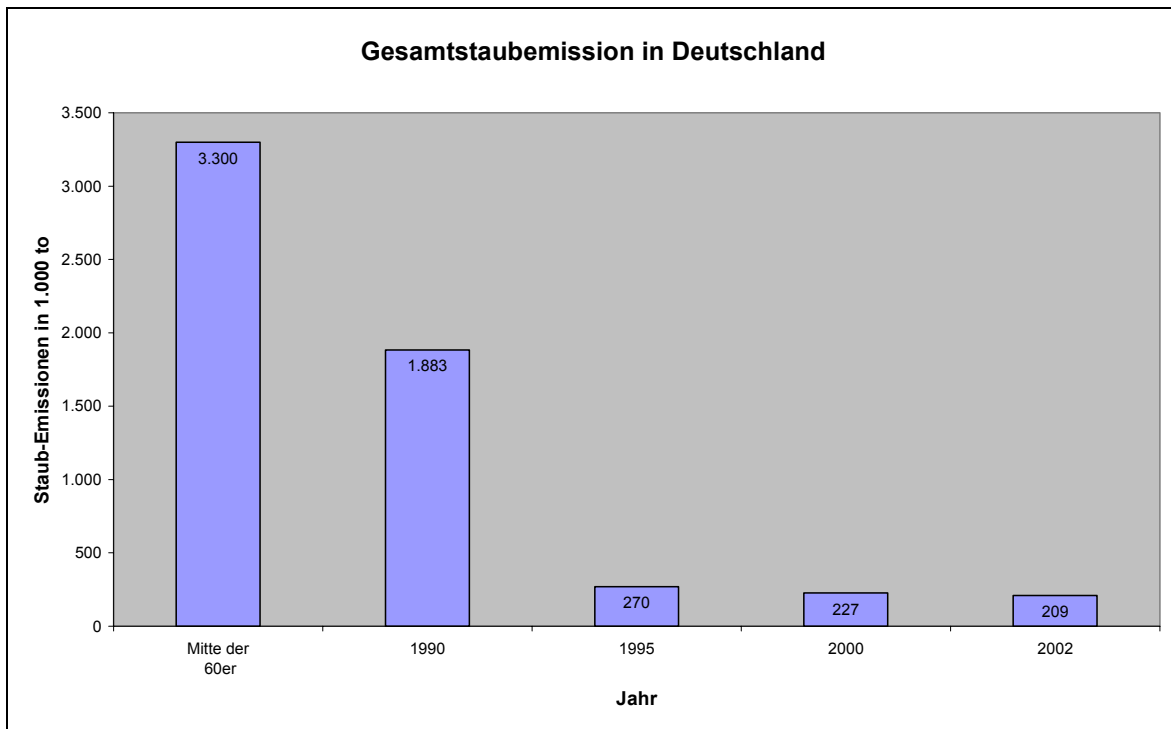


Abbildung 28 Entwicklung der Gesamtstaubemission in Deutschland

Quelle: zusammengestellt nach [UBA 2005]

An den **Gesamtstaubemissionen** werden den verbrennungsbedingten Emissionen in Deutschland für das Jahr 2002 insgesamt 70.000 t zugerechnet, also etwa ein Drittel. Von diesen verbrennungsbedingten Staubemissionen gehen 50 % (35.000 t) auf das Konto des Verkehrs [UBA 2005].

Nach [Struschka et al. 2003] sollen die „**Gesamtstaubemissionen** aus Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV bei Haushalten und Kleinverbrauchern im Jahr 2000“¹⁰ in Deutschland ca. 26.400 t betragen haben. Demnach haben diese Feuerungsanlagen einen Anteil von etwa 12 % an den **Gesamtstaubemissionen**. Von diesen Gesamtstaubemissionen aus Feuerungsanlagen (26.400 t) hätten Holzfeuerungsanlagen nach [Struschka et al 2003] einen Anteil von ca. 22.000 t, das sind 83 % bzw. 10,5 % der Gesamtstaubemissionen.

Feinstaub

Seit Beginn der Feinstaub-PM10-Messungen Ende der 60er Jahre ist die Feinstaubbelastung um etwa 60-70 % zurückgegangen [UBA 1999].

Feinstaub macht in den Jahren 2000 und 2002 etwa 65 % der erfassten Gesamtstaubemission aus [UBA 2005]. Bei den verbrennungsbedingten Emissionen (einschließlich Verkehr) liegt der Feinstaubanteil jedoch bei etwa 98 % [UBA 2005]. Diese Angaben stimmen mit [Hartmann u.a. 2003] und Struschka überein: Nach [Struschka et al 2003] bestehen 96 % der „Gesamtstaubemissionen aus Feuerungsanlagen im Geltungs-

¹⁰ Zum Geltungsbereich der 1 BImSchV siehe Tabelle 10.



bereich der 1. BImSchV bei Haushalten und Kleinverbrauchern im Jahr 2000“ aus der Partikelfraktion PM10 – also aus Feinstaub.

Nach Zahlen für 2002 und 2003 ist die Feinstaubmenge aus kleinen Holzfeuerungsanlagen in Haushalten und bei Kleinverbrauchern in Deutschland gestiegen, während die verkehrsbedingten Emissionen (aus Verbrennung) zurückgegangen sind. Tabelle 12 zeigt die Entwicklung.

PM10-Emissionen	2002	2003
Kleine Holzfeuerungen in Haushalten und im Kleingewerbe	22.700 t	24.000 t
Straßenverkehr (nur Verbrennung)	25.400 t	22.700 t

Tabelle 12 Feinstaub-Emissionen aus Holzfeuerungen und Straßenverkehr in D
Quelle: [UBA 2006a] , vorläufige Zahlen

Als Hauptverursacher innerhalb der Holzfeuerungen sieht das deutsche Umweltbundesamt die zumeist älteren Einzelraumfeuerungen, die bei gleichem Energieeinsatz „um ein Vielfaches höhere Feinstaub-Emissionen als moderne Holzfeuerungsanlagen“ verursachen [UBA 2006a].

Nach Angaben des deutschen Bundesumweltministeriums stiegen bei den Feinstaubpartikeln die Schadstofffrachten vor allem in den Innenstädten häufiger als nach der EU-Richtlinie erlaubt über die zulässigen Tagesmittelwerte [BMU 2005a].

Zu beachten ist, dass **in Ballungsräumen** die Feinstaub-Emissionen aus Holzfeuerungsanlagen bei weitem durch die Emissionen des Verkehrs übertroffen werden, weil hier einerseits der Einsatz von festen Brennstoffen im Vergleich zum ländlichen Raum gering ist und andererseits der Fahrzeugverkehr viel stärker ist.

Nach Angaben des Umweltbundesamtes gelangten 2004 in Deutschland rund 135.000 t Feinstaub in die Atmosphäre (zitiert nach [DEPV 2005a])¹¹. Hieran sollen Kraftwerke und Hausheizungen einen Anteil von rund einem Viertel haben (34.000 t) [DEPV 2005a].

Im Vergleich der verschiedenen Arten der Holzfeuerung setzen Holzpellettheizungsanlagen relativ geringe Mengen an Staub frei: Nach [DEPV 2005a] enthalte das Abgas einer modernen Pelletsfeuerung im Mittel 20 mg/m³ Staub; bei einem Feinstaubanteil von 90 % sind dies 18 mg Feinstaub pro m³ Abgas. Aufgrund niedriger Abgasströme von Holzpelletskesseln lägen die Staubfrachten bei etwa 540 mg Feinstaub pro Stunde Betriebszeit. Nach [DEPV 2005a] seien für eine Zentralheizungspelletsanlage weniger als 1 kg/a zu erwarten (die Größe der Anlage in kW wird nicht angegeben). Wenn man nach [DEPV 2005a] einen Bestand von 45.000 Holzpellettheizungsanlagen Ende 2005 zugrunde legt, ergäbe sich nach DEPV eine Gesamtemission der Holzpellettheizungsanlagen von ca. 45 t. Insgesamt sind dann alle bis Ende 2005 installierten Pellettheizungsanlagen für weniger als 0,1 % der gesamten Feinstaubemission verantwortlich. Selbst wenn sich der Anlagenbestand verzehnfachen würde, sei die Bedeutung von Holzpellettheizungsanlagen für die Feinstaubbelastung gering.

Das Umweltbundesamt weist darauf hin, dass Holzfeuerungsanlagen mit Holzpellets geringere Feinstaubemissionen als andere Holzfeuerungen aufweisen würden (aber deutlich mehr als Gas- oder Ölfeuerungen). „Das UBA befürwortet den Einsatz von Holzpellets-

¹¹ Für das Jahr 1996 gab das Umweltbundesamt noch 190.000 t an [UBA o.J.]

feuerungen, falls diese den Anforderungen des Umweltzeichens „Blauer Engel“ (die beiden RAL UZ 111 und 112) genügen“ [UBA 2006a].

Jüngste Forschungsergebnisse aus Österreich zeigen, dass durch heute in neuen Holzheizungskesseln übliche elektronische Kontrollen des Verbrennungsprozesses die Staubemissionen nur bei etwa 1/6 der Emissionen von Bestandskesseln 1997/98 liegen. HHS-Anlagen sowie Pelletskessel der Baujahre 1999 – 2004 hätten im Durchschnitt weniger als 20 kg/TJ an Staubemission [Schwarz 2007]. Bei Feldemissionsmessungen seien diese Werte im Praxisbetrieb bestätigt worden: auch im Teillastbetrieb seien nur Staubemissionswerte bis 13,3 kg/TJ festgestellt worden [Schwarz 2007].

Richtwerte/ Grenzwerte

Zu unterscheiden sind Luft im Sinne von Atemluft oder Außenluft und Abgas von Feuerungsanlagen.

Wichtige Anforderungen an die Luftqualität beruhen auf der Umsetzung von Anforderungen der Europäischen Union. So stellt die EU mit der „Rahmenrichtlinie Luftqualität“ aus dem Jahre 1996 Anforderungen an die EU-Kommission und an die Mitgliedsstaaten zur Zielsetzung sowie zur Beurteilung und Kontrolle der Luftqualität [96/62/EG]. Darauf aufbauend wurde 1999 eine Tochter-Richtlinie beschlossen, die in Anhang III auch Grenzwerte für Feinstaub PM10 enthält.

EU-Richtlinien bedürfen der Umsetzung in nationales Recht durch die einzelnen Mitgliedsstaaten. In Deutschland geschieht dies mit der 7. Novelle des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom September 2002 und der 22. BImSchV. Die Tabelle 13 zeigt die Grenzwerte für Feinstaub PM10.

Art des Grenzwertes	Grenzwert	Erlaubte Überschreitungen
über 24 Stunden gemittelter Immissionswert	50 µg/m ³	35 Tage im Jahr
Über ein Kalenderjahr gemittelter Immissionswert	40 µg/m ³	-

Tabelle 13 Feinstaub-Grenzwerte der 22. BImSchV für (Atem-)Luft seit 1.1.05

Quelle: [22. BImSchV, § 4]

Während der zulässige Jahresmittelwert im Jahre 2003 an etwa 94 % der Messstationen nicht überschritten wurde, wurden die zulässigen Tagesmittelwerte an knapp 40 % der Stationen überschritten [UBA 2005]. Feinstaub stellt also ein erhebliches Problem dar.

Für Abgas von bestimmten Feuerungsanlagen sieht die 1. BImSchV einen Emissionsgrenzwert von 150 mg pro m³ Abgas vor. Über eine Verschärfung des Staubgrenzwertes wird zurzeit diskutiert.

Für die Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel dürfen 30 Milligramm Staub pro Kubikmeter Abgas bei Nennleistung nicht überschritten werden [test 2005]. Die Schweiz wird ab 2011 von Pelletskessel die Einhaltung von max. 40 mg/m³ und von HHS-Kesseln („automatischen Heizkesseln“) von 60 mg/m³ verlangen [Rauchfangkehrer 2006].



Die TA Luft¹² sieht für größere Anlagen strengere Grenzwerte vor, vgl. Tabelle 10. Für Stroh gilt zurzeit die TA Luft bereits ab 100 kW. Dann darf die Staubemission nicht mehr als 50 mg/m³ betragen [TA Luft 2002]. Bei Stroh (das einen relativ hohen Chlorgehalt aufweist) besteht zusätzlich das Problem, dass HCl augenscheinlich an Feinstaub adsorbiert wird [Brökeland 2005].

Entstehung/Verursacher

Hauptursachen für die Staubbildung bei den Kleinfeuerungsanlagen sind nach [Stehmeier 2005].

- nicht fachgerechte Feuerstätten (z.B. Billigimporte),
- überdimensionierte Feuerstätten,
- falsches Brennmaterial,
- Anwendungsfehler beim Feuermachen.

Nach [Hartmann u.a. 2003] kam eine Untersuchung der Landtechnik Weihenstephan an mehreren Feuerungsanlagen bis 50 kW zu dem Ergebnis, dass bei sämtlichen Halmgutbrennstoffen ein deutlich höherer Feinstaubanteil festzustellen sei als bei Fichtenhackgut. Bei Halmgut (hier: Weizenstrohpellets) lag die mittlere Emission (tatsächliche Massen) um rund das 8-fache höher als beim Fichtenholz.

Letztlich entscheidet die Verbrennung bzw. das Verbrennungssystem darüber, ob die im Holz enthaltenen unverbrennbaren Mineralstoffe zu Staub im Abgas oder im Brennsystem als Asche abgeschieden werden (vgl. Raggam, 2004, S. 84).

Maßnahmen zur Minderung der Feinstaubbelastung aus Feuerungsanlagen

Folgende Möglichkeiten zur Minderung der Partikelemissionen bei Festbrennstoffheizungen bestehen:

- Bei Holzfeuerungen gibt es primärseitige Minderungsmaßnahmen wie eine verbesserte Verbrennungs- und Regelungstechnik („mit der z.B., bedingt durch die Strömungsführung, eine weitgehende Partikelabscheidung bereits im Feuerraum erreicht wird“). Daneben kommen sekundärseitige Maßnahmen in Betracht, wie der Einsatz von wirksamen Staubabscheidern auf der Abgasseite. Damit ließen sich die Emissionen auf weniger als 10 mg/m³ Abgas reduzieren [Struschka et al. 2003].
- Bei Holzpellets ist auf normgerechte Produktion zu achten [Jacobs 2005].
- Bei HHS besteht die größte Bandbreite an Staubemissionen. Neben der Herkunft des Holzes (Waldholz oder Gebrauchtholz) spielt die Hackschnitzel-Produktion eine Rolle. Hackschnitzel, die nach der österreichischen Norm ÖNORM M 7133 bzw. nach der neuen europäischen Norm CEN/TC 335 produziert werden, gelten als weniger Staub emittierend [Jacobs 2005].
- Bei der Verbrennungstechnik liegen Kessel mit aktiver Staubausscheidung vorn. Diese Technik könne vor allem bei HHS-Kesseln eingesetzt werden [Jacobs 2005]. Um den Grenzwert der 1. BImSchV einzuhalten, sind Zyklone ausreichend.

¹² sie gilt nur für Holzgefeuerte Anlagen erst ab 1 MW; bei Strohfeuerung jedoch schon ab 100 kW

- Für Anlagen ab 1.000 kW kommen Elektrofilter zum Einsatz, die in kleineren Anlagen nicht wirtschaftlich seien [Jacobs 2005]. Nach [Steinkogler 2006] kosten Elektrofilter für 400-500 kW-Anlagen etwa doppelt so viel wie die Feuerungsanlage (120.000 €).
- Nach [Jacobs 2005] soll es bei zu feuchtem Brennstoff zu einer unvollständigen Verbrennung kommen. Deshalb ist auf trockenes Holz zu achten.
- „Zu trockenes Holz mit hohem Feinanteil“ erhöht nach [Jacobs 2005] die Staubemissionen, weil die Abgastemperaturen und –geschwindigkeiten steigen würden.
- Die geringsten Emissionen entstehen bei Vollast. Die Einbindung eines Pufferspeichers kann für einen gleichmäßigeren Betrieb sorgen.
- Die richtige Auslegung der Anlage ist wichtig, um häufigen Gluterhaltungsbetrieb zu vermeiden, bei dem relativ viel Emissionen entstehen [Jacobs 2005].
- Regelmäßige Wartung mit Reinigung der Wärmetauscherflächen
- Die Eidgenössische Material- und Prüfungsanstalt EMPA forscht seit 1999 zur Reduktion von Feinstaub in Holzfeuerungsanlagen. Zusammen mit Industrieunternehmen, u.a. der Fa. Ruegg wurde ein elektrostatischer Partikelabscheider entwickelt, der „sehr einfach in sämtliche Feuerungsanlagen integriert und der durchschnittliche Ausstoß von Feinstaub um ca. 70 % reduziert werden kann“ [Ruegg 2005].

Feinstaub ist nicht nur durch Zyklon-, Wäscher-, Tuch- oder Elektrofilter zu reduzieren. Vielmehr kommt es auch auf eine „geschickte“ Verbrennung an. So erreichen bestimmte Anlagen auch ohne Filter nur eine Emission von 8-10 mg/m³.

Gesundheitliche Relevanz

Nach Untersuchungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist seit einigen Jahren bekannt, „dass gerade Feinstaub ein hohes Risiko für Gesundheit, Lebensqualität und Lebenserwartung bedeutet. Wissenschaftler halten die Belastung mit diesen mikroskopisch kleinen Partikeln inzwischen für das schwerwiegendste Problem der Luftreinhaltung überhaupt“ [BMU 2005b].

Feinstaub-Partikel gelangen durch Nase und Mund in den Atemtrakt. Die Partikel können in die Hauptbronchien und Lungenbläschen gelangen. Nach derzeitigem wissenschaftlichen Kenntnisstand hat Feinstaub negative Auswirkungen auf die Gesundheit, insbesondere Herz, Kreislauf und Atemwegserkrankten sind möglich. Mehr als 288.000 Menschen sollen nach [BMU 2005a] jährlich in Europa vorzeitig an Feinstaub sterben, davon 10.000 bis 19.000 in Deutschland.

Ob alle Partikel dieser Größe gleichermaßen gefährlich sind, ist umstritten. Es lasse sich aus „epidemiologischen Studien kein Wirkungsschwellenwert ableiten ..., unterhalb dessen gesundheitliche Auswirkungen nicht mehr festzustellen sind“ [Lahl 2005].

Holzfeuerungsanlagen trotz Feinstaub befürworten?

Holzfeuerungsanlagen können wesentlich dazu beitragen, das Klimaproblem zu entschärfen, weil durch ihren Betrieb nur in geringem Maße CO₂ freigesetzt wird.

Problematisch können bestimmte Emissionen sein, und hier wird in erster Linie Feinstaub diskutiert. Zu beachten ist aber, dass Feinstaub nicht in erster Linie durch Holzfeuerungsanlagen emittiert wird, sondern dass zu mehr als 85 % andere Emittenten die Verursacher sind.



In Ballungsräumen und Innenstädten von Großstädten gibt es bisher im Vergleich zum ländlichen Raum nur einen geringen Einsatz von Holz für Feuerungszwecken, aber um so mehr Verkehr. Wenn in Zukunft in diesen Innenstädten etwas gegen Feinstaub unternommen werden soll, dann wäre das entscheidende Instrument sicher nicht, hier Holzheizungen zu verbieten oder an sie so hohe Anforderungen zu stellen, dass diese nicht erfüllbar sind.

Aber: Natürlich sollten Anforderungen bezüglich der Emissionen gestellt werden. Es spricht nichts dagegen, zumindest an bestimmten Standorten von neuen Holzpelletsheizungen die Einhaltung der Anforderungen des Umweltzeichens zu verlangen. Allerdings ist es allein mit einer einmaligen Anforderung bei Kauf nicht getan: (unnötige) Staubemissionen können vermieden werden, wenn auch der Einbau und der Betrieb sachgemäß durchgeführt werden.

Nach [Schwarz 2007] emittieren Holzhackschnitzelheizungen etwas mehr Staub als Holzpelletsheizungen. Daher möchten wir empfehlen, auch für HHS-Anlagen ein Umweltzeichen „Blauer Engel“ mit dezidierten Anforderungen zu schaffen.

Raggam¹³ weist darauf hin, dass eine Forderung nach Staubfiltern nicht generell weiterhelfe: So würden Anlagen mit Filtern es kaum schaffen, weniger als 20 mg/m³ Abgas an Staub zu emittieren, während es durch geschickte Kesselkonstruktion (Unterschubretortensystem) und Verwendung geeigneten Brennstoffs möglich sein, auch ohne Filter weniger als 20 mg/m³ an Staubemissionen zu haben.

Wenn durch die anstehende Novellierung der 1.BImSchV die in Tabelle 11 genannten schärferen Grenzwerte in Kraft treten, ist bei Einhaltung dieser Grenzwerte durch modernen Biomassefeuerungsanlagen ohnehin mit einer deutlichen Entspannung der Diskussion zu rechnen.

3.2.4 Organische Verbindungen

Im Abgas von Holzfeuerungsanlagen sind eine große Zahl von organischen Verbindungen in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten.

Nach [Hartmann u.a. 2003] steigt die Masse an VOC im Abgas von Holz-Hackschnitzel-Kleinfeuerungsanlagen bis 50 kW stark an, wenn die Anlagen nicht bei Nennwärmeleistung, sondern bei kleinster Wärmeleistung betrieben werden (ca. Faktor 100). Hartmann fand im Abgas etwa 100 mg VOC pro Nm³ Abgas (bei 13 % O₂).¹⁴

Bei Holzpellets steigen die VOC-Emissionen im Teillastbetrieb zwar auch an, sind aber zum einen mit ca. 2-6 mg pro Norm-m³ relativ gering, zum anderen hat der Teilleistungsbetrieb nicht so einen hohen Einfluss (nur Faktor 2-3), vgl. [Hartmann u.a. 2003].

Nach [Launhardt 1994] belegen die wenigen bisher veröffentlichten Messergebnisse, "dass bei der Verfeuerung von Biomasse im Regelfall Dioxin- und Furanemissionen von weniger als 0,1ng I-TEQ/Nm³ freigesetzt werden". Der unterschiedliche Chlorgehalt in naturbelassenem Holz und Getreide-Stroh habe nicht unbedingt Einfluss auf die PCDD/F-Emissionen [Launhardt 1994].

¹³ pers. Mitteilung vom März 2007.

¹⁴ Dies ist relativ viel: Bei Innenraumluft gilt bereits 0,3 mg VOC pro m³ als hohe Belastung.

Neue Messungen der BLT Wieselburg brachten nach [Schwarz 2007] an den Tag, dass moderne Holzfeuerungen weitaus weniger TOC emittieren, als bisher angenommen. Messungen an 169 Holzkesseln ergaben eine TOC-Emission bei Holzpellets- und HHS – kesseln von weniger als 1 kg/TJ, während das österreichische Umweltbundesamt auf der Basis von Messungen aus 1997/98 bei damals durchschnittlich 20 Jahre alten Zentralheizungskesseln auf 448 ± 112 kg/TJ kam [Schwarz 2007].

3.2.5 Andere Verbindungen

Hier wird kurz auf NO_x , SO_2 und Chlor eingegangen.

In biogenen Brennstoffen ist in geringen Mengen chemisch gebundener Stickstoff enthalten, der in Heizanlagen zu Stickoxyden (NO_x) verbrennt und emittiert.

Nach [Raggam 2004]¹⁵ liegen die NO_x -Emissionen bei Holzpellets und HHS etwa 2-4 mal höher als bei Heizöl und 20 -30 fach höher als bei Erdgas.

NO_x -Emissionen sind bei der Verbrennung von Holz niedriger als bei der Verbrennung von Stroh [BMU 2003]. Nach C.A.R.M.E.N. sei eine wirtschaftliche Entstickung bei Kleinanlagen nicht möglich [Brökeland 2005].

Holz hat einen geringen Schwefelanteil (Nadelholz 234 mg/kg TS) [Pentenrieder 2005], Stroh deutlich mehr (737 mg/kg TS) [Pentenrieder 2005].

Eine offene Frage ist, ob man bei Biomasse die durch Verbrennung in Heizanlagen hervorgerufenen NO_x und SO_2 -Emissionen nicht genauso behandeln müsse wie CO_2 -Emissionen [Raggam 2004], denn diese Produkte entstünden auch beim Abbau der Biomasse durch Bakterien. Bei Heizöl und Erdgas wird dagegen bisher unterirdisch gebundenes N und S oxydiert und der Atmosphäre zusätzlich beigefügt und der Chloranteil im „allgemeinen Getreidestroh“ ist mit 2.503 mg/kg TS etwa 30 x so hoch wie der Chloranteil von Nadelholz (87 mg/kg TS) [Pentenrieder 2005].

In Österreich kam es im Jahr 2005 zu Protesten von Bürgern, nachdem bekannt wurde, dass Asche aus einem Salzburger Biomasse-Fernheizwerk radioaktiv belastet war. Dies wurde offenbar entdeckt, weil die Staubfilter den Feinstaub aus dem Abgas herausfiltern. Die protestierenden Bürger vermuten, dass bei anderen Feuerungsanlagen die Radioaktivität über das Abgas an die Atmosphäre abgegeben wird. Die Ursache für die erhöhte Radioaktivität ist unklar; es wird vermutet, dass das Holz aus Käufen aus dem osteuropäischen Ausland stammt und ein Zusammenhang mit dem Unfall im Atomkraftwerk Tschernobyl besteht [Rauchfangkehrer 2005a].

3.2.6 Luftreinhaltung

Für Gebiete, für die Luftreinhaltepläne nach BImSchG § 47 aufgestellt werden, können die Länder durch Rechtsverordnung u.a. die Verwendung bestimmter Brennstoffe und den Betrieb bestimmter Anlagen untersagen. Zum Beispiel wurde in der Bundeshauptstadt Berlin diskutiert, innerhalb eines Luftreinhalte-Vorranggebietes einen Staub-Emissionsgrenzwert für neue Festbrennstoff-Feuerungen von 2 mg/m^3 einzuführen [Müller 2005]. Für das übrige Stadtgebiet wird erwogen, dass nur neue Holzpelletsfeuerungen

¹⁵ unter Berufung auf Energiebericht 1990 der Österreichischen Bundesregierung und Messungen der BLT Wieselburg



zugelassen werden, die das Umweltzeichen „Blauer Engel“ tragen [Müller 2005]. Berlin prüft noch, nach welchem Recht dies zulässig wäre (Stand 1/2006).

Eine solche Regelung würde den Einsatz von Holz und Stroh in Heizanlagen nach dem gegenwärtigen Stand der Technik und der Kosten nicht möglich machen.

3.2.7 Asche

Die Asche aus Holzpellets-, Holzhackschnitzel-, Stroh- und Strohpelletsanlagen kann als Hausmüll entsorgt oder als Dünger verwendet werden.

3.3 Anlagentechnik

Biomasse-Anlagen bestehen aus mehr bzw. anderen Komponenten als Öl- bzw. Gas-Anlagen. Typisch sind: Brennsystem, Wärmetauscher, Sicherheitssystem (z.B. Rückbrandsicherung), Entaschung, Brennstoff-Fördersystem, Heizraum und Brennstofflager.

Biomassekessel haben größere Abmessungen als Feuerstätten für Öl und Erdgas. Bei größeren Anlagen ab ca. 250 kW kann die Unterbringung in einem vorhandenen Heizraum problematisch werden, so dass unter Umständen ein neues Heizhaus oder eine Containeranlage errichtet werden muss [Jacobs 2003].

Die meisten Kessel für feste Brennstoffe können nicht als Niedertemperaturkessel mit Rücklauftemperaturen unter 60 °C betrieben werden. Kessel für feste Brennstoffe mit Brennwertnutzung sind noch kaum auf dem Markt [Geschermann 2004a]. Meist ist eine Rücklauftemperaturerhöhung erforderlich, die jedoch von vielen Kesselherstellern bereits in ihre Kesselkonstruktionen integriert ist [Geschermann 2004a]. Ferner muss eine thermische Ablaufsicherung und ein Sicherheitswärmetauscher vorhanden sein. Bei Anlagen über 50 kW sollte eine Wassermangelsicherung vorgesehen werden [Geschermann 2004a].

Auf Abgaswege wird hier nicht näher eingegangen: Sie sind i.d.R. feuchteunempfindlich auszuführen.

Auf Anforderungen an die Lagerung von Brennstoffen sowie technische Lösungen wird im Abschnitt 3.4 noch ausführlich eingegangen.

3.3.1 HHS-Anlagen

HHS-Anlagen sind von ca. 10 kW bis zu Leistungen im MW-Bereich erhältlich. Die Wirkungsgrade liegen bei rund 85 - 90 %. Ihre Leistung lässt sich auf etwa 20 - 30 %, bei kleineren Anlagen auf ca. 50 %, drosseln [Jacobs 2003].

Feuerung: Für die Wärmebereitstellung durch Hackschnitzel werden im wesentlichen Unterschub- und Rostfeuerungen eingesetzt [Jacobs 2003]. Unterschubfeuerungen eignen sich gut für trockne und homogene Brennstoffe und sind die preiswertere Bauweise [Jacobs 2003]. Der Eintrag der Hackschnitzel erfolgt hier meist mittels Schnecke in die Feuermulde, wo die Vergasung unter Primärluftzufuhr erfolgt [hessenEnergie 2005]. In einer Nachbrennkammer erfolgt unter Sekundärluftzufuhr die Verbrennung der Schwelgase [hessenEnergie 2005].

In Rostfeuerungen lassen sich auch feuchtere Hackschnitzel einsetzen. Zudem ist diese Technik bei unregelmäßiger Brennstoffstückigkeit besser geeignet [Jacobs 2003]. Bei der

Vorschub-Treppenrostfeuerung erfolgt die Zufuhr des Brennmaterials auf den bewegten Rost [hessenEnergie 2005]. In der oberen Rostzone werden die HHS getrocknet und vorgewärmt, in der mittleren findet die Entgasung statt und im unteren Rostbereich erfolgt die Verbrennung der Holzkohle [hessenEnergie 2005]. Rostfeuerungen sind auch für hohe Feuchte und hohe Aschegehalte anwendbar [hessenEnergie 2005].

In modernen Kesseln verläuft der Verbrennungsprozess über mehrere Stufen und ermöglicht damit eine optimale Verbrennungsregelung [Jacobs 2003]. Die anfallende Asche wird vollautomatisch aus dem Kessel in einen mobilen Aschekasten befördert.



Abbildung 29 Aschekasten an einem Biomassekessel

Nach [hessenEnergie 2005] sind HHS-Anlagen gut regelbar und können auch im Teillastbereich betrieben werden. Allerdings würden im Sommer die Bereitschaftsverluste steigen, so dass ein Betrieb zur alleinigen Warmwasserbereitstellung „meist nicht sinnvoll“ sei. Andere Autoren wie [Selbach 2005] sind anderer Meinung. Sie halten eine Teillast von < 30 % für einen Holzkessel für schwer beherrschbar und plädieren für eine Abdeckung des „Kleinlastsockels“ durch einen Zusatzkessel mit einem anderen Brennstoff. Wieder andere Autoren sehen für den Kleinlastfall eine gute Möglichkeit der Einbeziehung einer thermischen Solaranlage. Bei Wohngebäuden tritt die Kleinlast typischerweise im Sommer auf.

Sinnvoll sei es, die Warmwasserbereitung im Sommer auf einen Zeitraum zu konzentrieren (z.B. 4 - 6 Uhr) und ein häufiges Takten zu vermeiden.¹⁶

Raumbedarf Kessel: Der Raumanspruch für den Kessel hängt von verschiedenen Umständen ab. So ist bei einem HHS-Kessel von 100 kW mindestens von 5,3 m * 2,4 m auszugehen (ohne Platzbedarf für Pufferspeicher), vgl. [Gilles 2006e]. Bei der mindestens benötigten Raumhöhe bestehen Unterschiede seitens der Hersteller. Nur wenige kommen bei 100 kW mit einer Raumhöhe unter 2,10 m aus.

Eine Untersuchung bei 26 HHS-Anlagen in Österreich im Leistungsbereich von 35 bis 340 kW (Anschlussleistung) ergab einen mittleren HHS-Verbrauch von 2,41 Srm pro kW An-

¹⁶ Quelle: pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.

schlussleistung und eine mittlere jährliche Vollbenutzungszahl von 1.443 Stunden [RE Stm 2002b].

Brennstofflagerung: Bei größeren Anlagen werden die HHS meist in Silos mit Schubbo-den zwischengelagert. Hackgut, das über mehrere Monate gelagert werden soll, darf nicht zu feucht und sollte gut durchlüftet sein, da es sonst zu Schimmelbildung kommen kann. Lagerzeiten von wenigen Wochen sind unproblematisch.

Die folgenden Abbildungen zeigen einige HHS-Lager von Wohngebäuden, Wohnsiedlungen und einem Jugendgästehaus in Österreich.



Abbildung 30 Heizhaus, 100 kW, mit unterirdischem HHS-Lager
Jugendgästehaus Bruck, Steiermark.



Abbildung 31 HHS-Brennstofflager-Abdeckung.
Jugendgästehaus Bruck, Steiermark



Abbildung 32 HHS-Brennstofflager-Abdeckung. MFH, 140-kW.
St. Margarethen, Steiermark.



Abbildung 33 Abdeckung eines HHS-Brennstofflagers, Wohnsiedlung
Nestelbach, Steiermark, 100 kW-Anlage, 19 Wohneinheiten.



Brennstoff-Fördersysteme

Durch das Brennstoff-Fördersystem werden die HHS vom Brennstofflager in den Kessel transportiert. Dieser Transport erfolgt vollautomatisch. Es gibt verschiedene Systeme für den Austrag aus dem Brennstofflager, wobei ein Zusammenspiel von Brennstofflager und Kessel gegeben sein muss. Bei allen Austragesystemen muss sich der Lagerraum unmittelbar neben dem Heizraum befinden.

- Rührwerk (oder auch Drehfeder-System genannt): Rührwerke kommen meist bei HHS-Anlagen zum Einsatz. Sie sind besonders bei quadratischen Lagerräumen sinnvoll. Rührwerke befördern die HHS über Stahlarme in einen Kanal, in dem eine Schnecke verläuft. Rührwerke werden in mehreren Varianten angeboten (z.B. Blattfeder- und Knickarmrührwerke). Blattfeder-Raumaustragungen werden für Lagerräume bis 3 m Durchmesser, Knickarm-Raumaustragesysteme bis 7 m Durchmesser angeboten. Die Schütthöhe ist hier auf 4 m begrenzt [Gilles 2006d]. Rundaustragesysteme können für Kessel bis im hohen kW-Bereich eingesetzt werden.¹⁷
- Schubstangenaustragungen: Bei solchen Systemen kommen motorisch angetriebene Schubstangen und Schieber zum Einsatz, die die HHS in einen Bodenkanal befördern. Von dort wird es mit einer Schnecke zum Kessel bewegt. Schubstangenaustragesysteme benötigen eine deutlich höhere elektrische Leistung (30 kW) als Rundaustragesysteme (3 kW). Dies führt bei gleicher Laufzeit zu einem höheren Stromverbrauch.¹⁸

Saugsysteme und Schrägboden–Schneckensysteme sind für HHS i.d.R. nicht geeignet.

Bei größeren Anlagen werden die HHS meist in Silos mit Schubboden zwischengelagert und von dort aus mittels Kettenförderer oder Schnecken zur Kesselanlage befördert. Für die Austragung von HHS aus dem Lager werden vorwiegend Schubbodensysteme verwendet [hessenEnergie 2005]. Zum Weitertransport zum Kessel werden Schnecken-, Trogketten- oder Kolbenförderer verwendet [hessenEnergie 2005].

¹⁷ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006

¹⁸ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.



Abbildung 34 Zuführung der HHS über Förderschnecke aus Lagerraum in Kessel ummantelter, ca. 15 X 15 cm Kanal, in dem eine Schnecke verläuft)

Die Brennstoff-Förderung bei HHS gilt als lauter als bei Pellets. Geräusche („quietschen“) gibt es sowohl im Lagerraum als auch im Heizraum. Diese Geräusche sind störend und können zu Akzeptanz-Problemen führen.

Platzbedarf HHS-Kessel: der Platzbedarf unterscheidet sich nicht von Pelletskesseln.

3.3.1.1 Energieeffizienz

In der Literatur werden unterschiedliche Angaben zur Effizienz gemacht. So wird in [Gettler 2006]¹⁹ für HHS-Anlagen der Leistungsklasse 10 bis 25 kW der Jahresnutzungsgrad mit 78 % angegeben (dort zum Vergleich: der von Ölzentralheizungen mit 82 % und der von Gaszentralheizungen (Brennwertgerät) mit 85 % [dort bezogen auf Brennwert]). Nach [Raggam 2004] werden durch moderne Holzheizungen Wirkungsgrade von 90 bis 96 % erreicht. Nun zeigen schon die verschiedenen Begriffe, dass es sich hier nicht um die gleichen Systemabgrenzungen handelt.

In Deutschland muss der Energiebedarf von neuen Gebäuden nach der Energieeinsparverordnung (März 2007: nach der EnEV 2004) sowie den dort genannten Normen berechnet werden. Wie in Abschnitt 3.6 näher ausgeführt wird, fehlen jedoch in DIN V 4701-10 Angaben für Heizsysteme der hier behandelten Brennstoffe bzw. für Gebäude > 500 m². Dem Planer fehlt damit bisher eine sichere und von individuellen Meinungen unabhängige Beurteilungsgrundlage der Energieeffizienz.

Im Allgemeinen muss davon ausgegangen werden, dass die Energieeffizienz von Holzpellets- und Holz hackschnitzelanlagen schlechter ist als die von Gas- und Öl-Heizungsanlagen. Dies hängt zum einen damit zusammen, dass die Ausnutzung der latenten im Abgas vorhandenen Energie (Brennwertnutzung) bei Biomasse-Anlagen noch in

¹⁹ von der Regionalenergie Steiermark, einer Organisation mit recht großer Erfahrung in der Realisierung von Holzenergieanlagen



den Kinderschuh steckt (erste Biomasse-Brennwertkessel sind jedoch im kleineren Leistungsbereich inzwischen auf dem Markt). Hinzu kommen konstruktionsbedingte höhere Verluste sowie ein mehr an benötigter Hilfsenergie.

Noch ist es so, dass bei gleichem Jahresheizwärmebedarf und sonst gleichen Randbedingungen beim Heizsystem eines neu errichteten Gebäudes eine Versorgung durch Holzpellets oder Holzhackschnitzel einen höheren Endenergieeinsatz verursacht als die Beheizung durch Heizöl- oder Gas, auch wenn dort nur die Niedertemperaturtechnik verwendet wird. Dieser höhere Endenergiebedarf wird auch im künftigen Energieausweis dargelegt werden müssen.

3.3.2 Holzpelletsanlagen

Bis vor wenigen Jahren wurden Holzpellets-Anlagen fast ausnahmslos im kleinen Leistungsbereich bis etwa 50 kW angeboten. Inzwischen sind auch von namhaften Herstellern Großanlagen im Leistungsbereich mehrerer Hundert kW auf dem Markt.

Bezüglich Holzpelletskesseln um 15 kW übt die Stiftung Warentest Kritik an der Energieausnutzung. „Während moderne Öl- und Gasheizkessel unter den idealen Bedingungen eines Prüfstands in den letzten Tests bei mindestens 95 % liegen, fallen die Nutzungsgrade der Holzpelletkessel im Test mit höchstens 88 Prozent deutlich ab. In der Praxis sind die Werte fast immer noch niedriger“ [test 2005]. Kritisiert wurde auch der bei einigen Kesseln unnötig hohe Hilfsstromverbrauch (16-18 W in der Bereitschaftszeit, bei günstigen Geräten nur 3-4 W) [test 2005].

Raumbedarf: Der Platzbedarf für den Kessel unterscheidet sich nicht von HHS-Kesseln (s.o.).

Brennstoff-Fördersystem

Durch das Brennstoff-Fördersystem werden die Holzpellets vom Brennstofflager in den Kessel transportiert. Dieser Transport erfolgt vollautomatisch.

Es gibt verschiedene Systeme für den Austrag aus dem Brennstofflager, wobei ein Zusammenspiel von Brennstofflager und Kessel gegeben sein muss. Bei allen Austragesystemen (bis auf die Saugsysteme) muss der sich der Lagerraum unmittelbar neben dem Heizraum befinden.

- Beim Schrägbodenlager (s. Abbildung 36) verläuft eine Schnecke in einem Kanal. Durch diese werden die Pellets zum Kessel gefördert. Man unterscheidet Standard-Schnecken, Knickschnecken und Steigschnecken. Von einer Knickschnecke spricht man, wenn zwei Schnecken ineinander greifen, wobei die eine Schnecke zum Kessel hin in einem Knick von etwa 40-60° verläuft. So werden die Pellets in der richtigen Höhe in den Kessel eingeführt. Solche Schrägboden-Standard-, Knick- oder Steigschneckensysteme werden i.d.R. für rechteckige Lagerräume verwendet. Bei Steigschnecken sind zwei Schnecken (mit 2 Motoren) hintereinander positioniert, wobei das Brenngut über einen Schacht von der einen in die andere fällt. Sowohl mit Knick- als auch mit Steig-Schnecken lassen sich Distanzen bis etwa 10 m überbrücken. Die Schütthöhe darf eine gewisse Höhe nicht überschreiten, um die Austragung zu gewährleisten. [Gilles 2006c] gibt sie mit maximal 3 m an.

- **Rührwerk:** Rührwerke kommen meist bei quadratischen Lagerräumen zum Einsatz. Rührwerke befördern die Pellets über Stahlarme ebenfalls in einen Kanal, in dem eine Schnecke verläuft. Rührwerke werden in mehreren Varianten angeboten (Federkern- bzw. Blattfeder- und Flachstahlarmrührwerke). Rührwerke gelten als unempfindlicher gegen einen höheren Feinanteil von Pellets bzw. gegenüber Pellets mit geringer Rieselfähigkeit [KWB 2005] Rührwerke sind teurer als die Bunkerschnecken.
- **Schubstangenaustragungen:** Bei solchen Systemen kommen motorisch angetriebene Schubstangen und Schieber zum Einsatz, die die Holzpellets in einen Bodenkanal befördern. Von dort wird es mit einer Schnecke zum Kessel bewegt. Schubstangenaustragesysteme benötigen eine deutlich höhere elektrische Leistung (30 kW elektrisch) als Rundaustragesysteme (3 kW). Dies führt bei gleicher Laufzeit zu einem höheren Stromverbrauch.²⁰ Für Holzpellets sind sie eher unüblich.
- **Saugsystem:** Bei diesem Fördersystem werden die Holzpellets durch eine Saugturbine und einen Schlauch bzw. Rohre vom Lager in einen kleineren Vorratsbehälter am Kessel befördert. Hierdurch lassen sich Höhenunterschiede bewältigen. I.d.R. funktionieren Saugsysteme bis zu einer Länge von 25 m, einem Höhenunterschied von zwei Stockwerken und bis zu einer Heizleistung bis 30 kW [KWB 2005]. Ein Saugsystem wird z.B. mit einem Schrägbodenlager kombiniert, wenn Heizraum und Lagerraum nicht nebeneinander liegen und ein Flur überbrückt werden muss.



Abbildung 35 Brennstoffaustrag: Rührwerk mit Blattfeder

Wird mit einem Sauggebläse gefördert, kann auch ein Erdtank oder ein Silo als Lager genutzt werden.

Die Saugzugförderung macht relativ laute Geräusche („Rohrpost“). Deshalb sollte sie im Wohnungsbau genau geplant und ggf. vermieden werden, um die Geräuschbelästigung zu vermeiden. Ein Problem der Saugzugförderung sind offenbar noch die Schläuche, die

²⁰ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.



nach einigen Jahren Betrieb deutlich Verschleiß aufweisen können. Im Allgemeinen gehe die Saugzugförderung nur bis zu Leistungen von etwa 30 kW.²¹

Wenn Holzpellets über eine Förderschnecke in den Heizkessel gebracht werden sollen, muss der Lagerraum direkt neben dem Heizraum liegen.

Brennstofflager

Für Holzpellets kommen in Frage:

- Gewebetanks,
- Erdtanks,
- Lagerräume.

Die Abbildung 36 zeigt ein Holzpellets-Schrägbodenlager.

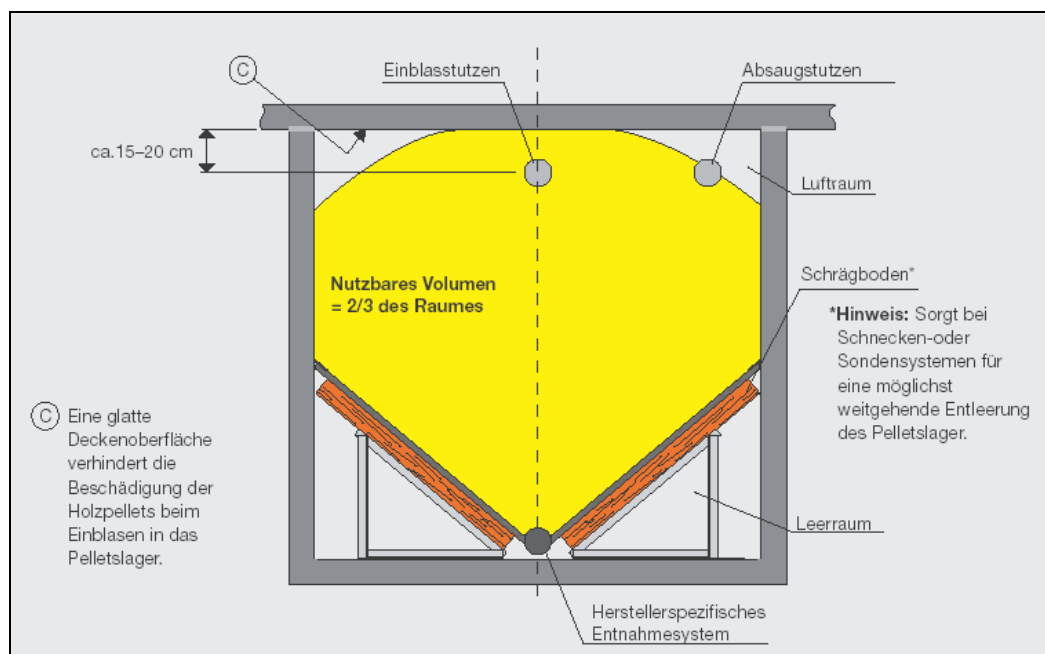


Abbildung 36 Schnitt durch einen Holzpellets-Schrägboden-Lagerraum
Quelle: [DEPV 2005b]

²¹ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.



Abbildung 37 Schrägboden-Pelletspeicher mit Förderschnecken-Kanal

Die Abbildung 38 zeigt die Aufstellung einer monovalenten 145 kW-Holzpellets-Anlage in Scharstein (Österreich). Die Abmessungen des Heizraums betragen 6,0 m * 3,5 m * 3,2 m, die des Brennstofflagers 6,0 m * 2,5 m * 3,0 m.

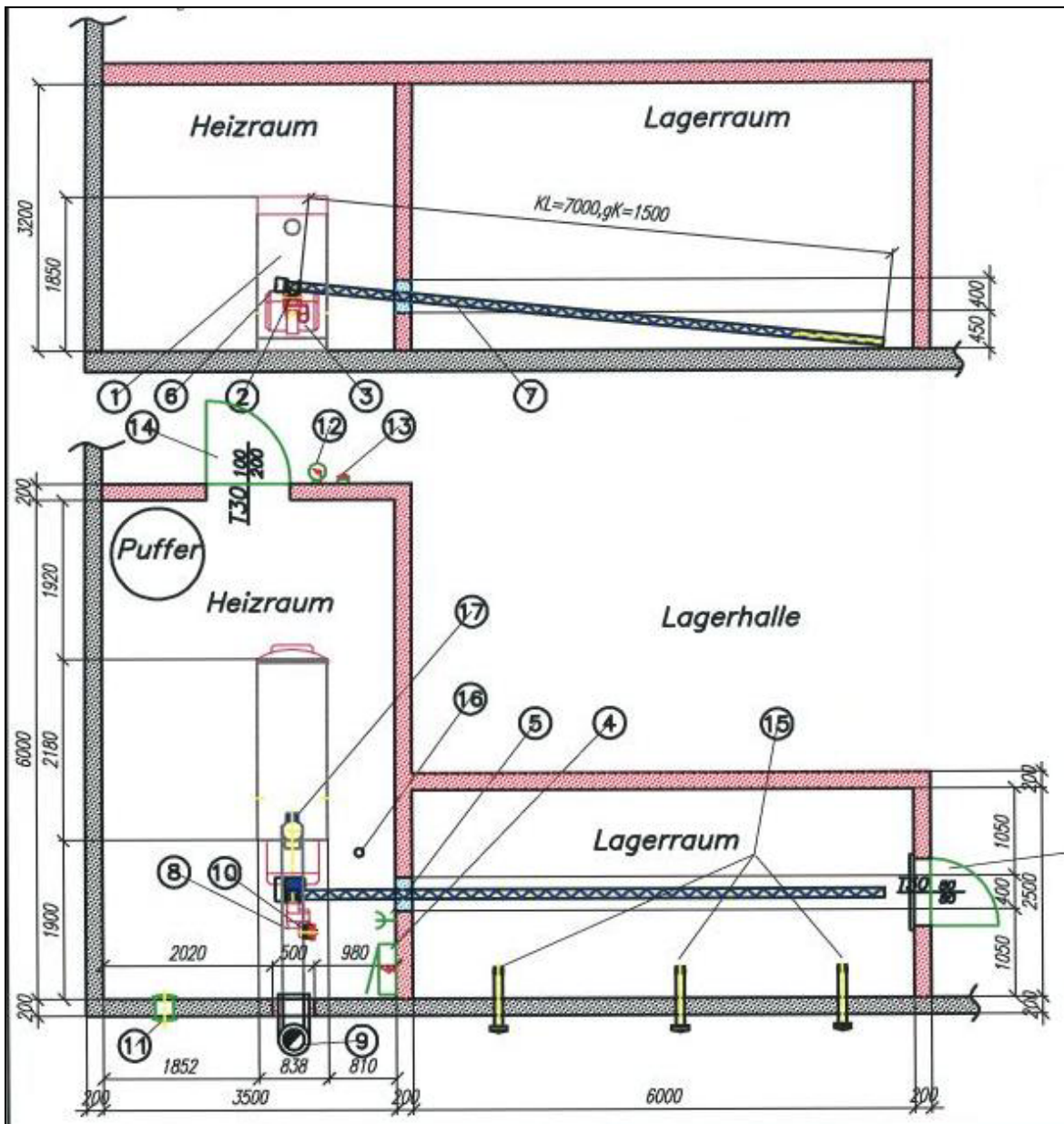


Abbildung 38 Aufstellung einer 145-kW-Holzpellets-Anlage und des Brennstofflagers in einem Industriebetrieb
 Quelle: Fa. Gilles, Gmunden

Die Abbildung 39 stellt die platz sparende Errichtung und Aufstellung eines Heizraums und eines Brennstofflagers einer 450-kW-Anlage in zwei übereinander gestellten Fertig-Garagen.

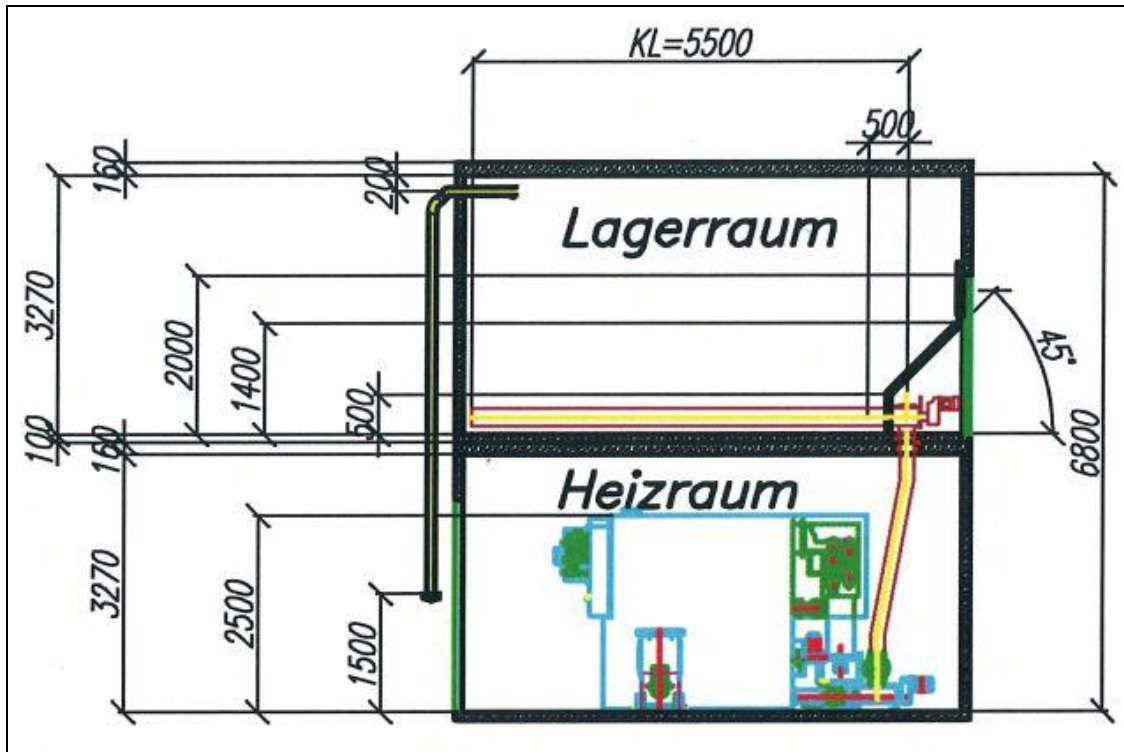


Abbildung 39 Heizhaus/ Brennstofflager einer 450-kW-Holzpelletsanlage (aufeinander gestellte Fertiggaragen) (Schnitt)
Quelle: Fa. Gilles, Gmunden



Abbildung 40 Heizhaus/Brennstofflager in aufeinander gestellten Fertiggaragen. 450 kW; Scharnstein (Österreich)



3.3.2.1 Energieeffizienz

In der Literatur werden unterschiedliche Angaben zur Effizienz gemacht. So wird in [Glettler 2006]²² für Holzpellets-Anlagen der Leistungsklasse 10 bis 25 kW der Jahresnutzungsgrad mit 80 % angegeben (dort zum Vergleich: der von Ölzentralheizungen mit 82 % und der von Gaszentralheizungen (Brennwertgerät) mit 85 % [dort bezogen auf Brennwert]).

3.3.3 Strohanlagen

Bei der Verbrennung von Stroh kann der Brennstoff in mehreren Formen eingesetzt werden. In Frage kommt die Verfeuerung von Stroh-Häckseln (= aufgelösten Ballen), von ganzen Rundballen (1,5*2,5 m), ganzen Groß-Quaderballen (1,2*1,3*2,4 m) und von Strohpellets. Die Tabelle 14 zeigt die Charakteristika.

		Häcksel	Rundballen	Quaderballen	Pellets/Getreide
Abmessungen		2 – 5 cm	1,5* 2,5 m	1,2 * 1,3* 2,4 m	6 – 40* 100mm
Lagerungsdichte (kg/m ³)		65 - 80	110 - 150		400 - 600
Transporteignung	nah	-	++	++	++
	fern	--	+	++	++
Feuerungstyp		(1) Unterschub- (2) Vorschub-rostfeuerung	(1) Feuerung mit Scheibenteiler (2) Strohvergaser	(1) Zigarrenbrenner (2) Feuerung mit Scheibenteiler	Pellet-/Getreideanlagen
Leistungsbe- reich		(1) bis ca. 1 MW (2) alle Bereiche	(1) ab ca. 500 kW (2) 85 bis 400 kW	ab ca. 3. MW	bis max. 500 kW
Brennraum- beschickung		kontinuierlich	chargenweise	(1) kontinuierlicher Vorschub (2) chargenweise	kontinuierlich

Tabelle 14 Strohfeuerung: Brennstoffform und Anlagentechnik
Quelle: [Bröckeland 2005]

Für den Wärmebedarf von Mehrfamilienhäusern > 1.000 m² ist bei guter bis sehr guter Dämmung mindestens eine Nennleistung von 40 kW erforderlich; bei größeren Gebäuden natürlich mehr. In Leistungsbereich 40 bis 300 kW gibt es zurzeit nur ein kleines Angebot an Kesseln. So gibt die Landwirtschaftskammer NRW an, dass es für die nichtautomatische Feuerung mit Rundballen (von 1,30 bis 1,8 m) bei einem Wärmebedarf von 80 bis 400 kW nur einen einzigen Hersteller gebe [LWK NRW 2005]. Hinzu kommt, dass hierbei ein nicht unerheblicher Bedienungsaufwand entsteht durch das Zuführen von Strohballen

²² von der Regionalenergie Steiermark, einer Organisation mit recht großer Erfahrung in der Realisierung von Holzenergieanlagen

auf das Fördersystem (per Traktor-Hochstapler). In der Winterperiode müsste dies ggf. mehrfach in der Woche geschehen.

Strohballenheizungsanlagen mit automatischer Brennstoffzuführung gibt es in Dänemark eine ganze Reihe; jedoch ist hier der Leistungsbereich mit 400 bis 1.000 kW für die meisten neuen Mehrfamilienhäuser zu groß.

Die folgenden Abbildungen erläutern die Arten der Stroheuerung.

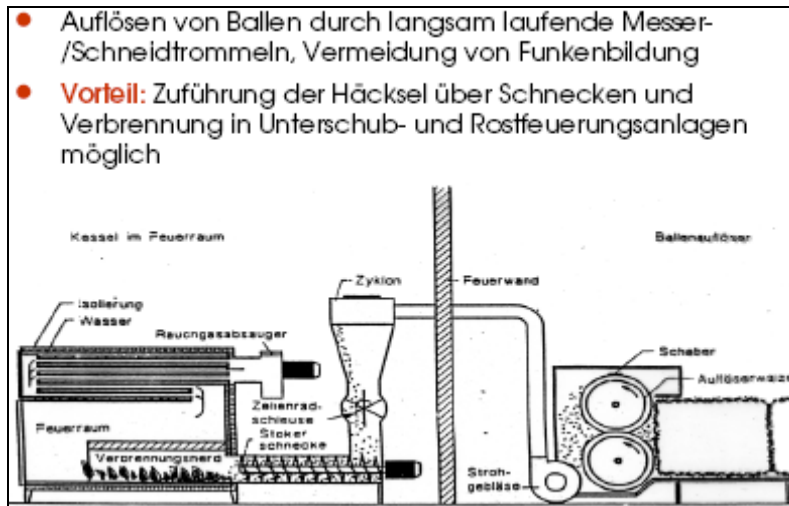


Abbildung 41 Stroheückselverbrennung mit Ballenauflöser
Quelle: [Brökeland 2005]



Abbildung 42 Strohvergasungsanlage für Rundballen
Quelle: [Brökeland 2005]

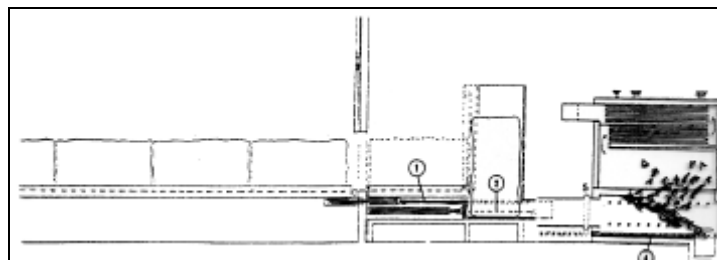


Abbildung 43 Stroheverbrennung: Prinzipskizze Scheibenteiler-Feuerung
Quelle: [Brökeland 2005]

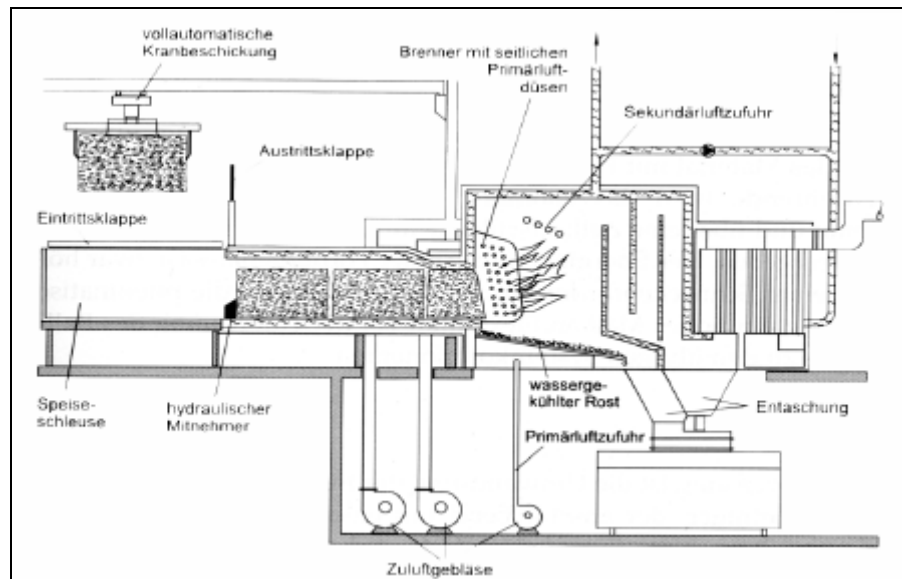


Abbildung 44 Stroh-Verbrennung: Prinzipskizze eines Zigarrenbrenners
Quelle: [Brökeland 2005]

Da der Ascheerweichungspunkt bei Stroh niedriger als bei Holz liegt, sodass Kessel nach 1- 2 Tagen verschlackt sein können, müssen speziell für diesen Brennstoff konstruierte Kessel verwendet werden. Hier gibt es jedoch nur ein kleines Angebot.

Die Kesselleistung sei beim Abbrand von Stroh begrenzt auf „80 % der Leistung, die mit Holz erreichbar ist“ [Block 2005b]. Auch [Brökeland 2005] spricht von „deutlich verminder- ten Kesselleistungen im Vergleich zu Holzbrennstoffen“, die auf die behinderte Luftzuführung zurückgeführt wird.

Kessel für Stroheuerung sollten mit einer Rücklauf- temperaturanhebung ausgestattet sein, die die Rücklauf- temperatur auf $> 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ anhebt, damit der Taupunkt ($56\text{ }^{\circ}\text{C}$) schnell über- schritten wird [Block 2005b].

Bei Anlagen zur Verbrennung von Stroh ist eine automatische Entschlackung wichtig. Ferner ist es ratsam, einen Pufferspeicher einzubauen, um viele Starts (und damit oft Phasen unvollständiger Verbrennung) zu vermeiden.

Stroh gefeuerte Anlagen haben generell höhere Staubemissionen als Holz gefeuerte Anlagen [Block 2005b]. „Ohne zusätzliche Filtereinrichtungen schaffen es nur wenige Kes- sel, die Anforderung von $< 150\text{ mg/m}^3$ Staub im Abgas einzuhalten“ [Block 2005b]. Die Filtertechnik bei geringen Kosten scheint für Stroh gefeuerte Anlagen noch nicht wirklich gelöst zu sein.

Nach Versuchen in der TLL Jena erreichte der Strohkessel (ca. 1,4 MW) in zwei Jahren Jahressnutzungsgrade von ca. 84 %.

Nach C.A.R.M.E.N. hinke der Entwicklungsstand von Getreide- und Halmgutverbren- nungsanlagen dem von Holzfeuerungsanlagen weit hinterher; es bestehe ein großes technisches Entwicklungspotential [Brökeland 2005].

Als mögliches System für Mehrfamilienhäuser verbleibt die Strohpelletsfeuerung. Die Abbildung 45 zeigt einige Anbieter.



Abbildung 45 Anlagen-Hersteller für Strohpellets

Quelle: [Brökeland 2005]

Bei der *Strohpelletsfeuerung* hat die Fa. Agroflamm nach eigenen Angaben den „ersten zugelassenen Strohpelletkessel in Deutschland“ auf den Markt gebracht. Die maximale Feuerungsleistung beträgt 48 kW, die Nennwärmeleistung 40 kW, der Wirkungsgrad ca. 91 %. Allerdings: Für größere Mehrfamilienhäuser sind auch bei heute üblichem Wärmeschutz i.d.R. größere Nennleistungen erforderlich.

Strohpellets verhielten sich bzgl. Verschlackung kritischer als Getreide [Block 2005b]. Nach Mitteilung des Kesselherstellers KWB könnten kleine KWB-Anlagen bis 100 kW Strohpellets problemlos verheizen.²³

Es existieren mehrere Zufuhrsysteme. Bei der Ballenfeuerung werden Strohballen entweder individuell per Traktor-Hochstapler in den Kessel, auf ein Förderband oder mit einem Greifsystem automatisch auf eine Transportbahn („Förderband“) gelegt. Die Länge der Transportbahn hat darauf Einfluss, wie lange der Brennstoffvorrat bei einer individuellen Beschickung ausreicht. Bei einer individuellen Beschickung geht es hierbei um Tage.

Im Fall des Stroh-Heizwerks in Ockholm bei Husum (Ferkelproduktion) sind dies fünf Ballen, die 1.000 Liter Heizöl entsprechen (örtlicher Tagesbedarf in der Hauptheizphase [SH 2005]). Die Anlage läuft von da an vollautomatisch. Zwei Trommeln, die mit Klängen bestückt sind, schneiden das Stroh ab und drücken es in einen Korb. Dann wird es von der Heizzentrale angesaugt und im Kessel verbrannt.

²³ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.



Für Rundballen wird eine Mindestleistung von ca. 500 kW angegeben; für Quaderballen ca. 3 MW [Block 2005].

Strohgefeuerte Anlagen > 100 kW müssen zurzeit noch nach der 4. BImSchV genehmigt werden; bis 100 kW nach der 1. BImSchV.²⁴ Dies stellt höhere Anforderungen: so darf der Staubgehalt im Abgas maximal 50 mg/m³ betragen, der CO-Gehalt max. 0,25 mg/m³ und der NO_x-Gehalt max. 500 mg/m³.

Der Wartungsaufwand gilt als deutlich höher als bei Holzverbrennung [Block 2005b]. Weiter soll der Chlorgehalt ein „erhebliches Problem“ darstellen [Block 2005b].

3.3.4 Regelung, Abgasanlagen, Rauchgasreinigung

Eine abgasgeführte Verbrennungsluftzuführung nennt man „lambda-geregelt“. Dabei wird der Sauerstoffgehalt im Abgas gemessen.

Die Abgasanlage gilt als Motor des Systems Verbrennungsluftversorgung – Verbrennung – Abgasabführung. Speziell Pelletsheizungen besitzen einen sehr geringen Abgasmassestrom. Grund ist, dass nur wenig Verbrennungsluft benötigt wird [Werner 2005].

Rauchgasreinigungssysteme sind nur für größere Anlagen (ab mehrere hundert kW) üblich, um die Emissionsgrenzwerte für Staub einzuhalten. Elektro- und Gewebefilter werden i.d.R. wegen hoher Kosten nur bei Anlagen über 1 MW eingesetzt [hessenEnergie 2005].

3.3.5 Pufferspeicher

Unbedingt erforderlich ist ein Pufferspeicher für eine automatisch beschickte Anlage nicht. Er gilt jedoch als Stand der Technik. Der Sinn eines Speichers besteht in der Vermeidung von Brennerstarts; dadurch werden wiederum Abgase vermieden. In der Evaluation des Marktanzreizprogramms von [Langniß u.a. 2006] ergab sich, dass bei den Holzpellets-zentralheizungsanlagen in etwa 44 % der Fälle Pufferspeicher eingebaut wurden; bei den Hackgutkesseln bei etwa 37 % der Anlagen.

Durch Heizwasserspeicher können Schwankungen auf der Erzeugungs- und Abnahme-seite aufgefangen werden. Geringe Wärmeanforderungen können aus dem Pufferspeicher bedient werden, ferner kann er zur Deckung kurzfristiger Lastspitzen herangezogen werden [Selbach 2005].

Ein Pufferspeicher ist für Anlagen in Mehrfamilienhäusern aus verschiedenen Gründen sinnvoll. Erstens arbeitet ein Kessel nicht effizient, wenn er häufig taktet. Zweitens sind die Schadstoffemissionen gerade in der Anfangsphase einer Verbrennung am höchsten. Drittens kann ein Pufferspeicher vermeiden, dass Anlagen im Lastbereich < 30 % der Heizlast betrieben werden müssen. Ein Pufferspeicher bietet zudem die Möglichkeit, den Kessel knapp zu dimensionieren bzw. Unsicherheiten bezüglich der Heizlast abzufuffern.

Nach [Geschermann 2004a] soll ein Pufferspeicher bei reinen Pelletsanlagen etwa 25 Liter je kW Kesselleistung betragen. [hessenEnergie 2005b] empfiehlt dagegen in einer Anlagenbeschreibung für eine Ausschreibung einen 1.000 l-Speicher bei 50 kW Heizleistung, d. h. 20 l/kW.

²⁴ soll durch die Novelle der 1. BImSchV in Zukunft geändert werden.

Aus der Evaluation des Marktanreizprogramms [Langniß u.a. 2006] ergibt sich, dass im Durchschnitt der geförderten Anlagen das Speichervolumen recht unterschiedlich war. Bei Pelletsheizanlagen lag es bei 49 l/kW (150 untersuchte Anlagen), bei Hackschnitzelanlagen bei 29 l/kW (32 untersuchte Anlagen). Die unterschiedliche Größe des Speichervolumens hat damit zu tun, dass es bei den Pelletsanlagen zu 95 % um Anlagen bis etwa 25 kW ging und hier vielfach zusätzlich Sonnenkollektoren zur Warmwasserbereitung eingesetzt wurden. Bei den Pellets-Anlagen > 30 kW betrug das Speichervolumen zwischen 10 und 100 l/kW, im Mittel sicher unter 50 l/kW.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen wird bei den Investitionsbeträgen unterstellt, dass bei den Biomasseheizungen Pufferspeicher verwendet werden.

3.3.6 Anlagenauslegung

Eine Biomasseheizung kann monovalent, zusätzlich zu einer Anlage mit Brennstoffen wie z.B. Heizöl und Erdgas oder auch in Kombination zu einer Anlage mit anderen regenerativen Energieträgern (z.B. Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung) errichtet werden. Nach [hessenEnergie 2005] ist eine bivalente Auslegung vor allem dann sinnvoll, wenn bereits eine konventionelle Heizungsanlage existiert, und wenn die Mehrkosten einer monovalenten Anlage durch den Preisvorteil bei den Brennstoffkosten nicht kompensiert werden können.

3.4 Brennstofflieferung und Lagerung der Brennstoffe

Festbrennstoffe werden per LKW angeliefert. Deshalb ist eine LKW-Zufahrt nötig. Ein Zufahrtsweg sollte eine Breite von mindestens 3 m und eine Höhe von mindestens 4 m aufweisen. Die Belastbarkeit der Zufahrt muss Anlieferungen mit LKW bis 26 t bzw. bei großen Objekten Hängerzügen bis 40 t zulassen.

Bei HHS-Anlagen erfolgt die Lieferung zumeist und preisgünstig über Kipplader-LKW, die direkt an den Lagerbunker heranfahren müssen (Lagerraumabdeckung siehe z.B. Abbildung 33). Eine fehlende für Schwerlast geeignete Zufahrt, chronische Parkplatzprobleme bei Blockrandbebauung in Großstädten oder auch zu enge Straßen (Altstadtquartiere) schränken die Nutzung von HHS in Städten ein. In den typischen Gartenstadtquartieren dürfte die HHS-Nutzung kein gravierendes Problem darstellen.

Beschrieben werden im Folgenden Anforderungen und Möglichkeiten der Lagerung der Brennstoffe beim Endverbraucher.

3.4.1 Gesetzliche Anforderungen

Gesetzliche Anforderungen bestehen bezüglich des Brandschutzes. Dieser fällt in den Zuständigkeitsbereich der Bundesländer, die diese Materie in ihren Feuerungsverordnungen regeln. Diese enthalten zumeist folgende Anforderungen:

- die Umschließung muss der Gewichtsbelastung standhalten,
- Elektroinstallationen wie Schalter, Licht, Verteilerdosen etc. sind zu vermeiden oder in explosionsgeschützter Form ausgeführt werden,
- Befüllkupplungen müssen an den Potentialausgleich angeschlossen werden,
- bei einer Lagermenge an festen Brennstoffen über 15 Tonnen gelten folgende Brandschutz-Anforderungen an den Lagerraum: Wände F90, Decken F90, keine



Leitungen durch Wände, keine andere Nutzung, Türen selbst schließend, nach außen öffnend und Feuer hemmend T30.

3.4.2 Technisch-wirtschaftliche Anforderungen an die Lagerung

3.4.2.1 Lagerung von Holzpellets

Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets sind in [DEPV 2005b] ausführlich beschrieben. Hier werden nur die wichtigsten Anforderungen benannt. Die Abbildung 46 und Abbildung 47 zeigen einige Beispiele.

Die Befüllung eines Lagerraums mit Holzpellets erfolgt über Schläuche, durch die Holzpellets vom Lieferfahrzeug in den Lagerraum eingeblasen werden. Nach [DEPV 2005b] und [Grebe 2001] sind folgende Dinge zu beachten:

- der Abstand zwischen Lieferfahrzeug zum Pelletslagerraum-Befüllstutzen sollte unter 30 m, besser unter 20 m betragen. Bei größeren Entfernungen müsste ein höherer Blasdruck erzeugt werden; dies führt zu verstärktem Abrieb²⁵, was sich ungünstig auf das Feuerungsverhalten und die Staubemission auswirkt,
- der Lagerraum soll an eine Außenwand grenzen.
- der Lagerraum muss ganzjährig trocken sein,
- es ist gartenseitig eine Steckdose (16 A) für den Anschluss des Luft-Absauggebläses des Pelletslieferanten vorzusehen,
- gartenseitig ist ein Ein-/Aus Schalter für den Pelletskessel vorzusehen,
- der Lagerraum muss für Arbeiten im Störfall zugänglich sein; andererseits muss er durch eine staubdicht ausgeführte Tür oder Luke geschlossen sein. Die Tür bzw. Luke muss druckentlastet und nach außen zu öffnen sein,
- außen am Lagerraum ist mindestens ein Befüllstutzen und ein Luftabsaugstutzen anzubringen, durch das Außenmauerwerk hindurch, je DN 100, aus Metall, außen abgedeckt,
- eine optische Füllstandskontrolle soll möglich sein,
- gegenüber dem/den Einblasstutzen ist eine Prallschutzmatte (HDPE-Folie > 1 mm) von 1,5 x 1,5 m anzubringen. Diese ist sinnvoll, um beim Tankvorgang einen direkten Aufprall des Brennstoffs auf Wände und eine mineralische Verunreinigung zu vermeiden.

²⁵ pers. Mitteilung Hr. Fellermann, Mitarbeiter des Pellet-Großhändlers Vis Nova (Bremen), vom 10.4.2006

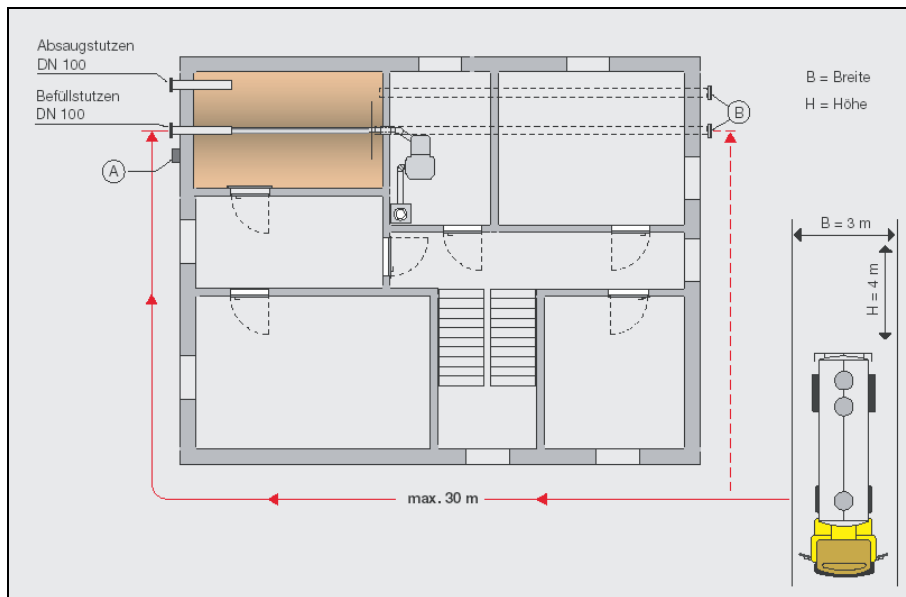


Abbildung 46 Grundriss zur Lage eines Lagerraum für Holzpellets
Quelle: [DEPV 2005b]

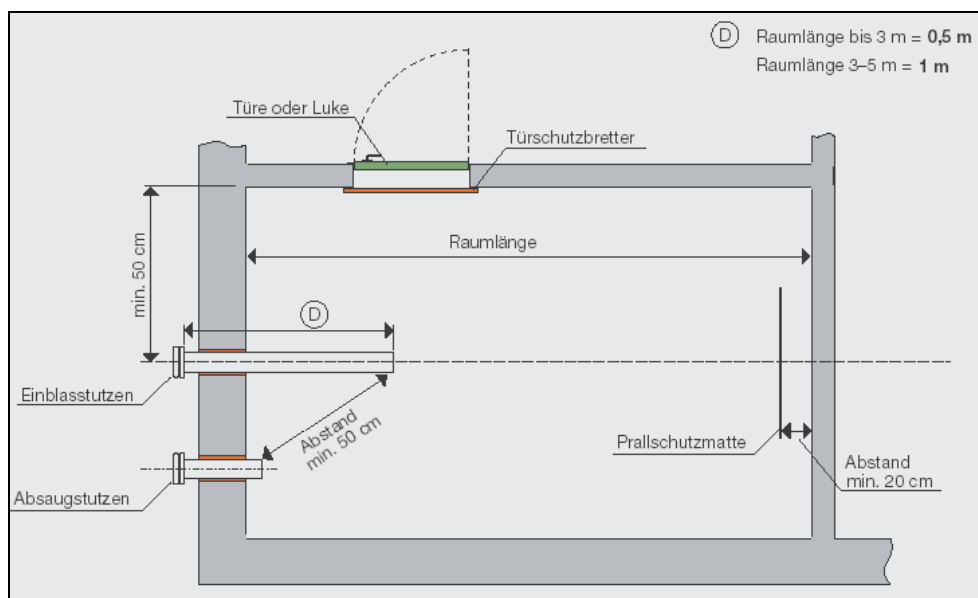


Abbildung 47 Grundriss eines Pellets-Lagerraums
Quelle: [DEPV 2005b]

Da bei einer Lagerung in Kellerräumen immer die Gefahr des Eindringens von Feuchtigkeit besteht und Holzpellets empfindlich gegenüber Feuchtigkeit sind, ist eine trockene ebenerdige Lagerung vorzuziehen.²⁶

²⁶ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.



Größe und Art des Lagerraums bei Holzpellets

In der Literatur wird zumeist dargelegt, dass die benötigte Größe eine Funktion des Wärmebedarfs des Gebäudes sei. Hierbei muss beachtet werden, dass es bis 2005/2006 Pelletsanlagen im Wesentlichen im kleinen Leistungsbereich bis etwa 40 kW gab.

Für den hier untersuchten Bereich der Mehrfamilienhäuser gelten andere Bedingungen. Zum einen liegt der Leistungsbereich i.d.R. mindestens bei 30 kW und geht bis in den Bereich von 500 kW hinein, andererseits bestehen i.d.R. bei Mehrfamilienhäusern Platzprobleme. Deshalb ist es sinnvoller, bei diesen Gebäuden die Größe des Lagerraums vom wirtschaftlichen Einkauf des Brennstoffs abhängig zu machen, sprich: auf die Größe eines Tankwagens abzustellen. Diese Größe beträgt i.d.R. etwa 12 t bzw. 18 m³. Da der Pellets-lagerbestand nicht völlig auf Null sein sollte, wäre also ein Mindestlagervolumen von (netto) 25 m³ sinnvoll. Auf jeden Fall ist es nicht erforderlich, die für den Jahresendenergiebedarf erforderliche Brennstoffmenge lokal vorzuhalten. Dies wird bei Erdgas auch nicht gemacht. Es kommt dann natürlich zu mehrmaligen Lieferungen während einer Heizperiode.

Im Leistungsbereich für Mehrfamilienhäuser (> 30 kW) kommt im Wesentlichen eine Lagerung in Kellerräumen und Containern in Frage. Erdtanks mit Vakuumsaugsystemen sind für diese Leistungsklasse i.d.R. nicht mehr geeignet; zudem gibt es bei diesen Systemen Abrieb- und damit Staub- und Verbrennungsprobleme. Aufgeständerte Hochsilos („big-packs“) sind technisch möglich, stellen aber eine erhebliche architektonische Herausforderung dar und dürften bei vielen Hauseigentümern und Mietern Akzeptanzprobleme hervorrufen. Hier könnten in einem Volumen von 3 X 3 X 3 m netto schon 25 m³ gelagert werden.

Die Lagerung kann auch über mehrere Kellerräume verteilt werden. Dabei müssen die Kellerwände nicht entfernt und ein großer Raum geschaffen werden. Die Abbildung 48 zeigt ein Beispiel (Mehrfamilienhäuser Hannover-Sahlkamp)²⁷. Es reichen horizontale Kernbohrungen für verteilende Pellet-Einblasleitungen und Luft-Überströmöffnungen sowie Wändurchbrüche für einen Bodenkanal mit Förderschnecke.

In der Regel können bei Holzpellets netto nur zwei Drittel der Baugröße des Lagerraums genutzt werden.

²⁷ vereinfachte Skizze nach Plänen von Technik-Planer bzw. Lindener Baukontor, Hannover

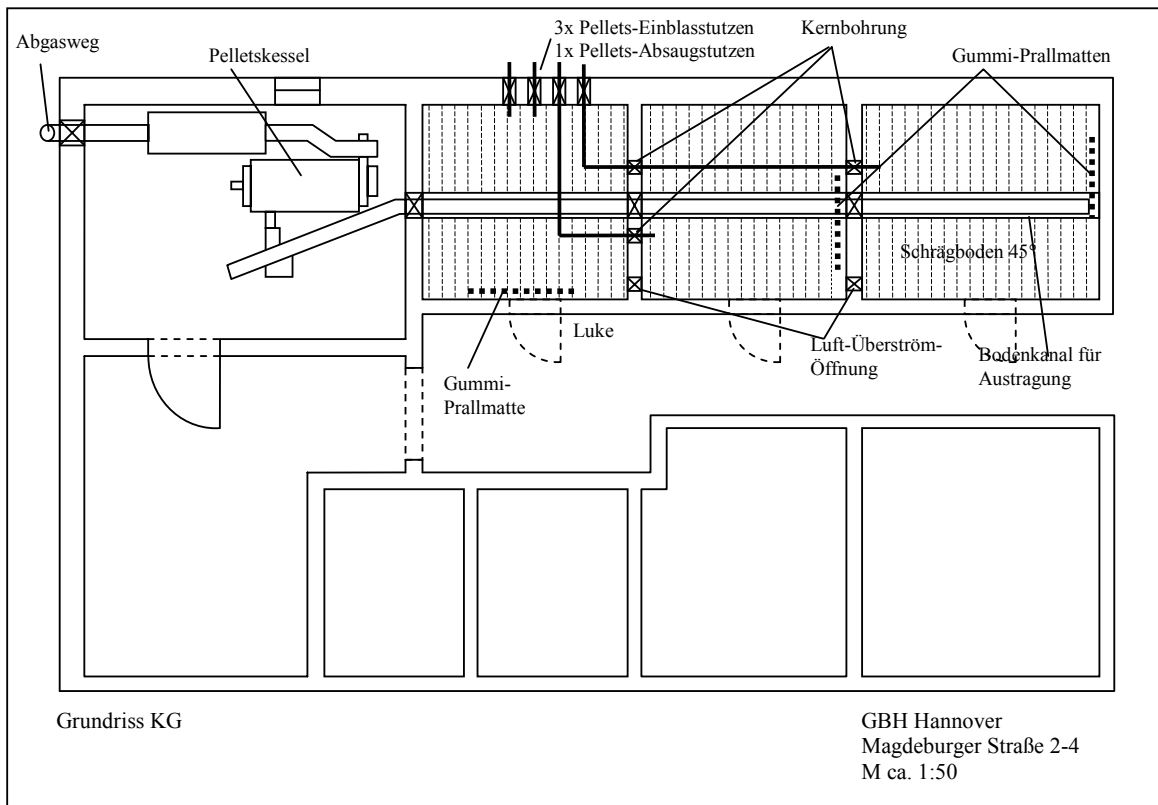


Abbildung 48 Möglichkeit der Verbindung mehrerer Keller zum Pelletslagerraum

Es besteht auch die Möglichkeit, Fertigaragen und Container so umzurüsten, dass sie als Brennstofflager und als Heizraum genutzt werden können. Dabei kann z.B. in einen üblichen Container eine Zwischenwand mit Luke eingebaut werden, die den eigentlichen Lageraum noch einmal abtrennt. Desweiteren werden die notwendigen Anschlussstutzen hergestellt. Frei Baustelle sind solche Lösungen für 5.000 € möglich.²⁸

Eine besondere Variante bilden neuartige Kompaktlösungen von Heizzentralen inkl. Brennstofflager, vgl. Abbildung 49. Solche Lösungen werden von 10 bis 150 kW zu Festpreisen angeboten. Für ein Mehrfamilienhaus-Neubau von ca. 1.000 m² sind etwa 32.000 € + MwSt + Transport und Aufstellung zu kalkulieren; für 80 kW etwa 49.000 €. ²⁹ Andere „Containerlösungen“ gehen bis 1,6 MW. Die für die Akzeptanz wichtige Frage der gestalterischen Einbindung lässt sich durch eine individuell gestaltete Fassade der Container lösen. Hier gab es sogar schon „Kunst am Bau“-Wettbewerbe.

²⁸ Beispiel Sportverein Niedersachsen-Döhren in Hannover. Angaben: Dipl.-Ing. C. Grubert, Hannover.

²⁹ Preisliste der Fa. EnergyCabin Produktions- und Vertriebs-GmbH, Gleisdorf, Österreich. von Juni 2006.



Abbildung 49 Kompakt-Heizzentrale inkl. Pelletslager
Hersteller: Fa. EnergyCabin, Österreich



Abbildung 50 Container-Heizzentrale inkl. Pelletslager für Anlagen > 100 kW.
Hersteller: Fa. EnergyCabin, Österreich

3.4.2.2 Lagerung von Holzhackschnitzeln

Für HHS ist ein größerer Lagerraum als für Holzpellets sinnvoll, da HHS eine geringere Lagerdichte haben als Holzpellets [Block 2005b].

Nach [Leitfaden Bioenergie 2002] sollte die Größe des Lagerraums so dimensioniert werden, dass die Heizung 14 Tage unter Vollast ohne weitere Zulieferung betrieben werden kann. Danach ergibt sich die Mindestgröße wie folgt:

$$(Nennleistung * 14 d * 24h/d)/(Heizwert * Schüttdichte * Systemwirkungsgrad).$$

$$\text{Beispiel: } 100 \text{ kW} * 14 \text{ d} * 24 \text{ h/d} / (4 \text{ kWh/kg} * 250 \text{ kg/Srm} * 0,8) = 42 \text{ Srm}$$

Selbst bei Großprojekten wie dem 530 kW-HHS-Projekt Scharnstein beträgt die HHS-Lagerraumgröße nur $6,35 \text{ m} * 6,35 \text{ m} * 3,58 \text{ m} = 144 \text{ m}^3$.

HHS stellen an die Trockenheit des Lagerraums nicht so hohe Anforderungen wie Holzpellets, weil HHS ohnehin einen Feuchtigkeitsgehalt von mehr als 10 % aufweisen. HHS-Lagerräume sollen gut durchlüftet werden. Ansonsten kann die enthaltene Feuchtigkeit nicht verdunsten und tropft von der Decke wieder auf die HHS zurück. Für Kellerräume ist ein Zu-/Abluftventilator nötig.

Am kostengünstigsten ist es, wenn die HHS einfach abgekippt werden können. Die Abbildung 30 bis Abbildung 33 zeigen einige „Eingänge“ von unterirdischen, den Gebäuden vorgelagerten HHS-Bunkern, in die HHS abgekippt werden können.

3.4.2.3 Lagerung von Stroh

Für die Lagerung von Strohballen werden größere Volumina als bei der Lagerung von Heizöl benötigt. Zum Vergleich: ein 20.000 Liter-Heizöltank benötigt ein Raumvolumen von ca. 20 m^3 . Eine vom Energieinhalt gleichwertige Menge Stroh in Form großer Rundballen sind 60 Tonnen. Dies wiegt etwa 75 kg/m^3 . Für 60.000 kg wird demnach ein Volumen von 800 m^3 benötigt. Um die Ein- und Ausbringung der Ballen und Belüftung zu gewährleisten, wird eine Halle von mindestens der 1,5 fachen Größe erforderlich sein. Dies wären bei 5 m Höhe 240 m^2 . Hinzukommt die Schwierigkeit des Handlings von Ballen.

[SH 2005] gibt 500 m^2 Hallenfläche (Höhe nicht angegeben) für die Einlagerung von ca. 600 Rundballen an.

Für die städtische Bebauung - bei dieser Studie geht es um Wohngebäude $> 1.000 \text{ m}^2$, die sich eben überwiegend in Städten befinden - erscheint ein derartiger Platzbedarf nur in Ausnahmefällen integrierbar. Es verbleibt die Möglichkeit der Verwendung von Strohpellets. Hier besteht eine höhere Energiedichte und eine einfachere Logistik.

Da bei der Lagerung von Stroh und der Zuführung zum Heizkessel Brandlasten bestehen, ist eine Lagerung dieses Brennstoffs in der Nähe von Wohngebäuden nicht unproblematisch.

3.5 Bauliche Maßnahmen

Die Wärmebereitstellung mit den hier untersuchten Brennstoffen erfordert über die genannten Maßnahmen hinaus unter Umständen zusätzlichen baulichen Aufwand. Bei von uns näher betrachteten und besichtigten Beispiel-Projekten wurden z.B. genannt:

- Biomasse-Feuerungs-Heizkessel sind i.d.R. von den Abmessungen größer und schwerer als Kessel für die Brennstoffe Erdgas und Heizöl. Die führt u.U. zu Problemen bei der Aufstellung, wobei einerseits eine niedrige Kellerdeckenhöhe ein Problem sein kann (bei gleichzeitig hoher Nennwärmeleistung über 100 kW), andererseits die Zugänge zum Heizraum einen Engpass darstellen können (Türbreite,



Türhöhe, Kellerflur-Durchgangsbreite, Kellerabgang). Im Projekt Jugendgästehaus Bruck beträgt die Türbreite z.B. 1,50 m.

- Bei Bestands-Wohnungen kann Luftschall ein Problem werden. Dies kann dazu führen, dass man ein Schallgutachten benötigt, ob der vorhandene Deckenaufbau gut genug ist. Ergebnis kann sein, dass in der über dem Heizraum liegenden Wohnung ein neuer schwimmender Estrich und zusätzlich eine abgehängte Decke im Heizraum hergestellt werden muss.³⁰ Diese vermindert wiederum die Raumhöhe.
- es sind u.U. Kernbohrungen durch Kellerwände notwendig, um Einfüllöffnungen und Gebläseabsaugöffnungen bzw. um den Luftverbund bei Lagerräumen im Keller zu ermöglichen,
- Verlegung von vorhandener Elektrotechnik aus dem Lagerraum heraus,
- Einbau von T30 – Türen bzw. Luken zu Keller-Lageräumen,
- Einbau eines Bodenkanals und Schächten für Förder- und Steigschnecken, um vorhandene Kellerräume als Lagerraum besser ausnutzen zu können,
- Absenkung von Kellerfußböden, um Pufferspeicher unterbringen zu können (bei Speichern ist nicht die Höhe des Speichers im aufgestellten Zustand entscheidend, sondern das Kippmaß),
- der Heizraum für einen HHS-Kessel muss i.d.R. größer sein als bei einem Gas- oder Heizöl-Kessel, weil zu Wartungsarbeiten die Förderschnecke „ausgefahren“ werden muss. Dies erfordert bei einem 100 kW-Kessel einen Front-Wandabstand von 1,5 m.³¹ Eine Heizraumgröße von 4 m * 3 m * 2,4 m reicht allerdings (für diese Anlagengröße) aus. Im Projekt Nestelbach beträgt die Heizraumgröße 6 m * 3,75 m * 2,5 m, im Projekt Jugendgästehaus Bruck ca. 4 m* 3,7 m* 3,3 m. Beim Projekt Scharnstein betragen die Abmessungen des Heizraums ca. 6,5 m * 4,5 m * 3,73 m.³²

3.6 EnEV und primärenergetische Bewertung

Die Energieeinsparverordnung des Bundes [EnEV 2004] stellt Anforderungen an zu errichtende Gebäude, bestehende Gebäude und an die Anlagentechnik. Die Hauptforderung an zu errichtende Gebäude besteht in der Begrenzung des spezifischen Jahres-Primärenergiebedarfs; die wesentliche Nebenforderung betrifft die Begrenzung des spezifischen Transmissionswärmeverlusts.

Nach EnEV § 3 Abs. 3 Nr. 2 gilt die Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs nicht für Gebäude, die „mindestens zu 70 vom Hundert durch erneuerbare Energien mittels selbsttätig arbeitender Wärmeerzeuger“ beheizt werden.

Zusätzlich gilt nach EnEV 2004 § 11 Abs. 1, dass für Heizkessel mit festen Brennstoffen keine CE-Kennzeichnung erforderlich ist und dass Gebäude, bei denen der Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV § 3 Abs. 1 nicht begrenzt ist, nicht mit NT- oder Brennwertgeräten ausgestattet werden müssen.

³⁰ Beispiel: Hannover, Sahlkamp

³¹ Quelle: eig. Besichtigung Österreich 2006 im Projekt Ottendorf II und Nestelbach.

³² Quelle: Einreichplan der Fa. Gilles v. 20.10.2005.

Auch wenn in Fällen der EnEV § 3 Abs. 3 Nr. 2 eine Begrenzung des Jahres-Primärenergiebedarfs aktuell ordnungsrechtlich nicht erforderlich ist, so kann der Jahres-Primärenergiebedarf in manchen Fällen dennoch berechnet werden, z.B. um einen Energieausweis auszustellen.

Im Prinzip enthält [DIN V 4701-10] die Berechnungsmethodik, um Anlagen-Aufwandszahlen zu berechnen. Für Biomasse-Heizanlagen in Gebäuden > 500 m² ist diese Norm jedoch kaum brauchbar. Ferner liefert sie generell nur Anlagen-Aufwandszahlen für Gebäude, die einen bestimmten Dämmstandard aufweisen (etwa ab WSVÖ 1995).

Für Heizanlagen in zu errichtenden Gebäuden sind nach Tabelle C. 4-1 dieser Norm folgende Primärenergiefaktoren f_P anzusetzen:

- $f_P = 0,2$ für den Brennstoff „Holz“ im Falle der Gebäude-Einzerversorgung. Dieser Faktor berücksichtigt den Anteil nicht regenerativer Energien bei der Bereitstellung von Holz als Brennstoff (z.B. für die Anlieferung). Bezüglich „Holz“ wird nicht näher differenziert.
- $f_P = 0,0$ für „Nah/Fernwärme aus KWK“ mit dem Energieträger „erneuerbaren Brennstoff“
- $f_P = 0,1$ für „Nah/Fernwärme aus Heizwerken“ mit dem Energieträger „erneuerbaren Brennstoff“.
- $f_P = 1,1$ für Gas und Heizöl.

Durch die günstige primärenergetische Bewertung ergeben sich für die Brennstoffe Holz und „erneuerbaren Brennstoff in Nah- und Fernwärme“ (also auch Stroh) sehr geringe Primärenergiebedarfe.

In Mischfällen – z.B. wenn in einem Nahwärmenetz nicht nur erneuerbarer Brennstoff verwendet wird – ist der Primärenergiefaktor nach DIN 4710-10 Abschnitt 5.4.2 bzw. 5.4.1 zu berechnen [Hegner 2005].

Für Heizanlagen mit den regenerativen Brennstoffen Holzpellets, Holzhackschnitzel, Strohpellets und Stroh stellt die DIN V 4701-10 keine Kenngrößen bereit: Kennwerte für Holzpelletsanlagen liefert Anhang C dieser Norm im Tabellenverfahren nur für Gebäude bis 500 m² und für den Brennstoff Holzpellets und Scheitholz, nicht aber für Heizanlagen für HHS, Stroh und Strohpellets. Das führt in der Folge dazu, dass man mit führender Energiebilanzierungssoftware wie „Energieberater“ der Fa. Hottgenroth große Gebäude mit Regenerativ-Heizanlagen nicht behandeln kann. Die eigene Ermittlung von Anlagenaufwandszahlen nach [DIN V 4701-10] Abschnitt 5.3.4.2.5 kann dem Praktiker nicht zugemutet werden: In der Praxis stehen für die Berechnung der Erzeuger-Aufwandszahl benötigte Werte nicht zur Verfügung (z.B. „nicht nutzbare, direkte Wärmeabgabe des Wärmeerzeugers in kWh/a“ oder „Hilfsenergiebedarf bei einem Grundzyklus nach Hersteller“).

Hilfsenergie für Biomasse-Anlagen: [DIN V 4701-10] liefert in der Tabelle C3-4g nur Zahlen zum Hilfsenergiebedarf des Biomasse-Kessels. Hierin ist jedoch weder der Hilfsenergiebedarf des Verteilnetzes noch der separaten Brennstoffförderung enthalten.



4. Hintergrund: Ökonomische Daten

4.1 Investitionsbeträge

4.1.1 Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen

Für die Abschätzung von Investitionsbeträgen für Holzpelletsanlagen wurde insbesondere auf folgende Quellen zurückgegriffen:

- die Umfrage der Höheren Forstbehörde Nordrhein-Westfalen bei geförderten Anlagenbetreibern aus dem Jahre 2004,
- eine Auswertung von Förderfällen des Landes Hessen aus 2006,
- eine Auswertung von Förderfällen der Klimaschutzagentur „proKlima“ Hannover aus 2006,
- die Evaluierung des Marktanzreizprogramms [Langniß u.a. 2006],
- weitere Fachliteratur.

In den Abschnitten 4.1.1.1 bis 4.1.1.5 werden Ergebnisse aus der Auswertung dieser Quellen vorgestellt; in Abschnitt 4.1.1.6 wird ein Fazit gezogen.

4.1.1.1 Ergebnisse der Umfrage der Höheren Forstbehörde NRW bzgl. Pellets

In der *Umfrage der Höheren Forstbehörde NRW* wurden Anlagenbetreiber befragt, die von 1998 bis 2002 eine Förderung ihrer Pellets-Heizungsanlage nach der „Holzabsatzförderrichtlinie“ erhalten haben. Die Tabelle 15 zeigt die Antworten bezüglich der Investitionsbeträge. Unklar ist, ob es sich um brutto- oder netto-Angaben handelt.

Bezüglich der Lagerraumkosten wird in der NRW-Auswertung erläutert, dass diese wegen eines Eigenarbeitsanteils ungenau seien. Bezüglich der Anlagengröße ab 51 kW sind die Angaben wegen der geringen Fallzahl (max. 13 Fälle) nicht hoch belastbar.

Frage 21

Wie teuer war Ihre Heizanlage und wie viele Fördermittel haben Sie erhalten ?

Preise für Holzpellettheizanlagen nach Leistungsstufen					
		Kessel €	Lagerraum €	Pufferspeicher €	Gesamt €
Pelleteinzelöfen	von - bis	4.450 - 22.500			
	Durchschnittlich	8.587		2.476	11.063
< 15 kW	von - bis	5.877 - 26.892			
	Durchschnittlich	12.805	1.925	2.615	17.049
16 - 25 kW	von - bis	6.532 - 25.852			
	Durchschnittlich	14.543	1.439	2.608	18.591
26 - 50 kW	von - bis	8.616 - 20.000			
	Durchschnittlich	14.132	2.097	2.678	18.908
51 - 100 kW	von - bis	9.000 - 84.090			
	Durchschnittlich	46.363	5.412	6.132	57.907
101 - 300 kW	von - bis	20.000 - 123.252			
	Durchschnittlich	56.417	24.098	6.050	86.565

Tabelle 15 Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen in NRW

Quelle: [Langer et al. 2004b]

4.1.1.2 Auswertung von Förderfällen des Landes Hessen bzgl. Pellets

Die Energieagentur „hessenEnergie“ nimmt im Auftrag des Landes Hessen u.a. die Aufgabe der fachtechnischen Prüfung von Förderanträgen und Verwendungsnachweisen von Biomasse-Anlagen wahr, die vom Land Hessen gefördert werden. Wir haben die hessenEnergie gebeten, bestimmte Daten zu ermitteln und zusammenzufassen. Die Anlage 2 zeigt die Daten zu Holzpelletsanlagen im Detail.

Die Auswertung umfasst 8 Holzpelletsanlagen, die ab 2004 gefördert wurden. Die Nennleistung des Biomasse-Kessels liegt im Mittel bei 255 kW, d.h: es geht um relativ große Anlagen. Es handelt sich um Schulen/Schulzentren (5 Fälle); sonstige kommunale Liegenschaften (2) und Wohngebäude/Neubaugebiete (1). Die Auswertung liefert bezüglich der Investitionen die folgenden Erkenntnisse:

- Die Gesamtinvestition inkl. Planung (exkl. Spitzenlast) beträgt im Mittel 593 € (netto) pro kW installierte Nennleistung Biomassekessel.
- Dieser Betrag von 593 € (netto) pro kW installierte Nennleistung (Biomassekessel) setzt sich im Mittel zusammen aus 361 €/kW Investition für den Biomassekessel, 93 € pro kW für bauliche Maßnahmen, 76 € pro kW für Planungskosten, 53 € pro kW für ein Nahwärmenetz (sofern vorhanden und Daten ausgewiesen) sowie 11 € pro kW für Sonstiges (z.B. Abbruch, Demontage).



4.1.1.3 Förderfälle von proKlima (Hannover) bzgl. Pellets

Aus den Förderfällen des Klimaschutzfonds proKlima [proKlima 2006b]³³ konnten ebenfalls Preise ermittelt werden. Diese enthalten in der Regel die Gerätschaften für die Brennstoffförderung. Der bauliche Aufwand, die Abgasanlage, Warmwasserspeicher etc. sind i.d.R. nicht enthalten. Auf der Basis der proKlima-Angaben haben wir die Tabelle 16 erstellt.

Anlagen-Nr	Brennstoff	Nennleistung	€ / Gerät netto	€ / kW netto
1	Holzpellets	14,9	7.481,25	502,10
2	Holzpellets	42	11.383,00	763,96
3	Holzpellets	15,1	5.788,50	388,49
4	Holzpellets	10	6.928,38	464,99
5	Holzpellets	15	7.344,00	492,89
6	Holzpellets	15	7.970,34	534,92
7	Holzpellets	15	8.124,75	545,29
8	Holzpellets	15	7.866,50	527,95
9	Holzpellets	15	7.372,10	494,77
10	Holzpellets	15	8.657,08	581,01
11	Holzpellets	15	9.598,00	644,16
12	Holzpellets	15	6.850,20	459,74
13	Holzpellets	15	6.893,20	462,63
14	Holzpellets	20	9.936,50	666,88
15	Holzpellets	20	7.400,00	496,64
16	Holzpellets	20	11.177,90	750,19
17	Holzpellets	14	k.A.	k.A.
18	Holzpellets	15	7.508,89	503,95
19	Holzpellets	25,9	k.A.	k.A.
20	Holzpellets	14,9	6.709,45	450,30
Summe bzw. arith. Mittelwert		347	144.990	472
Minimum				388
Maximum				764

Tabelle 16 Investitionsbeträge von ProKlima 2005/2006 geförderter Pelletsanlagen
Quelle: Erstellt nach Angaben von [ProKlima 2006b]

³³ Der Klimaschutzfonds proKlima ist ein Zusammenschluss von 10 Städten der Region und den Stadtwerken Hannover, seit 1998 fördert er zahlreiche Klimaschutzprojekte.

4.1.1.4 Evaluierung des Marktanreizprogramms bzgl. Pellets

Beim Marktanreizprogramm handelt es sich um ein Programm der Bundesrepublik Deutschland zur Förderung des Einsatzes regenerativer Energien. Mit diesem seit 1999 bestehenden Programm wird auch der Einsatz von Biomasse in Form von Holzpellets gefördert. Im Jahre 2006 wurden durch [Langniß u.a. 2006] die Wirkungen dieses Programms bezogen auf den Zeitraum Jan. 2004 bis Dez. 2005 abgeschätzt. Für den Förderbereich „Kleine Biomassekessel bis 100 kW“ wurde dabei eine Stichprobe von ca. 1.000 Förderfällen gebildet. 358 Fälle der Stichprobe betrafen Pelletskessel, für 190 dieser 358 lagen auswertbare Angaben zu den Investitionsbeträgen vor. Allerdings handelte es sich um kleine Pelletskessel mit einer Nennwärmeleistung im Bereich von 15 bis 25 kW; nur wenige Anlagen wiesen mehr als 30 kW auf; die Obergrenze lag offenbar bei 50 kW. Die entwickelten Preisfunktionen gelten nur für die Spanne der Nennwärmeleistung von 15 bis 50 kW.

Die Tabelle 17 zeigt Ergebnisse unserer Auswertung der Evaluation, bezogen auf Pelletsanlagen > 30 kW.

Investitionsbeträge für	€/kW Nennleistung, netto	entwickelte Kostenfunktion für die Spanne 15 kW bis 50 kW, netto
Holzpellets - Feuerungsanlagen	ca. 170 bis ca. 380 (Angabe von ca. 10 Anlagen)	$y = 800,61 \cdot e^{-0,0373x}$ $R^2 = 0,6$
Peripheriebauteile (z.B. Regelung, Pumpen, Mischer, Verrohrung, Ausdehnungsgefäße, Verteiler, Absper- rung, Entlüftung, Armaturen, Verbrauchsmaterial). Ohne Speicher, ohne Wärmeverteilung im Gebäude	ca. 10 bis ca. 200	$Y = 232,89 \cdot e^{-0,0414x}$ $R^2 = 0,13$
Raumaustrag (ohne Lagerraum, Beschickung, Entlüftung, Prallmatte)	ca. 45 bis ca. 105 €/kW	$y = 100,8 \cdot e^{-0,0207x}$ $R^2 = 0,06$
Montage	ca. 10 bis ca. 115 €/kW	$y = 139,19 \cdot e^{-0,032x}$ $R^2 = 0,13$

Tabelle 17 Investitionsbeträge geförderter Holzpelletsanlagen von 30 bis 50 kW (Marktanreizprogramm des Bundes)
Zusammengestellt nach [Langniß u.a. 2006]

Beachtlich ist die enorme Spanne der Angaben. Sie beruht offenbar nicht nur auf tatsächlich unterschiedlichen Preisen und Leistungen, sondern auch darauf, was aus den Rechnungen im Einzelnen ersichtlich war.

Als durchschnittliche Höhe der Gesamtinvestition geben [Langniß u.a. 2006] für Holzpelletsanlagen (von 15 bis ca. 50 kW) 682 bzw. 709 €/kW für die Beobachtungsjahre 2004/2005 an. Ob hierin die Investitionsbeträge für bauliche Maßnahmen enthalten sind, ist nicht angegeben.

[Langniß u.a. 2006] kamen in einer weiteren Analyse von Förderfällen ab 100 kW zu dem Schluss, dass hier aufgrund der Datenlage erhebliche Unsicherheiten bezüglich der spezifischen Investitionsbeträge bestehen, vor allem, weil die Kostendaten nicht nach den Komponenten Holzkessel, Spitzenkessel und Nahwärmenetz aufgeteilt werden konnten.



4.1.1.5 Investitionsbeträge laut Fachliteratur bzgl. Pellets

Die Tabelle 18 enthält Preise, die wir einzelnen Fachliteratur-Quellen bzw. Gesprächen mit Experten entnommen haben.

Hersteller/Gerät	kW	Preis	Bemerkungen	Quelle
ETA / PE-K 35-90	35-90	14. 400 netto	nur Kessel inkl. Lamdaregelung, autom. Zündung, autom. Vollentaschung, kompl. Regelung einschl. Boilerladung, Außentemp. gest. Mischregelung. Setzt als minimale Rücklauftemp. aber 60 °C voraus.	Firmenprospekt sowie mündl. Angabe Sept. 2005 auf Messe Augsburg
Nolting LPS – P-70/90	100	ca. 25.000 netto	kompl. Anlagenpreis inkl. Raumaustragung NOF 60 und Zubehör wie autom. Zündung, Entaschung und Leistungsregelung	Nolting-Prospekt „Kröber 12.07.2005“
Viessmann Vitolig 300	26	ca. 20.000 netto	kompl. Kessel und Regelung (9600 €), Brennstofflager für 7 t (3000 €), Montage + Inbetriebnahme, Einbindung (6.000 €), Fördertechnik (1.600 €).	[hessenEnergie 2002 ff]
KWB	60	ca. 27.000 € netto	davon für Kessel- und Regelung ca. 20.500, Fördertechnik ca. 3.800.	[hessenEnergie 2002 ff]
Hargassner	44	ca. 25.000 netto	Sacklager für 8 t. Preise Kessel und Regelung 19.000 €; Fördertechnik 3.300 €, Montage, Inbetriebnahme, Einbindung 2.000 €; Pelletlager 1.500 €.	[hessenEnergie 2002 ff]
Gilles	60	56.200 netto	versorgt 2 MFH mit 30 WE. Nutzwärmebedarf 144 MWh/a; Heizwärmebedarf inkl. WW 85 kWh/(m²). 7 t Pelletslagerraum. Austragung über Förderschnecke. inkl. autom. Rauchgaszugreinigung und autom. Ascheaustragung. Aschekastenleerung ca. 5 x pro Heizperiode. Kosten inkl. Nahwärmenetz neuer Verteilung und Regeltechnik	[hessen energie 2002 ff]
KWB	100	28.000 inkl. Pufferspeicher netto	f. 1 Gaststätte mit 1.900 m² (Altbau) für ca. 170 MWh/a. Jährliche Pelletsmenge 40 t. Fassungsvermögen Lagerraum. Federkernaustragung. Pufferspeicher 3.200 l; WW im Durchlaufverfahren. Automatische Rauchgaszugreinigung. Automat. Ascheaustragung.	[hessenEnergie 2002 ff]
NN	90	74.000 brutto	f. Bezirkssportanlage Hannover-Döhren	[ProKlima 2006a]
NN	30	18.000 netto	MFH-Passivhaus Hohe Str. in Hannover. Kessel, Regelung, Pufferspeicher, Einbau, Lageraumausstattung inkl. Luke, Brennstoffförderung.	[Grubert 2006]
KÖB	150	141.600 €	für 2 MFH inkl. Baumaßnahmen, Mwst, Planung, Abgasweg, z.T. jedoch Komponenten f. Solaranlage enthalten Regelung, Pufferspeicher)	abgeleitet aus Angaben im Energiekonzept 2005 des Steinbeis-Zentrums
KÖB	2 Stck. 400 und 540 kW	290.000	für das Kloster Schlehdorf. Pelletslager mit brutto 85 m³ Fassungsvermögen. Inbetriebnahme 2003. monovalent Holzpellets. Bisheriger Heizölbedarf 200.000 l/a. Der Pellets-Jahresbedarf wurde auf ca. 400 t geschätzt. In der Heizperiode werden zweiwöchentlich ca. 27 t (42m³) geliefert.	[Hirscher 2004] [Knecht 2004]
Köb+Schäfer	540 + 2.700	580.000 (un-	Projekt Hannover-Marienwerder Große Pranke	[proKlima

Hersteller/Gerät	kW	Preis	Bemerkungen	Quelle
	Spitzenlast (Gas)	klar, ob mit oder ohne MwSt.	1. Mehrfamilienhaus- Wohnanlage mit 613 WE, 60er Jahre. Inbetriebnahme 2002	2006c]
Gilles	450	k.A.	Projekt Asmag (Sondermaschinenbau). baul. Maßnahmen: 14.000 €. Inbetriebnahme 2005	pers. Angaben der Fa. Gilles
NN	2 * 150 kW Pellets +100 kW, Gas-Brennwert, 380 m ² th. Solaranlage	721.000 netto	Projekt Stieglgründe / Österreich. 128 Wohneinheiten. 9.000 m ² Wohnnutzfläche. Heizlast 350 kW. Pufferspeicher 40 m ³ . Energieverbrauch 1 t/(WE*a) bzw. 170 m ³ pro Jahr.	[E.V.A. 2002]
diverse	ca. 32 kW	16.300 € brutto	Wärmeerzeuger + Regelung 16.300 €, Pellets-lagerung 5.200 €, Schornstein 1.700 € jeweils inkl. 16 % MwSt.	[BGW Altbau 2006]
diverse	51 kW	15.800 € brutto	Wärmeerzeuger 14.100 € inkl. WW-Speicher, Förderschnecke 1700 €, Schornstein 1.900 €, Brennstofflager 2.800 €, Befüllstutzen u Prallmatte 500 €,	[Schulz 2006]
diverse	31 kW	17330 € netto	Wärmeerzeuger für ein MFH mit 16 WE	[Helmstädter 2004]
diverse	56 kW	20.658 € netto	Wärmeerzeuger für ein MFH mit 33 WE	[Helmstädter 2004]
diverse	134 kW	30.426 € netto	Wärmeerzeuger für ein MFH mit 82 WE	[Helmstädter 2004]
diverse	60-99 kW	zwischen 12000 und 21668 €, netto, Preisstand 2005	Angaben der Kesselhersteller/Vertreiber KWB, Gerlinger, Sonnergie, Ferro, Hargassner und CN	[Hansen 2005]
diverse	100 bis 200 kW	zwischen und 14680 und 29428 €, netto, Preisstand 2005	Angaben der Kesselhersteller/Vertreiber Gerlinger, Ferro, Hargassner und CN	[Hansen 2005]

Tabelle 18 Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen nach Fachliteratur

Der Absatz an Pelletkesseln über 100 kW habe sich in Deutschland im Jahre 2005 gegenüber 2004 verdreifacht [Rauchfangkehrer 2005b]. Wie sich dies auf die Preise auswirkt, ist unklar.

4.1.1.6 Fazit bzgl. Investitionsbetrag Holzpelletsanlagen

Für die Vollkostenbetrachtung (siehe Abschnitt 2.3) wurden unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten für Holzpelletsanlagen die Investitionsbeträge nach Tabelle 19 herangezogen. Diese Preise wurden unter Berücksichtigung der angegebenen Quellen ermittelt, wobei auf den Preisstand 2007 inkl. 19 % MwSt. umgerechnet wurde.

Die Preise für die größeren Leistungsbereiche sind mit größeren Unsicherheiten behaftet als die Preise für die 60 kW-Anlagen, weil für größere Pelletsanlagen noch kaum Preise vorliegen. Zu den Preisen von Brennstofflager und ggf. Heizhaus siehe Abschnitt 4.1.5.



	ca. 60 kW	ca. 120 kW	ca. 220 kW
Kessel + Montage	18.000 €	35.700 €	50.000 €
Pufferspeicher (20 l/ kW; Kostenfunktion siehe Abschnitt 4.1.5)	2.400 €	3.100 €	5.000 €
Brennstofflager-Austrag (Schrägbogen/Kanal/Förder- schnecke) (gleicher Preis, weil gleiche Lagergröße)	4.200 €	4.200 €	4.200 €

Tabelle 19 Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Holzpelletsanlagen
Preisstand 2007, inkl. 19 % Mwst.

4.1.2 Investitionsbeträge HHS-Anlagen

Für die Abschätzung der Investitionsbeträge für HHS-Anlagen wurde auf folgende Quellen zurückgegriffen:

- die Umfrage der Höheren Forstbehörde Nordrhein-Westfalen bei geförderten Anlagenbetreibern aus dem Jahre 2004,
- eine Auswertung von Förderfällen des Landes Hessen (2006),
- die Evaluierung des Marktanreizprogramms [Langniß u.a. 2006],
- Erhebungen der Regionalenergie Steiermark,
- Fachliteratur.

4.1.2.1 Ergebnisse der Umfrage der Höheren Forstbehörde NRW bzgl. HHS

In der *Umfrage der Höheren Forstbehörde NRW* wurden Anlagenbetreiber befragt, die von 1998 bis 2002 eine Förderung ihrer HHS-Anlage nach der „Holzabsatzförderrichtlinie“ erhalten haben. Die Tabelle 20 zeigt die Antworten bezüglich der Investitionsbeträge.

Frage 18

Wie teuer war Ihre Feuerungsanlage und wie viele Fördermittel haben Sie erhalten ?

Durchschnittliche Investitionskosten nach Leistungsklassen						
15 - 25 kW €	26 - 50 kW €	51 - 100 kW €	101 - 300 kW €	301 - 500 kW €	501 - 1000 kW €	1001 - 2000 kW €
10.500- 30.000	15.000 - 33.000	14.000 - 90.000	35.000 – 430.000	46.000 - 742.817	89.631 - 1.096.000	1.200.000 - 1.500.000
16.397	27.327	40.782	100.551	257.898	437.333	1.330.000

Tabelle 20 Investitionsbeträge von Holzhackschnitzel-Anlagen, Förderung NRW
Quelle: [Langer u.a. 2004a]

4.1.2.2 Auswertung von Förderfällen des Landes Hessen bzgl. HHS

Die Energieagentur „hessenEnergie“ nimmt im Auftrag des Landes Hessen verschiedene Funktionen wahr, so die fachtechnische Prüfung von Förderanträgen und die Prüfung des Verwendungsnachweises von Biomasse-Anlagen, die vom Land Hessen gefördert werden. Im Zusammenhang mit diesem Forschungsprojekt haben wir die „hessenEnergie“ gebeten, bestimmte Daten zu ermitteln und zusammenzufassen. Die Anlage 1 zeigt die Daten im Detail.

Die Auswertung umfasst 54 HHS-Anlagen. Davon wurden 51 ab dem Jahr 2000 gefördert. Die Nennleistung des Biomasse-Kessels liegt im Mittel bei 467 kW, d.h. es geht um große Anlagen. Überwiegend handelt es sich um Schulen/Schulzentren (27 Fälle); weiter um Krankenhäuser (5), Unternehmen (5), Wohngebäude/Neubaugebiete (5) und sonstige (9). Die Auswertung liefert bezüglich der Investitionen die folgenden Erkenntnisse:

- die Gesamtinvestition inkl. Planung (exkl. Spitzenlast) beträgt im Mittel 795 € (netto) pro kW installierte Nennleistung.
- Dieser Betrag von 795 € (netto) pro kW installierte Nennleistung (Biomassekessel) setzt sich im Mittel zusammen aus:
 - 361 €/kW Investition für den Biomassekessel,
 - 209 €/kW für bauliche Maßnahmen,
 - 96 €/kW für Planungskosten,
 - 120 €/kW für ein Nahwärmenetz (sofern vorhanden und Daten ausgewiesen)
 - 8 €/kW für Sonstiges (z.B. Abbruch, Demontage).
- Bei den 5 Fällen, bei denen Wohngebäude versorgt werden, beträgt der durchschnittliche Investitionsbetrag inkl. Planung ca. 1.400 € netto pro kW Biomassekessel. Die genauere Betrachtung zeigt, dass davon allein 552 €/kW auf das Nahwärmenetz entfallen.

Schon aufgrund einer früheren Literatur-Auswertung kam [hessenEnergie 2005] zu dem Ergebnis, dass erhebliche Preisunterschiede bei den Investitionsbeträgen bestehen: „In der Regel sind die spezifischen Anlagenkosten bei steigender Anlagenleistung degressiv. Es sind aber auch erhebliche Differenzen in den Investitionskosten zwischen Anlagen gleicher Leistungsgröße festzustellen.“

Die Kostenstruktur realisierter HHS-Projekte zeigt die Abbildung 51.

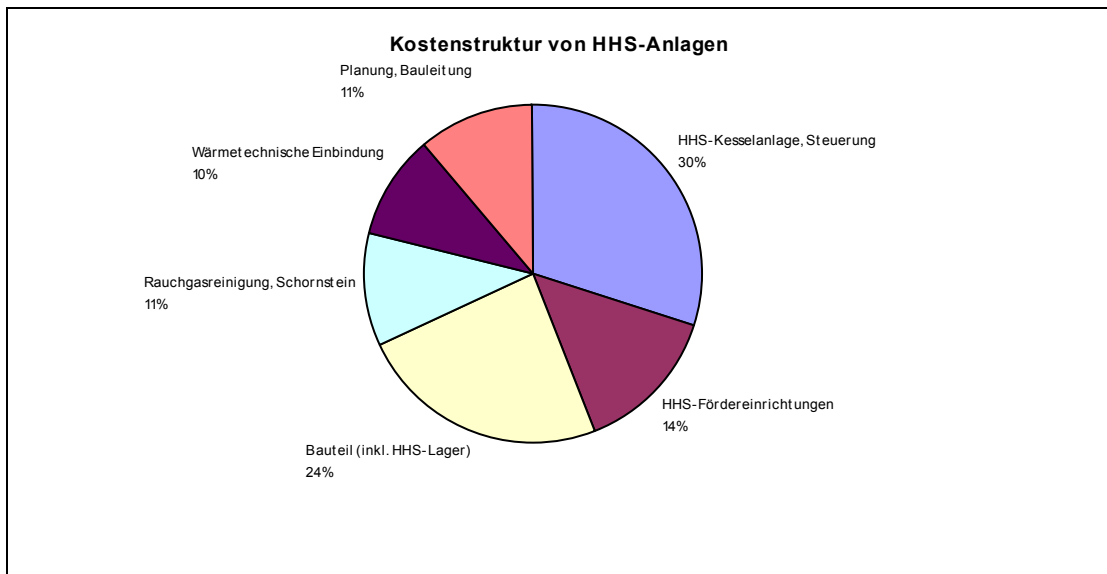


Abbildung 51 Kostenstruktur von Holzhackschnitzel-Anlagen
Quelle: [hessenEnergie 2005] n = k.A.

4.1.2.3 Evaluierung des Marktanreizprogramms bzgl. HHS

Durch das Marktanreizprogramm (vgl. Abschnitt 4.1.1.4) wird auch der Einsatz von Holzhackschnitzeln gefördert. Im Jahre 2006 wurden durch [Langniß u.a. 2006] die Wirkungen dieses Programms bezogen auf den Zeitraum Januar 2004 bis Dezember 2005 evaluiert. Für den Förderbereich „Kleine Biomassekessel bis 100 kW“ wurde eine geschichtete Zufalls-Stichprobe von ca. 1.000 Förderfällen gebildet. 97 Fälle der Stichprobe betrafen HHS-Anlagen. Für 60 dieser 97 lagen auswertbare Angaben zu den Investitionsbeträgen vor. Es handelte sich um Kessel mit einer Nennwärmeleistung von ca. 25 bis ca. 100 kW. Die Tabelle 21 zeigt Ergebnisse der Evaluation, bezogen auf HHS-Anlagen im Bereich 25 bis 100 kW.

Investitionsbeträge	€/kW Nennleistung, netto (im Bereich 40 bis 100 kW)	entwickelte Kostenfunktion für die Spanne 25 kW bis 100 kW (netto-Preis)
HHS - Feuerungsanlagen	ca. 100 bis ca. 320 (Angabe von ca. 55 Anlagen).	$y = 319,56 \cdot e^{-0,0076x}$ $R^2 = 0,18$
Peripheriebauteile (z.B. Regelung, Pumpen, Mischer, Verrohrung, Ausdehnungsgefäße, Verteiler, Absperrung, Entlüftung, Armaturen, Verbrauchsmaterial). Ohne Speicher, ohne Wärmeverteilung im Gebäude,	ca. 10 bis ca. 150 (1 Ausreißer 250)	$Y = 114,31 \cdot e^{-0,0206x}$ $R^2 = 0,21$
Raumaustrag (ohne Lagerraum, Beschickung, Entlüftung)	ca. 10 bis ca. 160	$y = 112,17 \cdot e^{-0,0164x}$ $R^2 = 0,19$
Montage	ca. 10 bis ca. 80 (1 Ausreißer: ca. 135)	$Y = 63,958 \cdot e^{-0,0187x}$ $R^2 = 0,29$

Tabelle 21 Investitionsbeträge geförderter HHS-Anlagen von 25 bis 100 kW (Marktanreizprogramm des Bundes)
Zusammengestellt nach [Langniß u.a. 2006]

Beachtlich ist auch hier die enorme Spanne der Angaben. Sie beruht offenbar nicht nur auf tatsächlich unterschiedlichen Preisen und Leistungen, sondern auch darauf, was aus den Rechnungen ersichtlich war.

Als Höhe der durchschnittlichen Gesamtinvestition geben [Langniß u.a. 2006] für HHS-Anlagen (von 25 bis ca. 100 kW) 305 bzw. 318 €/kW für die Beobachtungsjahre 2004 bzw. 2005 an. Als Durchschnittspreis für den Kessel (für Kessel zwischen 25 und 100 kW) wird 200 €/kW (netto) für das Jahr 2005 angegeben.

[Langniß u.a. 2006] kamen in der zusätzlichen Analyse von Förderfällen ab 100 kW zu dem Schluss, dass hier aufgrund der Datenlage erhebliche Unsicherheiten bezüglich der spezifischen Investitionsbeträge bestehen, vor allem, weil die Kostendaten nicht nach den Komponenten Holzkessel, Spitzenkessel und Nahwärmenetz aufgeteilt werden konnten.

4.1.2.4 Erhebungen der Regionalenergie Steiermark bzgl. HHS

In Österreich gibt es breite Erfahrungen mit HHS-Anlagen. In einigen österreichischen Bundesländern gibt es Wirtschaftsorganisationen, die den Einsatz von Holz für Raumwärme und Warmwasser fördern, wobei hier nicht finanziell gefördert wird, sondern durch Know-how-Unterstützung. Eine solche Organisation ist die Regionalenergie Steiermark. Sie unterstützt u.a. lokale Waldbauern und Hauseigentümer dabei, Wärme aus Holz als Dienstleistung zu verkaufen (Wärmelieferung, z.T. Contracting).

Die Abbildung 52 zeigt die Kostenstruktur von 26 mit HHS versorgten Objekten in der Steiermark. Die geringen Planungskosten beruhen darauf, dass die Planung nicht gesondert in Auftrag gegeben wurde, sondern von den Installateuren "kostenlos" durchgeführt wurde [RE Stm 2002b].

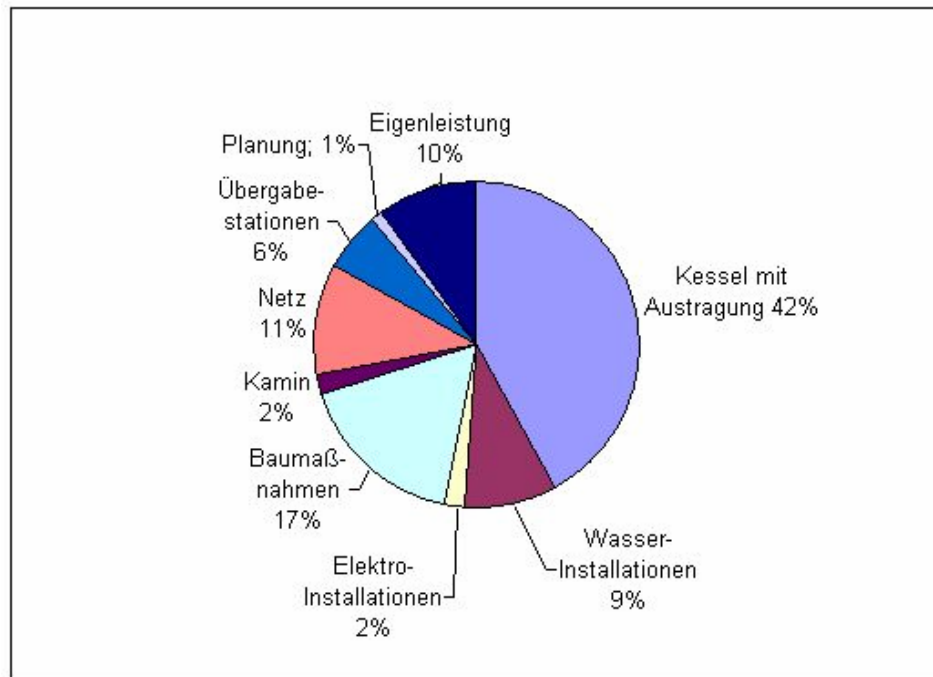


Abbildung 52 Kostenstruktur von 26 HHS-Anlagen in der Steiermark
 Quelle: [RE Stm 2002b]

2002 wurde eine Evaluation von 26 Anlagen von 40 bis 300 kW durchgeführt. Bezüglich der *Gesamtinvestition* ergab sich auch hier eine enorme Spanne: von 174 bis 818 € pro kW. Die Bandbreite sei deshalb so groß, weil zwischen Objektversorgung (teilweise nur Kesselinstallation und evtl. Verteiler) und Mikronetz (Kesselinstallation, Netzbau, Übergabestationen und größere Baumaßnahmen) nicht unterschieden wurde. Im Mittel ergab sich ein Preis von 484 €/kW netto. Für Kessel mit Regelung, Austragung, Lagerbefülleinrichtung (ohne Baumaßnahmen) ergaben sich Investitionsbeträge pro kW Kesselleistung von 133 bis 429 €, im Mittel 213 €/kW netto.

Die Tabelle 22 zeigt Preise einiger HHS-Anlagen, die unter der Regie der Regionalenergie Steiermark errichtet wurden.

kW	Preis (netto)	Beschreibung	spez. Investition €/kW (netto)
100	64.000	Adriach. MFH + 3 EFH + Heutrocknung. Jahresverbrauch ca. 110 MWh, ca. 230 Srm. Lager: 80 m ³ . Technische Anlage 20.000 €, baul. Maßnahmen 2.900 €, Elektro- u. Heizungsinstallation inkl. Übergabestationen 29.800 €, 160 m Nahwärmeleitung 11.300 €. Inbetriebnahme 1998	640
150	57.600	Kirchdorf. MFH 26 WE, Kindergarten. 170 MWh/a, 300 Srm. Techn. Anlage 23.000 €, baul. Maßn. 24.000 €, Elektro- u. Heizungsinst. 8.000 €, 40 m Nahwärmenetz 2.600 €. Inbetriebnahme 2001.	384
80 und 60	44.000	St. Margareten/Raab. 2 MFH mit 23 WE. Jahresverbrauch 160 MWh, inkl. WW, 280 Srm. Lager unterirdisch. Techn. Anlage 34.000 €, baul. Maßn. 4.500 €, Elektro- u. Heizungsinst. 5.500 €. Inbetriebnahme 2001	314
100	28.783	Ottendorf II. 16 WE in 4 MFH. Jahresverbrauch ca. 135 MWh (ohne WW, das elektrisch erzeugt wird), 270 Srm. Lager: 35 m ³ unterirdisch. Techn. Anlage 18623 €, baul. Maßn. 7740 €, Elektro- u. Heizungsinst. 700 €, Planung und Betreuung 1720 €. Inbetriebnahme 2002.	288
100	43.000	Nestelbach. 4 MFH mit 19 WE, Neubau. Jahresverbrauch 150 MWh (ohne WW), 300 Srm. Lager: 50 m ³ unterirdisch. Techn. Anlage 17.500 €, baul. Maßn. 21.000 €, Elektro- u. Heizungsinst. 4.500 €. Inbetriebnahme 1999.	430
80	45.600	Hitzendorf. 4 MFH mit 15 WE. Jahresverbrauch 110 MWh, 200 Srm. Lager: 50 m ³ . Techn. Anlage 18.500 €, Heizhausinstallation 7.100 €, baul. Maßn. 14.000 €, Nahwärmeleitung 4.000 €, Projektaufbau- und betreuung 2.000 €. Inbetriebnahme 1999	570
110	117.500	Frankenberg. 24 RH. Jahresverbrauch ca. 200 MWh, 350 Srm. Lager: 50 m ³ . 3 m ³ Pufferspeicher. Kesselanlage 15.500 €, baul. Maßn. + Schornstein 63.700 €, Nahwärmenetz 80 m 5.800 €, Elektro- u. Heizungsinst. 28.700 €, Planung und Betreuung 3.800 €. Inbetriebnahme 2000.	1068
150	102.000	Döllach. 6 EFH. Jahresverbrauch 130 MWh, 260 Srm. Lager: 220 m ³ . Kesselanlage inkl. Heizhausinstallation 40.500 €, baul. Maßnahmen 19.500 €, Nahwärmenetz 326 m inkl. Übergabestationen 42.000 €. Inbetriebnahme 2003.	680
100	25.500	Dechantskirchen. 3 MFH mit 12 WE. Jahresverbrauch 75 MWh, 135 Srm. Lager: 48 m ³ . Techn. Anlage: 25.500 €, Elektro- u. Heizungsinst. 9.000 €. Inbetriebnahme 1996.	255
120	60.700	Blumau. 3 MFH mit 22 WE. Jahresverbrauch: 170 MWh, 300 Srm. Lager: 70 m ³ . Techn. Anlage 24.000 €, baul. Maßn. 25.100 €, Elektro- u. Heizungsinst. 11.600 €. Inbetriebnahme 1998.	506
60	30.000	Walkersdorf. 4 MFH mit 11 WE. Jahresverbrauch 85 MWh, 150 Srm. Lager 40 m ³ . Technische Anlage: 14.000 €, baul. Maßnahmen 11.600 €, Elektro- u. Heizungsinstallation 4.400 €. Inbetriebnahme 2000.	500
100	45.700	Stainz. Veranstaltungshaus, Gemeindehaus + 1 MFH mit 6 WE. Jahresverbrauch 104 MWh, 180 Srm. Lager 50 m ³ . Techn. Anlage 18.400 €, baul. Maßn. 6.800 €, Elektro- u. Heizungsinst. 8.200 €, Nahwärmenetz 150 m u. Übergabestationen 12.350 €. Inbetriebnahme 2002.	457
80	51.000	Wiefriesen. Gemeindeamt, Feuerwehrhaus, Bauhof, MFH mit 8 WE. Jahresverbrauch 105 MWh, 180 Srm. Lager: 30 m ³ (Einmietung in Garage). Techn. Anlage 16.500 €, baul. Maßn. 9.000 €, Elektro- u. Heizungsinst. inkl. Übergabestationen 15.500 €, Nahwärmenetz 136 m 10.000 €. Inbetriebnahme 1998.	638
100 + 40	41.500	Volksschule St. Margarethen /Raab. Jahresverbrauch 110 MWh, 200 Srm. Lager: 150 m ³ . Techn. Anlage 34.800 €, baul. Maßn. 3.700 €, Elektro- u. Heizungsinst. 3.000 €. Inbetriebnahme 1998.	296
100	43.600	Jugendgästehaus Bruck. Jahresverbrauch 160 MWh inkl. WW, 300 Srm. Lager 45 m ³ (3,85 * 4,6 * 2,5) unterirdisch. Techn. Anlage 16.700 €, baul. Maßnahmen 3.700 €, Elektro- u. Heizungsinst. inkl. Heizverteiler u. Regelung 23.200 €. Inbetriebnahme 1998.	436

Tabelle 22 Investitionsbeträge von HHS-Anlagen in der Steiermark

Quellen: [Re Stm 2002 ff] und [Re Stm 2002b]

4.1.2.5 Investitionsbeträge laut Fachliteratur bzgl. HHS

In Tabelle 23 sind Investitionsbeträge aufgeführt, die wir der Fachliteratur entnommen haben.

Hintergrund: Ökonomische Daten



kW	Preis	Beschreibung	Quelle	spez. Investition €/kW (netto)
100	33.000 exkl. MwSt	inkl. Schubbodenaustragung (4 m x 8 m) inkl 2 Hydraulikaggregaten und Zubehör wie autom. Zündung + Entaschung und Leistungsregelung) (Feuchte bis 30 %)	Herstellerangabe Fa. Nolting 12.07.2005	330
100	41.000 exkl. MwSt	für Hackschnitzel >= 50 % Feuchte. Vorschubrostfeuerung, inkl. Schubbodenaustragung 4 x 8 m inkl 2 Hydraulikaggregaten und Zubehör wie autom. Zündung, Vorwärmung, Feuerraumüberwachung + autom. Entaschung und Leistungsregelung	Herstellerangabe Nolting 12.07.2005	410
20-60	ca. 8.000 bis 20.000 exkl. MwSt	für den Kessel inkl. Raumaustragung; inkl MwSt. spez. Anschaffungskosten ca. 530 bis 335 €/kW ohne zusätzliche Komponenten wie Wärmespeicher, Siloaufbauten oder Installation. Die spez. Mehrkosten f. einen abgasgeführte Verbrennungsluftregelung sind verhältnismäßig gering.	[Hartmann u.a. 2003b, S. 131]. Aus Erhebung von Listenpreisen	335 bis 550
440	440 kW * 280 €/kW + MwSt. = 143.000 €	inkl. baulicher Maßnahmen, die rund 23 % der Kosten und der Brennstoffzufuhr mit Transportschnecke (20 % der Kosten)	[hessenEnergie 2002 ff]	280
345	155.250 (450 €/kW)	2.500 m ² beheizte Fläche einer Suchthilfeeinrichtung auf dem Land. 1.310 MWh (=90 %) des Jahresheizwärmebedarfs von 1.450 MWh werden durch die HHS gedeckt. Vorhandener Ölkessel dient als Spitzenlastkessel. Unterschubfeuerung. dreizügige Flammführung. Tägliche Austragung der Rostasche manuell. Rauchgasentstaubung durch Multizyklon. Entsorgung der Feinstaubfilterasche manuell.. Brennstoffe werden in Anliefermulde gekippt. Schubbodenaustragung. Förderung durch Ansauggebläse in Bunker (150 m ³). Anteil der baulichen Anlagen 18 %. Anteil Hilfsenergie rd. 2.000 €/a.. 1 h Bedienung pro Tag. Aufwand Reinigung 8 h/a.	[hessenEnergie 2002 ff]	450
750	397.500 (530 € / kW)	750 kW, 1.700 MWh/a, 7.000 m ² Schullandheim. Automatische Austragung der Asche. Brennstofflage 150 m ³ . Kessel 34 %, Nahwärmenetz 35 %, Abgasanlage 1 %, bauliche Maßnahmen 14 %. Genehmigung Planung 13 %. Bedienungsaufwand 182,5 h/a inkl. Wegezeiten auf dem Gelände. Hilfsenergie 2.400 €/a. Reinigung 8 h/a.	[hessenEnergie 2002 ff]	530
60	31.768 inkl. MwSt	60 kW-Hackschnitzelkessel mit Regelung 20.080 €, 8000 € Heizraum und Kamin, 8000 € Lagerung, 3500 € Lüftung Lagerraum, 2889 € Wärmespeicher, 2000 € WW-Speicher inkl. Regelung, 1300 € Installationskleinteile, 2000 € Lieferung, Montage, Inbetriebn.	[Hartmann et al. 2003b]	529
100	45.000 exkl. MwSt.	Hotel Taxerhof, Radstatt (A). bivalent, Heizöl. Jahresverbrauch ca. 200 m ³ HHS + 11.000 l Heizöl. 2 Brennstofflager: 1 oberirdische Halle. Von dort per Frontlader-Trecker einkippen in 50 m ³ -Bunker. Von den Investitionskosten entfallen auf: Kessel, Regelung, Austragung 40.000 baul. Maßnahmen (Heizraum, Leitungen zum benachbarten Hotel) 5.000. Inbetriebnahme 2003. Kessel steht in einem landw. Nebengebäude.	[Gilles 2006a] + [Mayrhofer 2006]	450
360	320.000	Hannover, Siedlung Laher Kirchweg. 2006. 174 WE. ca. 10.000 m ² Wohnfläche. Silo aus Beton-Halbfertigteilen brutto 150 m ³ , unterirdisch, Kosten Brennstofflager inkl. Aushub 100.000 € .	[MSV 2006a] und Pressebericht der HAZ von Okt. 2006	889

Tabelle 23 Investitionsbeträge von HHS-Anlagen nach Fachliteratur

4.1.2.6 Fazit bzgl. Investitionsbetrag HHS-Anlagen

Für die Vollkostenbetrachtung (siehe Abschnitt 2.3) wurden unter Berücksichtigung der vorliegenden Daten und unter Umrechnung auf den Preisstand 2007 (inkl. 19 % MwSt.) die Investitionsbeträge nach Tabelle 24 herangezogen.

Zu den Preisen von Brennstofflagerraum und ggf. Heizhaus siehe Abschnitt 4.1.5.

	ca. 60 kW	ca. 120 kW	ca. 220 kW
Kessel, Lieferung, Montage, Brennstoffauftrag	20.000 €	24.000 €	40.000 €
Pufferspeicher (20 l/ kW; Kostenfunktion siehe Abschnitt 4.1.5)	2.400 €	3.100 €	5.000 €

Tabelle 24 Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Holzhackschnitzelanlagen

4.1.3 Investitionsbeträge Halmgutfeuerungen

Nach [Hartmann u.a. 2003b] werden für solche Anlagen gegenüber Pellets- und Hackschnitzel-Anlagen höhere Investitionsbeträge benötigt, weil die Brennstoffvorbehandlung und -zuführung wesentlich aufwändiger ist (z.B. Ballenauflöser, Häcksler, Pelletierung). Auch wird die Lebensdauer als kürzer eingeschätzt; ferner kommen ggf. weitere Komponenten hinzu wie eine wirksame Staubabscheidung.

Nach [Fischer et al. 2004] sind Kessel für Halmgüter etwa 10 bis 50 % teurer als Holzessel gleicher Leistung.

[Strehler o.J.] erläutert, dass Anlagen mit Ballenauflöser und kontinuierlicher Brennstoffbeschickung wenigstens 50.000 DM für 70 kW Heizleistung kosten.

Für getreidetaugliche Heizkessel von 30–50 kW werden Preise zwischen 12.000 € und 16.000 € verlangt. Hinzu kommen die Investitionsbeträge für einen Pufferspeicher und Installationskosten, und Investitionsbeträge für Heiz- und Lagerräume und Schornstein [Block 2005b].

In Schkölen (Thüringen) existiert seit 1993 ein Energieversorgungssystem für das Dorf (1.600 Einwohner) mit strohbefeuerten Kesseln. Betreiber ist die Strohwerk Schkölen GmbH. Versorgt werden ca. 280 Wohnungen, 15 Gewerbebetriebe und kommunale Gebäude. Verfeuert werden 500 kg-Ballen. Die Strohlagerhalle hat eine Grundfläche von 500 m². Diese Lagerkapazität reiche bei Vollast für ca. eine Woche. Der jährliche Strohbedarf liege bei 2.500 bis 3.000 Tonnen [Schlotawa 1994].



Hersteller	kW	Investitionsbetrag (unklar ob brutto oder netto), in €	Bemerkungen	Quelle
?	725	100.000	Brennstoffbedarf 450 t Stroh /a. Wärmeproduktion ca. 1800 MWh/a	http://www.zukuenftig-bioenergie.de/start.html , dort Seite Bioenergie, Biomasse in S-H, Pro- jekt 02
? Anwender: Geflü- gelzuchtbetrieb in Seedorf/S-H Volker Pries GmbH	400	271.000	Brennstoffbedarf 258 t Stroh/a (Großquader mit je 500 kg). Flächen- bedarf für Stroh- Anbau 50 ha. Wärmeproduktion 1.187 MWh/a	http://www.zukuenftig-bioenergie.de/start.html , dort Seite Bioenergie, Biomasse in S-H, Pro- jekt 38
Volund 320 SE im Strohheizwerk Schkölen	3.150 + 4,0 MW reserve- und Spitzenlast (Öl)	?	Rauchgasreinigung mit Gewebefilter	[Schlotwa 1994]

Tabelle 25 Investitionsbeträge für Strohfeuerungsanlagen laut Fachliteratur

4.1.4 Investitionsbeträge von Referenzanlagen (Öl/Gas)

Für die Ermittlung von Investitionsbeträgen für Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen wurden verschiedene Quellen benutzt. Aus der Anlage 4 sind die ermittelten Preise und die benutzten Quellen ersichtlich. Zu beachten ist, dass hierbei nur die Komponenten berücksichtigt wurden, die gegenüber Biomasse-Systemen unterschiedlich sind (z.B. Kessel, nicht aber Heizkörper und Verteilung).

Die Preise wurden auf 2007 inkl. 19 % Mwst. hochgerechnet.

4.1.5 Investitionsbeträge für Nebenanlagen

Pufferspeicher: Nach einer Erhebung von Hersteller-Listenpreisen liegen die Preise im Jahre 2000 bei Speichern der Größenordnung von 1.000 bis 5.000 Litern 1,5 bis 1,0 €/l inkl. Mwst. Für eine 60 kW- Anlage wird ein Investitionsbetrag für einen Speicher von 2.889 € inkl. Mwst. angegeben. [Hartmann u.a. 2003b, S. 133]

Nach [Langniß u.a. 2006] ergab sich aus der Evaluation geförderter Speicher im Marktanzreizprogramm eine große Spannweite. Im Durchschnitt aus 478 Datensätzen ergab sich ein Preis von $Y = 685,55 \text{ LN}(x) - 3.316,4 \text{ € netto}$. Für eine 60 kW-Anlage ergeben sich somit Pufferspeicherkosten (+ 15 % Montage/Anschluss) von ca. 2.400 € brutto (Preisstand 2007); bei 120 kW ca. 3.100 € und bei 220 kW (2 Speicher) ca. 5.000 €. ³⁴

Brennstofflager und ggf. Heizhaus

In Bezug auf Investitionsbeträge von Brennstofflagern und Heizhäusern gibt es eine schlechte Datenlage.

Bei Holzpellets- und HHS-Anlagen besteht generell ein höherer Flächenbedarf als bei gebäudezentralen Erdgas- oder Heizöl-Heizungsanlagen. Dies ist bedingt durch:

³⁴ Speicherauslegung: 20 l/kW.

- a) größere Kessel samt Aschekasten,
- b) die Anlagenteile zur Brennstoffzuführung,
- c) den Platzbedarf für Pufferspeicher,
- d) das Brennstofflager.

[Kaltschmitt u.a. 1993] geben für ein 10-Familienhaus einen höheren Platzbedarf für die Punkte a) bis c) von fünf Quadratmetern an, mit Baukosten von umgerechnet 250 bis 275 €/m².

Insbesondere gegenüber Neubau-Mehrfamilienhäusern, die üblicherweise mit Erdgas oder Fernwärme versorgt werden, entsteht durch das benötigte Brennstofflager ein größerer Platzbedarf mit entsprechenden Investitionen. Die nötigen Investitionsbeträge hängen von der Unterbringungsmöglichkeit in vorhandenen Räumen (z.B. im Keller) ab. Sofern hier kein Raum möglich ist (z.B. im Gebäudebestand ohne Keller, Feuchtigkeit, Raumhöhe, Einbringungs- oder Schallproblemen) müsste ggf. ein Anbau eines Heizhauses, ggf. samt Brennstofflager, vorgenommen werden.

Bei den Vollkostenbetrachtungen (vgl. Abschnitt 2.3) betrachten wir beide Varianten:

- a) Unterbringung des Biomasse-Heizkessels und des Brennstofflagers in einem Kellerraum (bei HHS alternativ zum Brennstofflager-Kellerraum: ein dem Gebäude vorgelagerter unterirdischer Brennstoffbunker),
- b) Unterbringung der gesamten Heizanlage samt Brennstofflager in einem Heizhaus-Container. Insbesondere bei größeren Anlagen (200 kW aufwärts) ist dies auch bei konventionellen Anlagen eine Option; bei Biomasse-Anlagen besteht dann für den Kessel u.ä. nur ein geringer zusätzlicher Platzbedarf; das Brennstofflager wird bei Pellets allerdings brutto mindestens 40 m³ umfassen müssen, bei HHS eher mindestens 50 m³.

Die Lagergröße legen wir auf 40 m³ und 50 m³ umbauter Raum, Netto-Volumen bei Pellets bzw. HHS fest. Dies berücksichtigt, dass der Raum (unter Berücksichtigung eines notwendigen Lagerbestands und des Netto-Lagervolumens) den Inhalt eines Brennstoff-LKW aufnehmen können sollte. Der Lagerraum wird daher bei 60 kW Nennleistung nicht kleiner sein als bei 220 kW. Bei 220 kW kommt es jedoch zu häufigeren Lieferungen. Durch diese Methode können Investitionen für den Lagerraum gespart werden.

Literatur-Angaben zu Investitionen für bauliche Anlagen, Lagerräume und Heizhäuser zeigt die Tabelle 26.



kW (Kessel)	Preis in €	Beschreibung	Quelle	spez. Investition €/kW (netto)
64	4.200 netto	Preis für ein HHS-Lager. Preisstand 1993.	[Kaltschmitt u.a. 1993]	-
-	5.000 netto	Container. Preisstand 2006	Fußnote ³⁵	-
-	14.000 netto	Beton-Fertigaragen, 37 m³ Inhalt. Preisstand 2006	Fußnote ³⁶ , s. Abbildung 50	-
		Keller. Kosten 200 bis 250 €/ m³. Preisstand 2003	[Fischer et al. 2004]	
100 kW bis 8,5 MW		bauliche Maßnahmen für HHS-Anlagen von 100 kW bis 8,5 MW (inkl. Spitzenlast). Mittelwert (pro kW Nennleistung Biomasse) aus 56 geförderten Anlagen in Hessen. Preisstand 2004-2006.	siehe Anlage 1	209
120 kW bis 1,2 MW		bauliche Maßnahmen für Holzpellets-Anlagen von 120 kW bis 1,3 MW (inkl. Spitzenlast). Mittelwert (pro kW Nennleistung Biomasse) aus 8 geförderten Anlagen in Hessen	siehe Anlage 2	93
		Heizhaus, siehe Anlage 5, dort Gebäude 4. Preisstand 2006	[STÄWOG 2007]	93
51-100	5.412	Lagerraum für Holzpellets-Anlagen. Durchschnittlicher Betrag geförderter Anlagen von 51 bis 100 kW. Preisstand 1998-2002. Unklar, ob brutto oder netto. (Zusammen mit nächster Zeile: max. 13 Anlagen)	[Langer et al. 2004b]	54-106
101-300	24.098	Lagerraum für Holzpellets-Anlagen. Durchschnittlicher Betrag geförderter Anlagen von 101 bis 300 kW. Preisstand 1998-2002. Unklar, ob brutto oder netto.	[Langer et al. 2004b]	80 - 238
60 bis 150 kW		Preise für bauliche Maßnahmen bei HHS-Anlagen in der Steiermark, s. Tabelle 22. 24.000 € bei 150 kW; 4500 € bei 140 kW; 7740 € bei 100 kW; 21.000 € bei 100 kW; 14.000 € bei 80 kW; 60.000 € bei 110 kW; 19.500 € bei 150 kW; 25.100 € bei 120 kW; 11600 € bei 60 kW; 6800 € bei 100 kW; 9000 € bei 80 kW; 3700 € bei 140 kW; 3700 € bei 100 kW.	[Re Stm 2002ff] und [RE Stm 2002b]	26 bis ca 210; ein Ausreißer: 545.
		200 €/m³	[BKI B2 2006, S. 344)	

Tabelle 26 Investitionsbeträgen bezüglich baulicher Maßnahmen, Lagerräumen und Heizhäusern laut Fachliteratur

Für die Vollkostenbetrachtung wurden die Beträge nach Tabelle 19 herangezogen.

³⁵ pers. Mitteilung Dipl. Ing. C. Grubert, Architekt Modernisierung Bezirkssportanlage Hannover Döhren

³⁶ pers. Besichtigung Juni 2006, z.B. Projekt Scharnstein, Österreich: Brennstoff-Container steht über Heizraum-Container.

	ca. 60 kW	ca. 120 kW	ca. 220 kW
Brennstofflager:			
a) für Pellets: im Keller, 40 m ³ Volumen innen	11.500	11.500	11.500
b) für HHS, vorgelagerter Bunker, 50 m ³	10.500	10.500	10.500
c) Heizhaus inkl. 50 m ³ Brennstofflager, massiv	24.000 (100 m ³)	25.200 (105 m ³)	26.400 (110 m ³)
d) Heizhaus Brennstofflager—Container f. Pellets	15.000	15.000	15.000
Brennstofflagereinrichtung Pellets (Schrägboden, 40 m ³ brutto, inkl. Prallmatte, Einfüll- und Lüftungsstutzen, Außenschalter Kessel, Außensteckdose)	2.000	2.000	2.000
Brennstofflagereinrichtung HHS (schwach geneigter Holzboden für Knickarmaustragung, Kanal)	1.000	1.000	1.000

Tabelle 27 Im Vollkostenvergleich berücksichtigte Investitionsbeträge für Nebenanlagen
Euro inkl. 19 % MwSt., Preisstand 2007

4.2 Energiepreise

4.2.1 Preise für Biomasse-Brennstoffe

Die Preise für Biomasse-Brennstoffe unterliegen eher lokalen und regionalen Einflüssen als Weltmarkt-Einflüssen. Eine Koppelung an den Ölpreis (wie beim Gas) gibt es bei Biomasse-Brennstoffen nicht. Gleichwohl ist in den Jahren 2005 und 2006 ein Anstieg der Biomasse-Preise zu beobachten: Dieser scheint eher durch erhöhte Gewinnmöglichkeiten als durch Kostensteigerungen begründet zu sein.

Der Umsatzsteuersatz für Stroh, Holz und zwar

- a) Brennholz in Form von Rundlingen, Scheiten, Zweigen, Reisigbündeln oder ähnlichen Formen;
- b) Sägespäne, Holzabfälle und Holzausschuss, auch zu Pellets, Briketts, Scheiten oder ähnlichen Formen zusammengespreßt

beträgt bisher nur 7 % [USTG 2006].

Preise für *Holzhackschnitzel* und *Holzpellets* veröffentlicht C.A.R.M.E.N. (Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V., <http://www.carmen-ev.de>).

Die Preise für *Holzhackschnitzel* beruhen laut C.A.R.M.E.N auf Angaben von ca. 10 Lieferanten, beinhalten die Umsatzsteuer und die Anlieferung im Umkreis von 20 km und gelten für frische Hackschnitzel mit einem Wassergehalt von 35 %. Die Preise schwanken zwischen Minima und Maxima um den Faktor 2; sie sind seit dem II. Quartal 2005 kräftig gestiegen. Der mittlere Preis im II. Quartal 2005 lag bei ca. 45 €/t, im IV. Quartal 2006 waren es ca. 70 €/t.

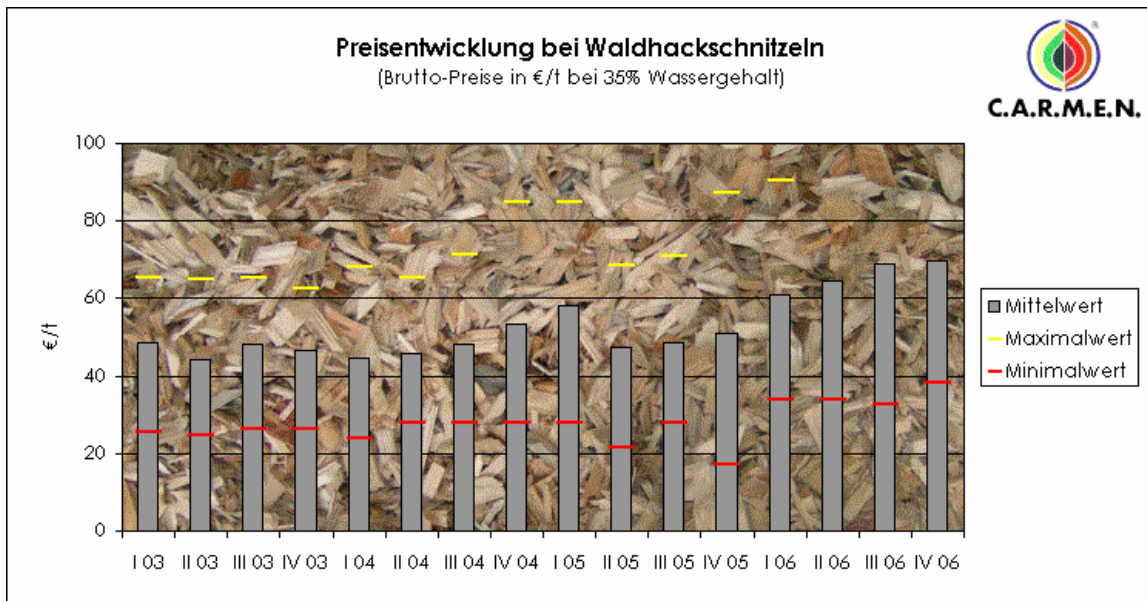


Abbildung 53 Preisentwicklung von Holzhackschnitzeln
Quelle: [CARMEN 2007b]

Zu Preisen von *Holzpellets* siehe Abbildung 54 und Abbildung 55. Die Preise berücksichtigen laut C.A.R.M.E.N die Angaben von ca. 50 Anbietern und beziehen sich auf die Lieferung von 5 Tonnen im Umkreis von 50 Kilometern, sie enthalten die Umsatzsteuer und Lieferung. Auch bei Holzpellets ist ein erheblicher Preisanstieg von 175 €/t im Jahre 2005 auf über 250 €/t in 2006 zu beobachten.

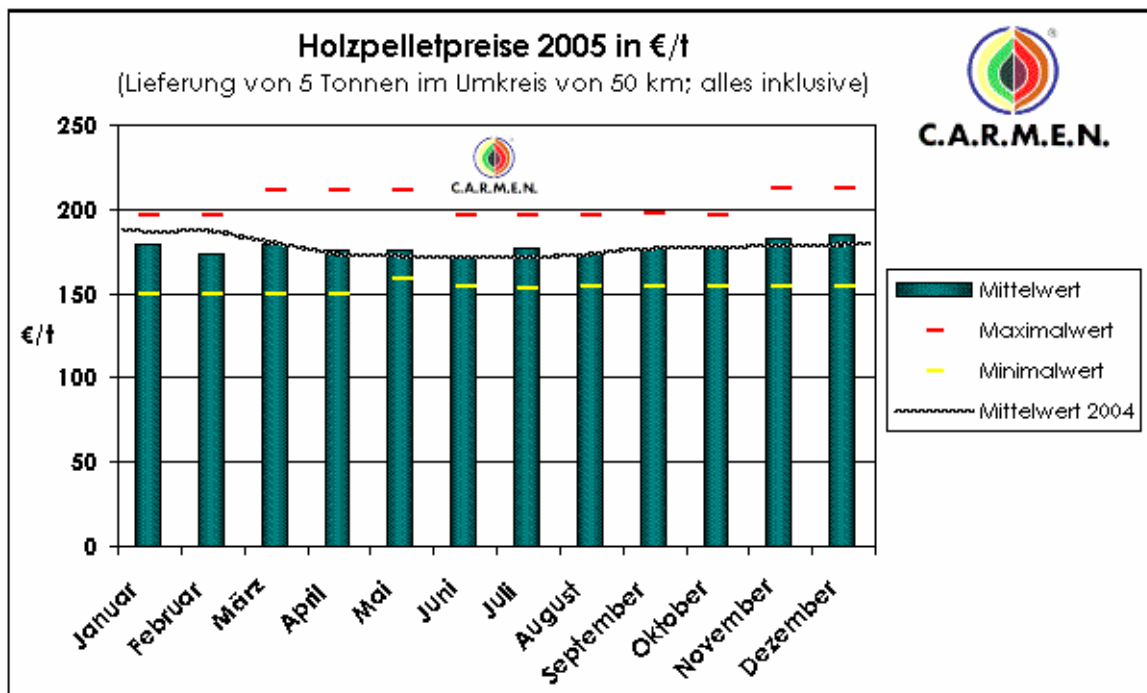


Abbildung 54 Holzpelletpreise 2005
Quelle: [C.A.R.M.E.N. 2007c]

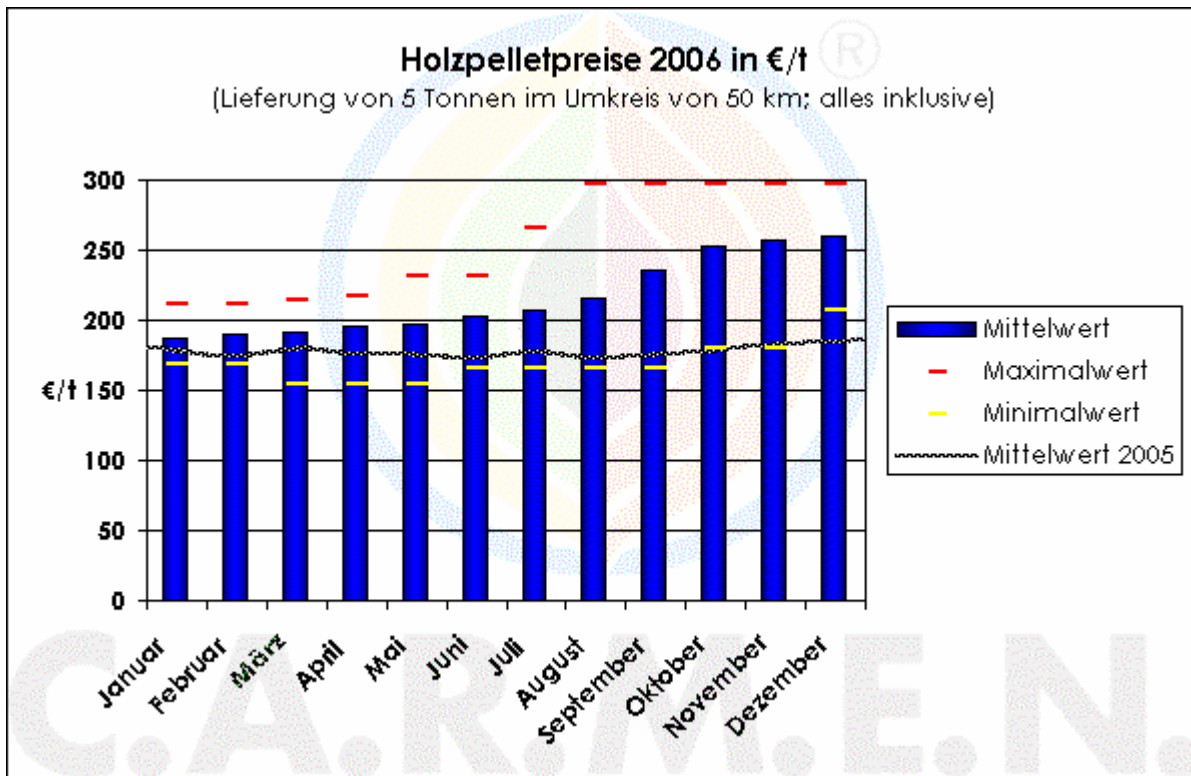


Abbildung 55 Holzpelletpreise 2006
Quelle: [C.A.R.M.E.N. 2007a]

Ein Vergleich des European Pellet Center mit Preisen in den Staaten Österreich, Dänemark, Großbritannien, Schweden und Finnland zeigt, dass die deutschen Preise deutlich die höchsten sind. So liegen finnische Preise bei rund zwei Dritteln der deutschen Preise, in Polen sollen Pellets ab 90 €/t zu haben sein [Ecofys 2005]. Nach [Rauchfangkehrer 2005b] sei der Pelletspreis in Europa in den Jahren 2001 bis 2005 recht konstant gewesen. [Knecht 2004] berichtet, dass mittlerweile fast alle Hersteller bzw. Lieferanten von Pellets die Möglichkeit anbieten, die Brennstoffpreise für drei, fünf oder mehr Jahre zu fixieren.

Für die Vollkostenbetrachtungen wurden die Preise laut Tabelle 28 herangezogen. Dabei wird bei Holzpellets berücksichtigt, dass für die untersuchten Mehrfamilienhäuser stets 20 t-Lieferungen vorgenommen werden und deshalb der Lieferpreis günstiger ist als bei den 5-t-Lieferungen laut Abbildung 55.

Stroh: Für Weizenstroh-Ballen müsse man in Schleswig-Holstein einen Preis von ca. 35 € pro Tonne frei Verwendungsstelle rechnen [SH 2005]. Nach [Block 2005] betrage der Preis für Stroh gelagert, 16 % Feuchte, ca. 60 € pro Tonne. Für Strohpellets betrage der Preis nach [Block 2005] ca. 140 € pro Tonne. Nach [Gerlinger 2005] betrage der Preis für Stroh zwischen 40 und 60 € pro Tonne und für Strohpellets etwa 120 € pro Tonne. [Kaltschmitt o.J.] erläutert, dass die Energieträgerkosten von Stroh ausschließlich auf dem Sammeln und Verdichten beruhen. Sofern Stroh weder innerbetrieblich noch außerbetrieblich verwertet werden könne („Überschussprodukt“ in best. ländlichen Räumen), könne von Preisen von 0,50 DM/Ballen für kleinere Hochdruckballen und 18 DM für große Quaderballen ausgegangen werden. Bezogen auf den Heizwert bei 15 % Feuchte entspreche dies 0,0035 bis 0,0055 € pro kWh. Ist Stroh ein Mangelprodukt (z.B. in Ballungsräumen), so liege der Brennstoffpreis bei etwa 0,0095 und 0,016 €/kWh. [Raab et al.



2004] beziffern die Brennstoffkosten von Getreidestroh frei Feuerungsanlage bei einer Transportentfernung von 20 km einschließlich Lagerverlusten als „Summe Kosten frei Feuerung“ auf 2,95 – 5,53 €/GJ. Dies liegt in der Größenordnung von 0,01 €/kWh. Hinzu kommt die Umsatzsteuer.

4.2.2 Preise für Gas, Heizöl und Strom

Die Preise für Heizöl, Erdgas und Strom sind in erheblichem Maß schwankend. Sie unterliegen weniger lokalen und regionalen Einflüssen als vielmehr globalen oder zumindest deutschlandweiten Einflüssen.

4.2.3 Verwendete Energiepreise

In der Vollkostenrechnung wurden die Energiepreise nach Tabelle 28 verwendet.

Brennstoff	Preis inkl. Mwst. 7/19 %	Einheit
Erdgas , Abnahme 400.00 kWh p.a. ³⁷		
Sorte E (frühere Bezeichnung: H)	0,0586	€/kWh H _s
Grundpreis	811,56	€/a
Heizöl , Abnahme 30.000 l p.a. ³⁸		
Sorte EL normal	55,00	€/100 l
Preis bei Energieinhalt von 10 kWh/l	0,055	€/kWh H _i
Strom , Abnahme 15.000 kWh p.a. ³⁹		
Arbeitspreis	0,1836	€/kWh
Holzpellets , Abnahme 20 to pro Lieferung ⁴⁰		
Preis pro Tonne	230,00	€/to
Energieinhalt (Mindestwert DIN 51731)	4,9	kWh/kg
Arbeitspreis	0,0469	€/kWh H _i
Holzhackschnitzel		
Preis pro Tonne Waldhackgut, Wassergehalt 35 % ⁴¹	68,54	€/to
Energieinhalt (siehe Abschnitt 3.1.2)	ca. 3,05	kWh/kg
Arbeitspreis	0,0225	€/kWh H _i
Strohpellets ⁴²		
Preis pro Tonne	150,00	€/to
Energieinhalt	4,9	kWh/kg
Arbeitspreis (berechnet)	0,0306	€/kWh H _i
Strohballen		
Preis pro Tonne ⁴³	50,00	€/to
Energieinhalt ⁴⁴	4,1	kWh/kg
Arbeitspreis	ca. 0,0122	€/kWh H _i

Tabelle 28 Verwendete Energiepreise

Quellen: s. Fußnoten

³⁷ Mittelwert von Anbietern in Hamburg, Berlin, Dresden, Köln, München. Quelle: www.verivox.de vom 04.01.2007.

³⁸ Der Mittelwert in Bremen, Hamburg, Berlin, Hannover, München, Braunschweig Dresden, Köln, Münster und Oldenburg lag laut www.esyoil.com vom 04.01.2007 bei 48,91 €/100 l. Dies ist jedoch laut www.brennstoffspiegel.de ein Zweijahrestief. Inzwischen sind die Preise wieder auf über 55 €/100 l angestiegen. 55 €/100 l ist auch in etwa der mittlere Preis für Lieferungen im IV. Quartal 2006, s. www.brennstoffspiegel.de/images/files/106/tpvgl_hel_gas_brd.jpg vom 1.3.2007.

³⁹ Mittelwert von je 10 Anbietern aus den Städten Bremen, Hamburg, Berlin, Dresden, Hannover, Köln und München. Quelle: www.verivox.de vom 04.01.2007.

⁴⁰ s. Abschnitt 4.2.1.

⁴¹ Werte für 3. Quartal 2006. Quelle: www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html vom 08.01.07.

⁴² Quelle: www.energieberatung.ibs-hlk.de/plangetrei_dat.htm vom 08.01.2007.

⁴³ Quelle: www.energieberatung.ibs-hlk.de/plangetrei_dat.htm vom 08.01.2007.

⁴⁴ Quelle: www.agroflamm.de/agroflamm_06_07/downloads.html vom 08.01.2007



4.3 Betriebskosten

4.3.1 Schornsteinfegertätigkeiten

Bezüglich der jährlichen Schornsteinfegerkosten einer Anlage mit festen Brennstoffen von mehr als 50 kW Leistung sind die jährlichen Gebühren zu berücksichtigen. Tabelle 29 nennt diese für Bremen⁴⁵, Preisstand ist Mai 2006, inkl. Umsatzsteuer.

<i>Grundwert pro Jahr:</i>	57,50 €
<i>Überprüfung Verbrennungsluftversorgung:</i>	1,60 €
<i>Überprüfung Brand- und Betriebssicherheit:</i>	0,00 €
<i>1. BlmschV-Messung</i>	106,72 €
<i>Sonstiges (Überprüfung Pelletslager?)</i>	0,00 €
<i>Überprüfung Abgasweg</i>	0,00 €
<i>Reinigung-Verbindungsstücke</i>	9,87 €
<i>Kehren (Schornstein)</i>	14,01 €
<i>Wegepauschale</i>	21,34 €
<i>Summe jährlich</i>	211,04 €
<i>Feuerstättenschau (alle 5 Jahre)</i>	15,35 €

Tabelle 29 Schornsteinfegergebühren für Biomasse-Anlagen

Für konventionelle Anlagen wurden die in [Clausnitzer u.a. 2004] ermittelten Gebühren herangezogen und auf den Preisstand 2007 gebracht.

4.3.2 Wartung

Angaben zu Preisen und Kosten der Wartung von Biomasseanlagen sind in der Literatur selten; meist wird auch nicht zwischen Instandsetzung (Reparatur) und Wartung unterschieden.

Aus Erfahrungen mit 26 HHS-Anlagen von 40 bis 300 kW in Österreich ergibt sich ein durchschnittlicher Reparaturaufwand von 442 € pro Jahr bei einem durchschnittlichen Investitionsbetrag von ca. 58.500 € (jeweils ohne MwSt.) [RE Stm 2002b] Dies sind etwa 0,75 % der Investitionsbeträge. Diese Angaben beziehen sich allerdings auf Anlagen, die erst maximal 5 Jahre in Betrieb sind.

Bezüglich Wartung im Sinne von Fremdwartung geht [Kaltschmitt u.a. 1993] bei HHS-Anlagen von Mehrfamilienhäusern mit 10 Wohneinheiten bzw. 64 kW Leistung des Kessels von nur einem leicht höheren Preis gegenüber einem Heizölkessel aus (500 statt 400 DM/a).

Mitentscheidend für den Wartungsaufwand ist, dass der Brennstoff eine hohe Qualität hat: So berichtet [Vormschlag 2003] über erhöhten Reinigungsaufwand für einen HHS-Kessel und Verstopfungen der Brennstoffzufuhr eines Brennstoffsilos mit Federkernaustragung,

⁴⁵ Quelle: Schornsteinfegerinnung Bremen, Mai 2006. „Ungefähr“ bezieht sich darauf, dass in anderen Bundesländern die Höhe der Gebühren und ggf. die Art und Häufigkeit der Arbeiten z.T. unterschiedlich ist.

weil die Holzhackschnitzel zuviel Rinden, Späne, Nadeln, Staub und auch Sand (vom Verladen) enthielten. Den besonderen Einfluss des Brennstoffs bestätigt [Mayrhofer 2006], der selber als Waldbauer HHS produzierte und in einer HHS-Heizanlage für sein Hotel nutzte. Einmal habe er Hackschnitzel aus Bauholz gemacht. Später stellte sich heraus, dass dort Nägel enthalten waren. Diese führten zu Störungen und Anlagenstillstand.

In den Vollkostenberechnungen wurde der in Tabelle 2 genannte Wartungsaufwand berücksichtigt.

4.3.3 Bedienungsaufwand

Nach [Kaltschmitt u.a. 1993] ist bei einem 10 Familienhaus mit 64 kW Leistung bei Hackschnitzelfeuerung von einem Bedienungsaufwand von 4 h/Woche für 52 Wochen p.a. auszugehen. [Hartmann u.a. 2003b, S. 136] gehen bei einem Mehrfamilienhaus mit Leistungsbedarf von 60 kW bei einem Hackschnitzel-Kessel von einem Bedienungsaufwand von jährlich 50 Stunden für Reinigung und Betrieb aus, bei einem 60 kW-Pelletkessel noch von 15 Stunden pro Jahr. Die [hessenEnergie 2005] erläutert, dass bei einer HHS-Anlage von 0,5 bis 1 MW pro Heizwoche ein mittlerer Bedienungsaufwand von 1 bis 2 Stunden zu kalkulieren ist. [Lammer 2006] gibt den Bedienungsaufwand im Falle der Wohnanlage Nestelbach (100 kW HHS, 150 MWh/a) mit 400 bis 500 € pro Jahr an. Wenn man den Stundelohn brutto inkl. Arbeitgeberabgaben eines Hausmeisters mit 35 € ansetzt, sind dies etwa 11,5 bis 14 Stunden pro Jahr.

In Einzelfällen kann besonderer Aufwand entstehen:

- [Grubert 2006] berichtet, dass es bei der Holzpellets-Förderung bei einem Mehrfamilienhaus zu Verklebungen von Pellets im Lagerraum kommt, die ein Einrieseln der einzelnen Presslinge in den Förderschnecken-Kanal verhindern. Im ersten Jahr wurde die Baufeuchtigkeit des Lagerraums verantwortlich gemacht. Im dritten Jahr traten die Schwierigkeit jedoch noch immer auf: es bilden sich gelegentlich Hohlräume über der Förderschnecke, die ein Nachströmen der Pellets verhindern. Hier muss dann manuell nachgeholfen werden.
- Der Hotelbesitzer [Mayrhofer 2006] gibt den Bedienungsaufwand mit „hoch“ an. Dies bezieht sich allerdings auf die Brennstoffversorgung. Im Winter – bei Vollbelegung des Ski-Hotels und Schneefall – schaffe er es nicht, die HHS selbst zu produzieren bzw. vorrätige HHS von einem Lager in das Brennstofflager zu verbringen. Dann wird mit Heizöl geheizt.

Nach der Heizkostenverordnung dürfen die Kosten der Bedienung auf die Nutzer umgelegt werden. In den Vollkostenberechnungen wird Wartung und Bedienung zusammengefasst; in die Position wurden für Biomasse-Anlagen jeweils 400 €/a an Bedienungsaufwand berechnet.

4.3.4 Betriebsstrom

Beim Betriebsstrom besteht gegenüber Erdgas- und Heizöl-Heizungsanlagen ein höherer Strombedarf, weil Motoren zusätzliche Arbeiten verrichten müssen und die Zündung mehr Strom benötigt.

In einer Holzpelletsheizungsanlage seien sechs Motoren eingebaut, u.a. für die Pelletszuführung, die Entaschung, die Zündung und die Brennerreinigung [Berner 2005a].

Der Strombedarf ist dennoch unterschiedlich. So gibt es zwei häufige Zündsysteme, die Zündung über Heißluftgebläse und die Zündung über einen Elektrostab. Die Zündung ü-



ber einen Elektrostab benötige deutlich weniger Strom [Geschermann 2004a]. Nach [Flühe 2002] lägen bei der automatischen Zündung bei Systemen mit Heizpatronen die Leistungsaufnahmen bei 250 W; bei Heißluftgebläsen bei 1.250 W.

Nach [Kaltschmitt u.a. 1993] ist bei einem 10-Familienhaus mit 64 kW-HHS-Kessel von etwa doppelt so hohen Betriebsstromkosten wie bei einem mit Heizöl versorgten Gebäude auszugehen (754 statt 319 DM/a).

Nach [Hartmann u.a. 1995] liegt der Betriebsstrombedarf bei Hackschnitzelanlagen etwa um den Faktor 7,5 höher als bei Heizöl-Anlagen. Darin ist Gebläseenergie enthalten.

[Hartmann u.a. 2003b, S. 136] rechnet mit einem Strombedarf von etwa 0,7 % der thermischen Leistung für die Förderung (Pellets = Hackschnitzel), aber zusätzlich Strom für die Lagerraumbe- und Entlüftung bei Hackschnitzeln von ca. 195 € bei einer 60 kW Kessel-nennleistung, Preise 2003.

[Grubert 2006] berichtet von einem abgerechneten Betriebsstromverbrauch für ein Jahr von knapp 400 kWh bei einem 30 kW-Pelletsessel inkl. Brennstoffförderung.

Nach [Geschermann 2004b]⁴⁶ betragen die Betriebsstromkosten (bei einem EFH) bei einem Pelletsessel das Dreifache der Betriebsstromkosten einer Erdgasheizung.

[Lammer 2006] kalkuliert den Betriebsstromverbrauch von HHS-Anlagen auf 0,5-0,75 % des Jahreswärmebedarfs. Hinzu kommt der Strombedarf für die Wärmeverteilung.

Prof. Raggam gibt den Betriebsstromverbrauch eines Rundaustragesystems für HHS bei einem 100 kW-Kessel mit 300 kWh/a an.⁴⁷

Nach [RE Stm 2002b] ergab eine Messung von 26 Anlagen im Mittel einen Betriebsstromverbrauch für Kessel und Netz von 2,21 % der abgenommenen Wärmemenge.

In den Vollkostenberechnungen wurde für Pelletsanlagen 2,43 kWh/(m²a) angesetzt; für HHS-Anlagen 2,8 kWh/(m²a).

4.3.4.1 Heizkostenverteilung

Die Kosten der Heizkostenverteilung werden mit 70 €/Wohnung angenommen. Der Wert beruht auf der ausführlichen Herleitung in [Clausnitzer u.a. 2004]. Preiserhöhung wurde nicht angenommen. Berücksichtigt wurde das Leasing funkablesbarer elektronischer Heizkostenverteiler. Die Heizkostenverteilung fällt bei allen gebäudezentralen Heizsystemen unabhängig von der Art des Brennstoffs in gleicher Höhe an, aber nicht bei wohnungsweisen Gasetagenheizungen.

4.4 Finanzielle Förderung

Eine finanzielle Förderung wird in dieser Studie in Sensitivitätsanalysen berücksichtigt. Einbezogen werden Zuschüsse, die der Bund mit dem „Marktanreizprogramm“ über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für Neubauten gewährt; ferner werden zinsverbilligte Darlehen und Tilgungszuschüsse der KfW berücksichtigt (Stand Jan/ Feb. 2007). Da Förderkonditionen gelegentlich aktualisiert werden, ist für Wirtschaft-

⁴⁶ unter Berufung auf die Quelle „Holzabsatzfonds Holzbauhandbuch Reihe 6 Teil 10 Folge 2“, o.J.

⁴⁷ pers. Mitteilung Prof. Raggam, Juni 2006.

lichkeitsbetrachtungen neuer Projekte eine aktuelle Recherche nach Förderkonditionen sinnvoll.⁴⁸

4.4.1 Konditionen im Marktanreizprogramm des BAFA

Stand der berücksichtigten Konditionen ist der 26.01.2007. Die hier dargelegten Konditionen beziehen sich auf die [BA 2007]. Die Richtlinie läuft am 31.12.2007 aus. Das insgesamt zur Verfügung stehende Volumen ist begrenzt.

Automatisch beschickte Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse in Neubauten und Bestandsgebäuden können gefördert werden. Hierunter fallen die in dieser Studie behandelten Anlagentypen. Bis zu einer Nennwärmeleistung der Biomasse-Heizanlagen von 100 kW wird eine Förderung im Marktanreizprogramm plus eine KfW-Förderung (siehe Abschnitt 4.4.2) gewährt. Über 100 kW gibt es lediglich eine Förderung von der KfW.

Antragsberechtigt sind im Marktanreizprogramm Privatpersonen, freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere private gewerbliche Unternehmen nach der Definition der Europäischen Gemeinschaften (Abl. der Europäischen Union L124 vom 20.05.2003, S. 36 ff) (Ausnahmen sind in begründeten Einzelfällen möglich) sowie Unternehmen, an denen mehrheitlich Kommunen beteiligt sind und die gleichzeitig die KMU-Schwellenwerte unterschreiten sowie Kommunen und weitere juristische Personen des öffentlichen Rechts sowie gemeinnützige Investoren. Der Antragsteller muss entweder Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstücks, auf dem die Anlage errichtet werden soll, sein (Ausnahme: Kontraktoren).

Förderfähige Anlagen sind u.a. Kessel für Holzpellets und Holzhackschnitzel. Ob auch Stroh gefeuerte Anlagen förderfähig sind, ist nicht eindeutig.

Voraussetzungen für die Förderung sind:

1. Für private Antragsteller ist das Programm mit der Veröffentlichung im Bundesanzeiger geöffnet, für freiberufliche und gewerbliche nach der Genehmigung durch die Europäische Kommission.
2. Bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff im Abgas von 13 % im Normzustand (273 K, 1013 hPa) müssen folgende Emissionsanforderungen eingehalten werden: Bei Feuerungsanlagen unter 1.000 kW für den Einsatz naturbelassener Biomasse: $\text{CO} \leq 250 \text{ mg/m}^3$ bei Nennwärmeleistung und Teillastbetrieb; staubförmige Emissionen: 50 mg/m^3 . Bezug bei Anlagen über 100 kW: 11 % Sauerstoff), Kesselwirkungsgrad: mindestens 90 %.
3. Die Erfüllung der gestellten Anforderungen müssen durch Baumusterprüfung oder Einzelgutachten von geeigneter Stelle nachgewiesen werden.

Es gibt im Marktanreizprogramm eine Basis- und eine Innovationsförderung. Die Basisförderung kann mit Hilfe eines vereinfachten und schnelleren Verfahrens beantragt werden. Hierbei entfällt für den Antragsteller die bisherige Verpflichtung, vor Abschluss eines Liefer- und Leistungsvertrages einen Förderantrag bei der BAFA zu stellen.

Die Basisförderung wird für automatisch beschickte Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von 8 kW bis 100 kW gewährt, die eine Leistungs- und Feuerungsregelung aufweisen. Der Förderbetrag beträgt für Holzpellets (auch Kombikessel) 24 € je kW errichteter installierter Nennwärmeleistung, mindestens 1.000 €; für Holzhackschnitzel-Anlagen 500 € je

⁴⁸ Siehe <http://www.foerderdatenbank.de/>



Anlage. Anträge und Förderung können nur noch für bis zum 31. Dezember 2007 betriebsbereit installierte Anlagen bewilligt werden.

Die Innovationsförderung wird für Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung und zur Effizienzsteigerung gewährt. Eine Kumulierbarkeit verschiedener Förderungen ist zulässig, wenn die Summe der Aufwendungen nicht überstiegen wird. Für gewerbliche und freiberufliche Antragsteller gilt: Die Gesamtförderung darf das Zweifache der Fördersumme des nach dem Marktanreizprogramm gewährten Förderbetrages nicht überschreiten.

4.4.2 Konditionen im KfW-Programm zur Förderung erneuerbarer Energien

Im Rahmen dieses KfW-Programms werden einerseits zinsgünstige Darlehen gewährt⁴⁹, andererseits kann man einen Teilschulderlass erhalten. Diesen gibt es für die Errichtung von automatisch beschickten Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse mit einer installierten Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW. Hier sind auch Stroh gefeuerte Anlagen förderfähig.

Der Darlehensnehmer solcher Anlagen > 100 kW kann Tilgungszuschüsse in Höhe von 20 € je kW installierter Nennwärmeleistung erhalten, maximal 50.000 € je Anlage. Für neue Nahwärmenetze wird zusätzlich ein Tilgungszuschuss von 50 €/m Rohrleitung - maximal 75.000 € - gewährt, sofern der Mindestwärmeabsatz von 1,5 MWh pro Jahr und m Rohrlänge übertroffen wird (bei 3 MWh pro Jahr und m Rohrlänge gibt es 100 €/m Rohrleitung, maximal 150.000 €).

4.4.3 Konditionen im KfW-Programm „Ökologisch Bauen“

Im Programm „Ökologisch Bauen“ wird durch die KfW der Neubau besonders Energie sparender Gebäude sowie der Einbau bestimmter Heiztechniken in Neubauten durch günstige Darlehen gefördert.

Zur Finanzierung der in dieser Studie behandelten Biomasse-Heizanlagen können (unter bestimmten Bedingungen) zinsgünstige Darlehen in Anspruch genommen werden. Die Zinshöhe beträgt z.Zt. (26.1.07) effektiv zwischen 3,52 – 4,06 %. Einen Tilgungszuschuss gibt es hier nicht. [KfW 2007].

4.4.4 Fazit Förderung

Für die Sensitivitätsanalysen, die Förderung berücksichtigen (Abbildung 25 und Abbildung 26) wurden die Konditionen nach Tabelle 30 herangezogen.

⁴⁹ KfW 4,33 % eff. Jahreszins für private Antragsteller und Kommunen, Stand:21.02.2007

	60 kW in €	120 kW	220 kW (100 m Netz und 3 MWh/(a*m))
BAFA (8 kW bis 100 kW)			
Holzpellets 24 €/kW (Zuschuss)	1.440 €	-	-
Hackschnitzel 500€/Anlage (Zuschuss)	500 €	-	-
KfW (ab 100 kW)			
Nahwärmenetz (Teilschulderlass)	-	-	10.000 €
Kessel 20 €/kW (Teilschulderlass)	-	2.400 €	4.400 €
Darlehenszins	-	4,33 % eff. /a	4,33 % eff. /a
Förderung	500 bzw. 1.440 €	2.400 €	14.400 €

Tabelle 30 Berücksichtigte Förderkonditionen in der Sensitivitätsanalyse „Förderung“

4.5 Umlagefähigkeit der Investitionen bei Modernisierungen auf die Mieter

Der folgende Text bezieht sich auf die Modernisierung von Wohngebäuden; er trifft auf die Errichtung nicht zu. Im Kern geht es um die beiden Fragen, ob eine Umstellung des Heizsystems auf Biomasse-Zentralheizungen von den Mietern zu dulden und zu bezahlen ist.

Zunächst ist nach § 554 BGB die Duldungspflicht zu prüfen, d.h. ob durch die Erneuerung der Heizung eine Verbesserung der Mietsache oder eine Energieeinsparung erreicht wird.⁵⁰ Nur dann ist der Mieter zur Duldung der Erhaltungs- oder Modernisierungsmaßnahme verpflichtet. In aller Regel erfüllt eine Erneuerung der Heizung zumindest die Bedingung der Energieeinsparung. Der Bundesgesetzgeber hat im BGB offen gelassen, welche Ebene der Energieeinsparung gemeint ist. Hier kommen zwei Ebenen in Betracht: beim Mieter eingesparte Energie (Endenergie) oder volkswirtschaftlich eingesparte Energie (Primärenergie). Bei Auslegung, was der Gesetzgeber wohl bestimmt haben würde, wenn er sich der Unterschiede bewusst gewesen wäre, ist anzunehmen, dass Primärenergie gemeint ist. Hierfür spricht insbesondere, dass energetische Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) auf Primärenergie abstellen – und diese EnEV-Anforderungen müssen bei einer Modernisierung ja eingehalten werden. Primärenergetisch stellen Umstellungen vorhandener Heizsysteme auf Biomasse-Heizsysteme in aller Regele eine gravierende Verbesserung dar. Ausnahmen gibt es wenige; z.B. wäre die Umstellung von „Fernwärme aus KWK“ auf „Biomasse gebäudezentral“ keine energetische Verbesserung. **In aller Regel ist die Umstellung eines Heizsystems auf eine Biomasse-Zentralheizung duldungspflichtig.**

Ob nach Durchführung der Maßnahmen eine **höhere Miete** verlangt werden kann, hängt von weiteren Faktoren ab. Neben einer freiwillig vereinbarten Mieterhöhung nach § 557 BGB kommt eine Mieterhöhung bis zur örtüblichen Vergleichsmiete nach § 558 BGB in

⁵⁰ Das frühere Miethöhegesetz wurde 2001 in das Bürgerliche Gesetzbuch integriert. Es wird hier auf die aktuellen Bestimmungen des BGB Bezug genommen.



Frage oder eine Mieterhöhung nach § 559 BGB. Auf Mieterhöhungen bis zur ortsüblichen Vergleichsmiete nach § 558 BGB wird hier nicht näher eingegangen.

Eine Mieterhöhung bei Modernisierung nach § 559 BGB können die Kosten der Maßnahmen dann auf die Mieter umgelegt werden, wenn

- a) der Gebrauchswert der Mietsache nachhaltig erhöht, oder
- b) die allgemeinen Wohnverhältnisse auf Dauer verbessert, oder
- c) nachhaltig Einsparungen von Energie oder Wasser bewirkt werden.

Die jährliche Miete kann dann um 11 vom Hundert der für die Wohnung aufgewendeten Kosten erhöht werden.

Auch sofern rechtlich eine Modernisierung gegeben ist und die Kosten der Maßnahme prinzipiell auf die Mieter umlegbar wären, können heute in vielen Fällen die Modernisierungskosten gar nicht oder nicht mehr in vollem Umfang auf die Miete umgelegt werden, weil Wohnungen mit höheren Mieten am Markt kaum vermietbar sind.

In den folgenden Unterabschnitten werden Argumente bezüglich der Kriterien a) bis c) geprüft.

4.5.1 Nachhaltige Erhöhung des Gebrauchswerts

Sind bisher Einzelfeuerstätten vorhanden, so besteht im Ersatz dieser Feuerstätten durch eine Zentralheizung eindeutig eine nachhaltige Erhöhung des Gebrauchswerts der Wohnung.

Werden dagegen Gasetagenheizungen durch eine Gebäudezentralheizung ersetzt, so kommt es im Streitfall auf den Richter an, ob er darin eine nachhaltige Verbesserung des Gebrauchswerts der Wohnung sieht oder nicht. Beispielsweise entschied das Landgericht Hamburg, dass eine Umstellung von Gasetagenheizung auf Fernwärme keine Wohnwertverbesserung darstelle, weil der grundsätzliche Vorteil einer Gasetagenheizung darin bestehe, dass ein Mieter sie in Betrieb nehmen könne, wann immer er wolle, gegebenenfalls auch außerhalb der eigentlichen Heizperiode.⁵¹ Es bestehen jedoch auch Vorteile einer Gebäudezentralheizung, die in [Clausnitzer u.a. 2004] erläutert worden sind.

Wird eine bestehende Gebäudezentralheizung durch eine neue Gebäudezentralheizung ersetzt, so ist darin keine nachhaltige Erhöhung des Gebrauchswertes zu sehen.

4.5.2 Verbesserung der allgemeinen Wohnverhältnisse auf Dauer

Hierzu wird in Kommentaren z.B. die Schaffung von Spielplätzen, Parkplätzen, Grünanlagen gezählt. Für die Erneuerung von Heizanlagen ist dieser Passus eher unbedeutend.

4.5.3 Bewirkung nachhaltiger Einsparung von Energie

Nach einem jüngeren Urteil des Bundesgerichtshofs BGH vom 3.3.2004 - VIII ZR 149/ 0 - ist die Zulässigkeit einer Mieterhöhung wegen Energie einsparender Modernisierungsmaßnahmen im Grundsatz nicht durch das Verhältnis zu der hierdurch bewirkten Heizkos-

⁵¹ vgl. www.mieterbund.de/presse/2003/presse_aktuell_180303_2.html (Homepage vom 23.4.2003) unter Berufung auf LG Hamburg, 316 S 136/01

tenersparnis (sog. Gebot der Wirtschaftlichkeit) begrenzt. Vielmehr wird ausdrücklich betont, dass es auf volkswirtschaftliche und Umwelt-Interessen an einer Energieeinsparung ankomme.

Da Einzelheiten der Begründung interessant sind, werden sie hier nach [Lexetius 2004] zitiert:

„aa) In Rechtsprechung und Literatur wird hinsichtlich Mieterhöhungen wegen energieparender Modernisierungsmaßnahmen im preisfreien Wohnraum nach § 559 Abs. 1 BGB (früher § 3 MHG) verbreitet die Auffassung vertreten, der Betrag der Mieterhöhung dürfe nicht außer Verhältnis zu der für den Mieter zu erwartenden Ersparnis von Heizkosten stehen; die Zulässigkeit der Mieterhöhung sei durch das Gebot der Wirtschaftlichkeit begrenzt (OLG Karlsruhe OLGZ 1985, 252 = ZMR 1984, 411 = WuM 1985, 17 unter Berufung auf § 13 ModEnG; Stornel, Mietrecht, 3. Aufl., III Rdnr. 778; Gramlich in Bub/ Treier, Handbuch der Geschäfts- und Wohnraummiete, Mietrechtsreform 2001, § 559 Rdnr. 6; Schmidt-Futterer/ Börstinghaus, aaO, § 559 Rdnr. 81 ff.; MünchKommBGB/ Voelskow, 3. Aufl., § 3 MHG Rdnr. 10). Teilweise wird eine solche Begrenzung aus § 242 BGB als Verbot, den Mieter mit den finanziellen Folgen wirtschaftlich unsinniger Maßnahmen zu belasten, abgeleitet (Staudinger/ Emmerich (2003) § 559 Rdnr. 34). Verschiedentlich wird hiernach die Erhöhung des Mietzinses auf das Doppelte (u. a. LG Köln ZMR 1998, 562; LG Lüneburg WuM 2001, 83; Ehler in Bamberger/ Roth, BGB, § 559 Rdnr. 19; Palandt/ Weidenkaff, BGB, 63. Aufl., § 559 Rdnr. 13; aus Praktikabilitätsgründen für den Regelfall auch Schmidt-Futterer/ Börstinghaus, aaO Rdnr. 84) bzw. Dreifache (LG Berlin MM 1994, 396) der Heizkostensparnis begrenzt (gegen die Anwendung starrer Grenzen dagegen OLG Karlsruhe, aaO; Staudinger/ Emmerich, aaO Rdnr. 35 m. w. Nachw.; Feckler, ZMR 1998, 545).

Nach anderer Auffassung soll die Zulässigkeit der Mieterhöhung insbesondere im Hinblick auf das vom Gesetzgeber im Allgemeininteresse verfolgte Ziel der Energieeinsparung nicht durch einen Bezug zu der bewirkten Heizkostensparnis begrenzt sein (AG Lichtenberg NJW-RR 2003, 1309; Schläger, ZMR 2002, 580, 581; Blümmel, GE 2002, 1244; Lammel, Wohnraummietrecht, 2. Aufl., § 559 Rdnr. 11, 27; Kinne, ZMR 2003, 396, 402).

Für den Bereich des preisgebundenen Wohnraums wird diese Frage, soweit ersichtlich, in Rechtsprechung und Literatur nicht behandelt. Sie stellt sich dort jedoch in gleicher Weise (vgl. insoweit auch BVerwG WuM 1990, 566, 567).

bb) Der Senat hat die Frage in dem Rechtsentscheid vom 10. April 2002 zu § 3 MHG offengelassen (BGHZ 150, 277, 284 f.). Er entscheidet sie nunmehr dahingehend, daß die Mieterhöhung wegen energieeinsparender Modernisierungsmaßnahmen im Grundsatz nicht durch das Verhältnis zu der erzielten Heizkostensparnis begrenzt wird.

(1) Für eine solche Begrenzung nach Art einer "Kappungsgrenze" besteht keine gesetzliche Grundlage. Die Regelungen für den preisgebundenen Wohnraum (§§ 8-8b WoBindG, § 6 NMV, § 11 Abs. 4-6 II. BV; nunmehr § 28 WoFG) und den preisfreien Wohnraum (§§ 559-559 b BGB; § 3 MHG) regeln die Zulässigkeit einer Umlage der Modernisierungskosten auf den Mieter, ohne eine Begrenzung im Hinblick auf die zu erwartende Heizkostensparnis vorzusehen. ...

(2) Der Gesetzgeber hat im volkswirtschaftlichen Interesse an einer Modernisierung des Wohnbestandes - auch zum Zwecke der Energieeinsparung - von einer begrenzenden Regelung bewußt abgesehen. ...

In der Begründung des Gesetzentwurfs zum Mietrechtsreformgesetz vom 19. Juni 2001 ist unter Hinweis auf volkswirtschaftliche und umweltpolitische Interessen ausgeführt, daß ein Anreiz zur Durchführung von Wohnungsmodernisierungen weiterhin erforderlich sei (BT-Drucks. 14/ 4553 S. 37, 58). Im Verfahren vor dem Bundesrat nah-



men die Ausschüsse ausdrücklich auf die Grenze von 200 %, die sich in der Rechtsprechung bei Energiesparmaßnahmen herausgebildet habe, Bezug und empfohlen, eine Aufnahme des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit zu prüfen (BR-Drucks. 439/ 2/ 00 S. 24). Diese Empfehlung fand keinen Eingang in das Gesetz.

(3) Die Begrenzung der Mieterhöhung durch das Verhältnis zu den ersparten Heizkosten folgt entgegen der Ansicht der Revision auch nicht aus dem Grundsatz von Treu und Glauben nach § 242 BGB. Dem steht die Entscheidung des Gesetzgebers entgegen, der von einer begrenzenden Regelung, wie ausgeführt, bewußt Abstand genommen hat. Das hierfür maßgebliche allgemein- und umweltpolitische Interesse an der Durchführung energiesparender Modernisierungsmaßnahmen ist einer Bewertung allein nach Kostengesichtspunkten nicht zugänglich. Jedoch wäre auch eine Begrenzung nach wirtschaftlichen Zumutbarkeitskriterien Zweifeln unterworfen. So wird die tatsächliche Heizkostensparnis von Umständen wie der Lage der Wohnung, Lüftungsverhalten und Wärmebedarf der Bewohner, aber auch von äußeren Temperaturbedingungen und insbesondere im Falle ansteigender Energiepreise (vgl. im einzelnen Feckler, aaO, 546 f.) so stark beeinflusst, daß sich die Modernisierung langfristig auch für den einzelnen Mieter als "rentabel", jedenfalls aber als nicht unverhältnismäßig darstellen kann.“

Aus diesem höchstinstanzlichen Urteil muss gefolgert werden, dass auch eine Erneuerung einer Gebäudezentralheizung, die mit Kohle, Gas oder Heizöl betrieben wurde, durch eine Zentralheizung oder ein Nahwärmesystem mit Holzpellets, HHS, Strohpellets und Strohballen nach § 559 BGB prinzipiell auf die Mieter umlegbar ist. Dies folgt daraus, weil eine solche Erneuerung

- eine umweltpolitisch gewünschte hohe Einsparung an Primärenergie bewirkt. Diese Einsparung wird durch Primärenergiefaktoren beschrieben, die der Bundesverordnungsgeber in der Energieeinsparverordnung 2004 bzw. der mit geltenden Norm festgeschrieben hat, vgl. Abschnitt 3.6);
- fossile Ressourcen schont, weil nachwachsende Brennstoffe verwendet werden;
- aufgrund der Preisentwicklung und Preisprognosen für fossile und regenerative Brennstoffe auch für die weitere Zukunft mit einer volkswirtschaftlich gewünschten nachhaltigen Energiekosteneinsparung gerechnet werden kann.

4.6 Realisierung und Finanzierung durch Contracting

Ein Leuchtturmprojekt bezüglich der Realisierung von Biomasse-Projekten bildet die „Regionalenergie Steiermark“. ⁵² Diese wie eine Energieagentur arbeitende Institution hat es in wenigen Jahren allein bis Anfang 2006 geschafft, fast 160 Objektwärmeversorgungen und Mikronetze mit insgesamt 15,4 MW Leistung einer Realisierung zuzuführen, wobei das Instrument des Contracting zum Einsatz kommt. Hierzu wird vor Ort eine Betreibergesellschaft von regionalen Akteuren (z.B. Waldbauern) initiiert, die die Wärmeversorgung von Gebäuden mit ihrem eigenen Waldhackgut übernehmen. Die Investitionen für die Heizanlage und das Brennstofflager werden von der Betreibergesellschaft getätigt; die Wärmeabnehmer zahlen einen einmaligen Anschlusspreis (in der Größenordnung von 180 bis 250 € pro kW + Mwst) sowie einen Wärmepreis, der in der Spannweite von z.Zt. 5,8 bis 7,2 ct pro kWh liegt (+ Mwst) [RE Stm 2006]. In [RE Stm 2002b) wird genannt, dass ab einem

⁵² Nähere Informationen unter www.holzenergie.net

Leistungsbereich von 80 kW an aufwärts das beste Preis-Leistungs-Verhältnis zustande komme.

Besonders bei HHS spielt die Qualität der Hackschnitzel eine wichtige Rolle. Feuchte Hackschnitzel, grobe Holzstücke oder Fremdstoffe wie Nägel, Sand oder Steine können Betriebsprobleme verursachen. Verschiedentlich wird deshalb empfohlen, dass die Brennstofflieferanten selbst für den Betrieb der Anlage verantwortlich sind. Dies ist beim Contracting gegeben. Gerade weil gegenüber konventionellen Heizanlagen ein zusätzlicher Bedienungsaufwand besteht und die Funktionsfähigkeit der Biomasse-Heizanlage nicht unerheblich von der Qualität des Brennstoffs abhängt, macht es Sinn, solche Biomasse-Anlagen in Form des Contractings zu realisieren. Hierbei sollte über die gelieferte Wärme abgerechnet werden, so dass die Qualität der Verbrennung auf der Risikoseite des Contractors liegt.



5. Zusammenfassung

Hintergrund, Ziel, Methodik

Die EU-Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden wird in Deutschland u.a. durch eine Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) in deutsches Recht umgesetzt werden. Hier wird künftig die Anforderung gestellt, dass bei der Errichtung von Gebäuden über 1.000 m² Gesamtnutzfläche zu prüfen ist, ob regenerative Energien eingesetzt werden können. Die EU plant im EU-Aktionsplan, dass diese Anforderung künftig auch auf kleinere Gebäude sowie Modernisierungsfälle anzuwenden ist.

Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, einen Überblick über die Eignung von Wohngebäuden > 1.000 m² für die Wärmebereitstellung aus Biomasse zu geben. Im Mittelpunkt stehen die Kosten der Wärmeversorgung; mitbetrachtet werden technische und ökologische Aspekte. Untersucht werden hauptsächlich Holzpellets- und Holzhackschnitzelanlagen sowie am Rande Strohfeuerungsanlagen.

Von großer Bedeutung scheinen für den Investor vor allem die Investitionsbeträge zu sein. Danach würden Biomasse-Heizungen schlechter als konventionelle Anlagen abschneiden, weil sie in der Anschaffung (noch) einen höheren Preis haben. Die richtige Betrachtungsebene sind jedoch Jahresvollkostenvergleiche. Hierbei werden nicht allein die Investitionsbeträge betrachtet und in Kapitalkosten umgerechnet, sondern auch die Brennstoffkosten, der Wartungsaufwand, der Betriebsstrom etc. in den Vergleich einbezogen. Deshalb besteht die Methodik der vorliegenden Untersuchung im Kern aus Vollkostenvergleichen nach der VDI-Richtlinie 2067 Blatt 1.

Vollkostenvergleiche sind nur so gut, wie die Annahmen nachvollziehbar und „aus der Mitte des Marktes“ sind. Um Investitionsbeträge sachgerecht ansetzen zu können, wurden Förderprogramme und Literatur ausgewertet, Gespräche mit Planern, Eigentümern und Herstellern geführt sowie Exkursionen zu Anlagen in Deutschland und Österreich unternommen. Die daraus erstellte Zusammenstellung zu Preisen von Anlagen ist die umfangreichste Übersicht im deutschsprachigen Raum (vgl. Kapitel 4.1).

Die Kosten der Energie, die sich aus dem Produkt von Energiebedarf und Energiepreis zusammensetzen, wurden ebenfalls auf der Basis einer umfangreichen Recherche abgeschätzt. Da Energiepreise in höherem Maße als Investitionsbeträge schwanken, wurden hierzu mehrere Sensitivitätsrechnungen durchgeführt.

Vollkostenvergleiche wurden für vier Modell-Wohngebäude erstellt (zwei neu errichtete sowie zwei Bestands-Gebäude). Die Energiekennwerte wurden nach den Anforderungen der EnEV 2004 berechnet. Auf die Einhaltung des maximal zulässigen $H_{T'}$ -Werts wurde ebenso geachtet wie auf den maximalen Primärenergiebedarf (Neubaustandard, bzw. bei den modernisierten Bestandsgebäuden: Neubaustandard + 40 %) bei den konventionellen Heizsystemen. Eine Unterschreitung des max. Primärenergiebedarfs wurde nicht durch eine Verschlechterung des Wärmeschutzes kompensiert. Die Berechnungsvorschriften der EnEV 2001 und der zugehörigen DIN V 4701-10 kennen keinen „Jahresnutzungsgrad“. Die seit 2001 eingeführte Berechnungsmethodik ist umfassender und berücksichtigt nicht nur die Wärmeerzeuger-Aufwandszahl, sondern auch den Wärmebedarf, die Übergabe-, Verteilungs-, Speicher- und Erzeugungsverluste, wobei der Aufstellort, die Lage und Art und Dämmung der Verteilung und das Temperaturniveau entscheidende Parameter sind und sich die Verluste der Warmwasserversorgung auf den zu deckenden Raumwärmebedarf auswirken. Die sich aus den gebäude- und anlagenspezifischen Berechnungen ergebenden Endenergiebedarfe wurden dem Vollkostenvergleich zu Grunde gelegt, vgl. Tabelle 3 bis Tabelle 6 im Hauptteil dieses Berichts.

Die Tabelle 31 zeigt die wesentlichen Merkmale der Modellgebäude und der betrachteten Heizungsvarianten.

	Neubau- Mehrfamilienhäuser		Bestands- Mehrfamilienhäuser	
	Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude 3	Gebäude 4 (Ensemble aus 5 Gebäuden)
Wohnungen	37	18	30	80
Gesamtnutzfläche A _N [m ²]	4.320	1.753	1.784	4.884
Lage	Stadt > 500.000 EW, innenstadt- nah, aufgelockerte Blockrandbebau- ung	Stadt > 500.000 EW, Stadtrandla- ge, solitär	Stadt > 100.000 EW, innenstadt- nah, aufgelockerte Blockrandbebau- ung	Stadt > 100.000 EW, Stadtrand, Gartenstadtsied- lung
Heizlast in kW	ca. 120	ca. 60	ca. 60	ca. 220
Jahresheizwärme- bedarf [kWh/(m ² a)] (Warmwasser: zu- sätzlich 12,5)	45,8	50,9	53,4	62,8
Heiz-Variante 1	Erdgas, 1 Kessel, gebäudezentral, Brennwert, Keller, Warmwasserberei- tung indirekt, Spei- cher, Zirkul.	Erdgas, 1 Kessel , gebäudezentral, Brennwert, Keller, Warmwasserberei- tung indirekt, Spei- cher, Zirkul.	Heizöl, 1 NT- Kessel, gebäude- zentral, Keller, Warmwasserberei- tung indirekt, Spei- cher, Zirkul.	wohnungsweise Gasetagenhei- zung, Nieder- temperatur, Warmwasser im Durchlauf
Heiz-Variante 2	wie 1, jedoch Heizöl, NT-Kessel	wie 1, jedoch Heizöl, NT-Kessel	wie 1, jedoch Holzhackschnitzel, Pufferspeicher	Erdgas, Nah- wärme, 1 Kes- sel, Brennwert, pro Treppen- haus 1 Wärme- tauscher und 1 WW-Speicher, in Gebäuden Zirkulation
Heiz-Variante 3	wie 1, jedoch Holzpellets, Puffer- speicher	wie 1, jedoch Holzpellets, Puffer- speicher	wie 2, jedoch Heizhaus	wie 2, jedoch Holzpellets, Kel- ler, Pufferspei- cher
Heiz-Variante 4	wie 3, jedoch Heizhaus	wie 3, jedoch Heiz- haus	-	wie 3, jedoch Heizhaus
Heiz-Variante 5	wie 1, jedoch Holzhackschnitzel, Pufferspeicher	wie 1, jedoch Holz- hackschnitzel, Puf- ferspeicher	-	-
Heiz-Variante 6	wie 5, jedoch Heizhaus	wie 5, jedoch Heiz- haus	-	-

Tabelle 31 Untersuchte Gebäude und Heizungsvarianten



Heizungs- variante	Gebäude 1	Gebäude 2	Gebäude 3	Gebäude 4
	kWh $H_i/(m^2 A_N \cdot a)$	kWh $H_i/(m^2 A_N \cdot a)$	kWh $H_i/(m^2 A_N \cdot a)$	kWh $H_i/(m^2 A_N \cdot a)$
1	67,2	72,4	82,8	93,6
2	74,3	77,0	100,0	89,1
3	92,5	100,1	100,0	90,8
4	92,5	100,1	-	90,8
5	97,2	105,1	-	-
6	97,2	105,1	-	-

Tabelle 32 Endenergiebedarf (ohne Hilfsenergie) für die Gebäude und Heizungsvarianten

Strohfeuerungsanlagen wurden letztlich nicht in die Vollkostenberechnungen einbezogen, weil sich in der Untersuchung herausstellte, dass hier noch zu wenig gesicherte Erfahrungen vorliegen sowie technische und organisatorische Probleme bestehen, die einen Einsatz in Wohngebäuden > 1.000 m² derzeitig unrealistisch erscheinen lassen.

In unseren Vollkostenvergleichen wurde nicht nur die Ebene des gesamten Gebäudes betrachtet, sondern auch die Ebene „Vollkosten pro Wohnung“ sowie „Vollkosten pro m²“, vgl. die Vollkostentabellen Tabelle 3 bis Tabelle 6. Zusätzlich zu den Vollkostenvergleichen wurden die Kosten aus den Perspektiven des vermietenden Hauseigentümers und eines Mieters betrachtet. Hintergrund ist, dass die Kosten eines vermietenden Hauseigentümers im Wesentlichen in den Kosten der Investition und Instandhaltung begründet sind, die Kosten des Mieters dagegen auf dem Wirkungsgrad der Anlage, dem Energiepreis und umlegbaren Betriebskosten beruhen.

Nicht betrachtet wurde der gleichzeitige Einsatz anderer regenerativer Energien, z.B. die Nutzung der Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung. Dies geschah, um die Effekte der Biomasse-Feuerung für sich zu ermitteln. Um die Ansätze der Vollkostenvergleiche nicht willkürlich zu treffen, wurde der aktuelle Stand der Technik und der Preise von Brennstoffen und Betriebskosten ermittelt. Die Ergebnisse hierzu sind in zwei Kapiteln dargelegt („Hintergrund Technik“ und „Hintergrund Ökonomische Daten“). Last but not least wurde die bei der Modernisierung von Mietwohnungsgebäuden wichtige Thematik der Duldungspflicht sowie der Umlegbarkeit der Kosten der Investitionen auf die Mieter erörtert.

Technik von Biomasse-Heizanlagen

Technische Aspekte sind hier nur insoweit von Belang, als sie Einfluss auf die Eignung von Biomasse-Heizungen für Wohngebäude > 1.000 m² haben. Die Untersuchung ergab, dass technisch nichts Wesentliches gegen die Nutzung von Holzpellets oder Holzhack-schnitzeln für die Beheizung von Wohngebäuden > 1.000 m² spricht. Die Nutzung von Stroh und Strohpellets für solche Wohngebäude ist jedoch zumindest derzeit problematisch (siehe unten).

Problemstellen von Biomasseheizungen sind

- der Platzanspruch (LKW-Anfahrt, Kessel und Zubehör sowie Brennstofflager) und Schall,
- die Energieeffizienz und die Emissionen (die Emissionen werden unter „Ökologische Ergebnisse“ behandelt)

- die Bedienung.

Platzanspruch und Schall

Biomasse-Anlagen bestehen aus mehr bzw. anderen Komponenten als Heizöl- oder Erdgas-Heizanlagen. Typische Komponenten sind neben dem Kessel: Sicherheitssystem (Rückbrandsicherung), Entaschung und Ascheaufbewahrung, Brennstoff-Fördersystem, Pufferspeicher, Heizraum und Brennstofflager mit Brennstoffaustragsystem. Sowohl für die Verfeuerung von Holzpellets als auch von Holzhackschnitzeln sind spezielle Heizkessel zu verwenden, die in der Regel größer und höher als Kessel für Erdgas und Heizöl sind. Deshalb ist die Raumhöhe (Keller) zu beachten, aber nicht nur diese, sondern auch die von Kellerfluren (abgehängte Leitungen!) und Türöffnungen. Ferner ist die Möglichkeit der Kesselanlieferung in den Heizraum zu prüfen: Über eine Kellertreppe ist das in dieser Gewichtsklasse meist nicht möglich. Wegen dieser baulichen Probleme sollte die Möglichkeit einer externen Kompaktheizzentrale geprüft werden.

Für die Lagerung der Holzpellets gibt es verschiedene Möglichkeiten; die gebräuchlichste ist ein Einbau in einen Kellerraum, der aus dem Kellerraum ein im Schnitt V-förmiges Schrägbodenlager macht, an dessen Tiefpunkt in einem Bodenkanal eine Förderschnecke untergebracht ist, die die Pellets zum Kessel befördert. Die Anlieferung der im industriellen Maßstab hergestellten Holzpellets erfolgt wie beim Heizöl in speziellen Tankwagen; die Pellets werden von dort über Schläuche in das Brennstofflager eingeblasen.

Für die Lagerung von HHS wird oft ein unterirdischer Lagerraum vor dem Gebäude geschaffen, in dem ein Holzboden eingebaut wird, in dem sich ein Bodenkanal befindet. Da HHS nicht so leicht rieseln wie Pellets, erfolgt die Eintreibung in den Kanal über Rührwerke oder Schubstangen; vom Kanal aus erfolgt die Zuführung zum Kessel automatisch über Förderschnecken. Die Herstellung und Lieferung von HHS erfolgt meist auf regionaler Ebene und weniger im industriellen Maßstab.

Brennstofflagerräume müssen per LKW erreichbar sein. Für Pellets ist ein maximaler Abstand von LKW zum Einblasstutzen von 30 m machbar (besser, um weniger Abrieb zu haben, weniger störanfällig zu sein und weniger Staubemissionen zu haben: < 20 m). Die Anlieferung von HHS muss direkt zum Lagerraum geschehen können. Lager und Heizraum müssen benachbart angeordnet werden, damit die Brennstoffzuführung problemlos erfolgen kann. Eine fehlende für Schwerlast geeignete Zufahrt, chronische Parkplatzprobleme bei Blockrandbebauung in Großstädten oder auch zu enge Straßen (Altstadtquartiere) schränken die Nutzung von HHS in Städten ein. In den typischen Gartenstadtquartieren dagegen stellt die HHS-Nutzung kein gravierendes Problem dar.

Wohngebäude > 1.000 m² Gebäudenutzfläche werden zumeist in Städten errichtet bzw. sind dort im Gebäudebestand anzutreffen. Gerade dort bestehen Schwierigkeiten, zusätzliche Platzansprüche der Haustechnik zu befriedigen; wo doch schon die Unterbringung der Parkplätze, Fahrräder, Mieterkeller etc. erhebliche Probleme bereitet.

Bei Wohngebäuden von 1.000 m² und mehr ist es nicht mehr sinnvoll, die Lagerkapazität nach den Faustformeln für Einfamilienhäuser zu planen. Vielmehr ist es ratsam, den Lagerraum so zu bemessen, dass ein wirtschaftliches Liefern der Brennstoffe erfolgen kann. Bei Pellets ist die Größe des Tanklasters (18-20 m³) das wesentliche Kriterium. Daraus folgt, dass der Lagerraum eine Lagerkapazität von mindestens 25 m³ haben sollte, wofür eine Raumgröße von ca. 40 m³ erforderlich ist. Natürlich muss dann mehrmals im Jahr geliefert werden, aber das ist kein Problem.

Im Wohnungsbau bzw. -bestand geht es um Mieter. Deshalb sollten die Anlagen so beschaffen sein, dass keine Akzeptanzprobleme auftreten. Insbesondere die Brennstoffzu-



führung aus dem Lager verursacht Geräusche, die als Körperschall Teile des Gebäudes, und nicht nur die darüber liegende Wohnung, erreichen können. Dies kann zu einem erheblichen konstruktiven Aufwand führen, um eine Schallübertragung zu vermeiden.

Emissionen und Energieeffizienz

Die Energieeffizienz von Biomasseheizanlagen ist bisher schlechter als die von Heizanlagen für Erdgas und Heizöl. So hat Stiftung Warentest den Nutzungsgrad von Pelletsanlagen kritisiert, die schon auf dem Prüfstand mindestens 7 Prozentpunkte unter dem von Öl- und Gasheizkesseln lag. Bemängelt wurde auch der z.T. unnötig hohe Hilfsstromverbrauch. Wenngleich sich diese Tests nicht auf die gleiche Leistungsklasse beziehen wie sie für die Beheizung großer Wohngebäude erforderlich ist, so dürfte die Tendenz des Ergebnisses auch in diesem Leistungsbereich gelten.

Die Brennwerttechnik ist bei Biomasse-Heizungen noch nicht etabliert. Im kleineren Leistungsbereich gibt es jedoch erste Biomasse-Brennwertkessel.

Hinsichtlich der Filtertechnik können zurzeit keine klaren Aussagen gemacht werden. Einerseits können bereits durch das Konstruktionsprinzip des Kessels sowie die Verwendung geeigneten trockenen Holzes die Emissionsgrenzwerte deutlich unterschritten werden; andererseits sind Filter auf dem Markt (jedoch wirtschaftlich machbar nur bei Großanlagen ab etwa 200 kW), teils sind neuartige Gewebefilter gerade in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, aber noch kein Standard.

Bedienung

Grundsätzlich erfordern Biomasse-Heizanlagen einen kleinen Bedienungsaufwand; dieser liegt bei HHS-Anlagen etwas höher als bei Holzpelletsanlagen. Er besteht u.a. in Reinigung des Kessels, Beseitigung kleinerer Störungen, Überwachung des Brennstoffvorrats, Organisation der Brennstofflieferungen und Entleerung des Aschekastens.

Gartenstadtcharakter, vorhandenes Nahwärmenetz	günstig
Alleinlage, Stadtrand, Heizhaus vorhanden	günstig
Gartenstadtcharakter, nicht vorhandenes Nahwärmenetz	günstig
Modernisierung eines Gebäudeensembles	günstig
bei Unterbringung in einem Heizraum im Keller: Höhe > 2,20 m, breiter Kellerabgang (besser Rampe), breite Türdurchlässe, gute Schalldämmung zur Wohnung über Heizraum und Brennstofflager	günstig
Unterirdische Lagerung von Brennstoffen außerhalb des Gebäudes vor Heizraum städtebaulich zulässig und technisch möglich	günstig
Unterirdischer Lagerung von Brennstoffen: niedriger Grundwasserstand	günstig
bei Versorgung mit HHS: Lage nahe Waldgebiet	günstig
Integration in Bestandsgebäude, Kelleraufstellung	eher ungünstig
Innenstadt einer Großstadt	ungünstig (Platz, Feinstaub, Anlieferung Brennstoffe)
Blockrandbebauung	ungünstig
Dachheizzentrale	i.d.R. ausgeschlossen

Tabelle 33 Checkliste für die Eignung von Wohngebäuden > 1.000 m² für Biomasseheizung

Exkurs zu Strohheizungsanlagen

Strohfeuerungsanlagen für einzelne Wohngebäude haben einerseits noch nicht die technische Reife und verursachen andererseits logistische Probleme. Für Wohngebäude > 1.000 m² sind hier bisher nicht genügend Erfahrungen vorhanden. Wenn Stroh in Zukunft für die Beheizung von Wohngebäuden eine Rolle spielen könnte, dann bis auf Ausnahmefälle in Form von Strohpellets:

- Für Strohballen und -häcksel sind aufgrund der Platzansprüche für die Brennstofflagerung, der Brandlasten, des Transportaufwands, auch der Regionalität des Ausgangsstoffs sowie der Bedienungsansprüche keine nennenswerten Marktanteile für Wohngebäude > 1.000 m² zu erwarten – unabhängig von der Lösung feuerungstechnischer Probleme (Verschlackung, Korrosion), der Emissionsproblematik von Stroh sowie der Kosten.
- Anders bei Strohpellets: Hier sind positive Marktperspektiven für den Einsatz bei Wohngebäuden > 1.000 m² vorhanden. Allerdings erscheint die Verbrennungstechnik für Mehrfamilienhausanlagen noch nicht ausgereift. Angesprochen seien hier wiederum die Verschlackungsprobleme, der Abrieb der Brennstoffe bei der Zuführung, die Feinstaubproblematik und die Chloremissionen (inkl. Korrosionsgefahr).

Neben Strohpellets ist in Zukunft auch mit weiteren Biomassen–Brennstoffen zu rechnen, wie etwa Getreidekörnern. Noch jedoch sind auch für solche Stoffe nicht genügend Erfah-



rungen vorhanden, um Vollkostenvergleiche auf einer sicheren Datenbasis vornehmen zu können.

Für die obligatorische Prüfung des Einsatzes regenerativer Energien nach der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie ist für Wohngebäude > 1.000 m² Gesamtnutzfläche festzustellen, dass ein Einsatz von Strohfeuerungsanlagen wegen offener Fragen und technischer Nicht-Ausgereiftheit zurzeit in Deutschland nicht gegeben ist.

Ökonomische Ergebnisse

Die Tabelle 34 zeigt wesentliche Eingangsdaten bezüglich der Vollkostenvergleiche.

	Einheit
Erdgaspreis	0,0586 €/kWh H _s
Heizölpreis	0,055 €/kWh H _i
Holzpelletspreis (DIN 51731), H _i = 4,9 kWh/kg; 230 €/to	0,0469 €/kWh H _i
HHS-Preis (68,54 €/to bei W=35 %)	0,0225 €/kWh H _i
Strompreis (Hilfsenergie)	0,1836 €/kWh
Zinssatz	5 %
Betrachtungszeitraum	20 a
Nutzungsdauer und Aufwand für Instandsetzung	Anlagenteilspezifisch nach VDI 2067 Bl. 1. Fehlende Werte durch eigene Ansätze ergänzt

Tabelle 34 Wesentliche Eingangsdaten der Vollkostenrechnungen

Die Energiepreise geben den Stand Anfang 2007 wieder. Zu beachten ist, dass die Pelletspreise mittlerweile rund 30 % über dem Stand von Anfang 2003 bis Mitte 2006 liegen.

Holzpelletskessel gab es bisher vor allem für kleine Feuerungsleistungen bis etwa 40 kW, die für große Mehrfamilienhäuser von 1.500 m² und mehr nicht ausreichend sind, während HHS-Kessel in Deutschland eher für erheblich größere Leistungsbedarfe auf dem Markt waren. Preise aus Evaluationen von Förderprogrammen bezüglich Pelletsanlagen betreffen überwiegend diesen kleineren Leistungsbereich von Ein-, Zwei- und kleinen Mehrfamilienhäusern. Erst seit wenigen Jahren beginnt sich diese Lücke zu schließen. Diese Historie hat Auswirkungen auf die Preise, denn wegen kleiner Stückzahlen bestand bzw. besteht noch ein eher hochpreisiges Angebot.

Im Folgenden wird dargelegt, welche Jahresvollkosten sich bei den Modellgebäuden 2, 3 und 4 ergeben. Beim Modellgebäude 1 liegen ähnliche Relationen wie bei Gebäude 2 vor; die einzelnen Beträge sind nur höher, weil das Gebäude größer ist. Die Jahresvollkosten berücksichtigen keine Förderung, diese wird erst in Sensitivitätsrechnungen berücksichtigt. Die Tabelle 35 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Vollkostenbetrachtung bezüglich des Modellgebäudes 2 (Neubau). Die weiteren Abbildungen verdeutlichen die Jahresvollkosten der Heizungsvarianten bei verschiedenen Gebäuden.

**Vollkosten
Gesamtbetrachtung**

Gebäude 2, Neubau

A/V-Verhältnis [1/m]	0,48	<table border="1"> <tr> <th>Var (1) Gas gebäude- zentral, Brennwert</th> <th>Var (2) Heizöl, gebäude- zentral, NT- Kessel</th> <th>Var (3) Holzpellets, Keller</th> <th>Var (4) Holzpellets, Heizhaus</th> <th>Var (5) HHS, Keller</th> <th>Var (6) HHS, Heizhaus</th> </tr> <tr> <td>82,60</td> <td>87,20</td> <td>26,90</td> <td>26,90</td> <td>< 30,00</td> <td>< 30,00</td> </tr> </table>	Var (1) Gas gebäude- zentral, Brennwert	Var (2) Heizöl, gebäude- zentral, NT- Kessel	Var (3) Holzpellets, Keller	Var (4) Holzpellets, Heizhaus	Var (5) HHS, Keller	Var (6) HHS, Heizhaus	82,60	87,20	26,90	26,90	< 30,00	< 30,00
Var (1) Gas gebäude- zentral, Brennwert	Var (2) Heizöl, gebäude- zentral, NT- Kessel		Var (3) Holzpellets, Keller	Var (4) Holzpellets, Heizhaus	Var (5) HHS, Keller	Var (6) HHS, Heizhaus								
82,60	87,20		26,90	26,90	< 30,00	< 30,00								
Anzahl Wohnungen	18													
Gesamtnutzfläche A_N [m ²]	1753,0													
Fläche A_N je Wohnung [m ²]	97,4													
zul. Primärenergiebedarf nach EnEV $Q_{p,max}$	88,3													
spezifischer Jahresheizwärmebedarf q_h nach EnEV [kWh/(m ² a)]	50,9													
Spezifischer TW-Bedarf q_{TW} [kWh/(m ² a)]	12,5													
Primärenergiebedarf $Q_{p,max}$ [kWh/(m ² a)]														
Endenergiebedarf Heizung, Warmwasser, Hilfsenergie														
Gas/Öl	kWh Hi/(m ² a)	126.987	135.016											
Gas	kWh Hs/(m ² a)	140.626												
Pellets/HHS	kWh Hi/(m ² a)			175.475	175.475	184.240								
Strom-Hilfsenergie	kWh/(m ² a)	1.683	1.473	4.260	4.260	5.259								
Energiepreise														
Gas-Grundpreis	€/a	812												
Gas-/Öl-Arbeitspreis	€/kWh Hs / (*Öl Hi)	0,059	0,055*											
Pellets	€/kWh Hi			0,047	0,047									
HHS	€/kWh Hi					0,022								
Strom-Arbeitspreis	€/kWh	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184								
Investitionsbetrag [A ₀]	€	11.550	24.650	37.100	40.600	33.900								
Summe der Barwerte [A ₀ + A ₁ + ... + A _N - R _W]	€	11.875	23.052	34.937	37.646	31.345								
kapitalgebundene Kosten (Amortisationsmethode VDI 2067, T = 20 Jahre)														
Annuität der Kapitalkosten (Summe Barwerte * Annuitätsfaktor)	€/a	953	1.850	2.803	3.021	2.515								
Annuität der Instandsetzungskosten	€/a	162	522	686	727	634								
Energiekosten inkl. Hilfsenergie	€/a	9.361	7.696	9.019	9.019	5.106								
sonstige Betriebskosten														
Wartung, Bedienung, Versicherung	€/a	116	470	1.142	1.212	1.417								
Schornsteinfeger	€/a	40	70	211	211	211								
Heizkostenverteilung	€/a	1.260	1.260	1.260	1.260	1.260								
Jahresgesamtkosten	€/a	11.891	11.868	15.121	15.450	11.143								

Tabelle 35 Beispiel: Jahresvollkosten, Gebäude 2

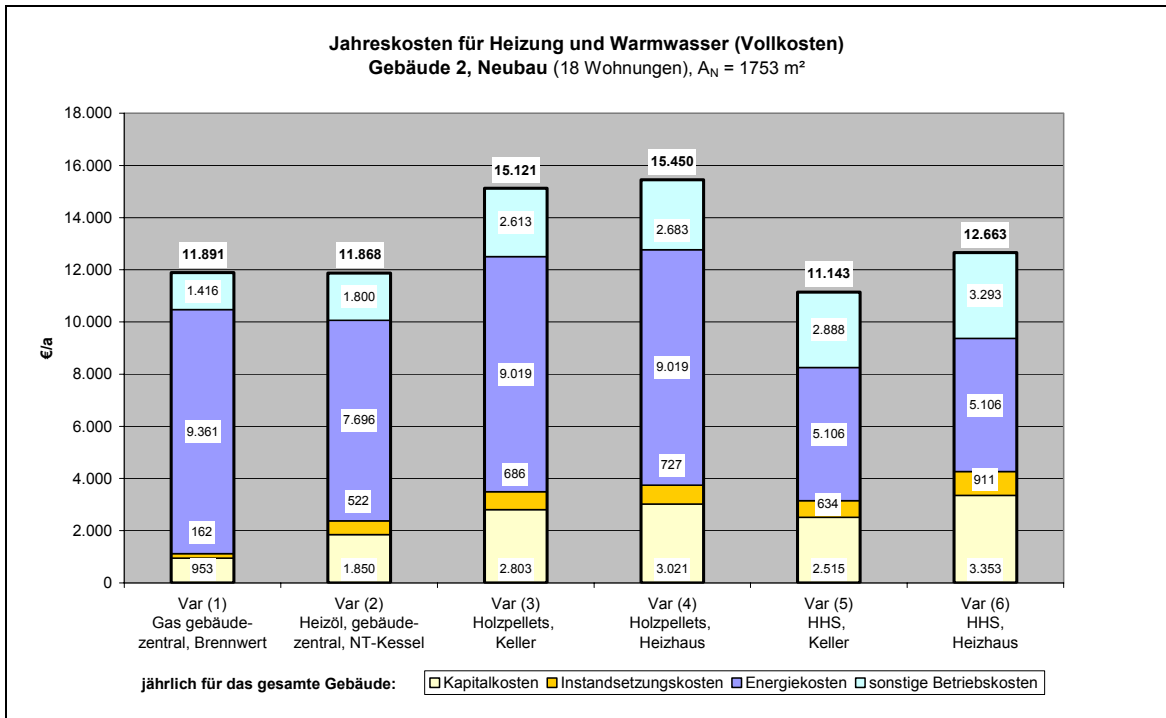


Abbildung 56 Jahresvollkosten, Gebäude 2

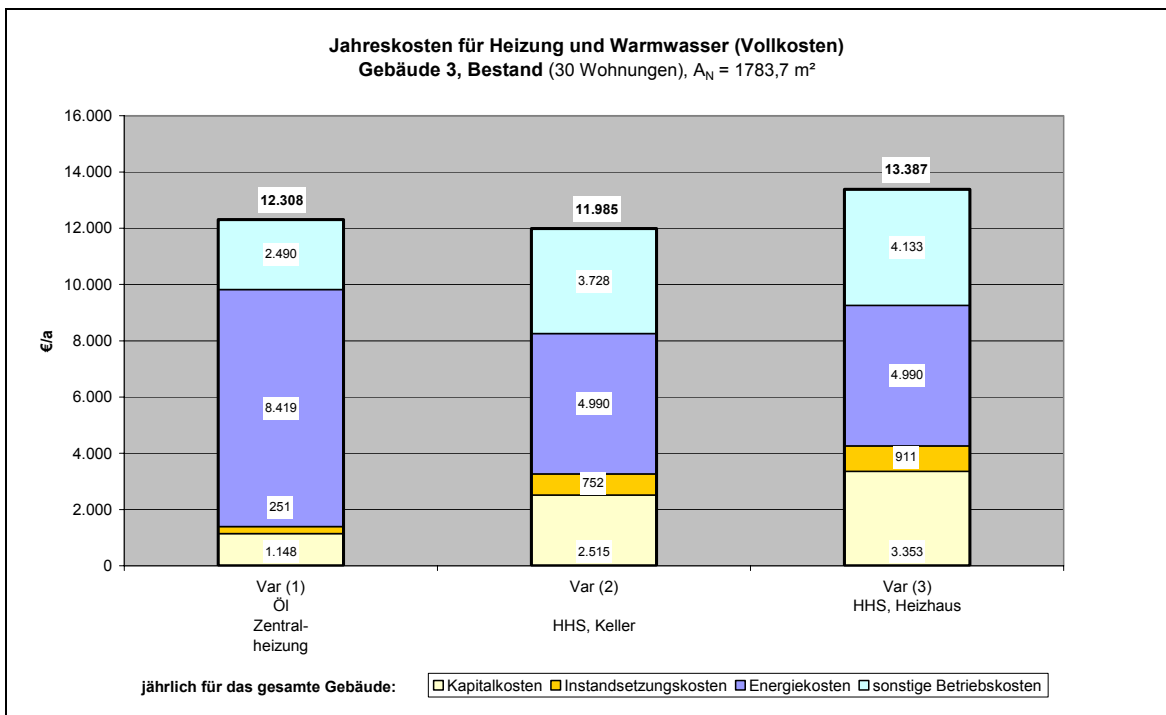


Abbildung 57 Jahresvollkosten, Gebäude 3

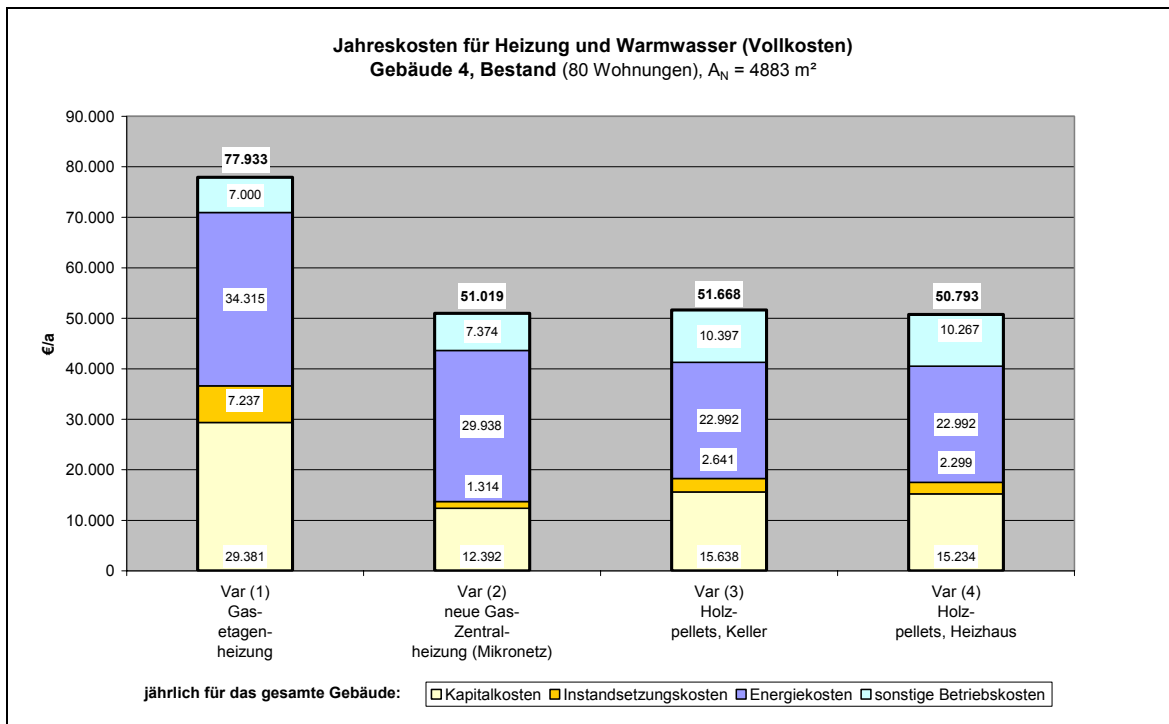


Abbildung 58 Jahresvollkosten, Gebäude 4

Bei den Neubauten (hier stellvertretend Gebäude 2, Abbildung 56) zeigt sich, dass die Jahresvollkosten der konventionellen Heizanlagen in etwa auf gleicher Höhe sind wie die Jahreskosten von HHS-Heizanlagen. Die Holzpellets-Anlagen führen dagegen zu höheren Jahreskosten. Die Jahreskosten sind in erster Linie durch die Energiekosten geprägt. Diese sind das Produkt aus Energiebedarf und Energiepreis. Da der Energiebedarf nur wenig vom Heizsystem abhängt und somit annähernd konstant ist, spielen die Energiepreise eine entscheidende Rolle (Sensitivität Energiepreis, s.u.).

Für die Gebäude 3 und Gebäude 4 (Gebäudebestand) ist erkennbar, dass Holzpellets- bzw. HHS-Anlagen zu etwa gleichen Jahreskosten führen wie konventionelle Anlagen. Eine Besonderheit zeigt die Abbildung 58: Würden bei einer Modernisierung eines großen Bestandsgebäudes neue Gasetagenheizungen und Gasleitungen eingebaut sowie die Schornsteine saniert werden, könnte dies zu nicht unerheblich höheren Jahreskosten führen als eine Nahwärme-Lösung mit Holzhackschnitzeln.

Aus der Sicht eines Hauseigentümers ergeben sich bei Biomasse-Heizungen Mehrkosten gegenüber konventionellen Gebäude-Zentralheizungen. Im Falle eines Neubaus müssen diese in die Kaltmiete einbezogen werden. Bei den Modellgebäuden ging es im Maximum um $0,17 \text{ €/m}^2$ und Monat.

Aus Sicht des Mieters entstehen nicht in jedem Fall bei der Nutzung von Biomasse-Anlagen niedrigere Heizkosten: Die stark gestiegenen Holzpelletskosten, der niedrigere Wirkungsgrad von Holzpelletskesseln sowie die höheren sonstigen Betriebskosten können dazu führen, dass die Heizkosten um 20 % bzw. ca. 125 €/a höher liegen als bei mit Gas-Brennwert-beheizten Gebäuden. Deutlich günstiger als konventionelle Heizungen schneiden HHS-Heizungen ab, was am relativ günstigen Brennstoffpreis von HHS liegt.



Sensitivitäten

In Sensitivitätsanalysen wurde der Einfluss variiertener Energiepreise, Investitionsbeträge ($\pm 30\%$), Zinsen (8 statt 5 %) sowie der Bundesförderung für Biomasse nach dem Marktanzreizprogramm (Stand Jan. 2007) sowie dem KfW-Programm zur Förderung regenerativer Energien berücksichtigt. In dieser Zusammenfassung werden wichtige Ergebnisse anhand eines Gebäudes (Gebäude 2) geschildert. Es sei noch darauf hingewiesen, dass ein niedrigerer Jahresheizwärmebedarf im Wesentlichen Einfluss auf die Energiekosten hätte. Fallen die Energiekosten wegen geringeren Heizwärmebedarfs niedriger aus, gilt dies für alle Varianten gleichermaßen. Ein wesentlich geringerer Jahresheizwärmebedarf als angenommen führt nicht zu einem Vorteil von Biomasse gegenüber konventionellen Heizsystemen; eher im Gegenteil, weil die Biomassen-Anlagen höhere Investitionen (Fixkosten) erfordern.

Sensitivität Energiepreise

Eine Veränderung aller Energiepreise um + 50 % (siehe Abbildung 59) liefert kein wesentlich anderes Bild gegenüber den Vollkosten mit aktuellen Energiepreisen. Eine Erhöhung der Biomasse-Preise um 50 % mag unrealistisch erscheinen. Jedoch geht es bei dieser Sensitivitätsanalyse auch darum, den besonderen Einfluss der Energiekosten deutlich zu machen.

Die Grafik zeigt, dass die absoluten Jahreskosten bei um 50 % höheren Energiekosten unterschiedlich stark steigen: So führen sie bei den fossilen Heizsystemen zu fast 40 % höheren Jahreskosten; bei den HHS-Varianten steigen die Jahreskosten jedoch nur um 25 %. Die HHS-Varianten sind nun die günstigsten Versorgungssysteme; sie bilden also eine Art Versicherung gegenüber der Zukunft.

Anders sähe es bei einer Reduktion der Energiepreise um 50 % aus. Konventionelle Heizsysteme wären jetzt kostengünstiger als Biomasse-Anlagen.

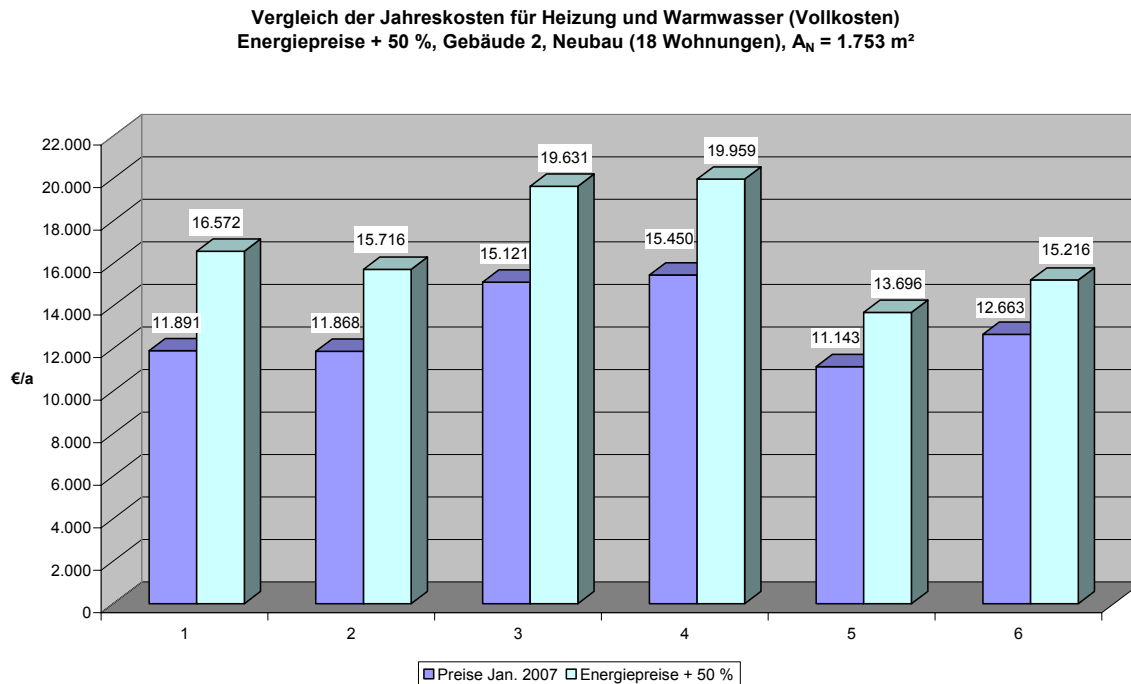


Abbildung 59 Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „Alle Energiepreise +50%“

In weiteren Sensitivitätsanalysen zu den Energiepreisen (vgl. Abbildung 60 und Abbildung 61) haben wir die Energiepreise nicht einheitlich, sondern differenziert verändert: Erdgas und Heizöl je 0,07 €/kWh H_i, Holzpellets 200 €/to, HHS 60 € / to, Strom unverändert. Dies sind Preise, die sich bei einer Steigerung des Heizöl- bzw. Erdgaspreises innerhalb von wenigen Wochen ergeben könnten (vom Jahreshoch im Aug. 2006 mit ca. 0,80 €/kWh wären sie dabei immer noch ein gutes Stück entfernt); auch ein rückläufiger Pelletspreis auf 200 €/to ist aufgrund Produktionskapazitätserhöhungen nicht unrealistisch, wenn man bedenkt, dass der Preis noch Anfang 2006 unter diesem Wert lag.

Man erkennt, dass die Unterschiede zwischen den Holzpelletssystemen und den fossilen deutlich geringer ausfallen: Letztlich liegen die Heizöl-Niedertemperaturvariante und die beiden Holzpelletsvarianten auf gleichem Niveau; günstigste Varianten wären die HHS-Systeme noch vor Gas-Brennwert.

In einer dritten Sensitivitätsanalyse zu den Energiepreisen haben wir ein Szenario mit bereits in naher Zukunft stark steigenden Preisen für fossile Energien (und steigenden Preise für Biomasse!) gebildet, vgl. Abbildung 61. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden hier nur drei statt sechs Heizungsvarianten dargestellt. Bei einer Standzeit heute neu errichteter Gebäude von 50 bis 100 Jahren ist der Betrachtungshorizont von 2018 immer noch als kurz zu bezeichnen. Die Grafik verdeutlicht, dass Holzpellets- und HHS-Systeme bei stark steigenden Energiepreisen für fossile Energieträger Systemen auf der Basis von Heizöl oder Erdgas in Zukunft deutlich überlegen sein könnten.

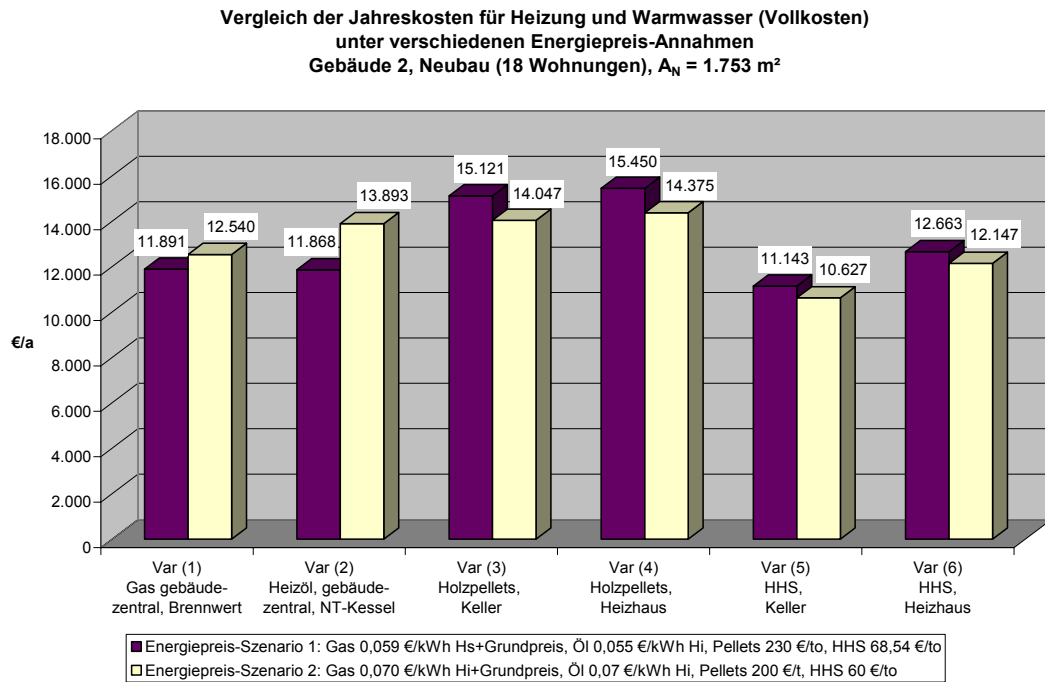


Abbildung 60 Jahresvollkosten, Gebäude 2, Sensitivität „differenzierte Energiepreise“

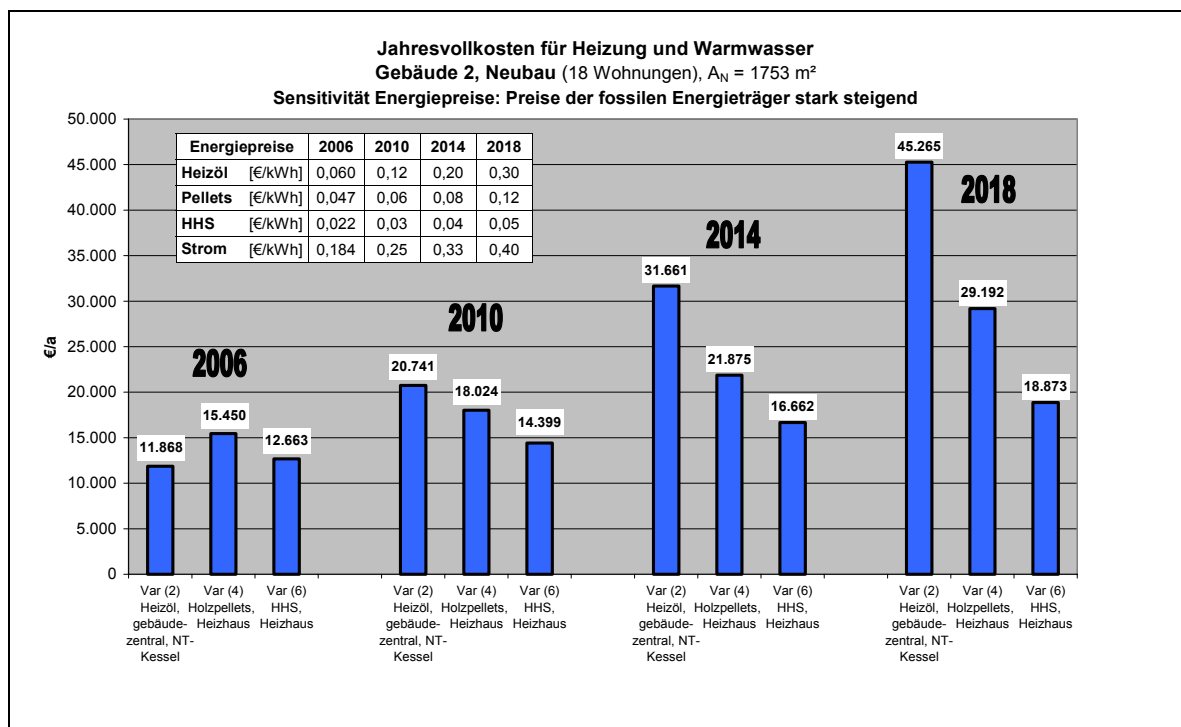


Abbildung 61 Gebäude 2, Jahresvollkosten, Sensitivität „fossile Energiepreise stark steigend“

Sensitivität Zins 8 statt 5 % und Investitionsbeträge \pm 30 %

Die Jahreskosten würden durch eine Erhöhung des Zinssatzes bei allen Varianten steigen, jedoch bei den kapitalintensiveren Biomasse-Anlagen stärker als bei den konventionellen Anlagen.

Eine Variation der Investitionsbeträge wirkt sich bei einer Steigerung um 30 % vor allem auf die HHS-Varianten aus, weil deren Kosten dann nicht mehr überwiegend durch die Energiekosten bestimmt werden. HHS-Varianten sind also „baukostenanfällig“. Auf der anderen Seite wirken sich niedrigere benötigte Investitionsbeträge gerade auf die HHS-Anlagen aus; während die Jahreskosten konventioneller Systeme nur unerheblich beeinflusst werden.

Sensitivität Förderung

Die Förderung des Bundes wirkt sich auf die Investitionsbeträge und den Zins aus. Da die Jahreskosten nur zu einem verhältnismäßig geringen Teil von Investitionsbeträgen bestimmt werden (im Wesentlichen aber durch die Energiekosten), wirkt sich letztlich die Förderung bei diesem Gebäude nur sehr geringfügig auf die Jahreskosten aus. (- 200 € bei den Pelletsanlagen, - 70 € bei den HHS-Anlagen).

Ökologische Ergebnisse

Der Endenergiebedarf eines mit Biomasse beheizten Gebäudes liegt höher als bei Beheizung mit Erdgas bzw. Heizöl, sofern bei Heizöl und Erdgas hier die heute übliche Verbrennungstechnik eingesetzt wird. Der Grund liegt im schlechteren Wirkungsgrad und auch im höheren Hilfsenergiebedarf eines Biomassekessels. Ein schlechter Wärmeschutz eines Gebäudes kann durch einen Biomassekessel nicht wettgemacht werden! Im Gegenteil, der Endenergiebedarf eines Gebäudes mit schlechtem Wärmeschutz und Biomasse-Kessel liegt etliche Prozentpunkte höher als bei einem Gebäude mit schlechtem Wärmeschutz und üblichen (NT- oder BW-)Heizöl- oder Erdgas-Kessel. Auf einen geringen Wärmebedarf darf also in keiner Weise verzichtet werden.

Ökologisch gesehen kommt es auch auf den Primärenergiebedarf an und dieser liegt bei Wohngebäuden mit Holzpelletsheizanlagen bei weniger als einem Drittel des Bedarfs einer Beheizung mit fossilen Brennstoffen.

Die EnEV und die zugehörige DIN V 4701-10 sind noch kein leicht handhabbares Instrument, um den Primärenergiebedarf für Gebäude, die eine Gesamtnutzfläche von mehr als 500 m² aufweisen, für Biomasse-Heizsysteme ebenso leicht zu berechnen wie für konventionelle Heizungen. Dies sollte schnell geändert werden, um den Einsatz von Biomasse bei solchen größeren Gebäuden nicht zu behindern.⁵³

Die CO₂-Emissionen der Biomasse-Brennstoffe Holzpellets und HHS wurden hier nicht näher berechnet. Sie liegen jedoch bedeutend unter den CO₂-Emissionen fossiler Brennstoff-Heizanlagen, weil die Verbrennung von Biomasse als fast CO₂-neutral gilt. Es wird bei der Verbrennung in Heizanlagen nicht mehr CO₂ freigesetzt als bei der bakteriellen Zersetzung von Holz, jedoch erfordert die Konditionierung und der Transport der Biomasse sowie der Betrieb der Anlagen den Einsatz von Zusatz-Energie und verursacht damit

⁵³ Für Holzpelletskessel gibt es nur Tabellenwerte bis zu einer A_N-Fläche von 500 m²; Hilfsenergie ist nur zum Teil enthalten. Für HHS, Stroh und Strohpellets gibt es keine Tabellenwerte für Kessel und Hilfsenergie.



CO₂-Emissionen – allerdings nur in geringem Umfang und soweit die Zusatzenergie nicht mit regenerativer Energie hergestellt wird.

Bei der Verbrennung von Biomasse gibt es dennoch einen Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Luftreinhaltung:

- Für den Schutz des Klimas ist die energetische Nutzung von Biomasse positiv,
- Für die Reinhaltung der Luft sind bei der Holzfeuerung höhere Emissionen bei CO, NO_x und Feinstaub im Vergleich zu Öl- und Gasheizungen zu beobachten. Unter den Holz- und Strohheizungen weisen Pelletsheizungen i.d.R. die geringsten Emissionen auf.

Feinstaub stellt dabei insbesondere bei älteren Holzheizungen eine Problematik dar, weniger bei neuen Anlagen. Holzpelletsanlagen schneiden hier besser ab als HHS-Anlagen, ganz zu schweigen von Strohfeuerungsanlagen. Ferner lassen sich die Emissionen – insbesondere Feinstaub – durch Holzpellets mit dem DIN-Certco-Zeichen reduzieren.

In den dicht besiedelten Kernbereichen von Großstädten ist es aus baulichen und logistischen Gründen ohnehin schwierig, Heizanlagen mit fester Biomasse zu integrieren. Dies liegt an der dichten Bebauung und den i.A. kaum vorhandenen räumlichen Möglichkeiten für die kostengünstige Lagerung der Brennstoffe. Gleichzeitig kommt es in diesen Kernbereichen insbesondere aufgrund des Fahrzeugverkehrs zu einer gravierenden Feinstaubbelastung. Deshalb erscheint es ratsam, in solchen Gebieten nicht die Feinstaubbelastung durch den zusätzlichen Einsatz von Heizanlagen mit fester Biomasse zu verstärken, sondern in solchen Gebieten primär eine Fernwärmeversorgung mit KWK zu forcieren. Biomasse-Heizanlagen erscheinen sinnvoller in Gebieten, in denen die Feinstaub-Problematik nicht gravierend ist.

Durch die geplante Änderung der 1. BImSchV – die möglicherweise 2008 in Kraft treten wird – sind deutlich niedrigere Grenzwerte für Staub und CO geplant. Wenn Biomasseheizungen diese künftigen Grenzwerte einhalten – sei es durch Filtertechniken oder Verbrennungsprinzip – werden negative Auswirkungen auf die Gesundheit kaum noch Thema sein.

Mietrecht

Nach dem Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) § 554 ff besteht seitens der Mieter eine Pflicht der Duldung der Umstellung der Beheizung eines Wohngebäudes, wenn eine Energieeinsparung erreicht wird. Das BGB definiert nicht, welche Art an Energie gemeint ist (Primär-, Sekundär- oder Endenergie). Die Systematik der vom Hauseigentümer einzuhaltenden Energieeinsparverordnung des Bundes stellt jedoch auf Primärenergie ab. Eine Primärenergieeinsparung ist nach den Berechnungsregeln der Energieeinsparverordnung vorhanden, wenn fossile Energieträger wie Heizöl oder Erdgas durch Biomasse substituiert werden. Es besteht also eindeutig eine Duldungspflicht der Umstellung eines fossilen Heizsystems auf ein Biomasse-Heizsystem.

Die Kosten der Umstellung der Heizung auf Biomasse sind nach BGB § 559 dann umlagefähig, wenn es zu einer Komfortverbesserung oder einer nachhaltigen Einsparung von Energie kommt. Eine Komfortverbesserung ist dann gegeben, wenn eine Ofenheizung auf eine Gebäudezentralheizung (egal mit welchem Brennstoff) umgestellt wird. Für den Fall einer Modernisierung einer vorhandenen Zentralheizung durch eine andere Heizung muss eine nachhaltige Einsparung von Energie gegeben sein. Hier hat es in jüngster Zeit ein

Urteil des Bundesgerichtshofs⁵⁴ gegeben: Danach kommt es bei der Umlagefähigkeit der Kosten nicht auf eine Kosteneinsparung an, sondern vielmehr auf volkswirtschaftliche und Umwelt-Interessen bzgl. der Energieeinsparung. Diese sind bei einer Umstellung auf Biomasse eindeutig gegeben, vgl. die Klimaschutzziele der Europäischen Union vom März 2007, bis zum Jahre 2020 20 % des Energiebedarfs durch regenerative Energien decken zu wollen.

Betrachtungsebene „Umfeld“

Die Betrachtungsebene der Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden sowie der EnEV ist das einzelne Gebäude. Dies ist bei großen Mehrfamilienhäusern nur für die Planung des Wärmeschutzes die geeignete Ebene, nicht aber für die Planung der Versorgung mit Wärme! Für ein einzelnes Gebäude kann eine gebäudezentrale konventionelle Heizung ökonomisch günstiger sein als eine Biomasse-Heizung. Es kann auch sein, dass eine Biomasse-Heizung in einem einzeln betrachteten Gebäude räumlich nicht unterzubringen ist. Bei der Prüfung von Biomasse für die Wärmeversorgung⁵⁵ ist es deshalb sinnvoll, das Umfeld zu berücksichtigen, wobei unter „Umfeld“ sowohl die umliegende Bebauung als auch die geographische Lage (Nähe zu Wald oder Stroh erzeugender Landwirtschaft) verstanden werden muss. Bei einer Novellierung der EnEV (2010) und auch bei künftigen Änderungen des Baugesetzbuches sollte eine entsprechende „Umfeld“-Betrachtungsebene vorgesehen werden, um die Einsatzmöglichkeiten von Biomasse sinnvoller prüfen zu können.

Fazit

Holzpellets- und Holzhackschnitzelheizanlagen sind für die Wärmeversorgung von Wohngebäuden > 1.000 m² technisch und ökonomisch grundsätzlich geeignet. Bei Stroh und Strohpellets ist dies derzeit noch nicht gegeben. Im Einzelfall ist eine Reihe von Kriterien zu prüfen, zu denen die Einbringung und Unterbringung des Kessels, die Brennstofflagerung und -zufuhr und die Anlieferung des Brennstoffs gehören. Die Jahreskosten der Energieversorgung hängen im Wesentlichen von den Brennstoffpreisen ab. Da diese im hohen Maße unprognostizierbar sind, bestehen nicht unerhebliche Bandbreiten. HHS-Anlagen sind bei Vorliegen günstiger baulicher Voraussetzungen wirtschaftlich machbar; Holzpelletsanlagen führen dagegen derzeit (auch mit Bundesförderung) i.d.R. noch zu höheren Jahreskosten als Heizanlagen mit konventionellen Brennstoffen. Eine der Ursachen ist der erheblich gestiegene Holzpelletspreis.

⁵⁴ Urteil des BGH vom 3.2.2004.

⁵⁵ wie auch bei der Prüfung von KWK



6. Abkürzungsverzeichnis und Definitionen

Festmeter (Fm)	Maßeinheit für die Holzmasse (Stammholz), die dem Rauminhalt eines Kubikmeters entspricht
Gesamtnutzfläche	Mangels einer Definition des Begriffs „Gesamtnutzfläche“ in der EU-Richtlinie, im [EnEG 2005] bzw. in der bisherigen [EnEV 2004] wird in diesem Projekt unter „Gesamtnutzfläche“ die „Gebäudenutzfläche A_N “ in m^2 verstanden, wie sie in [EnEV 2004] im Anhang 1 für Wohngebäude definiert ist als $A_N = 0,32 m^{-1} * V_e$. Dabei ist V_e das beheizte Gebäudevolumen.
HHS	Holz hackschnitzel
Holzfeuchte	Die Holzfeuchte ist die in vom Hundert angegebene Masse an Wasser bezogen auf die absolute Trockensubstanz. Frisches Waldholz hat eine Holzfeuchte von 50-70 %; Bauholz unter 20 %. Brennholz hat auch nach mehrjähriger Lagerung kaum unter 20 % Holzfeuchte.
Raummeter (Rm)	(auch Ster genannt). Maßeinheit für einen Kubikmeter aufgesetztes oder geschichtetes Holz unter Einschluss der Luftzwischenräume. Gebräuchlichste Einheit beim Handel mit Brennholz.
Schüttraummeter (Srm)	Der Schüttraummeter entspricht einer lose geschütteten Holzmenge von einem Kubikmeter. Schüttraummeter ist kein amtliches Maß.
Wassergehalt	Der Wassergehalt von Holz ist die in vom Hundert angegebene Masse an Wasser in Bezug auf die Gesamtmasse

7. Literatur

- [1. BImSchV] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Zuletzt geändert am 14.8.3003. BGBl. I 2003, 1614.
- [22. BImSchV] Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes. Vom 11. September 2002. In: BGBl. I 2002, 3626.
- [96/62/EG] Richtlinie 96/62/EG vom 27.9.1996 („Rahmenrichtlinie Außenluftqualität“). In ABl. EG L 296 S. 55 vom 21.11.1996.
- [1999/30/EG] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft („EU-Feinstaubrichtlinie“). ABl. L 163 vom 29.6.1999, S. 41.
- [Agrarplus 2007] AGRAR PLUS Beteiligungs gmbH, St. Pölten.
<http://www.agrarplus.at/kennzahlen.stroh.php> vom 27.2.2007.
- [Agroflamm 2006] Agro 40. Oktober 2006. Overath. In:
http://www.agroflamm.de/agroflamm_06_07/downloads_pdf/A4_12Seiter.pdf vom 27 2 2007
- [BA 2007] Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Vom 12. Januar 2007. In: Bundesanzeiger 2007. Nr. 14 vom 20.1.2007. S. 702-703.
- [Bensmann 2006] Bensmann, M. Das kesselt. In: neue energie 02/2006. S. 60 – 64.
- [Berner 2005a] Berner, J. Holzfeuer am laufenden Band. In: Sonne Wind & Wärme, Heft 12. 2005. S. 88.
- [Berner 2005] Berner, J. Gepresste Energie. In: Sonne Wind & Wärme, Heft 2. 2005. S. 68-72.
- [BGW Neubau 2003] Heizkostenvergleich für den Neubau. Herausgeber: BGW Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin. 2003.
- [BGW Altbau 2006] Heizkostenvergleich Altbausanierung. Herausgeber: BGW Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V. Berlin. 2006.
- [BKartA 2007] Pressemitteilung vom 3.1.2007 nebst Statistik für verschiedene Abnahmemengen. Hrsg.: Bundeskartellamt. Januar 2007.
- [BKI G1 2006] BKI Objektdaten: Kosten abgerechneter Bauwerke - Technische Anlagen mit statistischen Kostenkennwerten G1 Technische Gebäudeausrüstung. Hrsg.: Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern. Stuttgart. 2006.

Literatur

- [BKI B2 2006] BKI Baukosten 2006. Teil 2. Statistische Kostenkennwerte für Bauelemente. Hrsg.: Baukosteninformationszentrum Deutscher Architektenkammern. Stuttgart. 2006.
- [Block 2005] Block, K. Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Vortragsfolien . 2005.
- [Block 2005b] Getreide- der Strohpelletsheizung – eine Alternative zu Öl und Gas? Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. Vortragsfolien . 2005
- [BMU 2003] Fischer, A. Dürrschmidt, W. Zimmermann, G. Stein, C. Dreher, B. Paschedag, U. Nutzung von Biomasse in Kommunen. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. 2003
- [BMU 2005a] Feinstaub. Magazin des Bundesumweltministeriums. Hrsg. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin. April 2005.
- [BMU 2005b] Trittin, J. Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit im Vorwort des Magazins „Feinstaub“ des Bundesumweltministeriums. Berlin. April 2005.
- [Brökeland 2005] Brökeland, Ruth. Fragen und Probleme der Stroh- und Getreideverbrennung. C.A.R.M.E.N. Facharbeitskreis Biomasse. Köllitsch. 2005.
- [Clausnitzer u.a. 2004] Clausnitzer, K.-D., Kleinhempel, A.-K. Ersatz alter Gasetagenheizungen: Vergleich von Modernisierungsvarianten. Abschlussbericht des Forschungsvorhabens Z 6- 5.4.02.14 / II 13-80 01 02-14 der Bundesanstalt für Bauwesen und Raumordnung. IRB-Verlag. Karlsruhe. 2004.
- [CARMEN 2005] Heizen mit Scheitholz und Holzhackschnitzeln. Hrsg.: Carmen eV. 2005.
- [CARMEN 2007a] <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/pellets/pelletpreise.html> vom 19.02.2007. Hrsg.: CARMEN e.V.
- [CARMEN 2007b] <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/bezugsquellen/hackschnipreise.html> vom 19.2.2006. Hrsg. CARMEN e.V.
- [CARMEN 2007c] <http://www.carmen-ev.de/dt/energie/images/pelpreis05.gif> vom 19.2.2007. Hrsg. CARMEN e.V.
- [DEPV 2005 a] Deutscher Energie-Pellet-Verband e.V. www.depv.de/presse/presse_arch.html. Homepage vom 21.11.2005.
- [DEPV 2005 b] DEPV informiert: Empfehlungen zur Lagerung von Holzpellets. Informationsblatt 01-2005A. Hrsg.: Deutscher Energie-Pellet-Verband e.V.
- [DIN 51731] DIN 51731:1996-10. Preßlinge aus naturbelassenem Holz. Anforderungen und Prüfung. Hrsg.: DIN. Beuth Verlag. Berlin. Oktober 1996.

- [DINplus] DIN Certco. DINplus Zertifizierungsprogramm Holzpellets zur Verwendung in Kleinfeuerstätten nach DIN 51731 – HP 5. Berlin. Stand Januar 2004.
- [DIN V 4701-10] DIN 4701-10:2003-08. Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen. Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung. Hrsg.: DIN. Beuth Verlag. Berlin. August 2003.
- [DIN CERTCO 2004] DIN CERTCO. Gesellschaft für Konformitätsbewertung. Zertifizierungsprogramm Holzpellets zur Verwendung in Kleinfeuerstätten. Stand Januar 2004. In: http://www.dincertco.de/de/produkte_und_leistungen/produkte/heiz_und_raumluftechnik/images/Holzpellets.PDF vom 9.1.2006.
- [Ecofys 2005] ECOfys GmbH, Köln. Hrsg. der Internet-Seite <http://www.bioxchange.de/Marktinformationen/tabid/491/Default.aspx>. Homepage vom 22.11.2005
- [EnEG 2005] Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden. BGBl. I 2005 2684.
- [EnEV 2004] Energieeinsparverordnung in der Fassung vom 2.12.2004. BGBl. I 2004 Nr. 64 vom 7.12.2004.
- [Entw 1. BImSchV 2007] Entwurf der Novellierung der 1. BImSchV vom 28.2.2007. Arbeitsentwurf. Unveröffentlichtes Manuskript.
- [E.V.A. 2002] Holzheizungen im verdichteten Wohnbau. Hrsg.: The Austrian Energy Agency. Wien. 2002.
- [EU-2002-91] Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden. In: AbL der Europäischen Gemeinschaften vom 4.1.2003. L 1 S. 65.
- [EU 2005] Aktionsplan für Biomasse. Mitteilung der Kommission der Europäischen Gemeinschaften. Brüssel. KOM(2005) 628 endgültig. Brüssel. 7.12.2005
- [Fischer et al. 2004] Fischer, J. Jahraus, B, Heinrich, P. Investitionskosten von Bioenergieanlagen. In: Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Hrsg.:FNR. Gülzow. 2004.
- [FJ BLT Wieselburg 2007] NN von der FJ BLT Wieselburg (Österreich). Energie aus fester pflanzlicher Biomasse. In: Der Rauchfangkehrer. Heft1. 2007. S. 5-8.
- [Flühe 2002] Flühe, D. Praxistips für die Pelletsheizung. In: sbz 22/2002.
- [FNR 2007] Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Hrsg.: FNR und Hartmann. 2. Auflage März 2007.
- [Gerlinger 2005] Vortragsfolien 2005. Fa. Gerlinger. Waldhausen. 2005.

- [Geschermann 2004a] Geschermann, Bernd. Holzpellets – Heizen mit Zukunft und Komfort. Teil 2: Planung und Auswahl der Kesselanlage. In: IKZ-Haustechnik. Heft 12/2004. S. 44-47.
- [Geschermann 2004b] Geschermann, Bernd. Holzpellets – Heizen mit Zukunft und Komfort. Teil 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Förderbedingungen. In: IKZ-Haustechnik. Heft 20/2004. S. 36-38.
- [GEWOBA 2007] pers. Auskunft Wohnungsgesellschaft GEWOBA. Bremen. 2007.
- [Gilles 2006a] Hrsg.: Fa. Gilles (Kesselhersteller).
www.gilles.at/deutsch/news/wellnesshotel.html vom 27.4.2006
- [Gilles 2006b] Firmenprospekt „Gilles HPK-RA Pelletsheizungen 29-145 kW“. Hrsg. Gilles Energie- und Umwelttechnik GmbH. Gmunden. 2006.
- [Gilles 2006c] Firmenprospekt „Gilles Pellets Austragesysteme“ . Hrsg.: Gilles Energie- und Umwelttechnik GmbH. Gmunden. 2006.
- [Gilles 2006d] Firmenprospekt „Gilles Hackschnitzel Austragesysteme“. Hrsg. HPK-RA Hackschnitzelheizungen“. Gilles Energie- und Umwelttechnik GmbH. Gmunden. 2006.
- [Gilles 2006e] Firmenprospekt „Gilles“. Hrsg.: Gilles Energie- und Umwelttechnik GmbH. Gmunden. 2006.
- [Glettler 2006] Glettler, R. Kostenübersicht. Vergleich der Investitions- bzw. der laufenden Kosten pro Jahr. Hrsg. Regionalenergie Steiermark. 36. KW 2006. Download am 15.9.2006 unter www.holzenergie.net, > Förderung/Kosten, > Kostenvergleich, Kostenvergleich für Privathaushalte
- [Grebe 2001] Grebe, Armin. Pellets-Fördersysteme. In: Die neue Quadriga 6/2001. S. 24-26.
- [Grebe 2005] Grebe, Armin. Brösel im Pelletlager. Die Qualität von Holzpellets. In : Holzbau 1/2005. S. 17-21.
- [Grubert 2006] Grubert, C. Architekt in Hannover. pers. Mitteilung v. 3.5.2006.
- [HANEG 2005] Machbarkeitsstudie: Die Bewirtschaftung von extensivem Feuchtgrünland - neue Perspektiven für die Nutzung in Grassaffinerien und Biogasanlagen. Hrsg.: Hanseatische Naturentwicklung GmbH. Bremen. 2005.
- [Hansen 2005] Hansen, H. Marktübersicht Pellet-Zentralheizungen und Pellet-Öfen. Hrsg.: Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow. 2005.
- [Hansen] Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Hrsg.: FNR und Hansen.
- [Hartmann u.a. 1995] Hartmann, H. Strehler, A. Die Stellung der Biomasse. Schriftenreihe Nachwachsende Rohstoffe. Band 3. Münster. 1995

- [Hartmann 2001] Hartmann, H. Die energetische Nutzung von Stroh und strohähnlichen Brennstoffen in Kleinanlagen. In: Gülzower Fachgespräche Band 17. Energetische Nutzung von Stroh, Ganzpflanzengetreide und weiterer halmgutartiger Biomasse. Hrsg. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe. Gülzow. 2001.
- [Hartmann u.a. 2003b] Hartmann, H. u.a.. Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen. Kompetenzzentrum für nachwachsende Rohstoffe Straubing / FNR. 2003.
- [Hartmann u.a. 2003] Hartmann, H. Schmidt, V., Link, H. Untersuchungen zum Feinstaubausstoß von Holzpellettheizungsanlagen kleiner Leistung. Hrsg.: Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe. Berichte aus dem TFZ. 4. Straubing. 2005.
- [Hegner 2002] Hegner, H.-D., Vogler, I. Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert. Berlin. 2002.
- [Hegner 2005] Hegner, H.-D. Hauser, G. Vogler, I. ENEV-Novelle 2004 – für die Praxis kommentiert. Ergänzungsband. Berlin. 2005.
- [Helmstädter 2004] Helmstädter, E. Umsetzung der EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden Teilvorhaben 2: Berücksichtigung von alternativen Heizsystemen – Methodik - (Endbericht/ Diskussionsmaterial). Hrsg.: Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken. Berlin. 2004. Gefördert durch Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung. Az Z6-4.4-02.111.
- [hessenEnergie 2002 ff] Bearbeitung: Energieagentur hessenEnergie. Diverse Projektblätter zu ausgeführten Anlagen. Hrsg. Hessisches Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten. Wiesbaden 2002 ff.
- [hessenEnergie 2005] Energienutzung aus Holzhackschnitzeln. Fachtext 11.3 vom August 2005. Hrsg. hessenEnergie. Wiesbaden 2005.
- [hessenEnergie 2005b] Heizen mit Holz – für kleine und mittlere öffentliche Gebäude – hier: Ausschreibungspaket. Hrsg.: HessenEnergie. August 2005.
- [Hirscher 2004] Hirscher, S. Heizen mit Holzpellets – Monovalente Pellettheizanlage im Kloster Schlehdorf. In: Technik am Bau. TAB Heft 4. 2004. S. 8.
- [Hottgenroth 5.10e 2006] Energieberatungssoftware „Der Energieberater“. Version 5.10.e. Hrsg. Fa. Hottgenroth. Köln. 2006.
- [Jahraus, Heinrich 2000] Jahraus, B., Heinrich, P. Investitionskosten von Bioenergieanlagen. In: Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Kap. 6 Kosten und Wirtschaftlichkeit. FKZ 97 NR 022 des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. 2000.
- [Jacobs 2003] Jacobs, U. Holzhackschnitzel, – der klimafreundliche Brennstoff für größere Liegenschaften. In: <http://www.ben->

Literatur



- online.de/detail.html?button-Common_storyContentDetail-find=&a-Common_storyContentDetail-id=461&a-Common_OpenTree-att_NodeID=42&button-Common_OpenTree-open_tree=&j6pb-id=wd4fdaab8daef102d62fcc3bb3e12bcf09a862482bc. Homepage vom 2.12.2005
- [Jacobs 2005] Jacobs, U. Staubemissionen von Holzheizanlagen. In: http://www.ben-online.de/download/591/Staubemissionen_Holzheizanlagen.pdf vom 2.12. 2005
- [Jena o.J.] Das Jenaer Bioheizwerk der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Betriebs- und Forschungsergebnisse 1995 bis 1997.
- [Kaltschmitt u.a. 1993] Kaltschmitt, M. Sauer, N. Vergleichende Kostenanalyse einer Öl- und Holzheizung. In: Zweites Symposium Biobrennstoffe und umweltfreundliche Heizanlagen. Hrsg. OTTI. Regensburg. 1993
- [Kaltschmitt o.J.] Kaltschmitt, M. Kosten der Bioenergie – Rohstoffe und Anlagen. In: Biomasse – nachwachsende Energie aus Land- und Forstwirtschaft. Hrsg.: CMA. Bonn. o.J.
- [KfW 2007] KfW Förderbank. http://www.kfw-foerderbank.de/DE_Home/Bauen_Wohnen_Energiesparen/Darlehenprogramme_fuer_Wohnimmobilien/CO2-Minder14/Frderbedin.jsp vom 26.1.2007
- [Knecht 2004] Knecht, T. Holzpellets in Großanlagen. In: TGA Fachplaner Heft 10. 2004. S. 54.
- [KWB 2005] Firmenprospekt KWB „Pelletskessel USP 10-30 kW, USV D 40-100 kW, Technik und Planung“. St. Margarethen. 2005.
- [Lahl 2005] Lahl, U. (Ministerialdirektor im BMU). Feinstaub - eine gesundheitspolitische Herausforderung. Vortrag vom 17.3.2005. In: www.bmu.de, dort: Downloads.
- [Lammer 2006] Lammer, H. Geschäftsführer Regionalenergie Steiermark. Pers. Mitteilung Juni 2006.
- [Lange u.a. 2007] siehe www.strohpellets.de vom 27.2.2007, dort unter Factsheets, Emissionswertanalyse.
- [Langer u.a. 2004a] Langer, Riebeling, Tennagels (Höhere Forstbehörde NRW). Auswertung der Fragebogenaktion zu automatisch beschickten Holzfeuerungsanlagen. 1. Teil: Evaluierung des Pelletmarktes in NRW für die Jahre 1998 – 2003.. Bonn. 2004. In: <http://www.forst.nrw.de/nutzung/energie/holzpellets.pdf>
- [Langer u.a. 2004b] Langer, Riebeling, Tennagels (Höhere Forstbehörde NRW). Auswertung der Fragebogenaktion zu automatisch beschickten Holzfeuerungsanlagen. 2. Teil: Evaluierung des Pelletmarktes in NRW für die Jahre 1998 – 2003.. Bonn. 2004. In: <http://www.forst.nrw.de/nutzung/energie/holzhackschnitzel.pdf>
- [Langniß u.a. 2006] Langniß, Böhnisch, Buschmann, Musiol, Hartmann, Reisinger, Höldrich, Turowski, Pauschinger. Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Markt-

- anreizprogramm) im Zeitraum Januar 2004 bis Dezember 2005. Stuttgart/Straubing. 2006.
- [Launhardt 1994] Launhardt, T. Dioxinmissionen von Biomassefeuerungen. In: WKI-Bericht. Fraunhofer-Institut für Holzforschung, Wilhelm-Kluaditz-Institut. S.101 bis 111. Braunschweig.1994.
- [Leitfaden Bioenergie 2002] Leitfaden Bioenergie. Neue Perspektiven für Kommunen und Wohnungswirtschaft. Hrsg. Energieagentur NRW. Wuppertal. 2002.
- [Lexetius 2004] Homepage <http://lexetius.com/2004.715>
- [LWK NRW 2005] Brügger, Block. Günstig heizen mit Holz und Stroh. Hrsg.: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen. 2005
- [Mayrhofer 2006] pers. Mitteilung Bauherr Mayrhofer, Juni 2006.
- [MSV 2006a] pers. Auskunft v. 8.5.2006 von Herrn Schneider, Fa. MSV (Hannover). Bauherr/Betreiber der Anlage.
- [Müller 2005] Müller, W. Konflikt: Klimaschutz contra Luftgüte? In: Energie-ImpulsE. Heft 4/2005. S. 9. Berlin .2005.
- [Pentenrieder 2005] Pentenrieder. Vortragsfolien aus 2005. Einführung Grundlagen Praxis BImSchV. 2005.
- [Petro 2007] pers. Auskunft einer Tankanlagenfirma. 2007.
- [proKlima 2006a] proKlima.
www.klimaschutzagentur.de/visproj/projekte_html/region-projekt-28.html Homepage vom 4. Mai 2006
- [proKlima 2006b] proKlima Hannover. Pers. Mitteilung vom 9.6.2006.
- [proKlima 2006c] http://www.klimaschutz-hannover.de/index.php?id=627&no_cache=1&type=98&uid vom 7.9.2006
- [proPellets Austria 2007] NN. In: Der Rauchfangkehrer. Heft 1. 2007. S. 13.
- [Raab et al. 2004] Raab, K., Schneider, B., Deimling, S. Brennstoffkosten und Brennstoffpreise. In: Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. Hrsg.:FNR. Gülzow. 2004 (?).
- [Raggam 2004] Raggam, A. Klimawandel. Biomasse als Chance gegen Klimakollaps und globale Erwärmung. Hrsg. Ökosoziales Forum Österreich. Wien. 2004
- [Rauchfangkehrer 2005a] Betroffene Bürger fordern restlose Aufklärung und Abkehr von der Fernwärme aus Biomasse. In: Der Rauchfangkehrer. Heft 12/2005, S. 14.
- [Rauchfangkehrer 2005b] Besucheransturm auf der Pellets 2005 in Stuttgart. In: Der Rauchfangkehrer. Heft 12/2005, S. 9.
- [Rauchfangkehrer 2006] Aktionsplan des Schweizer Bundes zur Feinstaubminderung. In: Der Rauchfangkehrer. Heft 11/2006, S. 12.

- [Rauchfangkehrer 2007] NN. Energie aus fester Biomasse. In: Der Rauchfangkehrer. Heft 1/2008, S. 5-8.
- [RE Stm 2002 a ff.] Diverse Anlagen – Beschreibungen. z.B. unter <http://www.regionalenergie.at/Desktopdefault.aspx/tabid-265/>. Hrsg.: Regionalenergie Steiermark und Waldverband Steiermark. 2002 und folgende Jahre.
- [RE Stm 2002 b] Ergebnisbericht Betriebsdatenauswertung von 26 Holzenergie-Contracting-Projekten. Hrsg.: Regionalenergie Steiermark. Weiz. 2002.
- [RE Stm 2006] Der Landwirt als Wärmeverkäufer. Mikronetz- und Objektwärmerversorgung auf Basis Waldhackgut. Hrsg.: Waldverband Steiermark und Regionalenergie Steiermark. Weiz. 2006.
- [Ruegg 2005] Ruegg, P. Feinstaub ist in aller Munde. In: Der Rauchfangkehrer. 12/2005. S. 20.
- [Schlotawa 1994] Schlotawa, M. Strohheizwerk Schkölen. In: Technik am Bau TAB Heft 5. 1994. S. 57-59.
- [Schmitz u.a. 2002] Schmitz. Gerlach. Meisel. Baukosten 2002. Band 2. Essen. 2002.
- [Schulz 2006] Schulz, W. Holzpelletssysteme für Ein-, Zwei- und kleine Mehrfamilienhäuser. Technische Rahmenbedingungen und Wirtschaftlichkeitsaspekte. Sowie_ Schulz, W. Ergänzung zur Untersuchung: Holzpelletssysteme für Ein-, Zwei- und kleine Mehrfamilienhäuser. Bremer Energie-Institut. Bremen 2006.
- [Schwarz 2007] Schwarz, M. Fakten zu Feinstaub aus Pelletheizungen. Austrian Bio Energy. Wieselburg. Download unter http://www.propellets.at/images/content/pdfs/neue_fakten_zu_feinstaub07.pdf, Stand 31.1.2007, vom 7.3.2007.
- [Selbach 2005] Selbach, H.-J. Sonnenenergie aus dem Wald. In: TGA Fachplaner. 3/2005. S. 82-87.
- [SH 2005] Zukünftig Bioenergie in Schleswig-Holstein. Ein Film von Gudrun Kromrey. Hrsg.: Ministerium für Wissenschaft, Wirtschaft und Verkehr des Landes Schleswig-Holstein und Innovationsstiftung Schleswig-Holstein. Kiel. 2005.
- [SHK 2005] Montagezeiten Heizung. Hrsg.: Innung Spengler, Sanitär- und Heizungstechnik München. Stuttgart. 2005
- [STÄWOG 2007] Pers. Auskunft Wohnungsgesellschaft STÄWOG zum Projekt Feldstraße in Bremerhaven. 2007.
- [Stehmeier 2005] Stehmeier, D. Referat zur Feinstaubproblematik. In: Schornsteinfegerhandwerk. 2005. Heft 11. S. 6.
- [Steinkogler 2006] Steinkogler, G. Werksverkaufsleitung Fa. Gilles. Pers. Mitteilung v. Juni 2006.

- [Strehler o.J.] Strehler, A.. Kleinanlagen zur Wärmegegewinnung. In: Biomasse – nachwachsende Energie aus Land- und Forstwirtschaft. Hrsg.: CMA. Bonn. ohne Jahr.
- [Lange u.a. 2007] <http://www.strohpellets.de/> vom 27.2.07
- [Struschka et al. 2003] Struschka, M. Zuberbühler, U. Dreiseidler, A. Dreizler, D. Baumbach, G., Hartmann, H., Schmid, V., Link, H. Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung. Kurzfassung. Texte 41/2003
- [TA Luft 2002] Erste Allgemeine Verwaltungs-Vorschrift zum Bundes-Immissionschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) vom 24.7.2002. In: GMBI. 2002, Heft 25 – 29, S. 511 - 605.
- [test 2005] NN. Nicht auf dem Holzweg. In: test 8/2005, S. 65-69. Hrsg.: Stiftung Warentest. Berlin. 2005.
- [UBA o.J] Jahresbericht 1999. Hrsg.: Umweltbundesamt. Berlin. o.J.
- [UBA 1999] Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes. Abschnitt 4.1. Zusammenfassung, S. 3.
- [UBA 2005] Hintergrundpapier zum Thema Staub/Feinstaub (PM). Umweltbundesamt. Dessau. März 2005.
- [UBA 2006a] Hintergrundpapier: Die Nebenwirkungen der Behaglichkeit: Feinstaub aus Kamin und Holzofen. Hrsg. Umweltbundesamt. 9. März 2006
- [USTG 2006] UStG – Einzelnorm. Anlage 2 zu § 12 Abs. 2. Hrsg. Bundesministerium der Justiz vom 6.1.2006.
- [VDI 2067 Bl. 1] Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen. Grundlagen der Kostenberechnung. VDI 2067. Blatt 1. Hrsg. VDI. Düsseldorf. 2000.
- [Viessmann 2005] Vitotec Preisliste 2005 Gesamtprogramm. Allendorf. 2005.
- [Vormschlag 2003] Vormschlag, G. Wärmeversorgung des Landgutes Pretschen auf Holzhackschnitzelbasis. In: TGA Fachplaner 5-2003. S. 47-49.
- [Werner 2005] Werner, D. Abgasanlagen für Pelletsanlagen. Bericht über seinen Tagungsbeitrag anlässlich des 5. Industrieforums Holzenergie in Stuttgart. In: Der Rauchfangkehrer 12/2005. S. 5.
- [Witt 2005] Holzpellets – ein Wachstumsmarkt in Europa. Ergebnisse und Untersuchungen des EU-Altener Projekts. Bericht über seinen Tagungsbeitrag anlässlich des 5. Industrieforums Holzenergie in Stuttgart. In: Der Rauchfangkehrer. 12/2005. S. 6-7.

Kennzahlen geförderter Holzhackschnitzelanlagen in Hessen

Lfd. Nr.	Inbetriebnahmejahr, im Bau, in Planung	Art der versorgten Gebäude	weitere Art der Versorgung der Gebäude	Gesamtinvestition (inkl. Spitzenlast so Datenmaterial vorhanden)	Gesamtinvestition (exkl. Spitzenlast)	Invest. Biomassekessel (komplett ohne Planung)	Invest. Biomassekessel (komplett inkl. Spitzenlast)	Invest. bauliche Maßnahmen	Planungskosten des Gesamtprojektes (exkl. Spitzenlast)	Nehwärmenetz - so vorhanden und extra ausgewiesen	Sonstiges (z.B. Abbruch, Demontage)	installierte Nennleistung gesamt	installierte Nennleistung Biomassekessel (laut Förderantrag)	mono-, bivalent	anderer Brennstoff	Nutzwärmebedarf	Deckungsanteil Biomassefeuerung
				€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	€ (netto)	kW	kW			MWh/a	%
1	1997	Krankenhaus		188.870,08	153.346,66	98.643,54	27.093,36	22.498,84	27.093,36	0,00	5.112,92	670	420	bivalent	Öl	1.453	90%
2	1998	Schule / Schulzentrum		-	119.539,88	88.348,17	2.877,04	27.098,47	2.877,04	0,00	1.186,20	440	440	monovalent	-	375	100%
3	1998	Krankenhaus		-	861.767,13	531.743,56	61.955,03	245.660,41	61.955,03	0,00	23.008,13	3.500	1.750	bivalent	Öl	9.000	79%
4	2000	Schule / Schulzentrum		-	434.998,10	244.397,52	98.287,27	79.250,24	98.287,27	52.865,06	0,00	1.810	600	bivalent	Gas	2.680	82%
5	2000	Unternehmen		-	58.061,79	48.202,55	9.859,24	9.859,24	0,00	0,00	0,00	175	100	bivalent	Öl	166	80%
6	2000	Neubau- & Wohngebiet	sonstige kommunale Liegenschaft	-	885.813,18	150.831,10	106.604,36	161.056,94	106.604,36	467.320,78	0,00	1.270	400	bivalent	Öl	1.862	70%
7	2001	Schule / Schulzentrum		-	143.161,73	63.911,49	19.940,38	59.309,96	19.940,38	0,00	0,00	100	100	monovalent	-	191	100%
8	2001	sonstige kommunale Liegenschaft		-	397.273,79	223.434,55	56.242,11	51.129,19	56.242,11	66.467,94	0,00	800	800	monovalent	-	1.780	100%
10	2001	Unternehmen		-	181.483,28	62.515,66	15.952,31	100.315,47	15.952,31	2.709,85	0,00	349	140	bivalent	Öl	240	85%
11	2001	Schule / Schulzentrum		-	365.617,67	195.622,83	45.257,00	124.737,84	45.257,00	0,00	0,00	900	300	bivalent	Gas	1.130	83%
12	2001	Krankenhaus		-	789.179,02	360.460,78	129.612,49	276.097,62	129.612,49	0,00	23.008,13	8.500	1.500	bivalent	Öl	7.100	83%
13	2001	Schule / Schulzentrum		-	270.984,70	125.522,16	25.564,59	72.092,16	25.564,59	46.016,27	1.789,52	553	320	bivalent	Gas	480	80%
14	2001	Schule / Schulzentrum		-	120.109,62	79.564,17	16.259,08	24.286,36	16.259,08	0,00	0,00	220	220	bivalent	Gas	360	80%
15	2002	Schule / Schulzentrum		-	401.860,00	204.559,00	47.965,00	103.792,00	47.965,00	46.144,00	0,00	700	300	bivalent	Gas	880	89%
16	2002	Schule / Schulzentrum		458.986,72	435.978,59	216.628,41	50.868,03	103.792,25	50.868,03	62.866,90	0,00	900	300	bivalent	Gas	970	83%
17	2002	Krankenhaus		-	792.502,42	388.581,83	138.046,81	250.533,02	138.046,81	0,00	15.338,76	4.500	1.500	bivalent	Öl/ Gas	5.190	80%
18	2003	Schule / Schulzentrum		-	749.988,50	228.215,13	84.818,81	219.855,51	84.818,81	198.403,83	17.895,22	1.800	700	bivalent	Gas	2.170	84%
19	2003	Schule / Schulzentrum	Hallenbad	-	837.456,00	300.656,00	94.500,00	188.500,00	94.500,00	253.800,00	0,00	3.800	850	bivalent	Gas	5.290	71%
20	2003	sonstige kommunale Liegenschaft		-	194.853,34	72.859,09	25.053,30	53.072,10	25.053,30	43.866,84	0,00	100	100	monovalent	-	120	100%
21	2003	Schule / Schulzentrum		-	139.311,70	97.897,06	4.857,27	31.060,98	4.857,27	0,00	5.496,39	640	320	bivalent	Gas	780	70%
22	2003	Krankenhaus		-	858.970,36	416.702,88	145.716,19	276.097,62	145.716,19	0,00	20.451,68	13.500	1.500	bivalent	Gas	7.800	80%
23	2003	sonstige kommunale Liegenschaft		-	152.058,21	71.631,99	21.474,26	53.839,04	21.474,26	5.112,92	0,00	220	220	bivalent	Öl	240	70%
24	2003	Freibad		-	277.898,00	96.009,00	1.023,00	33.441,00	1.023,00	145.225,00	0,00	580	200	bivalent	Öl	610	75%
25	2003	Schule / Schulzentrum		-	254.500,00	123.700,00	45.000,00	85.800,00	45.000,00	0,00	0,00	1.320	220	bivalent	Gas	410	85%
26	2003	Neubau- & Wohngebiet		779.945,00	731.372,00	273.031,00	90.866,00	214.085,00	90.866,00	153.866,00	0,00	2.842	950	bivalent	Öl	2.570	72%
27	2003	Schule / Schulzentrum		-	421.000,00	193.000,00	42.000,00	100.000,00	42.000,00	66.000,00	20.000,00	1.000	450	bivalent	Gas	989	80%
28	2003	Schule / Schulzentrum		-	329.000,00	182.000,00	54.000,00	75.000,00	54.000,00	18.000,00	0,00	600	250	bivalent	Gas	663	75%
29	2003	Neubau- & Wohngebiet	sonstige kommunale Liegenschaft	630.876,00	600.876,00	107.000,00	87.106,00	60.000,00	87.106,00	346.770,00	0,00	722	400	bivalent	Gas	1.170	75%
30	2004	Schule / Schulzentrum		-	527.424,00	210.002,30	77.556,00	147.334,00	77.556,00	92.531,70	0,00	1.800	400	bivalent	Gas	2.470	80%
31	2004	Neubau- & Wohngebiet		-	908.115,00	259.000,00	117.853,00	134.244,00	117.853,00	397.016,00	0,00	700	350	bivalent	Gas	1.610	80%
32	2004	Schule / Schulzentrum		646.477,45	590.235,36	214.435,81	74.137,32	263.315,32	74.137,32	38.946,89	0,00	1.600	600	bivalent	Gas	1.620	80%
33	2004	Schule / Schulzentrum		-	400.000,00	195.000,00	60.000,00	40.000,00	60.000,00	85.000,00	20.000,00	1.400	300	bivalent	Öl	1.050	80%
34	2004	Schule / Schulzentrum		-	383.500,00	155.000,00	35.000,00	145.000,00	35.000,00	48.500,00	0,00	1.100	450	bivalent	Gas	1.572	80%
35	2004	Schule / Schulzentrum		-	750.000,00	315.000,00	100.000,00	215.000,00	100.000,00	120.000,00	0,00	2.980	800	bivalent	Gas	2.789	80%
38	2004	Schule / Schulzentrum		-	385.000,00	140.000,00	60.000,00	55.000,00	60.000,00	115.000,00	15.000,00	1.060	400	bivalent	Öl	906	80%
40	2005	Hallenbad		-	256.000,00	112.000,00	44.000,00	100.000,00	44.000,00	0,00	0,00	800	220	bivalent	Öl	800	80%

Kennzahlen geförderter Holzhackschnitzelanlagen in Hessen

Anlage 1



Lfd. Nr.	Inbetriebnahmejahr, im Bau, in Planung	Art der versorgten Gebäude	weitere Art der Versorgung der Gebäude	Gesamtinvestition (inkl. Spitzenlast - so Dämmmaterial vorhanden)	Gesamtinvestition (exkl. Spitzenlast)	Invest. bauliche Maßnahmen	Planungskosten des Gesamtrockettes (exkl. Spitzenlast)	Nachwärmnetz - so vorhanden und extra ausgewiesen	Sonstiges (z.B. Abbruch, Demontage)	installierte Nennleistung gesamt	installierte Nennleistung Biomassekessel (laut Förderantrag)	mono-, bi-, multivalent	anderer Brennstoff	Nutzwärmebedarf	Deckungsanteil Biomassefeuerung
40	2005	Hallenbad		-	256.000,00	112.000,00	44.000,00	0,00	0,00	800	220	bivalent	Öl	800	80%
41	2005	Schule / Schulzentrum		354.669,00	282.809,00	164.499,00	25.710,00	0,00	0,00	2.500	750	bivalent	Gas	3.433	73%
42	2005	Schule / Schulzentrum		-	390.500,00	190.000,00	27.000,00	60.000,00	3.000,00	1.520	425	bivalent	Gas	1.450	85%
43	2005	Schule / Schulzentrum		-	200.000,00	114.000,00	25.000,00	0,00	0,00	1.000	350	bivalent	Gas	1.440	80%
44	2005	Schule / Schulzentrum		-	370.000,00	220.000,00	50.000,00	0,00	10.000,00	2.185	850	bivalent	Gas	3.702	85%
45	2005	Schule / Schulzentrum		-	482.580,00	242.580,00	50.000,00	44.600,00	14.900,00	1.270	320	bivalent	Gas	1.910	83%
46	2005	sonstige kommunale Liegenschaft		-	160.300,00	95.800,00	5.500,00	39.000,00	0,00	500	500	monovalent	-	580	100%
47	2006	Schule / Schulzentrum	sonstige kommunale Liegenschaft	-	491.970,00	111.700,00	67.080,00	0,00	0,00	330	320	monovalent	BHKW	459	90%
48	2006	Hallenbad	Freibad	-	247.050,00	184.550,00	12.500,00	0,00	0,00	1.600	800	bivalent	Gas	2.771	70%
49	2006	Privateigentum	Neubau- & Wohngebiet	-	71.950,00	24.526,00	500,00	35.039,00	0,00	120	120	monovalent	-	172	100%
50	in Bau	sonstige kommunale Liegenschaft		-	145.071,00	75.135,00	24.935,00	0,00	0,00	909	300	multivalent	Gas/BHKW	487	54%
51	in Bau	sonstige kommunale Liegenschaft		-	253.776,00	169.600,00	40.178,00	0,00	0,00	1.100	300	bivalent	Gas	1.315	80%
53	in Bau	Unternehmen		-	330.000,00	290.000,00	0,00	0,00	0,00	850	850	monovalent	-	2.672	100%
54	in Bau	Unternehmen	sonstige kommunale Liegenschaft	-	107.900,00	65.800,00	7.000,00	20.100,00	0,00	140	140	monovalent	-	283	100%
57	in Bau	Privateigentum		-	117.850,00	74.600,00	6.850,00	0,00	0,00	185	185	monovalent	-	276	100%
60	in Planung	Unternehmen		-	91.700,00	55.900,00	18.000,00	0,00	2.000,00	172	102	bivalent	Gas	197	70%
61	in Planung	sonstige kommunale Liegenschaft		-	308.100,00	176.000,00	32.600,00	4.500,00	10.000,00	660	220	bivalent	Gas	1.087	70%
62	in Planung	Schule / Schulzentrum		-	77.207,00	62.633,00	8.272,00	0,00	1.313,00	150	150	monovalent	-	182	100%
63	in Planung	Neubau- & Wohngebiet		-	41.838,00	32.467,00	0,00	4.271,00	0,00	110	110	monovalent	-	200	100%
64	in Planung	Privateigentum		-	86.416,00	69.314,00	7.856,00	0,00	4.200,00	150	150	monovalent	-	281	100%
Summe				20.415.435	9.270.212	5.378.575	2.470.262	3.079.666	216.700	79.182	25.692			92.343	
Mittelwert, inkl. fehlender Werte				371.190	168.549	97.792	44.914	55.994	3.940	1.440	467				
Mittelwert pro kW				795	361	208	96	120	8						

Kennzahlen geförderter Holzpelletsanlagen in Hessen

Nr.	Inbetriebnahmejahr im Bau, in Planung	Art der versorgten Gebäude	weitere Art der Versorgung der Gebäude	Gesamtinvestition (inkl. Spitzenlast - so vorhanden) € (netto)	Gesamtinvestition (exkl. Spitzenlast) € (netto)	Invest. Biomassekessel (komplett ohne Planung) € (netto)	Invest. bauliche Maßnahmen € (netto)	Planungskosten des Gesamtprojektes (exkl. Spitzenlast) € (netto)	Nahwärmenetz - so vorhanden und extra ausgewiesen € (netto)	Sonstiges (z.B. Abbruch) € (netto)	Nennleistung Biomassekessel (lt. Antrag) kW	mono-, bi- oder multivalent	anderer Brennstoff	Nutzwärmebedarf MMWh/a	Deckungsanteil Biomassefeuerung %
36	2004	Schule / Schulzentrum		-	305.000	190.000	60.000	45.000	0	10.000	1.150	350 bi	Gas	1.233	80%
37	2004	Schule / Schulzentrum		-	196.000	80.000	25.000	38.000	50.000	3.000	350	mono	-	432	100%
39	2004	Schule / Schulzentrum		-	139.750	48.750	30.000	18.500	42.500	0	490	110 bi	Öl/Gas	515	80%
52	im Bau	Schule / Schulzentrum	Unternehmen	269.000	201.300	156.000	15.000	21.300	0	9.000	1.275	450 bi	Gas	1.103	78%
55	im Bau	sonstige kommunale Liegenschaft		-	75.485	48.677	19.947	6.862	0	0	200	200 mono	-	375	100%
56	im Bau	Neubau- & Wohngebiet		-	83.390	56.000	5.000	6.000	16.390	0	140	140 mon	-	295	100%
58	im Bau	sonstige kommunale Liegenschaft		-	73.260	53.600	13.000	6.660	0	0	120	120 mono	-	108	100%
59	im Bau	Schule / Schulzentrum		-	136.200	102.941	20.877	12.382	0	0	320	320 mono	-	364	100%
	Summe				1.210.385	735.968	188.824	154.704	108.890	22.000	4.045	2.040		4.445	
	Mittelwert, ohne fehlende F&E				151.298	91.996	23.603	19.338	36.297	6.500	506	255			
	Mittelwert pro kW Holz				593	361	93	76	53	11					

Detaillierte Informationen zu den Modellgebäuden

Beispielgebäude 1: Neubau-Mehrfamilienhaus, 37 Wohnungen

Es handelt sich um ein Gebäude, das im Jahre 2007 erstellt wird. Optisch sieht es aus wie zwei Gebäude: sie werden jedoch gemeinsam erstellt und sind im Tiefgeschoss durch die Nutzung von Garagenplätzen und Kellerräumen miteinander verbunden. Es hat drei Vollgeschosse und ein Staffelgeschoss und wird als Massivbau mit Flachdach freistehend in Zeilenbauweise auf einem ehemaligen Gewerbestandort erstellt. Das Ensemble hat eine Gesamtnutzfläche A_N von 4.320 m². Das A/V-Verhältnis beträgt 0,49. 37 Wohnungen mit 2 bis 4 Zimmern werden errichtet mit einer Wohnfläche von 69 bis 120 m². Es gibt fünf Hauseingänge / Treppenhäuser und eine Tiefgarage mit 37 Stellplätzen. Die Treppenhäuser sind dem Gebäude vorgelagert. Die lichte Raumhöhe der Keller beträgt 2,34 m. Das Gebäude liegt innerstädtisch; als Heizung kommt hier üblicherweise Fernwärme (aus KWK) oder Erdgas gebäudezentral zum Einsatz.

Der Grundriss des Kellergeschoss zeigt neben den Tiefgaragen-Stellplätzen und wohnungszugehörigen Abstellräumen noch mehrere Gemeinschaftskeller (Heizräume, Müllräume, Fahrradkeller, Trockenräume).

Schwierigkeiten bei der Realisierung einer Holzheizungsanlage: Aus der Analyse der Grundrisse und der städtebaulichen Situation folgt für dieses Gebäude:

- Es ist möglich, eine Biomasse-Heizanlage im Kellergeschoss an einer Gebäudeseite unterzubringen. Der Abgasweg wäre dann außenseitig am Giebel unterzubringen.
- Die Zufahrt für die Brennstoffversorgung ist vorhanden.
- Für die Biomasse-Brennstoffbevorratung steht kaum Kellerraum zur Verfügung. Eine Nutzung von Kellerräumen als Brennstofflager verdrängt andere Nutzungen wie Trockenkeller, Fahrradkeller und Müllkeller oder aber, diese Nutzflächen oder Kellerräume der Mieter werden verkleinert.
- Technisch wäre auch eine unterirdische Lagerung in einem Bunkerraum außerhalb des Gebäudes oder eine oberirdische Lagerung in einem Anbau neben dem Gebäude möglich. Eine unterirdische Lagerung der Brennstoffe außerhalb der Gebäudeumrissflächen ist nach der Baunutzungsverordnung (des Bundes) möglich bis zur Grundstücksgrenze. Allerdings könnten Bebauungspläne (Ortsgesetze) dieses Recht einschränken.¹
- Ob ein Anbau eines Heizhauses bei diesem Beispielgebäude bauordnungsrechtlich (Abstandsgrenzen, Baulinien, Baugrenzen) tatsächlich möglich wäre, wurde nicht untersucht.

Beispiel-Gebäude 2: Neubau-Mehrfamilienhaus, 18 Wohnungen

Das Gebäude wird im Jahre 2007 in freistehend in L-Form errichtet und erhält 18 Wohnungen von 54 bis 104 m². Es handelt sich um eine Lage im Randbereich einer Großstadt, in der eine aufgelockerte Bauweise üblich ist. Die Rückseite ist leicht terrassenartig ausgebildet. Es wird eine Tiefgarage errichtet. Die Fläche A_N beträgt 1753 m². Das A/V-Verhältnis beträgt 0,48 m⁻¹. Das Gebäude wird in Massivbauweise ausgeführt und erhält ein Flachdach. Die Energieversorgung erfolgt hier üblicherweise über Erdgas.

¹ Auskunft von Dipl.-Ing. K. Koch vom Bauamt Bremen-Nord, 25.1.2007.

Schwierigkeiten bei der Realisierung einer Holzheizungsanlage: Aus der Analyse der Grundrisse und der städtebaulichen Situation folgt für dieses Gebäude:

- Die Zufahrt für die Brennstoffversorgung ist vorhanden.
- Es ist möglich, eine Biomasse-Heizanlage im Kellergeschoss an einer Gebäudeseite unterzubringen. Der schon bisher geplante Abgasweg im Gebäude kann genutzt werden.
- Für die Biomasse-Brennstoffbevorratung steht Kellerraum nur dann zur Verfügung, wenn der neben dem Heizraum vorgesehene Fahrradkeller zur Brennstofflagerung umgenutzt wird oder alternativ ein vorgelagerter unterirdischer Bunkerraum geschaffen werden kann. Bei Nutzung der bisher als Fahrradkeller vorgesehenen Fläche als Brennstofflager müssten Fahrradabstellmöglichkeiten oberirdisch geschaffen werden. Ein Anbau eines Heizhauses wäre bei diesem Gebäude und dem vorhandenen Grundstück aus Platzgründen nicht möglich.
- Eine unterirdische Lagerung der Brennstoffe außerhalb der Gebäudeumrissflächen ist nach der Baunutzungsverordnung (des Bundes) möglich bis zur Grundstücksgrenze. Allerdings könnten Bebauungspläne (Ortsgesetze) dieses Recht einschränken.²

Beispiel-Gebäude 3: Bestands-Mehrfamilienhaus, 30 Wohnungen

Beim Beispielhaus 3 handelt es sich um ein Wohngebäude mit 30 Wohnungen. Es hat 4 Vollgeschosse und Satteldach. Die Fläche A_N beträgt 1.784 m² bei einem A/V-Verhältnis von 0,42. Das Gebäude ist unterkellert und weist drei Treppenhäuser auf. Bisher wird es (rechnerisch) mit Öl-Zentralheizung beheizt (tatsächlich bisher mit Gasetagenheizungen). Geplant ist eine Modernisierung des Wärmeschutzes, der Grundrisse und der Heizungsanlage. Rechnerisch angesetzt wird, dass der Wärmeschutz schon erheblich verbessert wurde.

Das Gebäude steht in einem innerstädtischen Kernbereich einer Großstadt.

Schwierigkeiten bei der Realisierung einer Holzheizungsanlage: Aus der Analyse der Grundrisse und der städtebaulichen Situation folgt für dieses Gebäude:

- Ein Heizraum ist vorhanden und es gibt eine unterirdische Brennstofflagerung für Heizöl.
- Der vorhandene Heizraum kann auch für die Biomasse-Heizanlage verwendet werden. Da die lichte Raumhöhe im Keller (in unterseitig ungedämmten Zustand) 2,10 m beträgt, ist bei der Wahl des Biomasse-Kessels auf diese Raumhöhe besondere Rücksicht zu nehmen. Hierbei ist auch zu beachten, dass die Breite des KG-Flures nur 1,0 m beträgt und Keller-Türen eine Sturzhöhe von 1,90 m haben. Da die Oberkante des Kellerfußbodens ca. 1,60 m unterhalb des Geländeniveaus liegt, gibt es keinen ebenerdigen Ausgang aus dem Keller. Das Anliefern eines Biomasse-Kessels von etwa 60 kW Nennleistung dürfte über die Kellertreppe kaum möglich sein, so dass die Herstellung eines geeigneten Zugangs notwendig ist. Der vorhandene Abgasweg kann saniert werden.

² Auskunft von Dipl.-Ing. K. Koch vom Bauamt Bremen-Nord, 25.1.2007.

Detaillierte Informationen zu den Modellgebäuden

- Schallprobleme (ausgehend vom Heizraum) bestehen für die darüber liegende Wohnung auch bereits beim (rechnerisch) vorhandenen Ölkessel. Allerdings nehmen sie bei Verwendung eines Biomassekessels zu, vor allem wegen der Brennstoffbeschickung. Aufgrund der geringen Höhe des Kellergeschosses ist ein stärkerer Schallschutz nicht ohne Absenkung des Fußbodens möglich. Dies kann zu statischen Problemen führen.
- Kellerraum steht für die Biomasse-Brennstoffbevorratung zur Verfügung, wenn die Nutzung der Kellerräume anders aufgeteilt wird.
- Technisch wäre auch a) eine unterirdische Lagerung in einem Bunkerraum außerhalb des Gebäudes oder b) eine oberirdische Lagerung in einem Anbau neben dem Gebäude möglich. Bei b) müsste allerdings der Heizraum und der Abgasweg verlegt werden.
- Ein ebenerdiger ca. 3 m hoher, bis zu 10 m langer und 3 m breiter Anbau eines Heizhauses / Brennstofflagers ist bei diesem Gebäude an beiden Giebelseiten möglich, sofern bauordnungsrechtliche Gesichtspunkte (Abstandsgrenzen, Baulinien, Baugrenzen) nicht dagegen sprechen. Auch könnten bisher für Garagen genutzte Flächen zum Bau eines Heizhauses verwendet werden. Dann wäre ein freistehender Schornstein von mehr als 20 m Höhe notwendig, was wenig Akzeptanz hervorrufen dürfte und zudem kostspielig ist.

Beispiel-Gebäude 4: Bestands-Mehrfamilienhaus in einem Ensemble (5 * 16 Wohnungen)

Das Beispielgebäude 4 ist eins von fünf nahezu baugleichen viergeschossigen Mehrfamilienhäusern einer Wohnungsgesellschaft in einer Gartenstadt-Siedlung. Alle fünf Gebäude werden 2007 modernisiert. Ursprungsjahr ist 1960; die Wohngebäude haben (ursprünglich) je 16 Wohneinheiten; zwei Läden ergänzen das Ensemble. Die Fläche A_N liegt pro Gebäude knapp unter 1.000 m²; je nach Detailplanung kann sich aber auch ein Volumen über 1.000 m³ ergeben.³ Bei dieser planerischen Unsicherheit ist es also ratsam, von vornherein den Einsatz regenerativer Energien zu berücksichtigen. Das A/V-Verhältnis beträgt 0,51.

Es handelt sich um Massivbauweise mit schwach geneigtem Satteldach. Die Gebäude sind unterkellert. Im Zuge der Modernisierung wird der Wärmeschutz stark verbessert (14 cm Außenwanddämmung, zusätzliche Dämmung des Dachs, zusätzliche Dämmung der KG-Decke; Einbau Wärmeschutzverglasung).

Das Ensemble steht am Rand einer Großstadt.

Während sich die EnEV auf das einzelne Gebäude bezieht, beziehen sich organisatorische, wirtschaftliche, städtebauliche, architektonische und soziale Überlegungen der Wohnungsgesellschaft auf die Siedlung als Ganzes. Dementsprechend wurden im Zuge der Modernisierungsplanung auch Varianten einer gemeinsamen Wärmeversorgung für die fünf Gebäude geprüft (Mikronetz). Bisher wurden die Wohnungen mit Gasetagenheizungen beheizt; demzufolge gibt es keinen Heizraum.

³ Weil z.B. ein dickerer Wärmeschutz der Außenwände das Volumen und damit die Fläche A_N vergrößert.

Das/die Gebäude lassen sowohl eine Aufstellung einer Biomasse-Heizung im Keller als auch in einem angebauten Heizhaus zu. Der Einbau eines Biomasse-Kessels in den Keller erfordert wegen sehr niedriger Raumhöhe (wegen Wärmedämmung der KG-Decke: 1,97 m), Schallproblemen und Problemen der Einbringung des schweren Kessels besondere bauliche Maßnahmen (neuer äußerer Zugang zu einem Heizraum, breite Türen, Absenkung des Fußbodens), die sich Kosten erhöhend auswirken.

Schwierigkeiten bei der Realisierung einer Holzheizungsanlage: Aus der Analyse der Grundrisse und der städtebaulichen Situation folgt für dieses Gebäude:

- Es ist möglich, eine Biomasse-Heizanlage im Kellergeschoss an einer Gebäudeseite unterzubringen. Der Abgasweg wäre dann außenseitig am Giebel unterzubringen. Diese Unterbringung erfordert jedoch einige baukonstruktive Maßnahmen.
- Für die Biomasse-Brennstoffbevorratung steht kaum Kellerraum zur Verfügung. Die Nutzung von Kellerräumen als Brennstofflager wirkt sich auf andere Nutzungen aus: Entweder es entfallen Nutzungen, oder diese Nutzflächen werden verkleinert oder Kellerräume der Mieter werden verkleinert.
- Technisch wäre auch eine unterirdische Lagerung in einem Bunkerraum außerhalb des Gebäudes oder eine oberirdische Lagerung in einem Anbau neben dem Gebäude möglich. Ob ein Anbau eines Heizhauses bei diesem Beispielgebäude baurechtlich (Abstandsgrenzen, Baulinien, Baugrenzen) tatsächlich möglich wäre, wurde nicht untersucht.
- Die Realisierung eines Heizhauses an einem der Giebelwände erscheint bei diesem Gebäudeensemble als günstigste Lösung (tatsächlich wird zurzeit bei der Modernisierung dieser Gebäude ein Heizhaus zur Unterbringung eines BHKW errichtet und ein Nahwärmenetz hergestellt).

Preise von Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen

inkl. 19 % MwSt., Preisstand 2007

zu Gebäude 1, Variante 1		ca. 124 kW, AN = 4320 m²	
Erdgas-Brennwert-Kessel			
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 1 (10 Whg), 2003, inkl. WW-Speicher, 30 kW. 12.000 € inkl. 16 % MwSt. inkl. Montage.	13.570 €
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 2 (11 Whg), 2003, inkl. WW-Speicher, 30 kW. 12.000 € inkl. 16 % MwSt. inkl. Montage.	13.570 €
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 3 (30 Whg), inkl. WW-Speicher, 60 kW. 22.100 € inkl. 16 % MwSt. inkl. Montage.	24.989 €
	[Viessmann 2005]	Vitocrossal 300, 130-142 kW. 12294 €. ohne Montage.	13.231 €
	[SHK 2005]	1100 Minuten. Preisstand 2007 (eig. Schätzung): 47,60 €/Std.	875 €
	[BGW Neubau 2003]	ca. 1.000 m ² AN, (ca. 30-40 kW), 12 WE.	4.900 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	Kostentabelle Sanierung 150 kW. 14.200 € inkl. Deinstallation. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	14.700 €
	[BKI G1 2006]	S. 386 bis 391. Kostengruppe 421 Wärmeerzeugungsanlagen für Brennwertkessel + Zubehör. Gebäude ab 800 m ² BGF. 13 Objekte ohne Solaranlage. inkl. Zubehör. Preise netto aus II/2006:(3,01 3,51 5,31 6,89 7,02 7,43 7,71 7,76 7,91 8,54 9,14 12,08 13,86). Arithm. Mittel = 7,43€/m ² BGF. Median: 7,71 €/m ² BGF). Hierbei gibt es das Problem der Umrechnung von BGF auf A _N . Vereinfachend wird hier BGF:A _N = 1:2 angenommen.	20.213 €
	[Helmstädter 2004]	"MFH mittel" (33 Whg.): € inkl. Regelung, Zubehör, Verrohrung, Armaturen, Pumpen, Wärmedämmung der Anlage, Abgasanlage. Preisstand vermutlich 2004. Preis: 12.800 € ohne MwSt.	16.418 €
	[Gewoba 2007]	Kessel , Regelung, Neutralisation, Kondensatpumpe, Montage, Podest, Inbetriebnahme, Verdrahtung 935 €, Abflussleitung Kondensat. Summe netto 10667 €, Preisstand 2006.	12.950 €
gewählter Wert		(ohne WW-Speicher, ohne Deinstallation, ohne Zubehör)	13.500 €
zu Gebäude 1, Variante 2		(ca. 124 kW)	
Heizöl-NT-Kessel			
	[Viessmann 2005]	Gerät Vitoplex 130 kW. Preis 6649 € netto inkl. Regelung. Zuzüglich Montage + Kleinteile.	8.272 €
	[SHK 2005]	1000 Minuten. Preis (eig. Schätzung) Std. = 47,60 € inkl MwSt.	794 €
	[BGW Neubau 2003]	MFH 12 WE, 1.000 m ² A _N für ca. 30-40 kW.	4.960 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	Kostentabelle Sanierung. 7500 € inkl. Deinstallation und Montage. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	7.800 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. 130 kW. 5098 € ohne Montage. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	5.350 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Montage (nur Kessel) 1.500 €. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	1.550 €
	[BKI G1 2006]	S. 386 bis 391. Kostengruppe 421 Wärmeerzeugungsanlagen für Gas/ÖL-NT-Kessel + Zubehör. Gebäude ab 800 m ² BGF. Objekte Preise netto aus II/2006: (10,14 - 13,47). Arithm. Mittel = 11,80 €/m ² BGF. Median: -. Hierbei gibt es das Problem der Umrechnung von BGF auf A _N . Vereinfachend wird hier BGF:A _N wie 1:2 angenommen.	30.937 €
	[BGW Altbau 2006]	MFH 6 WE. Kesselleistung k.A. Preis Wärmeerzeuger 4.200 € inkl. 16 % MwSt.	4.412 €
	[Langniß u.a. 2006]	Heizöl-NT-Kessel 906,53*LN(x kW)+353 - 25 %. ergibt für 124 kW= 3542 € inkl. 16 % MwSt. (Preisstand 2006). Basiert auf 4 Hersteller-Angaben für Kessel von 70 bis 100 kW. Ohne Montage.	3.721 €
gewählter Wert		(ohne WW-Speicher, ohne Deinstallation, ohne Zubehör)	9.000 €
Heizöl-Erdtank			

	[BKI G1 2006]	komplett inkl. Aushub, 5000 l. 4884 €. Preisstand 2006, netto.	5.686 €
	[BGW Altbau 2006]	Batterietanks in vorh. Keller. 7200 € netto. 2006.	8.739 €
	[BGW Neubau 2003]	inkl. sonst. Baukosten, Tank komplett.	13.000 €
	[Schmitz u.a. 2002]	5000 l Erdtank. Preis 2001:4320 €.	4.700 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Stahltank doppelwandig, 20.000 l. Ohne Erdarbeiten. 8.000 €. Preisstand unklar. Inkl.16 % MwSt.	8.400 €
	[Langniß u.a. 2006]	$y = 0,8007 * \text{Tankgröße in Liter} - 86,365$. ergibt bei 20.000 Liter-Tank inkl. 16 % MwSt, - 25 % Rabatt. Ohne Erdaushub.	12.550 €
	eig. Schätzung	Erdaushub, mittelschwerer Boden, Abfuhr, Herstellung Sauberkeitsschicht, Wiederverfüllung Kies und Muttererde, Anpflanzung.	3.000 €
	[Petro 2007]	Doppelwandiger Stahltank, mit Dom und Abdeckung 9535 €, ohne Anlieferung und Einbringen, ohne Erdaushub und Wiederverfüllen, ohne Fundament. Isolationsprüfung 90 €. Einbauüberwachung 575 €. Preisstand 2007. Summe netto 10.200 €.	12.000 €
	gewählter Wert		16.000 €
	Tankzubehör mit Leitungen		
	eig. Schätzung	Graben Tank zum Haus herstellen, Aushub, Abfuhr, Leitungen verlegen, wiederverfüllen, Mauerdurchbruch, Leitungen zum Leckanzeigergerät und zum Brenner, Ölfilter, Ölpumpe, Stromanschluss.	2.500 €
	[SHK 2005]	Installation Tankzubehör. 985 Minuten. Preis (eig. Schätzung) 47,60 €/Std.	781 €
	gewählter Wert		2.500 €
	Leckanzeigergerät		
	eig. Schätzung	Gerätepreis	500 €
	[SHK 2005]	Montagezeit: 80 Minuten pro Stück. Preis (eig. Schätzung) = 47,60 €/Std.	63 €
	gewählter Wert		550 €
	zu Gebäude 2, Var. 1 (Gas, ca. 62 kW), A_N=1753 m²		
	Erdgas-Brennwert-Kessel		
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 1 (10 Whg), 2003, inkl. WW-Speicher, 30 kW. 12.000 €.	13.570 €
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 2 (11 Whg), 2003, inkl. WW-Speicher, 30 kW.	13.570 €
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 3 (30 Whg), inkl. WW-Speicher, 60 kW.	24.989 €
	[Viessmann 2005]	Vitocrossal 300, 70 kW. 6831 €.	7.031 €
	[SHK 2005]	670 Minuten. 1 Std = 47,60 €.	531 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	Kostentabelle Sanierung. 75 kW. inkl. Deinstallation und Montage 11.040 €. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	11.700 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. 66 kW. Preisstand unklar. Ohne Montage. 5213 €. Inkl. 16 % MwSt.	5.600 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Preisstand unklar. Montage. 1500 €. Inkl. 16 % MwSt.	1.600 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Preisstand und MwSt unklar. Zubehör und Kleinteile. 500 €. Inkl.16 % MwSt.	550 €
	[BKI G1 2006]	S. 386 bis 391. Kostengruppe 421 Wärmeerzeugungsanlagen für Brennwertkessel + Zubehör. Gebäude ab 800 m ² BGF. 13 Objekte ohne Solaranlage. inkl. Zubehör. Preise netto aus II/2006: (3,01 3,51 5,31 6,89 7,02 7,43 7,71 7,76 7,91 8,54 9,14 12,08 13,86). Arithm. Mittel = 7,43 €/m ² BGF. Median: 7,71 €/m ² BGF). Hierbei gibt es das Problem der Umrechnung von BGF auf A _N . Vereinfachend wird hier BGF:A _N wie 1:2 angenommen.	8.322 €
	[Helmstädter 2004]	"MFH klein" (16 Whg.): Heizkessel inkl.. Regelung, Zubehör, Verrohrung, Armaturen, Pumpen, Wärmedämmung der Anlage, Abgasanlage. Preisstand vermutlich 2004. Preis: 11.000 € ohne MwSt.	14.038 €

Preise von Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen

	[BGW Altbau 2006]	MFH 6 WE. Preis Kessel inkl. 16 % MwSt. 4100 €.	4.307 €
	[Gewoba 2007]	Kessel 60 kW wandhängend inkl. Regelung, Einbringen + Montage, Verdrahtung, Kondensatleitung. Summe netto 5338 €. Preisstand 2004.	6.800 €
	[Gewoba 2007]	Kessel bodenstehend 80 kW, Regelung, Neutralisation, Montage, Inbetriebnahme, Kondensatleitung. Summe netto 7071 €. Preisstand 2005.	8.800 €
	gewählter Wert	(ohne WW-Speicher, ohne Deinstallation, ohne Zubehör)	8.500 €
zu Gebäude 2, Variante 2 (Heizöl, ca. 62 kW)			
Heizöl-NT-Kessel			
	[Viessmann 2005]	Vitorond 63 kW. 3945 €. Ohne Montage.	4.909 €
	[SHK 2005]	900 Minuten bei 47,60 €/Std.	714 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	75 kW. 6500 inkl. Deinstallation und Montage. Preisstand unklar. MwSt unklar.	6.700 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Kessel NT Öl kW. Ohne Montage. Preisstand unklar. Inkl. MwSt. 4516 €.	4.600 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Montage. Preisstand unklar. 1500 € inkl. MwSt..	1.550 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Kessel NT Öl 34 - 80 kW. Zubehör und Kleinteile. 500 €. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	550 €
	[BKI G1 2006]	S. 386 bis 391. Kostengruppe 421 Wärmeerzeugungsanlagen für Gas/ÖL-NT-Kessel + Zubehör. Gebäude ab 800 m ² BGF. Objekte Preise netto aus II/2006:(10,14 - 13,47). Arithm. Mittel = 11,80 €/m ² BGF. Median: -	12.554 €
	[BGW Altbau 2006]	MFH 6 WE. Preis Kessel inkl. 16 % MwSt. 4100 €.	4.307 €
	[Langniß u.a. 2006]	Heizöl-NT-Kessel 906,53*LN(x kW)+353 - 25 %. ergibt für 62 kW = 4095 € inkl. 16 % MwSt.	4.302 €
	gewählter Wert	(ohne WW-Speicher, ohne Deinstallation, ohne Zubehör)	5.600 €
Heizöl-Erdtank			
	[BKI G1 2006]	komplett inkl. Aushub, 5000 l. 4884 €. Preisstand 2006, netto.	5.686 €
	[BGW Altbau 2006]	Batterietanks in vorh. Keller. 7200 € netto . 2006.	8.739 €
	[BGW Neubau 2003]	inkl. sonst. Baukosten, Tank komplett.	13.000 €
	[Schmitz u.a. 2002]	5000 l Erdtank. Preis 2001=4320 €.	4.700 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Stahltank doppelwandig, 20.000 l. Ohne Erdarbeiten. 8.000 €. Preisstand unklar. Inkl.16 % MwSt.	8.300 €
	[Langniß u.a. 2006]	y = 0,8007 * Tankgröße in Liter -86,365. ergibt bei 20.000 Liter-Tank inkl. 16 % MwSt, - 25 % Rabatt. ohne Erdaushub.	12.550 €
	eig. Schätzung	Erdaushub, mittelschwerer Boden, Abfuhr, Wiederverfüllung, Anpflanzung.	2.500 €
	eig. Ermittlung	Eig. telef. Recherche bei 2 Anbietern, Mittelwert, Preisstand Bremen, 2007 , inkl 19 % MwSt.	15.411 €
	[Petro 2007]	Doppelwandiger Stahltank, mit Dom und Abdeckung 9535 €, ohne Anlieferung und Einbringen, ohne Erdaushub und Wiederverfüllen, ohne Fundament. Isolationsprüfung 90 €. Einbauüberwachung 575 €. Preisstand 2007. Summe netto 10.200 €.	12.000 €
	gewählter Wert		16.000 €
Tankzubehör mit Leitungen			
	eig. Schätzung	Graben Tank zum Haus herstellen, Aushub, Abfuhr, Leitungen verlegen, wiederverfüllen, Mauerdurchbruch, Leitungen zum Leckanzeigergerät und zum Brenner, Ölfilter, Ölpumpe, Stromanschluss. Eig. Schätzung.	2.500 €
	[SHK 2005]	Installation Tankzubehör. 985 Minuten.	781 €

		Preis (eig. Schätzung) 47,60 €/Std.	
	gewählter Wert		2.500 €
	Leckanzeigergerät		
	eig. Schätzung		500 €
	[SHK 2005]	80 Minuten pro Stück.	63 €
	gewählter Wert		550 €
	zu Gebäude 3, Variante 1	(Heizöl, ca. 60 kW). A_N = 1784 m²	
	Heizöl-NT-Kessel		
	[Viessmann 2005]	Vitorond 63 kW. 3945 €. Ohne Montage.	4.909 €
	[SHK 2005]	900 Minuten bei 47,60 €/Std.	714 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	75 kW. 6500 inkl. Deinstallation, Montage und 16 % MwSt. Preisstand unklar.	6.700 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Kessel NT Öl kW. Ohne Montage. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt = 4516 €.	4.600 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Montage. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt. 1500 €.	1.545 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Kessel NT Öl 34 - 80 kW. Zubehör und Kleinteile. 500 €. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	545 €
	[BKI G1 2006]	S. 386 bis 391. Kostengruppe 421 Wärmeerzeugungsanlagen für Gas/ÖL-NT-Kessel + Zubehör. Gebäude ab 800 m ² BGF. Objekte Preise netto aus II/2006:(10,14 - 13,47). Arithm. Mittel = 11,80 €/m ² BGF. Median: -.	12.774 €
	gewählter Wert	Kessel ohne Zubehör	5.600 €
	Heizöl-Erdtank nur neu auskleiden		
	[eig. Schätzung]		6.000 €
	gewählter Wert		6.000 €
	Tankzubehör mit Leitungen		
	eig. Schätzung	Graben Tank zum Haus herstellen, Aushub, Abfuhr, Leitungen verlegen, wiederverfüllen, Mauerdurchbruch, Leitungen zum Leckanzeigergerät und zum Brenner, Ölfilter, Ölpumpe, Stromanschluss. Eig. Schätzung.	2.500 €
	[SHK 2005]	Installation Tankzubehör. 985 Minuten. 47,60 €/Std. (Preis eig. Schätzung inkl. MwSt.)	781 €
	gewählter Wert		2.500 €
	Leckanzeigergerät		
	eig. Schätzung		500 €
	[SHK 2005]	80 Minuten pro Stück. Preis (eig. Schätzung) 47,60 €/Std.	63 €
	gewählter Wert		550 €
	zu Gebäude 4, Variante 1	(GEH, 21 kW), 80 Whg	
	Gasetagenheizungen, NT, raumluftabhängig		
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 1 bis 3, 2003.	279.707 €
	Anzeige Fa. Schulze 26.1.07 "Weserreport"	(2.000 + 1/3 Montage=2660; * 80).	212.800 €
	[SHK 2005]	Heiztherme bis 30 kW: pro Gerät 310 Minuten = 5,16 Std. Preis (eig. Schätzung) = 47,60 €/Std. Reine Montagezeit.	19.675 €
	[BKI G1 2006]	S. 474 Objekt 6100-348 inkl. Gasleitungsverlegung.	306.391 €
	[Schmitz u.a. 2002]	Preisstand 2001: 2559 €.	243.729 €
	[Hottgenroth 5.10e 2006]	Kostentabelle Sanierung. 20 kW. Stk 3090 € inkl. Deinstallation und Montage. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	254.800 €

Preise von Heizanlagen mit fossilen Brennstoffen

	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Atmosphärische Gas-NT-Therme, raumluftabhängig, ohne Montage bis 24 kW. Preisstand unklar. Pro Gerät 1502 € inkl. 16 % MwSt.	124.000 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Montage NT-Therme. Preisstand + MwSt unklar. Pro Gerät 1500 € inkl. 16 % MwSt.	123.600 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Zubehör u Kleinteile NT-Therme. Preisstand unklar. Pro Gerät 500 € inkl. MwSt.	41.200 €
	gewählter Wert	pro Wohnung: 3437,50 €.	275.000 €
Lieferung + Montage Abgasleitung			
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 1 bis 3, 2003.	36.091 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Preisstand unklar. Pro Schornstein (10 m) 1200 €. 20 Stränge. Größere Länge erforderlich (1400 €). Inkl. MwSt. Preisstand unklar.	28.000 €
	gewählter Wert	pro Wohnung 450 €.	36.000 €
Neuerlegung Gasleitung			
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Gebäude 1 bis 3, 2003.	40.603 €
	[BKI G1 2006]	S. 470, Objekt 4200-011, 5 Gebäude * 2 Treppenhäuser * 2 Stränge * 12 m + horizontale Gasleitungen zu Zählern 80 Whg * 1,5 m+ 5 * 8 m Zuleitungen Hausanschluss- zu vertikalen Strängen, insgesamt 240 m + 120 + 40 m) = 400 m a 60 €/m + 19 % = 24.000 + 4560 = 28.560 €.	28.560 €
	gewählter Wert	pro Wohnung 362,50	29.000 €
zu Gebäude 4, Variante 2		(Gas-Nahwärme, 80 Whg)	
Heizhaus errichten			
	[STÄWOG 2007]	inkl. BHKW-Platzanspruch. Außenmaße 5,98*5,86*4,17 = 146 m³. Entspricht 240 €/m³. Ohne BHKW und Pufferspeicher hätte das Heizhaus 44 m³ kleiner gebaut werden können. Kosten dann: 24.500 €.	24.500 €
	gewählter Wert		24.500 €
Gasanlage im Heizhaus			
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung	830 €
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung des TGA-Planers v. 1.9.06. 1000 € netto.	1.214 €
	gewählter Wert		1.000 €
Erdgas NT-Heizkessel ca. 240 kW			
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung des TGA-Planers.	10.710 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Katalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. 2 * 120 kW Gas-NT. Ohne Montage. 11.400 € Inkl. 16 % MwSt. Preisstand unklar.	12.000 €
	[Gewoba 2007]	Erdgas-Brennwertkessel 235 kW. Kessel, Regelung, Neutralisation, Einbringen + Montage Regelungsmontage, Kondensantleitung, Inbetriebnahme. Schaltschrank 1500 €. Summe netto ohne Schaltschrank 13.865 €. Preisstand 2004.	17.700 €
	gewählter Wert		11.200 €
Kernbohrarbeiten			
	[Clausnitzer u.a. 2004]	Preis 2003: 200 €.	220 €
	gewählter Wert		220 €
Lieferung + Montage Abgasleitung			
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung des TGA-Planers.	8.925 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. Neuerrichtung Schornstein. 3000 €. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	3.100 €



	[BKI B2 2006]	S. 294. Edelstahl mit Wandbefestigung 370 €/m + MwSt. 13 m = 4810 €. Preisstand 2006.	5.838 €
	[BKI G1 2006]	S. 397-400. Schornsteinanlagen. Stückpreis netto Preisstand II/2006 für 12 Gebäude > 1.000 m² BGF. 673, 1901, 1995, 3132, 3309, 3365, 3490, 3621, 3832, 5139, 7763, 8674 €. Arithm. Mittel: 3.910 €. Median: 3.365 €.	4.084 €
	gewählter Wert		6.000 €
Verteilung außerhalb/ innerhalb der Gebäude (Hzg. V+R, WW, Zirku), Rohrdämmung, WW-Speicher			
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung des TGA-Planers.	65.600 €
	gewählter Wert		78.000 €
Gas-Anschluss Heizhaus			
	[STÄWOG 2007]	Angebot Stadtwerke Bremerhaven.	2.050 €
	[Hottgenroth 5.10 e 2006]	Programmkonstanten. Standardkatalog Anlagentechnik. Quelle: Energiepass-Initiative Deutschland. 2.000 € bis 70 kW. Preisstand unklar. Inkl. 16 % MwSt.	2.060 €
	gewählter Wert		2.050 €
Zubehör			
	[STÄWOG 2007]	Kostenschätzung des TGA-Planers (netto): Druckhaltung und Zubehör 1500 €. Pumpen und Zubehör 4500. MSR-Technik 6000. Gasinstallation 1000. Heizungsrohre, Armaturen, Zubehör im Heizhaus 4500. Dämmung Rohrleitung und Armaturen im Heizhaus 2000. Zentrale Wärmemessung 1500. Wasserverrohrung Heizhaus, Ausguss 500. Beleuchtung, Steckdosen, Verdrahtung 1000. Wasseranschluss 750. Stromanschluss 1500.	29.450 €
	gewählter Wert		30.000 €

Gewählte Investitionsbeträge

Komponenten Nr.	Bezeichnung des Bauteils	Nutzungsdauer in a	Instandsetzungskosten f _K in %	Menge	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
Gebäude 1, Variante 1: Neubau. Erdgas, gebäudezentral. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Erdgas-Brennwert-Heizkessel, ca. 124 kW.	20	1,00%	1	13.500	13.500
2	Erdgas-Hausanschluss	50	0,00%	1	2.050	2.050
3	Gas-Installation Heizraum	40	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 1, Variante 2: Neubau. Heizöl, gebäudezentral. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage NT-Heizkessel + Gebläsebrenner, ca. 124 kW., Heizöl	20	1,00%	1	9.000	9.000
2	Heizöl- Erdtank, schwimm-gesichert	30	1,50%	1	16.000	16.000
3	Tankzubehör mit Leitungen	20	3,00%	1	2.500	2.500
4	Leckanzeigergerät	10	3,00%	1	550	550
Gebäude 1, Variante 3: Neubau. Holzpellets, Hzg. + Lager im Keller. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzpellets-Heizkessel + Zubehör, ca. 140 kW	20	2,00%	1	30.500	30.500
2	Brennstofflagerraum (40 m ³ umbauter Raum) inkl. Befülleinrichtungen und Entlüftung	50	1,00%	1	11.500	11.500
3	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
4	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200
5	Pufferspeicher	25	1,00%	1	3.100	3.100
Gebäude 1, Variante 4: Neubau. Holzpellets, Heizhaus. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzpellets-Heizkessel + Zubehör, ca. 140 kW	20	2,00%	1	30.500	30.500
2	Heizhaus - Brennstofflager Container	50	1,00%	1	15.000	15.000
3	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200
4	Pufferspeicher	25	1,00%	1	3.100	3.100
5	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
Gebäude 1, Variante 5: Neubau. HHS Hzg. + Lager im Keller. Primärenergiebedarf max. EnEV.						



Komponenten Nr.	Bezeichnung des Bauteils	Nutzungsdauer in a	Instandsetzungskosten f _k in %	Menge	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
1	Lieferung + Montage Holzhack-schnitzel-Heizkessel + Zubehör, ca. 140 kW, und Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	24.000	24.000
2	Brennstofflagerraum (50 m³) inkl. Befülleinrichtungen	50	1,00%	1	10.500	10.500
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	3.100	3.100
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 1, Variante 6: Neubau. HHS. Hzg. + Lager in Heizhaus. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzhack-schnitzel-Heizkessel + Zubehör, ca. 140 kW, und Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	24.000	24.000
2	Heizhaus inkl. 50m³ Brennstofflager massiv	50	1,00%	1	25.200	25.200
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	3.100	3.100
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 2, Variante 1: Neubau. Erdgas, gebäudezentral. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Erdgas-Brennwert-Heizkessel + Zubehör, ca. 62 kW	18	1,50%	1	8.500	8.500
2	Erdgas-Hausanschluss	50	0,00%	1	2.050	2.050
3	Gas-Installation Heizraum	40	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 2, Variante 2: Neubau. Heizöl, gebäudezentral. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage NT-Heizkessel + Gebläsebrenner, ca. 62 kW., Heizöl	20	2,00%	1	5.600	5.600
2	Heizöl- Erdtank, schwimm-gesichert	30	1,50%	1	16.000	16.000
3	Tankzubehör mit Leitungen	20	3,00%	1	2.500	2.500
4	Leckanzeigegerät	10	3,00%	1	550	550
Gebäude 2, Variante 3: Neubau. Holzpellets, Hzg. + Lager im Keller. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzpellets-Heizkessel + Zubehör, ca. 70 kW	20	2,00%	1	17.000	17.000
2	Brennstofflagerraum (40 m³ umbau-ter Raum) inkl. Befülleinrichtungen und Entlüftung	50	1,00%	1	11.500	11.500
3	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
4	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200

Gewählte Investitionsbeträge

Komponenten Nr.	Bezeichnung des Bauteils	Nutzungsdauer in a	Instandsetzungskosten f _K in %	Menge	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
5	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
Gebäude 2, Variante 4: Neubau. Holzpellets, Heizhaus. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzpellets-Heizkessel + Zubehör, ca. 70 kW	20	2,00%	1	17.000	17.000
2	Heizhaus - Brennstofflager Container	50	1,00%	1	15.000	15.000
3	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200
4	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
5	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
Gebäude 2, Variante 5: Neubau. HHS Hzg. + Lager im Keller. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzhackschnitzel-Heizkessel, ca. 75 kW, und Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	20.000	20.000
2	Brennstofflagerraum (50 m ³) inkl. Befüllleinrichtungen	50	1,00%	1	10.500	10.500
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 2, Variante 6: Neubau. HHS. Hzg. + Lager in Heizhaus. Primärenergiebedarf max. EnEV.						
1	Lieferung + Montage Holzhackschnitzel-Heizkessel + Zubehör, ca. 75 kW, Stromanschluss, und Brennstoffaustragsystem	20	2,50%	1	20.000	20.000
2	Heizhaus inkl. 50m ³ Brennstofflager massiv	50	1,00%	1	24.000	24.000
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 3, Variante 1: Altbau, modernisiert EnEV + 40 %. Variante Öl-Zentralheizung.						
1	Lieferung + Montage Heizöl-NT-Heizkessel, ca. 60 kW	20	2,00%	1	5.600	5.600
2	vorhandene Heizöltanks neu auskleiden	30	1,00%	1	6.000	6.000
3	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	2.500	2.500
4	Erneuerung Leckanzeigergeräte	10	3,00%	1	550	550
Gebäude 3, Variante 2: Altbau, modernisiert EnEV + 40 %. Variante HHS im Keller.						
1	Lieferung + Montage Holzhackschnitzel-Heizkessel + Zubehör, ca. 80 kW, und Brennstoffaustragsystem	20	2,50%	1	20.000	20.000
2	Brennstofflagerraum (50 m ³) inkl.	50	1,00%	1	10.500	10.500



Komponenten Nr.	Bezeichnung des Bauteils	Nutzungsdauer in a	Instandsetzungskosten f _K in %	Menge	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
	Befülleinrichtungen					
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 3, Variante 3: Altbau, modernisiert EnEV + 40 %. Variante HHS im separaten Heizhaus.						
1	Lieferung + Montage Holzhack-schnitzel-Heizkessel + Zubehör, ca. 80 kW, und Brennstoffaustragsystem	20	2,50%	1	20.000	20.000
2	Heizhaus inkl. 50m ³ Brennstofflager massiv	50	1,00%	1	24.000	24.000
3	Pufferspeicher	25	1,00%	1	2.400	2.400
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	1.000	1.000
Gebäude 4, Variante 1: Altbau Gebäude-Ensemble (5 Wohngebäude), modernisiert; Variante neue Gasetagenheizungen.						
1	Lieferung + Montage neuer NT-Gas-Kombi-Wand-Heizkessel, raumluft-abhängig, inkl. Lieferung + Montage neue Regelung	18	2,00%	80	3.437,5	275.000
2	Lieferung + Montage Abgas-leitung, Schornsteinsanierung, Druckprüfung	20	1,00%	80	450	36.000
3	Neuverlegung Gasleitung bis Wohnung, neue Gaszähler	40	1,00%	80	362,5	29.000
Gebäude 4, Variante 2: Altbau Gebäude-Ensemble (5 Wohngebäude), modernisiert; Variante neue Gas-Zentralheizung (Nahwärme). Aufstellort Heizhaus.						
1	Heizhaus errichten (Nahwärmezentrale)	50	1,00%	1	24.500	24.500
2	Lieferung + Montage Heizkessel ca. 240 kW	20	1,00%	1	11.200	11.200
3	Kernbohrarbeiten	0	0,00%	80	220	17.600
4	Lieferung und Montage Abgasleitung	20	1,00%	1	6.000	6.000
5	Verteilnetz/WW-Speicher	30	0,50%	1	78.000	78.000
6	Gasanlage	40	1,00%	1	1.000	1.000
7	Gas-Hausanschluss Heizhaus	40	0,00%	1	2.050	2.050
8	Zubehör	20	1,00%	1	30.000	30.000
Gebäude 4, Variante 3: Altbau Gebäude-Ensemble (5 Wohngebäude), modernisiert; Variante Nahwärme mit Holzpellets, Aufstell- und Lagerraum im Keller.						
1	Heizraum herrichten (Nahwärmezentrale)	50	1,00%	1	10.000	10.000
2	Lieferung und Montage Holzpellets-kessel. ca. 220 kW	20	2,50%	1	45.000	45.000
3	Kernbohrarbeiten	0	0,00%	80	220	17.600

Gewählte Investitionsbeträge

Komponenten Nr.	Bezeichnung des Bauteils	Nutzungsdauer in a	Instandsetzungskosten f_K in %	Menge	Einzelpreis in €	Gesamtpreis in €
4	Lieferung und Montage Abgasleitung	20	1,00%	1	6.000	6.000
5	Verteilnetz/WW-Speicher	30	0,50%	1	78.000	78.000
6	Brennstofflagerraum (40 m ³ umgebauter Raum) inkl. Befüll- und Entlüftungseinrichtungen	50	1,00%	1	11.500	11.500
7	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
8	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200
9	Pufferspeicher	25	1,00%	2	2.500	5.000
10	Zubehör	20	1,00%	1	30.000	30.000
Gebäude 4, Variante 4: Altbau Gebäude-Ensemble (5 Wohngebäude), modernisiert; max. Primärenergiebedarf = EnEV + 40%. Variante Holzpellets, Heizhaus.						
1	Heizhaus inkl. Brennstofflager Container (Nahwärmezentrale)	50	1,00%	1	15.000	15.000
2	Lieferung und Montage Holzpelletskessel. ca. 220 kW	20	2,00%	1	45.000	45.000
3	Kernbohrarbeiten	0	0,00%	80	220	17.600
4	Brennstofflagereinrichtung	20	1,00%	1	6.000	6.000
5	Verteilnetz/WW-Speicher	30	0,50%	1	78.000	78.000
6	Brennstofflagerraum-Einrichtung (Boden)	15	1,00%	1	2.000	2.000
7	Brennstoffaustragsystem	20	2,00%	1	4.200	4.200
8	Pufferspeicher	25	1,00%	2	2.500	5.000
9	Zubehör	20	1,00%	1	30.000	30.000