



Bundesamt für Energie
Office fédéral de l'énergie
Ufficio federale dell'energia
Uffizi federal d'energia

Programm
Biomasse



NUVOLA

Messungen an einem verbrennungsoptimierten Kessel

ausgearbeitet durch

Basso Salerno, SE-Energiesysteme GmbH

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie und Kanton Baselland

April 1999

Schlussbericht

INHALTVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	2
RECAPITULATIF	4
SUMMERY	6
PROJEKTZIEL	7
3. Messobjekt und Messmethoden	7
3.1 Messobjekt	7
3.2 Abgasanalyse	7
3.3 Energiemessungen	7
4. HAUPTERGEBNISSE	7
4.1. Energie	7
4.1.1 Holzenergie	7
4.1.2. Solarenergie	7
4.1.3. Raumheizung und Warmwasser	7
4.1.4. Wirkungsgrade	7
4.2. Emissionen	7
4.2.1 Labortest	7
4.2.2. Realtests	7
5. SCHLUSSFOLGERUNGEN	7
5.1. Energie	7
5.2. Emissionen	7
6. Dank	7
Anhang	7
Literaturverzeichnis	7
Pläne	7
Versuchsblätter	7

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamt für Energie entstanden. Für den Inhalt und Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichtes verantwortlich.

ZUSAMMENFASSUNG

An einer Heizanlage für ein 6-Familienhaus mit Wasserspeicher, Solarkollektoren (28 m²) und Stückholzkessel (35 kW Nennleistung) wird eine quantitative Gesamt-Bilanz durchgeführt:

- **Energetische Bilanz** Kesselwirkungsgrad, Speichereffizienz, Anlage-Jahresnutzungsgrad
- **Lufthygienische Bilanz** Emissionen und feuerungstechnischer Wirkungsgrad unter Realbedingungen, Vergleich Labor- / Feld-Messungen

Energetische Bilanz. Aus den in einem Jahr erfassten Daten ergibt sich das folgende Bild:

Brennholz Verbrauch	22 Ster	44.00	MWh
Netto Energie aus Kessel		34.44	MWh
Netto Energie aus Solar		13.49	MWh
Nutzenergie Heizung		25.96	MWh
Nutzenergie Warmwasser		18.28	MWh
Kessel-Jahresnutzungsgrad		81.76	%
Speicher Effizienz		92.30	%
Anlage-Jahresnutzungsgrad (Holz)		75.46	%

Lufthygienische Bilanz. Die Ergebnisse der mit dem Mobile-Analyse-Gerät MAD durchgeführten Emissionsmessungen sind unten ersichtlich. Da sind die Gesamt-Mittelwerte von Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO) und feuerungstechnischen Wirkungsgrad aus mehreren Versuchen dargestellt.

	CO ₂ Vol %	CO ppm (Norm 13%)	Feuerungstechn. W'grad
Labor	11	727	86
Reale Bediengungen	8.0	2'190	84

Schlussfolgerungen Energie. Der Anlage-Jahresnutzungsgrad (75 %) ist höher als erwartet, aber verbesserungswürdig. Von den verbrauchten 22 Ster gehen immer noch 5 1/2 (1/4) „verloren“. Neue Ideen sind da gefragt, auch konzeptionell, um die Effizienz der Anlage zu erhöhen.

Schlussfolgerungen Lufthygiene. Auch mit realen Bedingungen bleiben die Emissionswerte des gewählten Stückholzkessels unter den LRV-Grenzen (LRV:Luftreinhalte Verordnung).

Verbesserungen können durch ein weniger bedienungsabhängiges Anfeuern, regelmässigen Unterhalt des Kessels, verbesserte technische Kunden-Information gebracht werden.

Im Vergleich Labor / Real sind beim feuerungstechnischen Wirkungsgrad keinen grossen Differenzen gemessen worden. Also ist der feuerungstechnische Wirkungsgrad der Laboruntersuchung aussagekräftig. Bei den Emissionen ist der Gesamt-Mittelwert von CO bei den Feldmessungen 3-Mal höher als der im Labor. Wird diese Aussage von weiteren Untersuchungen bestätigt, wäre es sinnvoll, die Grenzwerte der LRV 1/3 herabzusetzen. Offen bleibt noch die Frage über das Verhalten bei anderen Schadstoffen (z. B. NO_x) in Felduntersuchungen. Weiter ist eine Bestätigung der hier erarbeiteten Resultate mit Untersuchungen an anderen Anlage notwendig.

RECAPITULATIF

Un bilan quantitatif global est effectué sur une installation de chauffage conçue pour un immeuble collectif pour 6 familles, équipé d'un réservoir à eau chaude, de collecteurs solaires (28 m²) et d'une chaudière à petit bois (35 kW) :

Bilan énergétique - rendement de la chaudière, efficacité du réservoir, rendement annuel de l'installation

Bilan hygiénique atmosphérique – émissions et rendement technique du chauffage dans les conditions effectives, comparaison entre les mesures en laboratoire et les mesures sur le terrain.

Bilan énergétique : Les données recueillies au cours d'une année complète permettent de dresser le tableau ci-après :

Consommation de bois de chauffage	22 stères	44,00 MWh
Energie nette fournie par la chaudière		34,44 MWh
Energie nette fournie par le soleil		13,49 MWh
Energie utile fournie par le chauffage		25,96 MWh
Energie utile fournie par l'eau chaude		18,28 MWh
Rendement annuel de la chaudière		81,86 %
Efficacité du réservoir		92,30 %
Rendement annuel de l'installation (bois)		75,46 %

Bilan hygiénique atmosphérique. Les résultats des mesures des émissions effectuées avec l'appareil d'analyse mobile MAD sont fournis ci-dessous. On y indique les moyennes générales pour le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde de carbone (CO), et le rendement technique du chauffage, fondés sur différentes mesures.

	CO ₂ Vol %	CO ppm (Norm 13%)	Rendement technique du chauffage
Laboratoire	11	727	86
Conditions réelles	8.0	2'190	84

Conclusions en matière d'énergie. Le taux d'utilisation annuelle de l'installation (75 %) est plus élevé que prévu, mais peut être amélioré. Sur les 22 stères consommés, il y en a encore 5 ½ (¼) qui sont « perdus ». De nouvelles idées seraient les bienvenues, y compris sur le plan conceptuel, afin d'améliorer l'efficacité de l'installation.

Conclusions en matière d'hygiène atmosphérique. Même dans les conditions effectives, les valeurs d'émissions de la chaudière à petit bois choisie restent inférieures aux limites LRV (LRV = Ordonnance sur la préservation de la pureté de l'air).

Des améliorations peuvent être apportées par un mode d'allumage du feu qui varie en fonction

de l'utilisation prévue, un entretien régulier de la chaudière, et une meilleure information de la clientèle.

Dans la comparaison entre le laboratoire et les conditions réelles, on n'a pas mesuré de différences significatives sur le plan du rendement technique du chauffage. Par ailleurs, le rendement technique du chauffage mesuré en laboratoire est suffisamment éloquent. Pour les émissions, la moyenne totale pour le CO est 3 fois plus élevée dans les mesures sur le terrain qu'en laboratoire. Si ce fait est confirmé par d'autres enquêtes, il serait judicieux d'abaisser la valeur limite de la LRV 1/3. La question du comportement face à d'autres produits toxiques (par exemple le NOx) dans les essais sur le terrain reste encore en suspens. Il convient également d'obtenir une confirmation des résultats obtenus ici par des enquêtes faites sur d'autres installations.

SUMMARY

Two kind of measurements were made in a 6-family appartement house with water storage, wood furnace (35 kW) and sun collectors (28 m²):

- Energy Furnace and Storage efficiency, plant efficiency
- Emission emissions and combustion efficiency by working, difference between real working and laboratory tests

Energy. The results of the measurements are:

Wood	22 m ²	44.00	MWh/year
Furnace input energy (net)		34.44	MWh/year
Sun collectors input energy (net)		13.49	MWh/year
Heating energy		25.96	MWh/year
Hot water energy		18.21	MWh/year
Furnace efficiency		81.76	%
Storage efficiency		92.30	%
Plant efficiency (only wood)		75.46	%

Emissions. Measurements were made with a transportable equipment (MAD). The average values of several tests of carbon dioxide CO₂, carbon monoxid (CO) and combustion efficiency:

	CO ₂ Vol %	CO ppm (Norm 13%)	Combustion efficiency
Laboratory	11	727	86
Real working tests	8.0	2'190	84

Conclusions

Energy. The whole plant efficiency (only wood) (75%) is higher as expected but it is to improve. New ideas are search for a better efficiency,. Improvement is possible by the wood furnace combustion and by the wohle system with new concepts.

Emissions. The emissions of carbon monoxid is in real working tests under the limit of the air pollution low in Switzerland (4000 ppm 13Vol% oxygen). Improvements are possible with follo-
wing measures: the start up must be less user dependant, regular service of the furnace, better user information. We havo no differences of combustion efficiency between Laboratory and real workings tests, that means the laboratory efficiency gives a real picture. The real working emis-
sions of CO are in average factor 3 higher than laboratory emissions. We need a lower limit of air Pollution low (1/3) for laboratory tests, if new other researches confirm these results. The behaviour of other pollution components (for example NO_x) is till uncertain. We need more real working emission measurements for a complete understandig of the situation.

PROJEKTZIEL

Objekt des vorliegenden Projektes ist eine Speicheranlage mit Stückholzkessel und Solarkollektoren (Abb. 1.1.).

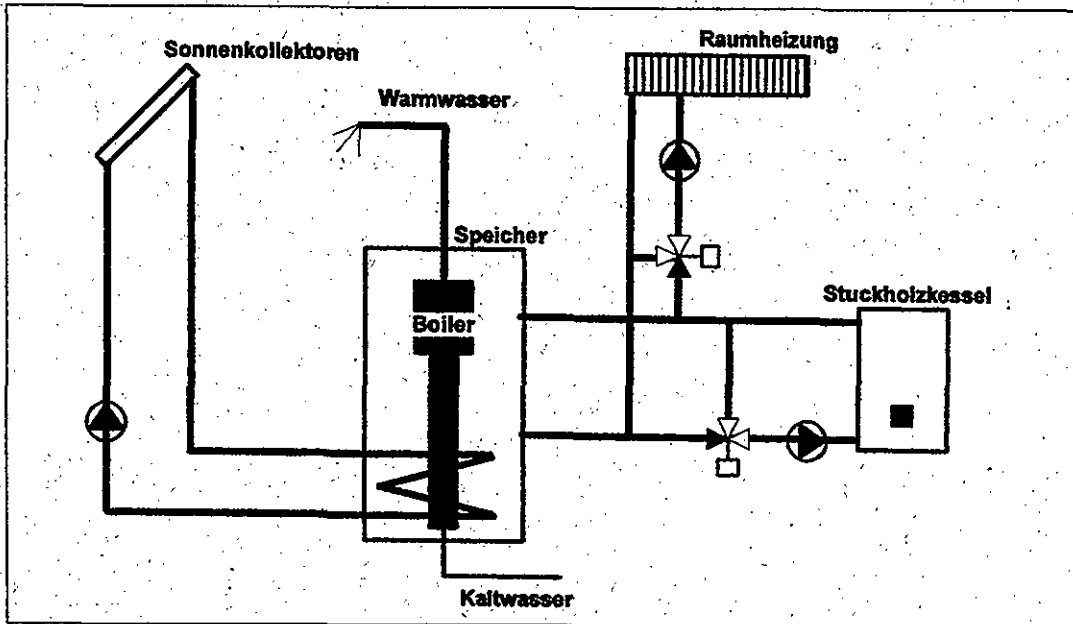


Abb. 1.1. Schema einer Standard-Speicheranlage mit Solarkollektoren und Stückholzkessel. Dieser Anlagentyp findet eine bemerkenswerte Verbreitung in Ein- und Mehrfamilienhäusern.

Dieser Anlagentyp wird in den letzten Jahren häufig installiert. Die Anlagen werden laufend verbessert und finden eine bemerkenswerte Verbreitung in Ein- und Mehrfamilienhäusern, was eine quantitative Analyse notwendig macht.

Diese quantitative Gesamt-Bilanz wird aus energetischem und lufthygienischem Gesichtspunkt gezogen. Bei der lufthygienischen Analyse werden zusätzlich die Laboruntersuchungen mit Messungen unter Normalbedingungen verglichen.

Zu den „energetischen“ Projektzielen gehören:

- die Bestimmung des Kesselwirkungsgrades
- die Bestimmung der Speichereffizienz
- die Bestimmung des Anlage-Jahresnutzungsgrades

Zu den „lufthygienischen“ Projektzielen gehören:

- die Abgas-Analyse im Labor (Labortest)
- die Abgas-Analyse bei Normalgebrauch (Realtest)
- die Bestimmung der Abweichung Laborversuche/Feldversuche

3. Messobjekt und Messmethoden

3.1 Messobjekt

Das Messobjekt ist eine Speicheranlage mit Stückholzkessel in einem 6-Familienhaus (Siehe Abb.1.1.).

In der Tabelle 3.1 sind die wichtigsten Merkmale der 6FH und der Anlage dargestellt. Im Anhang befinden sich Grundrisse und Fassaden-Sicht des Hauses.

Baujahr	1994
Anzahl Erwachsene	11
Anzahl Kinder	11
Energiebezugsfläche	943 m ²
Heizung und Warmwasser	Stückholzkessel 35 kW (Lopper Drummer) Speicher 3 m ² Boiler 2x 180 Liter (im Speicher integriert) 32 m ² Sonnenkollektoren 2 Zimmeröfen (Topolino) 4 Holzkochherde (Sutter)
Licht und Maschinen	Strom
Kochen und Backen	12 Gasflaschen (Propan)

Tab. 3.1.1 Merkmale des 6-Familienhaus und der Test-Anlage

Der Stückholzkessel (Abb. 3.1.2.) ist ein Drummer 35 (Nennleistung 35 kW) der Firma Lopper, welcher mit einem Keramikrost (1) ausgerüstet ist.

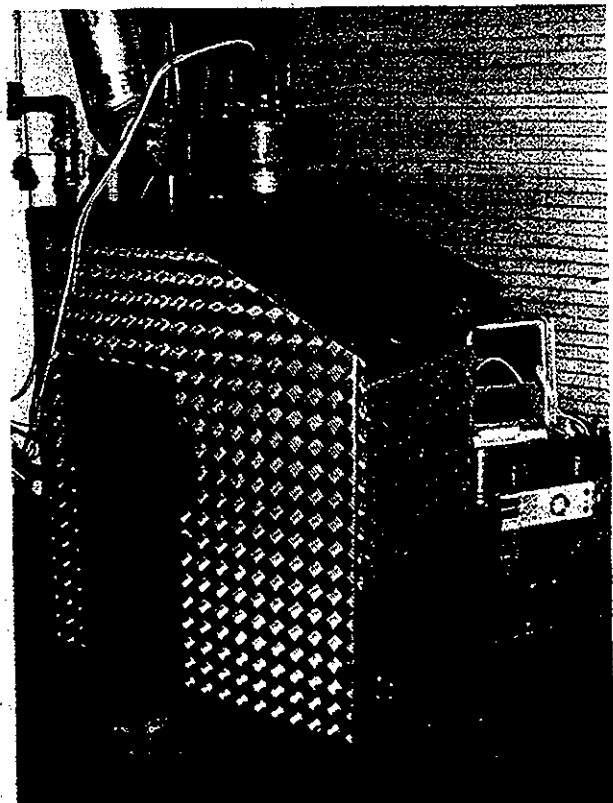


Abb. 3.1.2. Der 35 kW Kessel Drummer 35 der Fa. Lopper AG ist mit dem Keramikrost bestückt.

3.2 Abgasanalyse

Im Projekt NUVOLA sind 2 Messserien vorgesehen. Die eine findet im Labor mit idealen Konditionen, die zweite in einem 6-Familienhaus unter realen Bedingungen statt.

Die zweite Serie zeigt, was der Kessel effektiv an Schadstoffen ausstösst, wenn dieser von den BewohnerInnen täglich befeuert wird.

Die Abgasanalyse wird mit dem Messsystem MAD durchgeführt. Die Messwerte werden vom Anfeuern bis zu einem CO₂-Gehalt von 2 Vol% aufgezeichnet. In der folgenden Tabelle 3.2.1 sind die Messgrössen mit Messbereich und -prinzip ersichtlich.

Messgrösse	Prinzip	Messbereich
Kohlendioxid (CO ₂)	Infrarot	0-20 Vol%
Kohlenmonoxid (CO)	Infrarot	0-1 Vol%
Abgastemperatur	Termoelement NiCd	0-1'200 °C
Raumtemperatur	Termoelement NiCd	0-1'200 °C

Tab. 3.2.1. Mobile Analyse- und Datenerfassungsgerät (MAD).
Messgrösse, -prinzip und -bereich.

Über den ganzen Abbrand werden die Mittelwerte gebildet, von der Zeit des Anfeuerns bis im Ausbrand der CO₂-Gehalt von 2 Vol% erreicht wird. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad wird nach DIN 4702 berechnet.

3.3 Energiemessungen

Für die Bestimmung des Wirkungsgrades und des Jahresnutzungsgrades der Anlage benötigen wir die in der Saison 97/98 umgesetzte Brennholzmenge und die effektiv gebrauchte Endenergie.

Die Erfassung der verbrauchten Holzmenge erfolgte auf 3 Ebenen:

- Bei der Bestellung (Rechnung)
- Bei der Lagerung im Keller (Volumen 8 m³)
- Beim Feuern (im Protokoll werden die Füllungen erfasst).

Eine zusätzliche Kontrolle erfolgt mit dem Wärmezähler des Kessels. Da die Erfassung stündlich durchgeführt wird, ist bei jeder Feuerung die gespeiste Netto-Energie bekannt.

Mittels Wärmezähler wird die erzeugte und verbrauchte Energie erfasst.

Die gewählten Wärmezähler sind Typ Ener-Cal RV730, welche zusammen mit dem Interface Ener-Cal C152 und der Soft-ware Mcom für Window eine vollständige Übersicht der Energieflüsse bieten. Alle Daten werden stündlich auf einer Computer-Harddisk gespeichert. Die Messanordnung ist in Abb. 3.3.1 dargestellt. Alle Wasserleitungen, die in den Speicher führen

oder vom Speicher abführen werden von Wärmehählern kontrolliert. Dadurch ist es möglich alle Energieflüsse im Speicher zu eruieren. Aus der Differenz der Energieflüsse kann der Verlust im Speicher und dessen Effizienz errechnet werden.

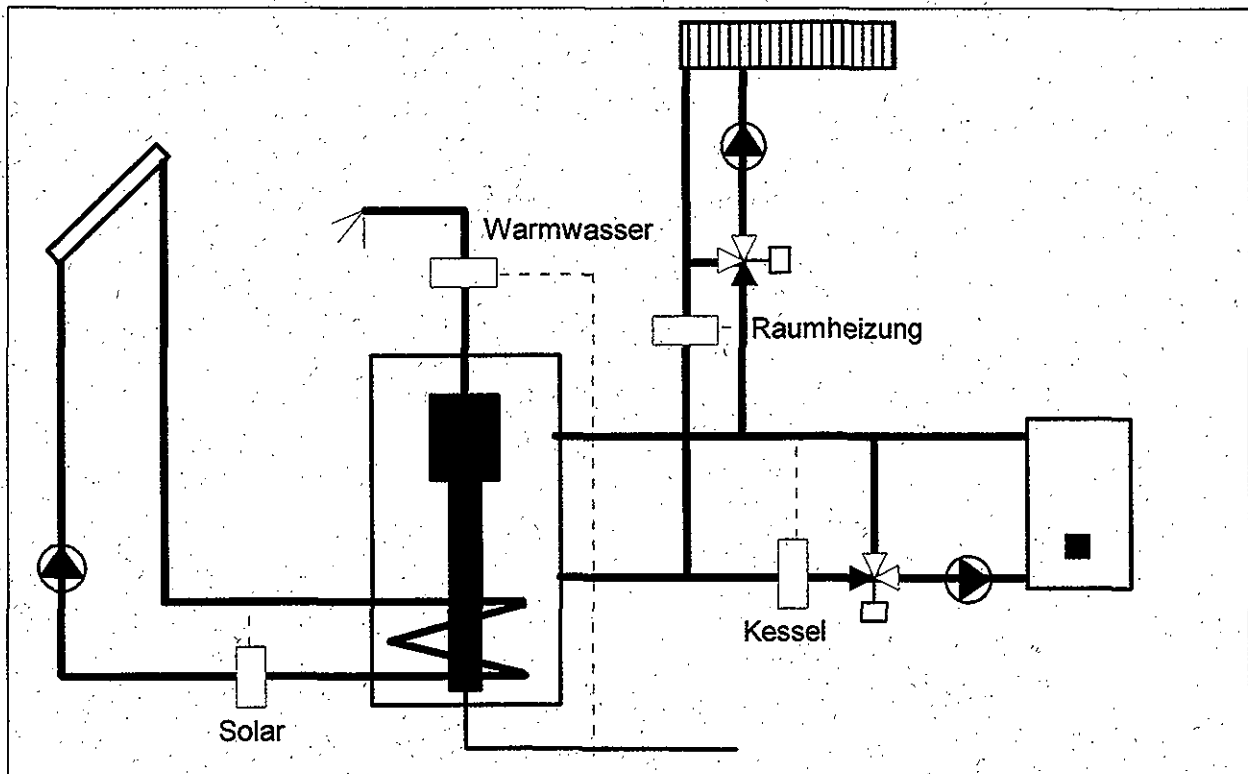


Abb.3.3.1. Wieviel Energie in den oder aus dem Speicher fließt wird stündlich von den 4 Wärmehählern aufgenommen.

4. HAUPTERGEBNISSE

4.1. Energie

Die an einem Wintertag aufgenommenen Energieflüsse sind beispielsweise in Abb. 4.1.1. dargestellt.

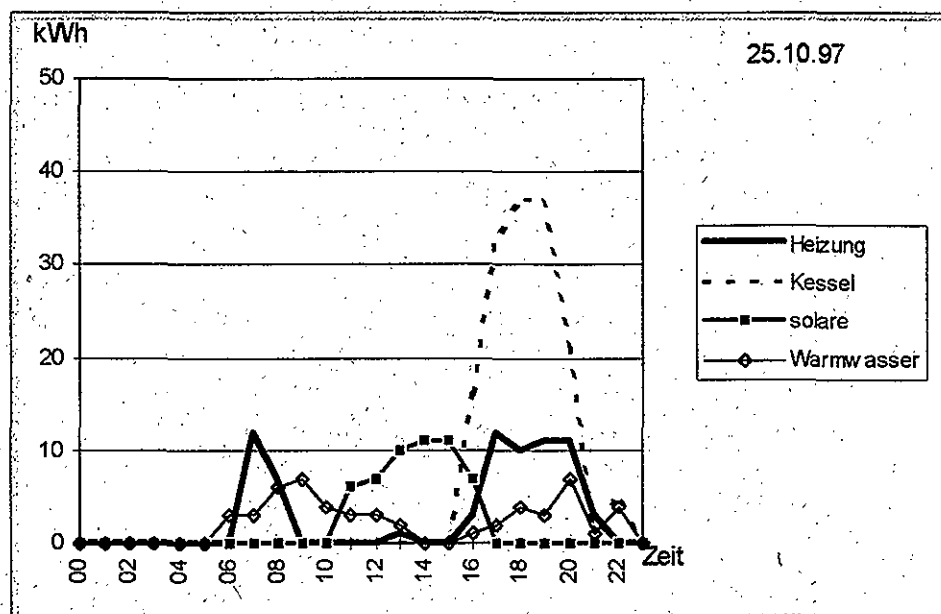


Abb. 4.1.1. Tagesablauf der Input- (Solar, Holz) und Output-Energie (Warmwasser und Heizung) am 11.11.97.

Die Raumheizung ist von 6 bis 9 Uhr und von 16 bis 21 Uhr im Betrieb. Der Speicher wird vom Heizkessel von 16 bis 21 Uhr geladen. Die Sonne leistet in Oktober nur zwischen 10 und 17 Uhr einen kleinen Beitrag zum Energie-Input. Warmwasser wird ab 6 Uhr in unterschiedlichen Mengen gebraucht. Die Profile der dargestellten Kurven sind in ihrem täglichen Ablauf sehr ähnlich. Quantitativ sind diese Profile von der Aussentemperatur und der Sonneneinstrahlung abhängig. Der Energie-Speicher kann die Bedienungsfreundlichkeit der Anlage erhöhen (ein einmaliges Heizen bringt ausreichend Energie für den ganzen Tag), was aber an Energieverluste gebunden ist.

4.1.1 Holzenergie

Der Energie-Input in der Heizsaison 97/98 (Juli 97-Juni 98) ist aus Tabelle 4.1.1.1. ersichtlich.

	Ster	m3	kWh	MJ	%
Hartholz 50cm	21		42'000	151'200	95.5
Anfeuerholz Kessel	1		2'000	7'200	4.5
Total			44'000	158'400	100

Tab. 4.1.1.1. Das Energie-Input in der Heizsaison 97/98 des 6-Familienhauses.

Das Holz wird in einem Heizkessel verbrannt, dessen Netto-Energieertrag 34.34 MWh beträgt.
Die Jahresverteilung ist in folgender Abbildung dargestellt.

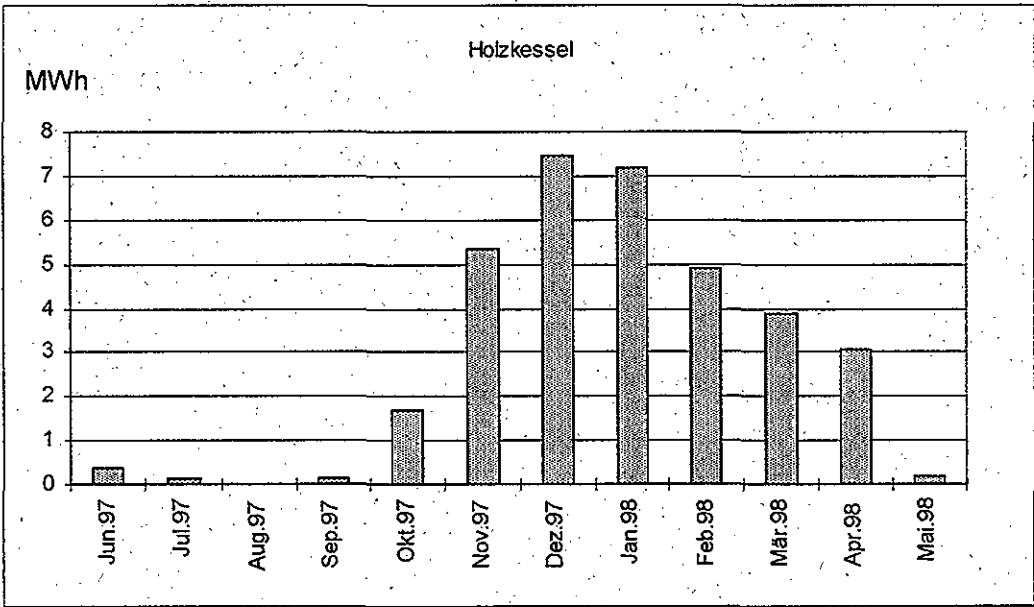


Abb. 4.1.1.2. Aus dem Heizkessel produzierte Energie (netto).

4.1.2. Solarenergie

Die 28 m²-Kollektor-Anlage produziert jährlich 13.49 MWh (Netto-Ertrag 481 KJ/m² Jahr). Der ertragreichste Monat mit 1.86 MWh ist der August 97. Die Saison 97/98 kann in Bezug auf die Solareinstrahlung als schlechte Saison bezeichnet werden. In Abb. 4.1.2.1 ist der Jahresverlauf der Solarenergieproduktion dargestellt.

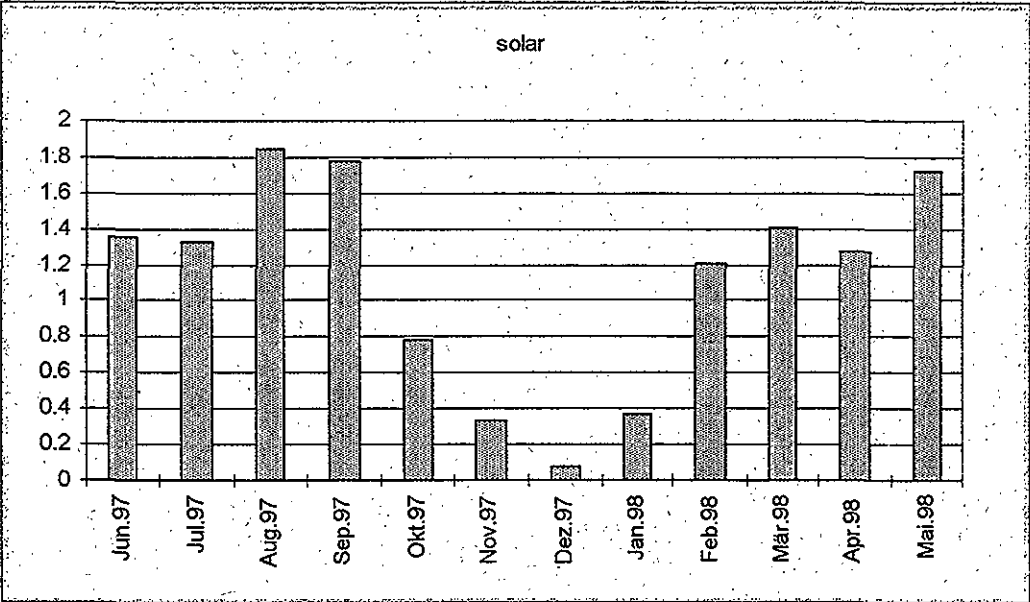


Abb.4.1.2.1. Jahresverlauf der Solarenergieproduktion. 28 m² lieferten in der Saison 97/98 13.49 MWh (Netto-Ertrag 481 KJ/m² Jahr).

4.1.3. Raumheizung und Warmwasser

Der Netto-Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser beträgt 44.24 MWh. 41% davon werden, wie in Tab. 4.1.3.1. zu sehen ist für die Warmwasseraufbereitung verwendet. In Abb.4.1.3.2. ist der Jahresverlauf dargestellt.

	Verbrauch: Heizung	Verbrauch: Warmwasser	Total Verbrauch
MWh	25.96	18.28	44.24
%	58.68	41.32	100.00

Tab. 4.1.3.1 Netto Energieverbrauch für Heizung und Warmwasser.

Der Warmwasserverbrauch beträgt fast 2/3 des Raumheizungsverbrauches. Der Warmwasserbedarf pro Person und Tag beträgt 46 Liter (bei 60 °C).

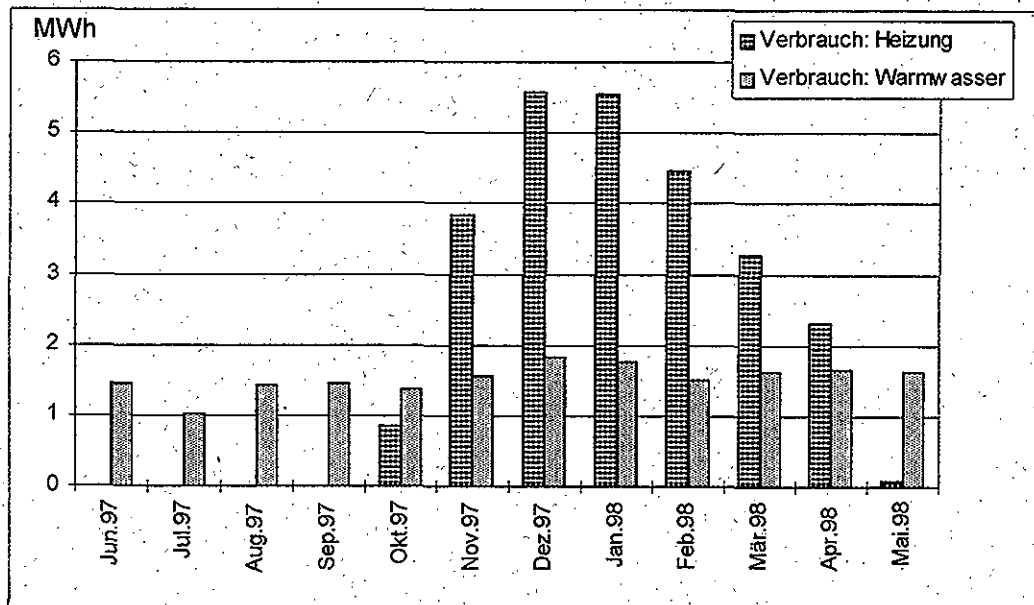


Abb.4.1.3.2. Jahresverlauf des Energieverbrauchs für Raumheizung bzw. Warmwasser

4.1.4. Wirkungsgrade

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad des Kessels liegt im Durchschnitt bei 85% (siehe 4.2.2).

Der Kessel-Jahresnutzungsgrad ergibt sich aus dem Verhältnis der in einem Jahr verbrannte Holzmenge (21 Ster = 42 MWh) und der in die Leitung geflossenen Energie (34.34 MWh). Der Kessel-Jahresnutzungsgrad liegt um 81 %.

Der Anteil beträgt an den restlichen Verlusten (Rostdurchfall, Abstrahlung, Armaturen, Bereitschaft) 5%.

Aus der Differenz der Energieflüsse in und aus dem Speicher kann die Speicher-Gesamteffizienz errechnen werden.

Die totale Input-Energie beträgt 47.77 MWh (34.34 Holz, 13.43 Sonne), die gesamt Output-Energie 44.24 MWh (25.96 Raumheizung, 18.28 Warmwasser). Die Speichereffizienz beträgt somit 92 %. Ein Teil der Verluste, des mit 12 cm Glaswolle isoliertem Speichers (3.53 MWh) kommen zum Teil dem Haus zugute und können somit nicht als effektive Verluste bezeichnet werden. Diese unkontrollierte Energie kann aber nicht effizient eingesetzt werden.

Die Gesamt-Effizienz der Holzheizungsanlage beträgt somit 75 % (Kessel-Jahresnutzungsgrad x Speichereffizienz).

Die Restwärmenutzung konnte nicht den gewünschten Beitrag erbringen. Die Restwärme wird nach dem Ausbrand vom Kessel direkt in die Raumheizung zugeführt. Das ist häufig nachts passiert in einer Zeit, in der die Raumheizung abgestellt war.

4.2. Emissionen

4.2.1 Labortest

Im April 1997 werden die Labor-Versuche an einem 35kW-Stückholzkessel durchgeführt. Der Kessel Drummer 35 Fabrikat Lopper ist mit einem Keramikrost (Entwicklung aus einem Diane7-Projekt) ausgerüstet.

Die Labor-Untersuchungen zeigen eine gute Stabilität bei der Verbrennung. Die ziemlich homogene Verbrennung über den ganzen Rostbereich verhindert die Bildung von Brandlöcher, was auf den Keramikrost, die seitliche Schamottierung und die grosse Rostfläche des Feuerraums zurückzuführen ist.

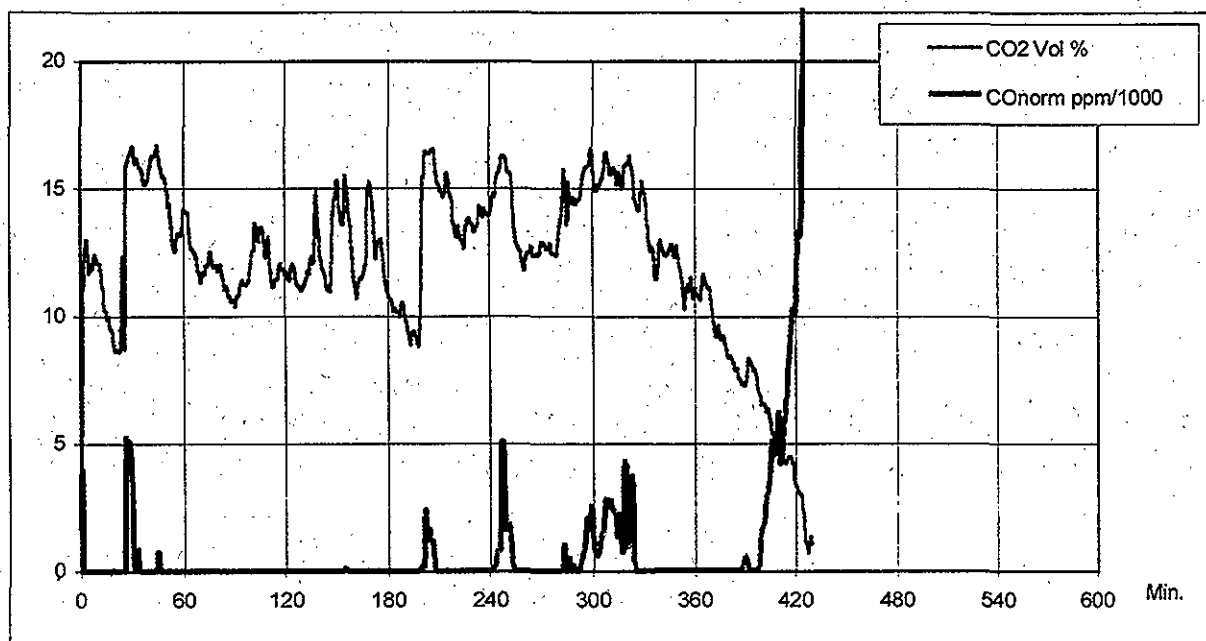


Abb.4.2.1.1. Zeitlicher-Verlauf der Kohlenmonoxid (CO) in ppm/1000 (normiert 13% Restsauerstoff) und Kohlendioxid (CO₂) in Vol%. Zeit in Minuten.

Die Abbildung 4.2.1.1. zeigt den Zeitverlauf von Kohlenmonoxid und -dioxid. Der Stabilitätsbereich ist relativ gross und liegt zwischen 9 und 15 CO₂ Vol%. Die durchschnittlichen CO-Werte liegen zwischen 400 und 800 ppm (13 Vol% O₂), die CO₂-Werte um 12 Vol%. Bei der Mittelwert-Bildung wird auch die Anfeuer- und Ausbrandphase (bis CO₂=2 Vol%) berücksichtigt.

Positiv kann das Emissionsverhalten der Anfeuerphase und beim Nachlegen von Brennholz beurteilt werden. Die CO-Mittelwerte in den ersten 10 Minuten liegen zwischen 200 und 3000 ppm (13 Vol% O₂). Beim Nachlegen von Holz ist kein nennenswerter Anstieg des Kohlenmonoxids zu verzeichnen.

In der Tabelle 4.2.1.2 sind die Mittelwerte aller Laborversuche zusammengefasst.

In der Startphase (10 Minuten) liegt der CO-Gehalt im Abgas durchschnittlich bei 2'500 ppm (13% O₂ Norm). Trotz Laborbedingungen und Fachpersonal verläuft die Startphase nicht immer wunschgemäß. Nur in zwei Fällen sind Werte unter 1000 ppm erreicht worden und einmal unter 300 ppm (13% O₂ Norm).

Über den gesamten Abbrand liegt der CO-Gehalt (13% O₂ Norm) deutlich unter 1000 ppm. Der feuerungstechnischer Wirkungsgrad beträgt 86%.

Versuch	Holzmenge Kg	Start (10 Minuten)			0 bis CO ₂ = 2%		
		CO ₂ Vol %	CO* ppm	Wgrad %	CO ₂ Vol %	CO* ppm	Wgrad %
030297B	40	13.3	3'144	89	12.4	705	87
A040297	50+40	10.5	219	90	12.1	487	86
B040297	50	13.7	5'874	89	11.7	1'022	87
C050297	25+50	12.2	817	91	10.1	644	85
B050297	30+50	13.0	2'188	91	10.7	712	86
B060297	50+40	14.2	3'379	90	10.8	792	86
Mittelwerte		12.8	2'603	90	11.3	727	86

Tab. 4.2.1.2. Labortests. Zusammenstellung der Resultate. * Norm 13 % O₂.

In Abb. 4.2.1.3. sind die Resultate der Labortests grafisch dargestellt.

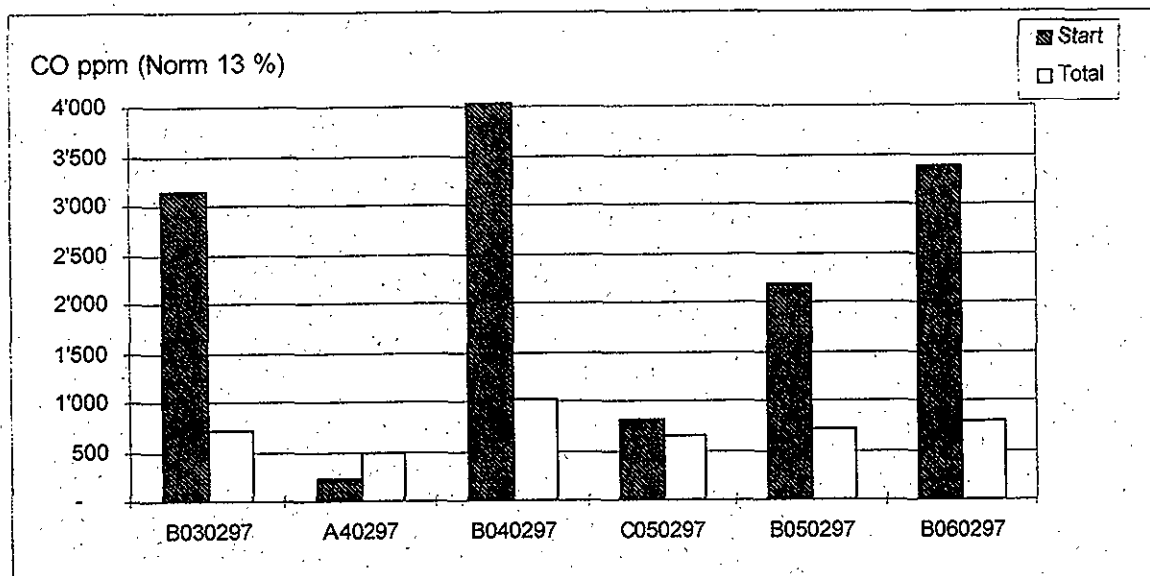


Abb.4.2.1.1. Labortests. Der durchschnittliche CO-Gehalt im Abgas in der Startphase (10 Minuten) und über den ganzen Abbrand (bis CO₂ = 2%)

4.2.2. Realtests

Diese Messungen werden im realen Betrieb durchgeführt. Die BewohnerInnen des 6-Familienhauses betreiben den Kessel und die Anlage abwechselungsweise nach ihren Gewohnheiten. In Tabelle 4.2.2.1 werden die Durchschnittswerte der ausgewerteten Versuche dargestellt.

Versuch	Holzmenge Füllungen	Start (10 Minuten)			CO2 2%		
		CO2	CO ppm	W'grad	CO2	CO ppm	W'grad
		Vol %	(Norm 13%)	%	Vol %	(Norm 13%)	%
A100497	1.0	11.6	1'115	89	8.8	977	82
A131197	1.3	7.1	4'154	85	8.2	2'300	83
A141197	1.6	6.1	10'506	87	7.5	2'721	84
B151197	1.0	14.2	5'765	89	8.6	3'257	85
A161197	1.3	5.5	3'709	84	9.1	1'799	85
A181197	2.0	11.2	1'463	86	6.4	3'005	81
A191197	1.7	8.4	3'271	86	6.9	2'157	82
A241197	1.0	10.9	205	87	8.0	1'476	83
A261197	1.2	11.3	2'683	93	6.8	2'608	83
A021297	1.7	10.6	2'015	96	10.9	1'424	91
A031297	1.0	2.8	3'008	90	7.1	2'316	84
B190498	1.0	4.7	3'345	96	7.2	3'476	99
B200498	1.0	6.0	2'884	97	8.3	950	101
Mittelwerte		8.5	3'394	88	8.0	2'190	84

Tab. 4.2.2.1. Durchgeführte Tests (Real). Diese Mittelwerte geben das reale Bild der Schadsstoffe.

Der Kohlenmonoxid-Ausstoß liegt durchschnittlich bei 2'200 ppm (13% O₂ Norm) in der Betriebsphase und bei 3'300 ppm (Norm13) in der Startphase (erste 10 Minuten). Der feuerungstechnischer Wirkungsgrad erreicht 85%.

In der Abb.4.2.2.2. sind die Resultate graphisch dargestellt. Die normierten CO-Werte liegen zwischen 1000 und 3'500 ppm.

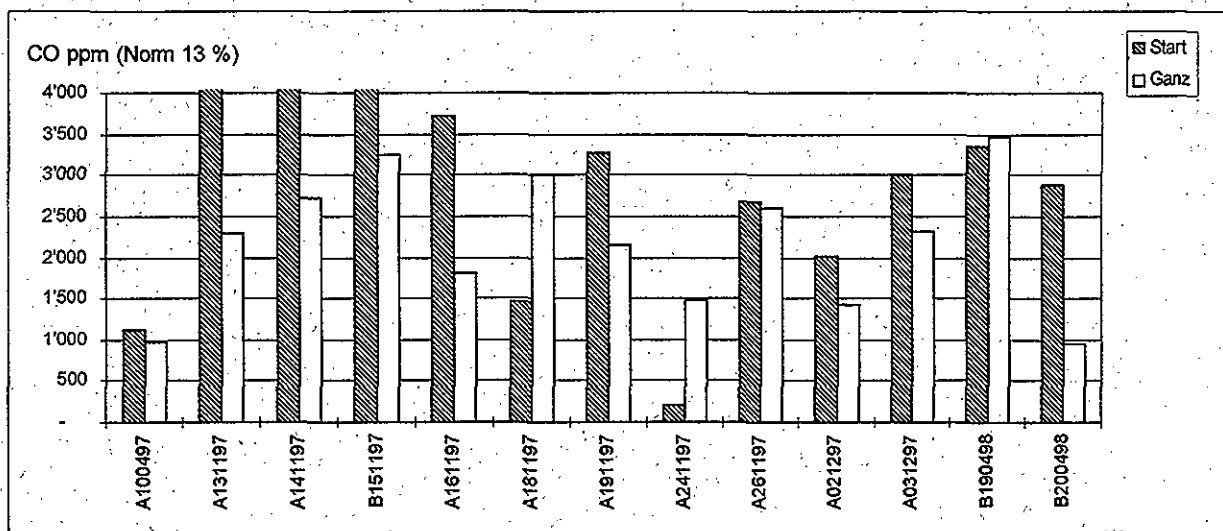


Abb.4.2.2.2. Graphische Darstellung der Resultate von Real-Tests

In der Tabelle 4.2.2.3. ist der Vergleich der Gesamt-Durchschnittswert von Labor- und Realtests dargestellt. In Bezug auf das Emissionsverhalten ist aus der Vergleichstabelle zu sehen, dass die Realtests schlechter als die Laborversuche sind.

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad ist bei den Realtests etwas kleiner als bei den Laborversuchen. Der Unterschied ist aber unwesentlich. In diesem Fall sind die Labortests aussagekräftig.

Mittelwerte	Start (10 Minuten)			CO2 2%		
	CO2 Vol %	CO ppm (Norm 13%)	W'grad %	CO2 Vol %	CO ppm (Norm 13%)	W'grad %
Labor	12.5	2'603	90.0	11.3	727	86.2
Real	8.5	3'394	88.4	8.0	2'190	83.9
Differenz	-4.0	791	-1.6	-3.3	1'463	-2.3
Differenz %	-32.	30	-2	-29	201	-3

Tab. 4.2.2.3. Differenz zwischen Labor und Real-Tests. Gesamt-Mittelwerte in der Anfeuerphase und über den ganzen Abbrand (Inkl. Anfeuer und Ausbrand bis CO₂=2 Vol%)

Das Emissionsverhalten zeigt einen grösseren Unterschied zwischen Labor- und Realtest. Die Differenz der Gesamt-Mittelwerte beträgt ca. 1500 ppm (13%O₂ Normiert). In Prozent ausgedrückt sind dies +200 %. Wird der Mittelwert vom Anfang bis der CO₂-Gehalt = 6 Vol% gerechnet, so beträgt der Unterschied ca. 900 ppm (+180%).

Zu bemerken bleibt, dass der CO-Mittelwert immer kleiner als 4000 ppm (13%O₂) ist, dem Grenzwert der aktuellen Luftreinhalteverordnung.

5. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Aussagen, die hier gemacht werden, basieren auf Messungen von einer Anlage mit einem Kessel und haben keinen Anspruch auf eine Generalisierung, auch wenn solche Resultate qualitativ zu erwarten waren. Es ist wünschenswert, dass andere Messprojekte von dieser Art durchgeführt werden könnten, um allgemein aussagekräftigere Resultaten zu eruieren.

5.1. Energie

Mit den durchgeführten Energie-Messungen können wir folgende Schlüsse ziehen:

Der Heizanlage-Jahres-Nutzungsgrad beträgt 75 %. Das heisst, dass von den gebrauchten 22 Ster Holz 16 Ster effektiv für Raumheizung und Warmwasser (durch Kessel, Wasserleitung, Radiatoren, Warmwasser) genutzt werden können und nur ca. 5 Ster Holz verloren gehen. Davon gehen 3 Ster (15%) durchs Kamin, 1 Ster (5%) durch zusätzliche Kesselverluste, 1 Ster (5 %) durch Speicherverluste verloren (Abb.5.1.1).

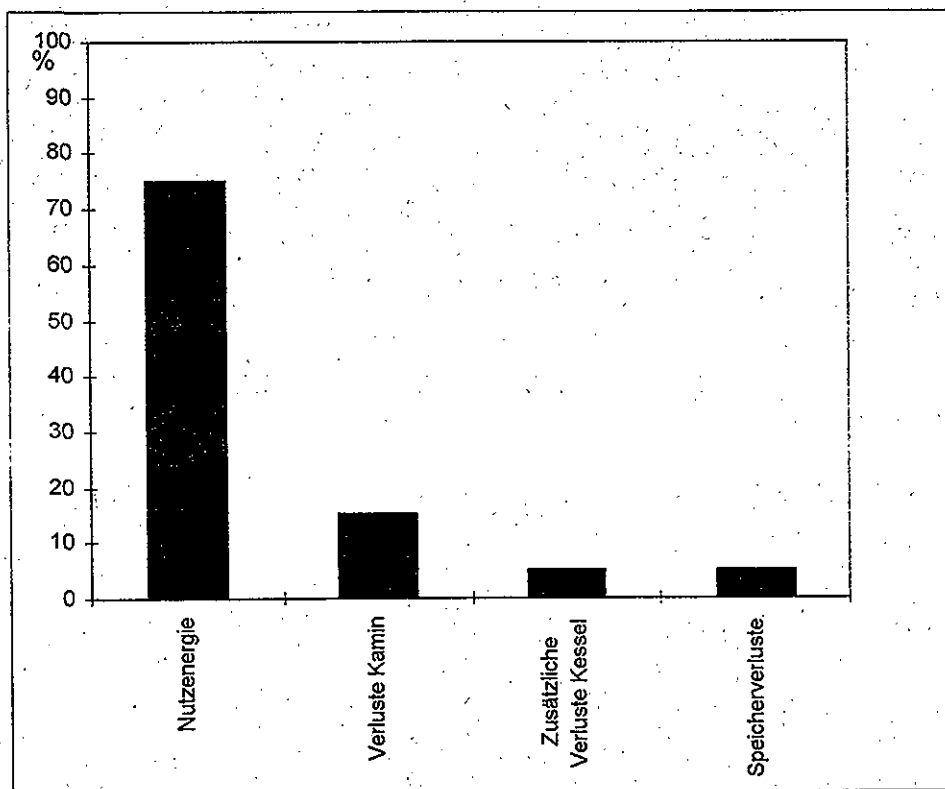


Abb.5.1.1. Der Jahresnutzungsgrad der Heizanlage beträgt 75 %, Verluste: 15% durch das Kamin, 5% zusätzliche Kesselverluste, 5% vom Speicher direkt.

Der errechnete Nutzungsgrad ist höher als erwartet (bis heute war die Rede von Werten unter 70%), aber verbesserungswürdig. Dieses Verbesserungspotential liegt zum Teil beim Kessel selber (Schätzung max. 5%), zum Teil beim gesamten System (Schätzung 6%). Da sind Hersteller und Entwickler aufgefordert, mit neuen Konzepten diesen weitverbreiteten Anlagentyp (Holz-Sonne-Speicheranlage) auf ein höheres technisches Niveau zu bringen.

5.2. Emissionen

In den Realtests (effektives Schadstoffausstoss) beträgt der Gesamtmittelwert des Kohlenmonoxidausstosses 2'190 ppm (13%O₂ Normiert). Der Gesamtmittelwert berücksichtigt die Anfeuerphase sowie die Ausbrandphase (bis CO₂-Gehalt = 2 Vol%). In der Startphase (erste 10 Minuten) werden Werte über 3'000 ppm erreicht. Der feuerungstechnische Wirkungsgrad liegt um 85%.

In den unter optimalen Bedingungen durchgeführten Labortests, weist der Kohlenmonoxid in Durchschnitt 727 ppm (13%O₂ Normiert), der Wirkungsgrad 86% auf.

Die CO-Emissionen der Realtests sind fast 3 Mal höher als die in Labortest. Diese Differenz ist fast nur auf die Bedienung, vor allem beim Anfeuern, zurückzuführen. Die Labortests geben in diesem Fall kein effektives reales Bild des Schadstoffausstosses. Offen bleibt noch die Frage, ob bei anderen Schadstoffen (z.B. NO_x) auch eine Differenz Labor / Real zu verzeichnen ist.

Bei dem feuerungstechnischen Wirkungsgrad hingegen ist eine minimale (2%) Differenz zu bemerken. In diesem Fall ist der Labortest aussagekräftig. Werden diese Resultate (Differenz Labor / Real) bestätigt, wäre es sinnvoll, die LRV-Grenzwerte für den Kohlenmonoxid auf 1/3 der heutigen Wert herabzusetzen.

6. Dank

Wir bedanken uns bei allen am Projekt beteiligten:

- Bundasamt für Energie, Amt für Umwelt und Energie Kanton Baselland für die finanzielle Unterstützung.
- Firma Lopper Kesselbau AG für die finanzielle Unterstützung und die gute Zusammenarbeit.
- die BewohnerInnen des 6-Familienhauses Erzenberg in 4438 Langenbruck für die Geduld und Mithilfe.

Anhang

Literaturverzeichnis

- (1) Anfeuerverbesserung durch Rostoptimierung (Diane7)
B. Salerno, D. Schlottmann EDMZ 805.201
- (2) 2. Kolloquium Klein-Holzfeuerung (Diane7)
CH. Gaegauf, Th. Nussbaumer, CH. Völlmin EDMZ 805.204
- (3) Restwärmenutzung bei Stuckholzkesselanlage (Diane7)
A. Jenni, M. Viget EDMZ 805.176
- (4) Wirkungsgradbestimmung bei Holzfeuerungen
J. Good, Th. Nussbaumer
- (5) MAD-Mobiles Analysegerät
P. Schweizer EDMZ 805.189 d
- (6) Auswertung der Messungen an 19 Klein-Holzfeuerung
Oekozentrum Langenbruck F. Märki

