

Schlussbericht Dezember 2005

# Systemoptimierung automatischer Holzheizungen

Projekt 44278 Vertrag 85514



ausgearbeitet durch

**Jürgen Good**  
**Thomas Nussbaumer**

Verenum  
Langmauerstrasse 109, 8006 Zürich

**Andres Jenni**  
Ardens GmbH  
Rufsteinweg 1, 4410 Liestal

**Ruedi Bühler**  
Umwelt und Energie  
Dörfli 1, 8933 Maschwanden

**Auftraggeber:**

Forschungs- und P+D Programm Biomasse des  
Bundesamtes für Energie

**Auftragnehmer:**

Verenum, Langmauerstrasse 109, 8006 Zürich

**Autoren:**

Dr. Jürgen Good  
PD Dr. Thomas Nussbaumer  
Andres Jenni  
Ruedi Bühler

**Begleitgruppe:**

Bund:  
Daniel Binggeli, Bundesamt für Energie BFE  
Ulrich Jansen, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL

SFIH, Holzfeuerungen Schweiz, Fabrikanten und Importeure von Holzfeuerungen:  
Stefan Köhli, Müller Holzfeuerungen AG  
Wolfgang Steurer, Mawera AG  
Guido Sutter, Schmid AG

Holzenergie Schweiz:  
Christoph Rutschmann

Dieses Dokument ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie erarbeitet worden.  
Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind alleine die Autoren verantwortlich.

**Bundesamt für Energie BFE**

Worbentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern  
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

**Vertrieb**

Der vorliegende Bericht kann unter [www.energieforschung.ch](http://www.energieforschung.ch) bezogen werden.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung</b> .....	<b>5</b>
<b>2. Ausgangslage und Zielsetzung</b> .....	<b>7</b>
<b>3. Vorgehen</b> .....	<b>8</b>
3.1. Begleitgruppe und Projektteam .....	8
3.2. Kriterien und Auswahl von Anlagen .....	8
3.3. Ablauf der Systemoptimierung.....	10
3.4. Anlagenberichte und Faktenblätter.....	12
<b>4. Resultate: Wirtschaftlichkeit</b> .....	<b>13</b>
4.1. Spezifische Investitionskosten .....	13
4.2. Wärmegestehungskosten .....	15
4.2.1. Vergleich zwischen ausgewiesenen und berechneten Wärmegestehungskosten einer Anlage.....	15
4.2.2. Vergleich der Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz.....	16
4.2.3. Zusammensetzung der Wärmegestehungskosten .....	18
4.3. Allgemeine Betriebskosten.....	20
4.4. Brennstoffkosten .....	21
4.5. Vertragssituation .....	23
4.6. Tarifmodelle.....	23
<b>5. Resultate: Technik</b> .....	<b>27</b>
5.1. Wärmeerzeugung .....	27
5.1.1. Leistungsreserven bei Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung.....	27
5.1.2. Leistung- und Verbrennungsregelung der Holzkessel.....	29
5.1.3. Emissionen und feuerungstechnischer Wirkungsgrad .....	31
5.1.4. Jahresnutzungsgrad der Holzheizungsanlagen .....	32
5.1.5. Gesamtverluste der Anlage .....	34
5.1.6. Hydraulik und Wasserqualität.....	35
5.1.7. Anlagen mit Speicher .....	35
5.1.8. Brennstoff und Asche.....	36
5.1.9. Silodimensionierung.....	37
5.1.10. Hilfsenergie, Stromverbrauch.....	37
5.1.11. Sicherheitsaspekte.....	38
5.2. Wärmeverteilung .....	39
5.2.1. Anschlussdichte und Wärmeverluste im Wärmenetz .....	39
5.2.2. Hydraulik .....	40
5.3. Bestimmung des Jahresnutzungsgrads einer Holzheizungsanlage .....	41
5.3.1. Vorgehen .....	41
5.3.2. Resultate .....	42

<b>6. Umsetzung von Massnahmen .....</b>	<b>44</b>
<b>7. Erreichte Ziele .....</b>	<b>45</b>
<b>8. Empfehlungen und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>46</b>
8.1. Empfehlungen an Anlagenbetreiber .....	46
8.2. Empfehlungen an Kessellieferanten.....	47
8.3. Empfehlungen an Gemeinden .....	48
8.4. Empfehlungen an Anlagenplaner .....	48
8.5. Schlussfolgerungen .....	48
<b>9. Literatur .....</b>	<b>49</b>
<b>10. Anhang .....</b>	<b>50</b>
10.1. Übersicht Jahresnutzungsgrad .....	50
10.2. Jahresnutzungsgrad nach indirekter Methode .....	51
<b>11. Beilage.....</b>	<b>52</b>
11.1. Anonymisiertes Faktenblatt einer untersuchten Anlage .....	52
11.2. Anonymisierter Anlagenbericht einer untersuchten Anlage.....	54

# 1. Zusammenfassung

Die Systemoptimierung ist eine neue Dienstleistung für Betreiber von automatischen Holzfeuerungen. Sie hat zum Ziel, dass bestehende automatische Holzfeuerungen ökologisch und ökonomisch optimal eingesetzt und betrieben werden. Den Schwerpunkt bilden Holzkessel zwischen 300 kW und 1 MW Leistung, die seit mindestens fünf Jahren in Betrieb sind. Beurteilt werden die Bereiche Brennstoff, Technik und Betrieb in Bezug auf technische und wirtschaftliche Optimierung. Als Verbesserungsmöglichkeiten werden betriebliche und technische Massnahmen aufgezeigt und wo möglich umgesetzt. Für Massnahmen mit Investitionsfolgen werden Potenzial und Kosten aufgezeigt und die Realisierung unterstützt.

Insgesamt sind im Rahmen der Systemoptimierung 30 über die ganze Schweiz verteilte Anlagen untersucht worden. Jeder Anlagenbetreiber hat einen ausführlichen Bericht erhalten, der auf Grund der Beurteilung der technischen und wirtschaftlichen Situation sowie der Analyse der vorgefundenen Schwachstellen einen ausführlichen Massnahmenkatalog enthält. Bei einigen Anlagen sind die vorgeschlagenen Massnahmen bereits mehrheitlich umgesetzt worden und beispielsweise die Erträge durch Verdichtung des bestehenden Wärmenetzes gestiegen. An einigen dieser Anlagen konnten Erfolgskontrollen durchgeführt werden. Diese zeigen beispielsweise, dass die Wartungskosten an einer Anlage um über 50 Prozent vermindert wurden. Auch konnte der Jahresnutzungsgrad an einer Anlage um 7 Prozent auf rund 81 Prozent gesteigert werden, andernorts konnten die Kohlenmonoxidemissionen um Faktoren gesenkt werden.

Der vorliegende Bericht gibt eine breite Übersicht über den vorgefundenen Stand von Technik und Wirtschaftlichkeit. Dabei ist allerdings festzuhalten, dass alle untersuchten Anlagen seit mindestens 5 Jahren in Betrieb sind und somit nicht dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Der Bericht enthält ausserdem eine vertiefte Darstellung über verschiedene Methoden zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrads einer Holzfeuerung sowie die dabei zu erwartenden Unsicherheiten.

Die Systemoptimierung wird von den Anlagenbetreibern generell als sehr wertvoll bezeichnet, weil sie kurz- und mittelfristige Handlungsperspektiven aufzeigt. In einigen Fällen bestätigt sie bereits bekannte Sachverhalte. Durch sachliche Wertung des Ist-Zustands und den Vergleich mit optimalen Werten trägt die Systemoptimierung dazu bei, dass die notwendigen Entscheidungen getroffen werden. In vielen Fällen zeigt sie auch bisher unentdeckte Schwachstellen auf und verhindert unnötige oder verfrühte Investitionen.

Im Weiteren gibt der vorliegende Bericht ausführliche Empfehlungen an Anlagenbetreiber, wie sie ihre Anlagen verbessern und damit die Wirtschaftlichkeit steigern können, sowie an Kessellieferanten, Gemeinden und Anlagenplaner. Die Erkenntnisse der Systemoptimierung sind bereits bei der Erarbeitung des Handbuchs QM Holzheizwerke berücksichtigt sowie an Symposien, Planungskursen und in Fachzeitschriften an Fachleute vermittelt worden.

## Résumé

Le projet *Optimisation des systèmes de chauffage automatiques au bois* est un nouveau service proposé aux exploitants. Son objectif est de rendre les installations, étant en service pendant plusieurs ans, plus performantes du point de vue économie et écologie. Les installations avec des chaudières à

bois d'une puissance entre 300 kW et 1 MW, qui sont en service depuis au moins cinq ans, sont traitées en priorité. Le potentiel d'amélioration du point de vue technique et économique est identifié, surtout en investiguant sur les domaines combustible, technique et exploitation de l'installation. Un catalogue de mesures vise à réduire les coûts et à éliminer les lacunes de l'installation. Potentiels et coûts de ces mesures sont démontrés et leur mise en œuvre est soutenue.

Dans le cadre du projet *Optimisation des systèmes de chauffage automatiques au bois*, une trentaine d'installations, étendues sur toute la Suisse, ont été examinées. Chaque exploitant a reçu un rapport détaillé de son installation. L'analyse de la situation technique et économique de l'installation et les lacunes trouvées sur place sont la base d'un catalogue détaillé de mesures. Sur quelques installations, une bonne partie de ces mesures proposées ont déjà été réalisées, soit p. ex. le raccordement de nouveaux clients dans le périmètre du réseau de chauffage, et, par conséquent, la rentabilité a été améliorée. Le taux de réussite n'a été évalué que sur quelques installations. Entre outre, une diminution de plus de 50 pourcent des frais d'exploitation (sans combustible) d'une installation et une augmentation du rendement annuel d'une autre installation de 7 pourcent à une valeur de 81 pourcent ont été démontrées. En plusieurs cas, les émissions de monoxyde de carbone ont été diminuées considérablement.

Le rapport présent donne un aperçu de l'état technique et de la rentabilité de toutes les installations examinées. Il en faut tenir compte que ces installations sont service depuis au moins cinq ans et donc ne représentent pas l'état technique actuel. En plus, le rapport démontre en détail trois différentes méthodes de déterminer le rendement annuel d'un chauffage automatique au bois, y compris une estimation de l'incertitude de cette détermination.

Les exploitants considèrent le rapport détaillé de leur installation très précieux, car il démontre des perspectives d'agir à courts termes et à moyens termes. En plusieurs cas, le rapport a démontré des faits déjà connus. Dans ces cas, l'*Optimisation des systèmes de chauffage automatiques au bois* contribue avec son jugement neutre et compétant à prendre les décisions nécessaires. En beaucoup des cas, elle ne démontre pas seulement des lacunes ignorées jusque-là, mais elle empêche aussi des investissements prématurés ou inutiles.

En plus, le rapport présent donne des recommandations détaillées aux exploitants pour augmenter la performance de leurs installations et la rentabilité, aux fournisseurs des chauffages automatiques au bois et aux bureaux de planification. Les constatations de ce projet ont été prises en considération dans assurance qualité (QM Holzheizwerke) et ont été présentées dans le cadre de symposium, de cours de planifications et dans plusieurs revues spécialisées.

## 2. Ausgangslage und Zielsetzung

Automatische Holzfeuerungen sind in den vergangenen Jahren vom Bund in verschiedenen Programmen finanziell unterstützt worden. Im Rahmen der Lothar-Förderung wurden auch in den Jahren 2000 bis 2003 weitere Anlagen unterstützt. Der Einsatz von Fördermitteln, der nun über die Kantone erfolgt, soll eine nachhaltige Erhöhung der Holzenergienutzung bewirken. Um dies zu gewährleisten sollen gute Anlagen in Bezug auf Ökonomie und Ökologie realisiert werden. Für Neuanlagen wird dazu das Qualitätssicherungsinstrument QM Holzheizwerke (vorher QS Holzheizung) eingesetzt.

Bei bereits realisierten Anlagen kommt diese Hilfe jedoch nicht zum Tragen. Da es im Interesse des Bundes ist, dass auch bestehende Holzfeuerungen ökologisch und ökonomisch optimal eingesetzt und betrieben werden, hat der Bund das Projekt **Systemoptimierung** als Dienstleistung für Betreiber von Holzfeuerungsanlagen initiiert. In das durch Verenum geleitete Projekt sind nebst dem Bund auch die Akteure der Holzenergiebranche einbezogen. Dies sind Vertreter von BFE, BUWAL, Holzenergie Schweiz und SFIH, letztere vertreten durch die Firmen Schmid AG, Müller AG Holzfeuerungen und Mawera AG. Im Weiteren erfolgt eine Koordination mit dem Projekt QS Holzheizung bzw. QM Holzheizwerke.

In einer Pilotphase wurde die Systemoptimierung an fünf Anlagen durchgeführt, bis Mitte 2005 wurden weitere 25 Anlagen in der ganzen Schweiz untersucht. Es wurden bewusst Anlagen ausgewählt, bei denen ein Handlungsbedarf vermutet wurde. Die Ergebnisse sind somit **nicht** repräsentativ für neu erstellte oder optimal betriebene Anlagen. Sie zeigen jedoch auf, wo bei Anlagen im Praxiseinsatz ein grosses Verbesserungspotential besteht und wie es ausgeschöpft werden kann [1, 2, 3, 4].

## 3. Vorgehen

### 3.1. Begleitgruppe und Projektteam

Zur Festlegung des Vorgehens und der Verantwortlichkeiten wurde eine Begleitgruppe gegründet, in der nebst dem Projektteam auch Bund, Verbände und Industrie vertreten sind, nämlich BFE, BUWAL, Holzenergie Schweiz und SFIH.

### 3.2. Kriterien und Auswahl von Anlagen

Aus rund 80 interessierten Betreibern hat die Begleitgruppe 30 Anlagen ausgewählt, bei denen ein Handlungsbedarf vermutet wurde. Die Auswahl der Anlagen erfolgte zudem unter dem Gesichtspunkt der Ausgewogenheit von Regionen, von Anlagentypen und -leistungen, von Holzfeuerungsfabrikaten und Feuerungstypen, von Wärmenetzen und Betreibern (öffentliche Hand, Private, Holzindustrie). Bild 3.1 zeigt die Standorte der untersuchten Anlagen, Bild 3.2 zeigt die Verteilung der installierten Leistungen und des Wärmeleistungsbedarfs der untersuchten Anlagen. Im Weiteren weisen die untersuchten Anlagen folgende Daten auf:

- Holzfeuerungsfabrikate
  - Schmid AG 13
  - Müller AG Holzfeuerungen 8
  - Mawera AG 5
  - Ygnis 2
  - Enviro Technik 2
  - Lambion GmbH 1
- Anlagentyp und -alter
  - Monovalent ohne Speicher 10 (6 mit zwei Holzkesseln)
  - Monovalent mit Speicher 0
  - Bivalent ohne Speicher 15 (3 mit zwei Holzkesseln)
  - Bivalent mit Speicher 5 (1 mit zwei Holzkesseln)
  - Baujahr älteste/jüngste 1990 / 1999
- Anlagenleistung
  - Kleinste/Grösste Anlage 320 / 5'000 kW
  - Kleinster/Grösster Holzkessel 240 / 2'500 kW
- Feuerungstyp
  - Unterschubfeuerung 24
  - Rostfeuerung 6
- Wärmenetz
  - Anlagen mit/ohne Wärmenetz 26 / 4
  - Wärmenetze mit Ganzjahresbetrieb 20
  - Kleinste/Grösste Netzlänge 360 / 3'730 Trm
- Betreiber
  - Gemeinde 20
  - Holzindustrie 5
  - Andere 5



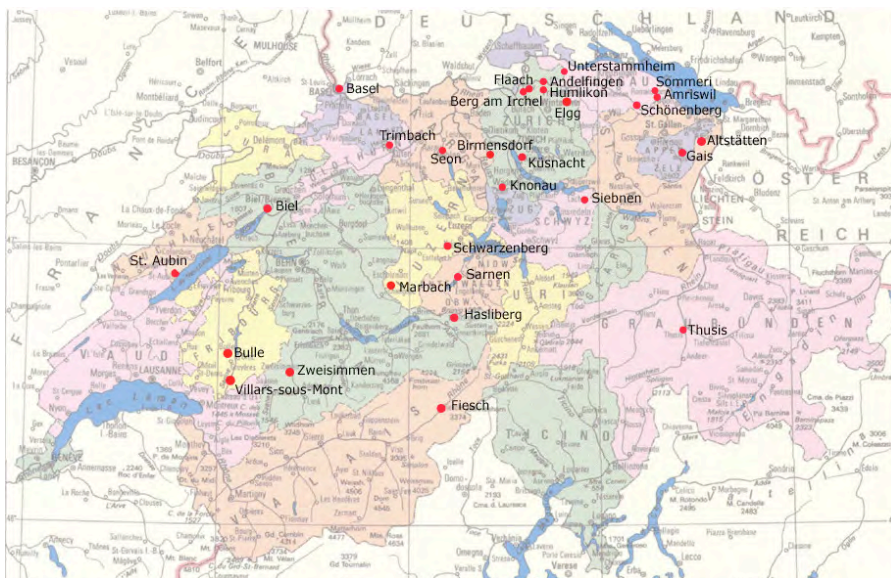


Bild 3.1: Standorte der untersuchten Anlagen.

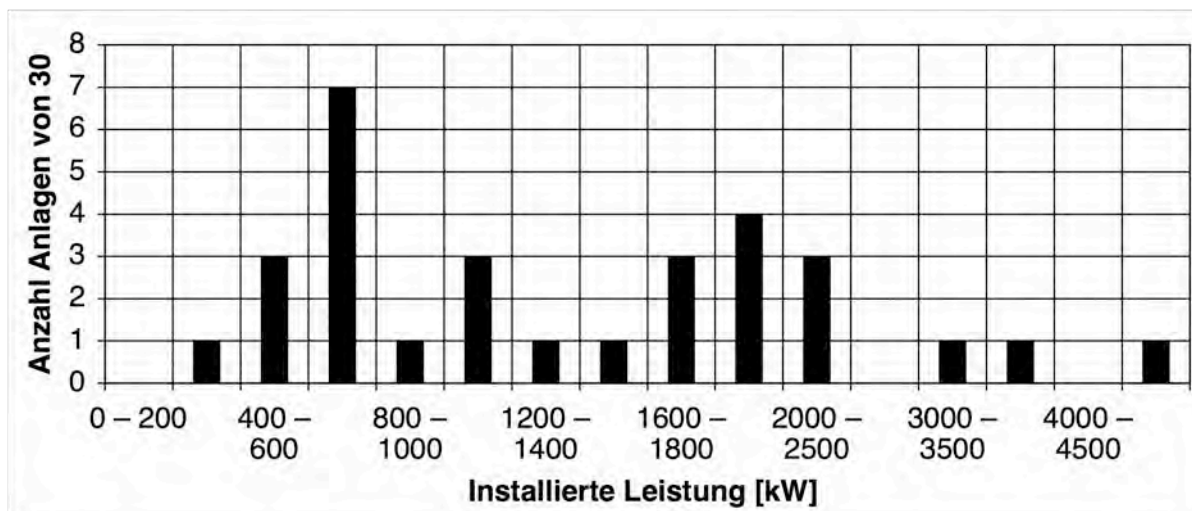


Bild 3.2: Verteilung der in den Heizzentralen installierten Leistung der untersuchten Anlagen.

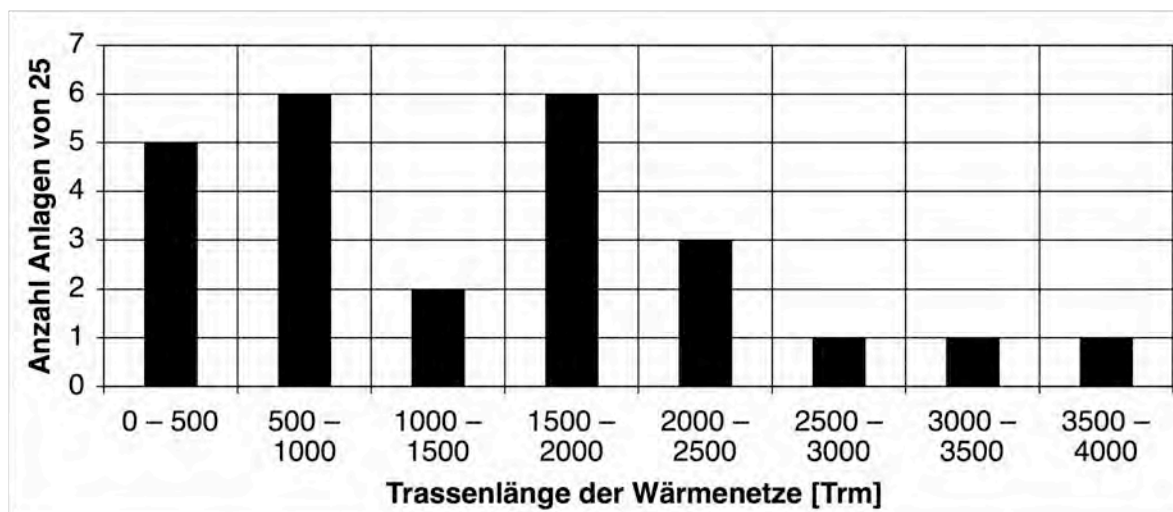


Bild 3.3: Verteilung der Netzlängen der untersuchten Anlagen mit Wärmenetz.

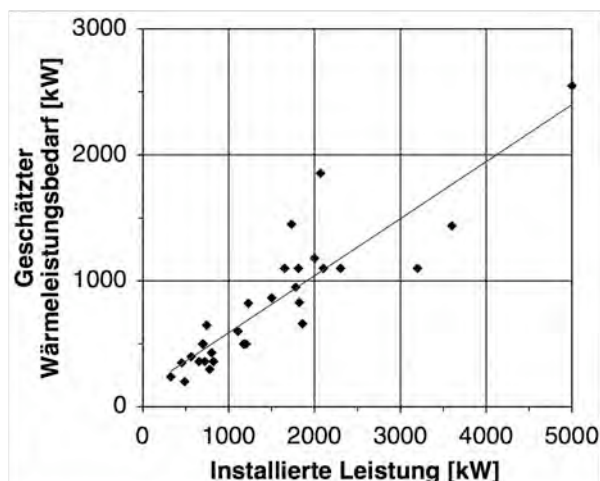


Bild 3.4: Geschätzter Wärmeleistungsbedarf in Funktion der installierten Leistung der untersuchten Anlagen. Die Schätzung des Wärmeleistungsbedarfs erfolgt auf Basis des Jahresenergieverbrauchs, der Heizgradtage und der geschätzten Vollbetriebstundenzahl der einzelnen Wärmeabnehmer.

Wie Bild 3.4 zeigt ist der geschätzte Wärmeleistungsbedarf oft niedriger als die installierte Leistung.

### 3.3. Ablauf der Systemoptimierung

Um eine rationelle Bearbeitung der untersuchten Anlagen zu gewährleisten wurde ein umfangreicher Fragebogen zu den Bereichen Technik und Wirtschaftlichkeit erstellt. In einem ersten Schritt füllte der Betreiber den Fragebogen aus und stellte Prinzip- und Hydraulik schemata seiner Anlage zur Verfügung. Aus den vorliegenden Unterlagen wurden Kenndaten ermittelt, die einen Vergleich mit Erfahrungswerten von anderen Anlagen sowie mit Zielwerten von QM Holzheizwerke ermöglichten. In einem zweiten Schritt fand die Besichtigung der Anlage statt, bei der die Bereiche Brennstoff, Technik und Betrieb beurteilt wurden und eine mehrstündige Emissionsmessung durchgeführt wurde. Die Technik umfasste nebst der Feuerungsanlage auch die periphere Infrastruktur von der Brennstoffanlieferung bis zur Hydraulik. Aufgrund der vorgängigen Auswertung der Unterlagen konnten Schwachpunkte gezielt untersucht werden. Als dritter Schritt wurde für jede Anlage ein vertraulicher Bericht zu Händen des Anlagenbetreibers erstellt.

#### Datenerhebung

Es wurde eine ausführlicher Fragebogen an die Betreiber der Anlagen verschickt, der detaillierte Angaben gemäss Tabelle 3.1 verlangte.

Tabelle 3.1: Übersicht über die mittels Fragebogen erhobenen Angaben.

<b>Wirtschaftlichkeit</b>	
Investitionskosten	Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung
Finanzierung	Förderbeiträge Bund und Kanton, Darlehen, Eigenmittel, Einmalige Anschlussgebühren
Jahreskosten	Kapitalkosten, allgemeine Betriebskosten, Brennstoffkosten
Jahresertrag	Wärmeverkauf, Grundgebühren
<b>Technik</b>	
Wärmeerzeugung	Von den Kesseln produzierte Wärme [MWh/a]

Brennstoff	Herkunft, Mengen, Abrechnungsart, Preis
Silo und Transporteinrichtungen	
Wärmeverteilung	Ab Wärmenetz bezogene Nutzwärme [MWh/a]
<b>Betrieb</b>	Wartung, Unterhalt, aufgetretene Störungen, Aschehandling
<b>Weitere Unterlagen</b>	Prinzip- oder Hydraulikschema von Heizzentrale und Wärmeverteilung, Brennstoffliefervertrag, Wärmeliefervertrag inkl. Technische Anschlussvorschriften TAV, Auszug aus Betriebsjournal, amtl. Messprotokolle

### Ermittlung von relevanten Kenndaten

Aus den retournierten Fragebögen wurden relevante Kenndaten gemäss Tabelle 3.2 bestimmt.

Tabelle 3.2: Übersicht über die relevanten Kenndaten bezüglich Wirtschaftlichkeit.

#### Kenndaten bezüglich Wirtschaftlichkeit

Investitionskosten Wärmeerzeugung	absolut [CHF] und spezifisch [Rp./kWh <sub>Nutzwärme</sub> ]
Investitionskosten Wärmeverteilung	absolut [CHF] und spezifisch [Rp./kWh <sub>Nutzwärme</sub> ]
Jahreskosten, aufgeteilt nach	Kapitalkosten (Verzinsung, Abschreibung, Rückstellungen)
	Allgemeine Betriebskosten (Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, Verwaltung etc.)
Jahreskosten, aufgeteilt nach	Brennstoffkosten
	Wärmeerzeugung (Kapitalkosten und Allgemeine Betriebskosten)
	Wärmeverteilung (Kapitalkosten und Allgemeine Betriebskosten)
Jahresertrag	Brennstoffkosten
Wärmegestehungskosten	Wärmeverkauf, Grundgebühren
Wärmegestehungskosten	Vom Betreiber ausgewiesen
- Vollkosten	Im Rahmen der Systemoptimierung berechnet aus Investitionskosten (Annuitätenmethode) und mit Annahmen über Wartungs- und Unterhaltskosten
- Nettokosten I (nach Abzug von Finanzhilfen)	
- Nettokosten II (nach Abzug von Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren)	

Tabelle 3.3: Übersicht über die relevanten Kenndaten bezüglich Technik.

#### Kenndaten bezüglich Technik

Vollbetriebsstundenzahl	Holzessel
Jahresnutzungsgrad	
Anschlussdichte	Wärmeverteilung
Verluste	Wärmeverteilung
Silodimensionierung	
Energieinhalt des Brennstoffs	
Hilfsenergieverbrauch	
Ascheanteil des Brennstoff	

### **Anlagenbesichtigung**

Die Anlagen wurden jeweils durch mindestens zwei Mitglieder des Projektteams besichtigt. Zusammen mit dem Betreiber und dem Anlagenwart wurden Heizzentrale, Silo und eine Hausstation der Wärmeverteilung untersucht, die Checklisten vervollständigt und weitere Pläne oder Unterlagen gesichtet und kopiert. Fragen, die sich aus den Kenndaten ergeben hatten, konnten vor Ort geklärt werden. Ausserdem wurden jeweils mehrstündige Emissionsmessungen durchgeführt, der Wassergehalt des Brennstoffs bestimmt und die Abgasgeschwindigkeit gemessen.

### **Grobbeurteilung**

Die wirtschaftliche und die technische Situation der Anlagen wurden gesamthaft beurteilt basierend auf den Kenndaten, der Besichtigung und durch einen Vergleich mit Erfahrungswerten und Zielwerten von QM Holzheizwerke.

### **Schwachstellenanalyse und Lösungsvorschläge**

Als Schwachstellen wurden jene Punkte identifiziert, bei denen eine grössere Abweichung zu Erfahrungswerten und den Zielwerten von QS Holzheizung auftraten. Zur Behebung dieser Mängel wurden Massnahmen vorgeschlagen, deren Kosten und Nutzen soweit möglich beziffert wurden.

### **Messprogramm für Betriebsoptimierung**

Wenn die Bestandesaufnahme zu wenige Informationen zur Ausarbeitung eines Massnahmenplans ergab, aber ein grosses Verbesserungspotenzial vermutet wurde, wurde die Durchführung eines Messprogramms vorgeschlagen.

### **Massnahmenplan**

Die Lösungsvorschläge wurden in einem Massnahmenplan zusammengefasst. Dabei wurde zwischen kurzfristigen und mittelfristigen Massnahmen unterschieden. Kurzfristig bedeutet dabei, dass die Massnahmen innerhalb der nächsten zwei Jahre zu realisieren sind, mittelfristig innerhalb von fünf Jahren.

## **3.4. Anlagenberichte und Faktenblätter**

Jeder der 30 Anlagenbetreiber erhielt einen ausführlichen Anlagenbericht. Dieser umfasste eine **Situationsanalyse** mit einer Grobbeurteilung der Anlage, das Aufzeigen von technischen und wirtschaftlichen **Schwachstellen** und einen **Massnahmenplan**. Die in kurz- und mittelfristig aufgeteilten Massnahmen zeigten auf, wie technische und ökonomische Mängel zu verbessern sind. Im Vordergrund standen dabei ein hoher Wirkungsgrad und tiefe Emissionen sowie ein wirtschaftlich optimaler Betrieb. Für die Massnahmen wurden Kosten und Nutzen aufgezeigt sowie deren Umsetzung so weit möglich begleitet.

Neben den ausführlichen, vertraulichen Anlagenberichten wurden auch Faktenblätter erstellt, in denen die wichtigsten Daten jeder Anlage und die vom Projektteam vorgeschlagenen Massnahmen zusammengefasst wurden. Die Holzkessellieferanten erhielten die Faktenblätter ihrer Anlagen und, nach Absprache mit dem Anlagenbetreiber, auch den technischen Teil des ausführlichen Anlagenberichts.

Der vorliegende Schlussbericht enthält eine übergeordnete, anonymisierte Auswertung aller untersuchten Anlagen sowie Empfehlungen für Anlagenbetreiber, Kessellieferanten, Gemeinden und Planer. Viele Erkenntnisse sind bereits in das neu überarbeitete Qualitätsmanagement *QM Holzheizwerke* integriert. Projekte, die bereits in der Planungsphase mit QM Holzheizwerke begleitet werden, sollen dem Bauherrn eine qualitativ hoch stehende und wirtschaftliche Anlage zusichern [5].

## 4. Resultate: Wirtschaftlichkeit

Das Qualitätssicherungssystem QM Holzheizwerke wurde 2001 in der Schweiz und ab 2004 auch in Bayern und Baden-Württemberg eingeführt. Auch in Österreich ist die Einführung ab 2006 geplant. Zur Beurteilung der untersuchten Anlagen werden die Qualitätsanforderungen und Zielwerte von QM Holzheizwerke als Vergleichswerte angewendet [6, 7, 8]. Die untersuchten Anlagen wurden allerdings vor der Einführung von QM Holzheizwerke geplant und realisiert, so dass eine Einhaltung der für heutige Anlagen geltenden Qualitätsanforderungen nicht erwartet werden kann.

### 4.1. Spezifische Investitionskosten

#### Wärmeerzeugung

Die Investitionskosten der Wärmeerzeugung beinhalten Heizraum, Brennstofflager mit Austragung für mono- oder bivalente Holzheizanlage mit oder ohne Speicher inkl. Steuerung/Regelung, hydraulische Einbindung der Heizzentrale sowie Kaminanlage. Bild 4.1 zeigt die Verteilung der spezifischen Investitionskosten der Wärmeerzeugung (bezogen auf den Wärmeleistungsbedarf der Gesamtanlage) und Bild 4.2 zeigt die spezifischen Investitionskosten der Wärmeerzeugung in Funktion des Wärmeleistungsbedarfs der Gesamtanlage. Die ausgezogene Kurve in Bild 4.2 entspricht dem von QM Holzheizwerke angestrebten Zielwert, der schraffierte Bereich entspricht einer Bandbreite von plus/minus 25 % des Zielwerts, die am oberen Rand nicht überschritten werden sollte.

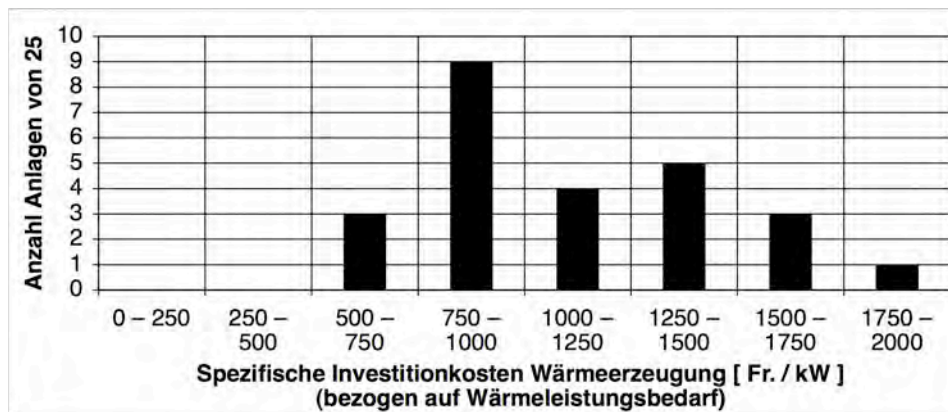


Bild 4.1: Verteilung der spezifischen Investitionskosten der Wärmeerzeugung [Fr./kW], bezogen auf den Wärmeleistungsbedarf der Gesamtanlage.

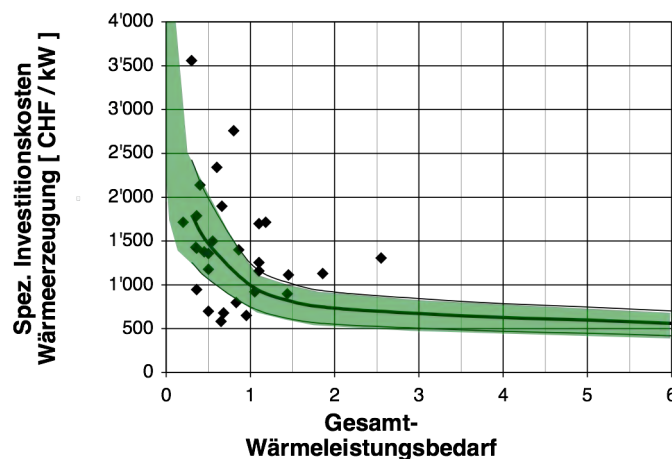


Bild 4.2: Spezifische Investitionskosten der Wärmeerzeugung [Fr./kW] (bezogen auf den Gesamt-Wärmeleistungsbedarf) in Abhängigkeit des Gesamt-Wärmeleistungsbedarf [MW].

## Diskussion

Dreizehn der untersuchten Anlagen liegen im Bereich des Zielwerts und zehn Anlagen überschreiten den Zielbereich, einige davon deutlich. Sechs der untersuchten Anlagen liegen unterhalb des für heute realisierte Anlagen erwarteten Bereichs. Bei diesen Anlagen waren Teile der Wärmeerzeugung (Gebäude Heizraum, Silo, Kaminanlage) bereits vorhanden und/oder mussten nur umgebaut werden.

## Wärmeverteilung

Die Investitionskosten der Wärmeverteilung beinhalten die Fernleitungsgruppen in der Heizzentrale, das Fernleitungsnetz bis zu und mit den Wärmeübergabestationen ohne die Hauszentralen. Bild 4.3 zeigt die Verteilung der spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung (bezogen auf den jährlichen Nutzwärmebedarf der Gesamtanlage) und Bild 4.4 zeigt die spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung in Funktion der Anschlussdichte der Gesamtanlage. Die untere ausgezogene Kurve markiert günstige, die obere Kurve ungünstige Baubedingungen. Die beiden schraffierten Linien entsprechen dem von QM Holzheizwerke angestrebten Zielwert für die erste Ausbaustufe bzw. für den Endausbau des Wärmenetzes. Die beiden Zielwerte dürfen um höchstens 25 % überschritten werden.

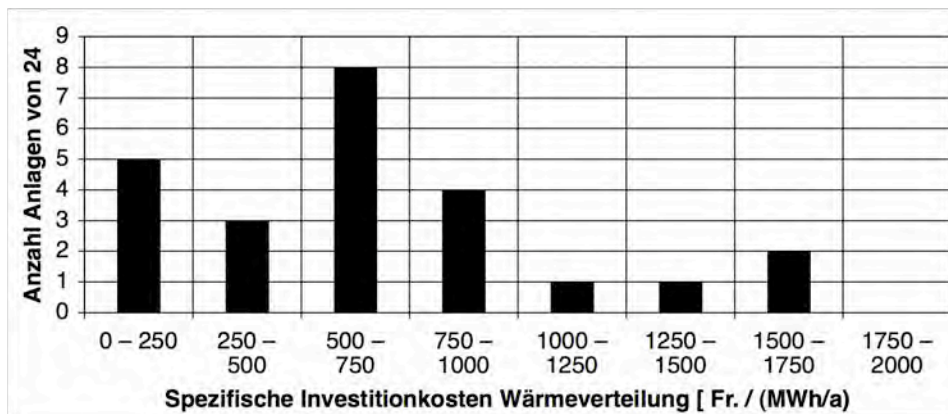


Bild 4.3: Verteilung der spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung [Fr./MWh/a], bezogen auf die jährlich abgegebene Nutzwärme.

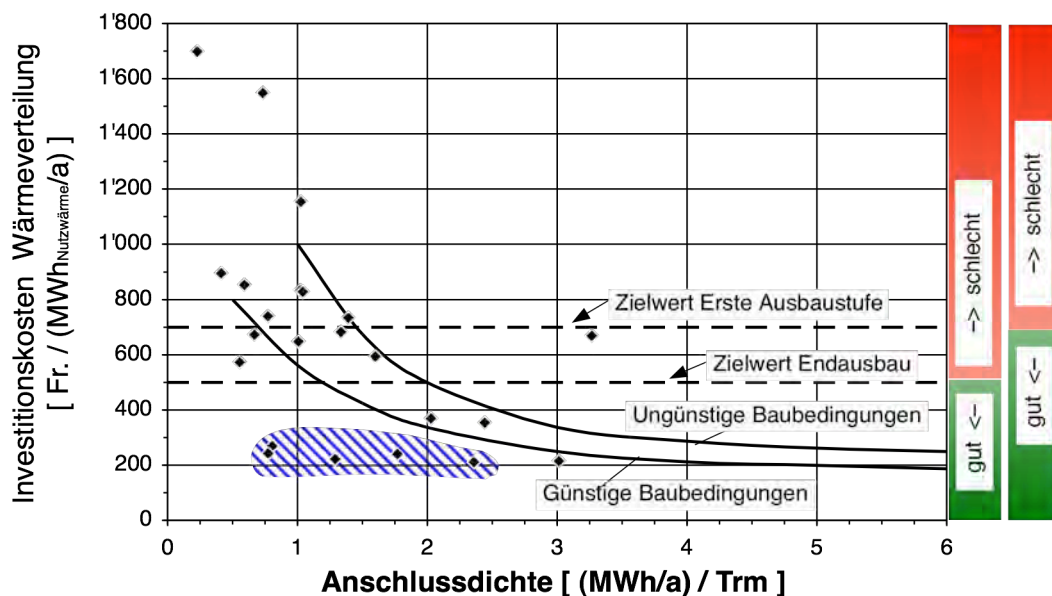


Bild 4.4: Spezifische Investitionskosten der Wärmeverteilung [Fr./MWh/a] (bezogen auf die jährlich abgegebene Nutzwärme) in Abhängigkeit der Anschlussdichte [(MWh/a) / Trm] für günstige und ungünstige Baubedingungen.

**Diskussion**

Zehn der untersuchten Anlagen liegen unterhalb des für heute realisierte Anlagen erwarteten Zielbereichs (Zielwert + 25 %) für den Endausbau, weitere neun Anlagen liegen unterhalb des für heute realisierte Anlagen erwarteten Zielbereichs für die erste Ausbautetappe und weitere vier Anlagen liegen teils deutlich darüber. Bei rund der Hälfte der untersuchten Anlagen liegen die spezifischen Investitionskosten der Wärmeverteilung somit über dem Zielbereich, der für den Endausbau eines Wärmenetzes angestrebt wird. Bei diesen Anlagen ist eine Verdichtung des bestehenden Wärmenetzes angezeigt oder ein sehr gezielter Ausbau in geeignete Wärmeversorgungsgebiete. Fünf Anlagen (schraffierter Bereich) enthalten die Investitionskosten nur einen Teilausbau, weil ein grosser Teil des Wärmenetzes bereits vorhanden war.

**4.2. Wärmegestehungskosten**

Die Vergleichbarkeit der von den Betreibern ausgewiesenen Wärmegestehungskosten ist beschränkt. So werden bei einigen von Gemeinden betriebenen Anlagen keine Kapitalkosten ausgewiesen, weil sie an anderer Stelle in der Gemeinderechnung verbucht werden. Oft wird auch der Wartungsaufwand deutlich unterschätzt, da der effektive zeitliche Aufwand des Anlagenwerts meist grösser ist als ausgewiesen. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Werte untereinander zu erhalten, werden die Wärmegestehungskosten der Anlagen aus den Investitionskosten nach der Annuitätenmethode berechnet. Dabei werden die Vollkosten sowie die Nettokosten nach Abzug von Finanzhilfen (Netto I) und nach Abzug der einmaligen Anschlussgebühren (Netto II) berechnet.

**4.2.1. Vergleich zwischen ausgewiesenen und berechneten Wärmegestehungskosten einer Anlage**

Der Vergleich zwischen ausgewiesenen Wärmegestehungskosten und berechneten Werten (Nettokosten II) einer einzelnen Anlage erlaubt im Vergleich mit Erfahrungswerten übermässige oder zu wenig berücksichtigte Kosten zu identifizieren. Tabelle 4.1 zeigt diesen Vergleich am Beispiel einer Anlage mit einem Wärmeleistungsbedarf von ca. 1'200 kW und einer Trassenlänge des Wärmenetzes von ca. 1'700 Trm. Das Beispiel zeigt eine gute Übereinstimmung der Kapitalkosten, während der ausgewiesene Betriebsaufwand deutlich niedriger ist als der gemäss Kap. 4.3 erwartete Betriebsaufwand. Der effektive Aufwand für Verwaltung und Wartung wird unterschätzt bzw. wird auf anderen Konten abgebucht. Der bisherige Aufwand für den Unterhalt der Anlage war vergleichsweise niedrig, der Aufschub von notwendigen Unterhaltsarbeiten kann unter Umständen zu hohen Folgekosten verursachen.

Tabelle 4.1 Vergleich zwischen den vom Betreiber ausgewiesenen Wärmegestehungskosten (Nettokosten II) und den nach Annuitätenmethode und Annahmen über allgemeine Betriebskosten berechneten Wärmegestehungskosten (Vollkosten, Nettokosten I und II) am Beispiel einer Anlage mit einem Wärmeleistungsbedarf von ca. 1'200 kW und einer Netzlänge von ca. 1'700 Trm.

		Vom Betreiber ausgewiesene Kosten  Nettokosten II	Im Rahmen der Systemoptimierung berech- nete Kosten gemäss Annuitätenmethode und Annahmen über Betriebsaufwand		
			Vollkosten	Nettokosten I	Nettokosten II
Investition Wärmeerzeugung	Fr.	1'207'250			
Investition Wärmeverteilung	Fr.	1'445'650			
Investitionsvolumen	Fr.	2'652'900	2'652'900	2'652'900	2'652'900
Finanzhilfen	Fr.	-180'400		-180'400	-180'400
Einmalige Anschlussgebühren	Fr.	-792'300			-792'300
Kapitalbedarf	Fr.	1'680'200	2'652'900	2'472'500	1'680'200
Kapitalkosten total	Fr./a	89'600	190'914	177'932	84'932
Kapitalverzinsung + Abschreibung	Fr./a	89'600			
Rückstellungen	Fr./a	0			
Betriebskosten total	Fr./a	112'915	128'158	128'158	128'158
Brennstoffe	Fr./a	85'380	85'380	85'380	85'380
Betriebsaufwand	Fr./a	27'535	42'778 *	42'778 *	42'778 *
Jahreskosten	Fr./a	202'515	319'073	306'090	213'091
Jahresertrag	Fr./a	186'000	186'000	186'000	186'000
Verkaufte Nutzwärme	MWh/a	1'734	1'734	1'734	1'734
Wärmeerzeugungskosten ohne Brennstoff	Rp./kWhNutz	k.A.	7.6	7.2	4.5
Wärmeverteilungskosten	Rp./kWhNutz	k.A.	5.9	5.5	2.9
Brennstoffkosten	Rp./kWhNutz	4.9	4.9	4.9	4.9
<b>Wärmegestehung Vollkosten</b>	Rp./kWhNutz		<b>18.4 **</b>		
<b>Wärmegestehung Nettokosten I</b>	Rp./kWhNutz			<b>17.7 **</b>	
<b>Wärmegestehung Nettokosten II</b>	Rp./kWhNutz	<b>11.7</b>			<b>12.3 **</b>

\* Berechnet nach Kap. 4.3

\*\* Berechnet aus den jeweiligen Jahreskosten dividiert durch die jährlich verkaufte Nutzwärme

#### 4.2.2. Vergleich der Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz

Bild 4.5 zeigt die Verteilung der berechneten spezifischen Wärmegestehungskosten, aufgeteilt nach Vollkosten, Nettokosten I und Nettokosten II. Rund die Hälfte der untersuchten Anlagen weisen Wärmegestehungskosten auf Vollkostenbasis bis und mit rund 16 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> auf. Nach Abzug von Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren betragen die Wärmegestehungskosten (Nettokosten II) bis und mit rund 13.5 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>.



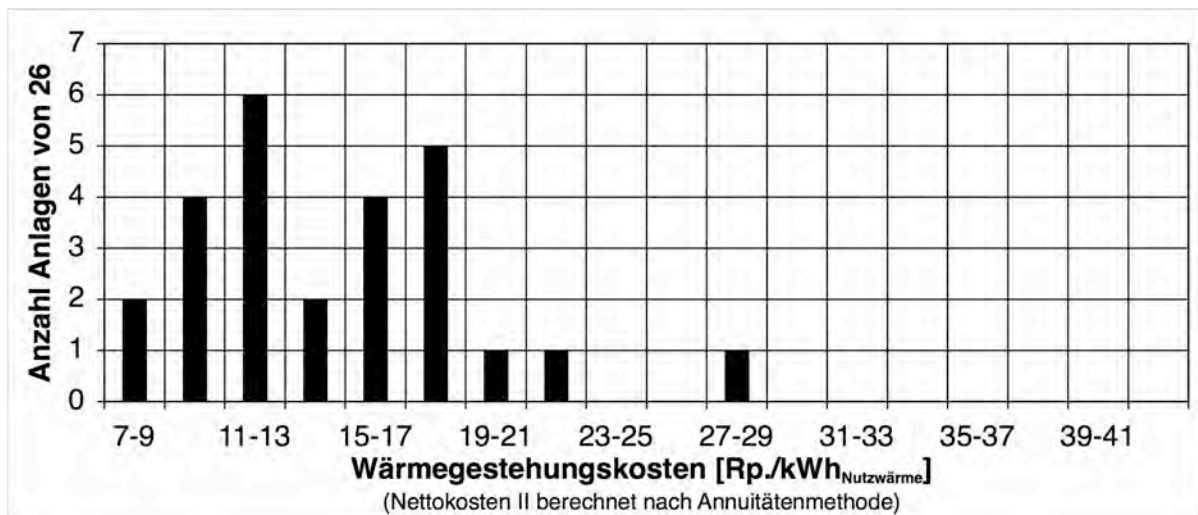
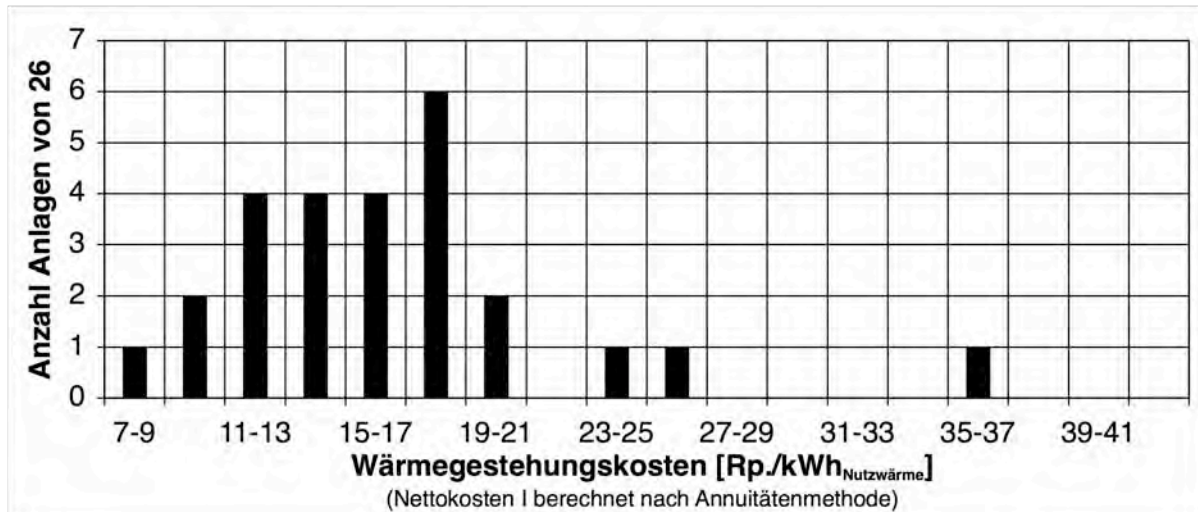
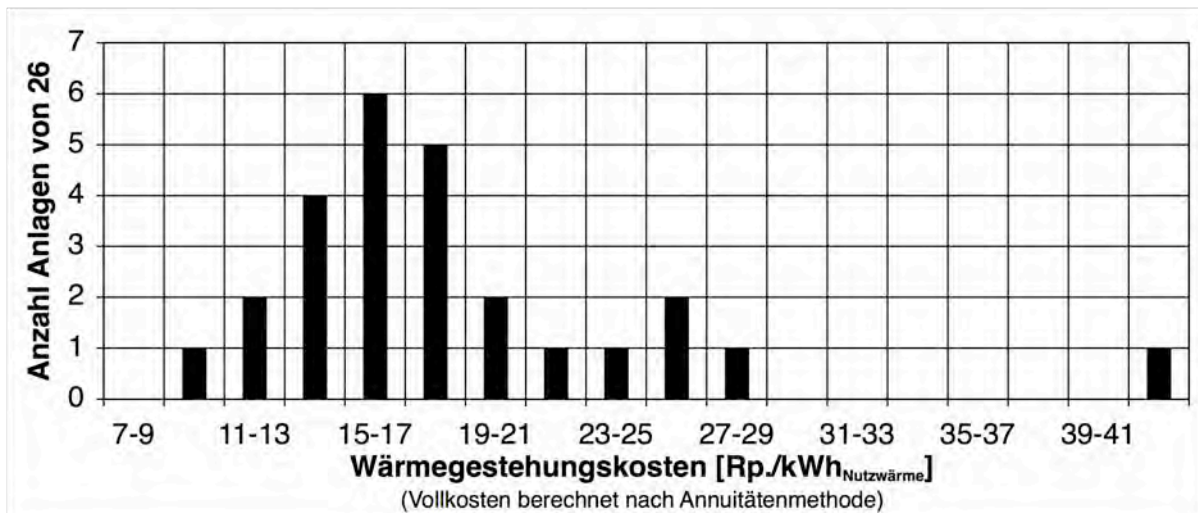


Bild 4.5 Verteilung der spezifischen, nach der Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten der untersuchten Anlagen mit Wärmenetz.  
 Oben: Vollkosten ohne Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren  
 Mitte: Nettokosten I nach Abzug von Finanzhilfen  
 Unten: Nettokosten II nach weiterem Abzug von einmaligen Anschlussgebühren.

### 4.2.3. Zusammensetzung der Wärmegestehungskosten

Tabelle 4.2 und Bild 4.6 zeigen die Zusammensetzung der spezifischen, nach der Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz. Die Wärmegestehungskosten sind dabei aufgeteilt in Kapitalkosten, allgemeine Betriebskosten und Brennstoffkosten.

Die Kostenstrukturen zeigen die Sensitivität bzw. den Einfluss einzelner Kostenpositionen auf. Mit zunehmendem Wärmeleistungsbedarf nehmen die Wärmegestehungskosten absoluten gesehen tendenziell ab. Da nur drei Anlagen einen Wärmeleistungsbedarf über 1'250 kW aufweisen, sind die Kostenangaben in diesem Wärmeleistungsbereich statistisch schlecht abgestützt.

Annähernd unabhängig vom Wärmeleistungsbedarf tragen die Kapitalkosten rund 56 %, die allgemeinen Betriebskosten rund 16 % und die Brennstoffkosten rund 28 % zu den Wärmegestehungskosten bei.

Tabelle 4.2 Zusammensetzung der spezifischen, nach der Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz, ohne Holzverarbeiter. Aufteilung in Kapitalkosten, allgemeine Betriebskosten und Brennstoffkosten.

Wärmeleistungsbedarf	kW Bereich	200-500	500-750	750-1250	1250-1750	1750-2250
Anzahl Anlagen von 26	Anzahl	9	4	10	2	1
Kapitalkosten	Rp./kWhNutz	12.2	10.3	9.2	7.4	9.9
Allg. Betriebskosten	Rp./kWhNutz	4.0	2.8	2.5	2.1	2.0
Brennstoff	Rp./kWhNutz	6.3	4.6	4.7	4.0	4.9
<b>Vollkosten</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>22.5</b>	<b>17.8</b>	<b>16.4</b>	<b>13.4</b>	<b>16.9</b>
Finanzhilfen	Rp./kWhNutz	-1.7	-3.6	-1.3	-1.4	-3.5
<b>Nettokosten I</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>20.8</b>	<b>14.3</b>	<b>15.1</b>	<b>12.0</b>	<b>13.4</b>
Einmalige Anschlussgebühren	Rp./kWhNutz	-2.5	-2.2	-1.6	-1.6	-2.2
<b>Nettokosten II</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>18.2</b>	<b>12.0</b>	<b>13.5</b>	<b>10.4</b>	<b>11.2</b>
Kapitalkosten	%	54	58	56	55	59
Allg. Betriebskosten	%	18	16	15	16	12
Brennstoff	%	28	26	29	29	29

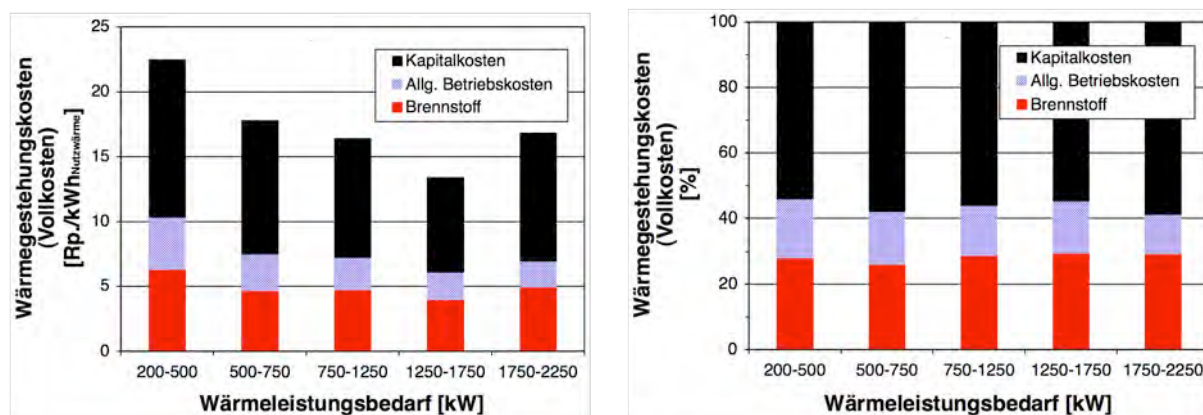


Bild 4.6 Zusammensetzung der spezifischen Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz (Vollkosten berechnet nach der Annuitätenmethode). Aufteilung in Kapitalkosten, allgemeine Betriebskosten und Brennstoffkosten. Links in Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>, rechts in Prozent.

Tabelle 4.3 und Bild 4.7 zeigen ebenfalls die Zusammensetzung der spezifischen, nach der Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz. Die Wärmegestehungskosten sind in diesem Fall aufgeteilt in spezifische Kosten für Wärmeerzeugung, für Wärmeverteilung und für Brennstoff. Die spezifischen Kosten für die Wärmeerzeugung enthalten dabei die Kapitalkosten und die allgemeinen Betriebskosten der Wärmeerzeugung. Die spezifischen Kosten für die Wärmeverteilung enthalten entsprechend die von der Wärmeverteilung verursachten Kapitalkosten und allgemeinen Betriebskosten.

Die spezifischen Kosten für die Wärmeerzeugung tragen rund 46 %, für die Wärmeverteilung rund 26 % und für Brennstoff rund 28 % zu den Wärmegestehungskosten bei. Die Kostenstrukturen zeigen auch, wie die Finanzhilfen und die einmaligen Anschlussgebühren die Vollkosten reduzieren bzw. wie sie sich auf die entsprechenden Nettokosten auswirken.

Tabelle 4.3 Zusammensetzung der spezifischen, nach der Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz, ohne Holzverarbeiter. Aufteilung in Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff.

Wärmeleistungsbedarf	kW Bereich	200-500	500-750	750-1250	1250-1750	1750-2250
Anzahl Anlagen von 26	Anzahl	9	4	10	2	1
Wärmeerzeugung	Rp./kWhNutz	11.1	8.6	7.7	6.1	7.1
Wärmeverteilung	Rp./kWhNutz	5.1	4.2	4.0	3.3	4.9
Brennstoff	Rp./kWhNutz	6.3	4.6	4.7	4.0	4.9
<b>Vollkosten</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>22.5</b>	<b>17.5</b>	<b>16.4</b>	<b>13.5</b>	<b>16.9</b>
Finanzhilfen	Rp./kWhNutz	-1.7	-3.6	-1.3	-1.4	-3.5
<b>Nettokosten I</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>20.8</b>	<b>13.9</b>	<b>15.1</b>	<b>12.0</b>	<b>13.4</b>
Einmalige Anschlussgebühren	Rp./kWhNutz	-2.6	-2.2	-1.6	-1.6	-2.2
<b>Nettokosten II</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>18.2</b>	<b>11.6</b>	<b>13.5</b>	<b>10.4</b>	<b>11.2</b>
Wärmeerzeugung	%	49	49	47	46	42
Wärmeverteilung	%	23	24	25	25	29
Brennstoff	%	28	27	29	30	29

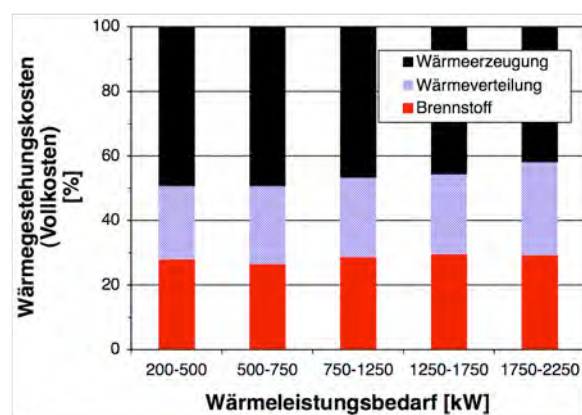
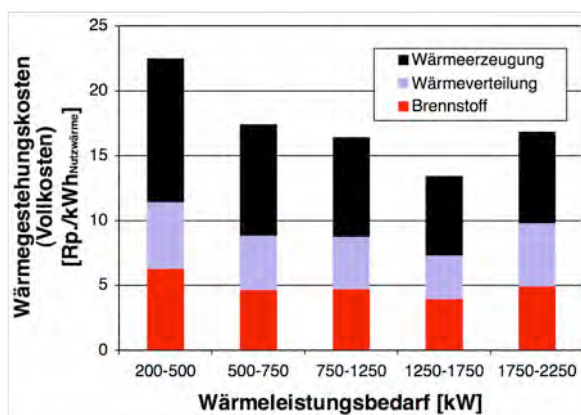


Bild 4.7 Zusammensetzung der spezifischen Wärmegestehungskosten der Anlagen mit Wärmenetz (Vollkosten berechnet nach der Annuitätenmethode). Aufteilung in Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff. Links in Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>, rechts in Prozent. In den Kosten für Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung sind jeweils die Kapitalkosten und die allgemeinen Betriebskosten enthalten.

### 4.3. Allgemeine Betriebskosten

Die Allgemeinen Betriebskosten umfassen in der Folge die jährlichen Kosten für Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, Verwaltung und Versicherung. Die Brennstoffkosten sind darin nicht enthalten. Die Richtwerte für die Allgemeinen Betriebskosten basieren in der Regel auf Prozentangaben der Investitionssumme einer Anlage. Bei Anlagen, die offensichtlich teuer gebaut wurden, liefern diese Richtwerte keine vernünftigen Vergleichswerte. Deshalb wurde eine auf Erfahrungswerten basierende Grafik erstellt, in der die Allgemeinen Betriebskosten in Funktion des Wärmeleistungsbedarfs und der jährlichen Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage dargestellt sind (Bild 4.8, links). Diese Abschätzung bzw. grafische Ermittlung der Allgemeinen Betriebskosten liefert vernünftigen Vergleichswerte für den Vergleich zwischen den grafisch ermittelten bzw. erwarteten Allgemeinen Betriebskosten und den von den Anlagenbetreibern ausgewiesenen Allgemeinen Betriebskosten (Bild 4.8, rechts).

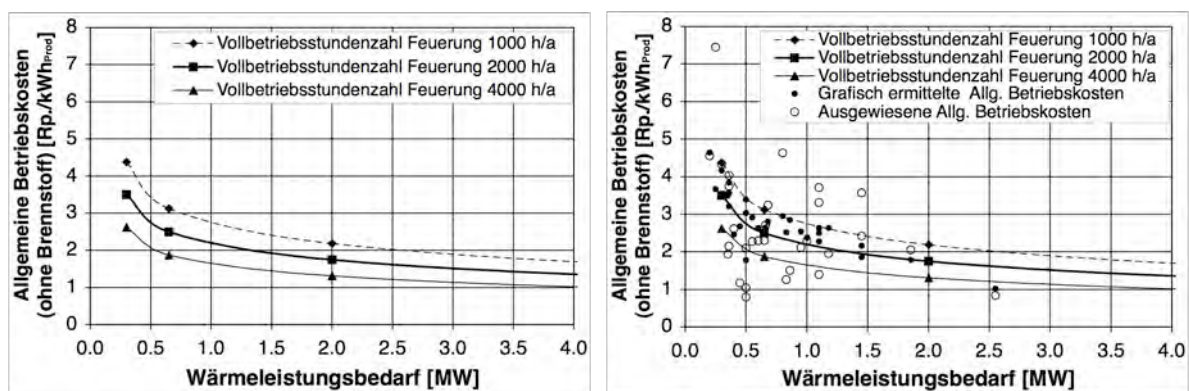


Bild 4.8 Spezifische Allgemeine Betriebskosten (Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, Verwaltung, Versicherung, ohne Brennstoffkosten) in Rappen pro Kilowattstunde mit Holz produzierter Wärme in Funktion des Wärmeleistungsbedarfs mit der jährlichen Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage als Parameter.

Links: Grafik zur Bestimmung der Allgemeine Betriebskosten. Rechts: Grafik mit grafisch bestimmten und ausgewiesenen Allgemeine Betriebskosten der untersuchten Anlagen.

*Grafisch ermittelte Allg. Betriebskosten:* Berechnet aus geschätztem Wärmeleistungsbedarf der Anlage und der jährlichen Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage gemäss Bild 4.8, links.

*Ausgewiesene Allg. Betriebskosten:* Vom Anlagenbetreiber ausgewiesene Betriebskosten dividiert durch die jährlich mit Holz produzierte Wärme.

Bild 4.9 zeigt die Abweichung zwischen den vom Anlagenbetreiber ausgewiesenen und den grafisch ermittelten Allgemeinen Betriebskosten mit einem Toleranzbereich von  $\pm 25\%$ .

Eine Überschreitung des Toleranzbereichs hat folgende Ursachen, die im Rahmen der Systemoptimierung auf mögliches Einsparpotential überprüft werden:

- Einzelne Bereiche der Allgemeinen Betriebskosten (Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, Verwaltung und Versicherung) sind übermässig hoch

Eine Unterschreitung des Toleranzbereichs kann folgende Ursachen haben:

- Der effektive Wartungsaufwand des Heizungswartes wird unterschätzt oder er wird über Konten abgerechnet, die nicht der Heizanlage angelastet werden
- Der Unterhalt der Anlage ist tatsächlich vergleichsweise günstig
- Der Unterhalt der Anlage wird momentan vernachlässigt, was später erhöhte Kosten für Reparaturen nach sich ziehen kann.

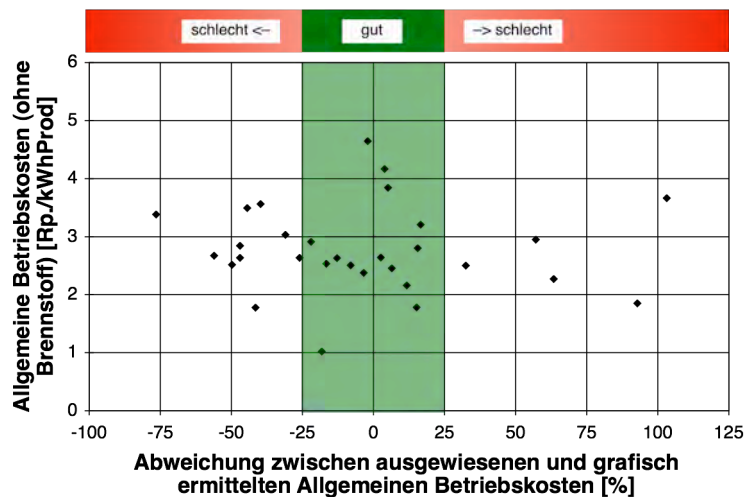


Bild 4.9 Spezifische Allgemeine Betriebskosten (Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, Verwaltung, Versicherung, ohne Brennstoffkosten) und deren Abweichung zwischen den vom Anlagenbetreiber ausgewiesenen und den gemäss Bild 4.8 (links) grafisch ermittelten Allgemeinen Betriebskosten.

### Diskussion

Bei der Hälfte der untersuchten Anlagen liegen die ausgewiesenen Kosten innerhalb eines Toleranzbereichs von +/- 25% der erwarteten Kosten. Bei 10 Anlagen liegen sie unter und bei 5 Anlagen liegen sie teilweise deutlich über den erwarteten Kosten. Bei grösserer Über- oder Unterschreitung der erwarteten Allgemeinen Betriebskosten werden im Rahmen der Systemoptimierung die Gründe dazu genauer überprüft und auf mögliches Einsparpotential oder z.B. mögliche Spätfolgen von vernachlässigtem Anlagenunterhalt hingewiesen.

## 4.4. Brennstoffkosten

Die Brennstoffkosten hängen ab von Brennstoffpreis und -verbrauch. Bild 4.10 zeigt die Kosten für Holzschnitzel in Franken pro Schüttraummeter gelieferte Holzschnitzel, in Rappen pro Kilowattstunde in Form von Holz gelieferte Endenergie und in Rappen pro Kilowattstunde produzierte Wärme für die untersuchten Anlagen ohne diejenigen aus Holzverarbeitenden Betrieben.

Die typischen Produzentenpreise für Holzschnitzel franko Silo liegen im Bereich von 4.0 bis 4.5 Rappen pro Kilowattstunde in Form von als Holz gelieferte Endenergie. Die Preise variieren allerdings regional. Einige Anlagenbetreiber haben auch günstigere Preiskonditionen.

Der Brennstoffverbrauch hängt wesentlich ab vom Jahresnutzungsgrad der Holzkesselanlage und von den Wärmeverlusten des Verteilnetzes.

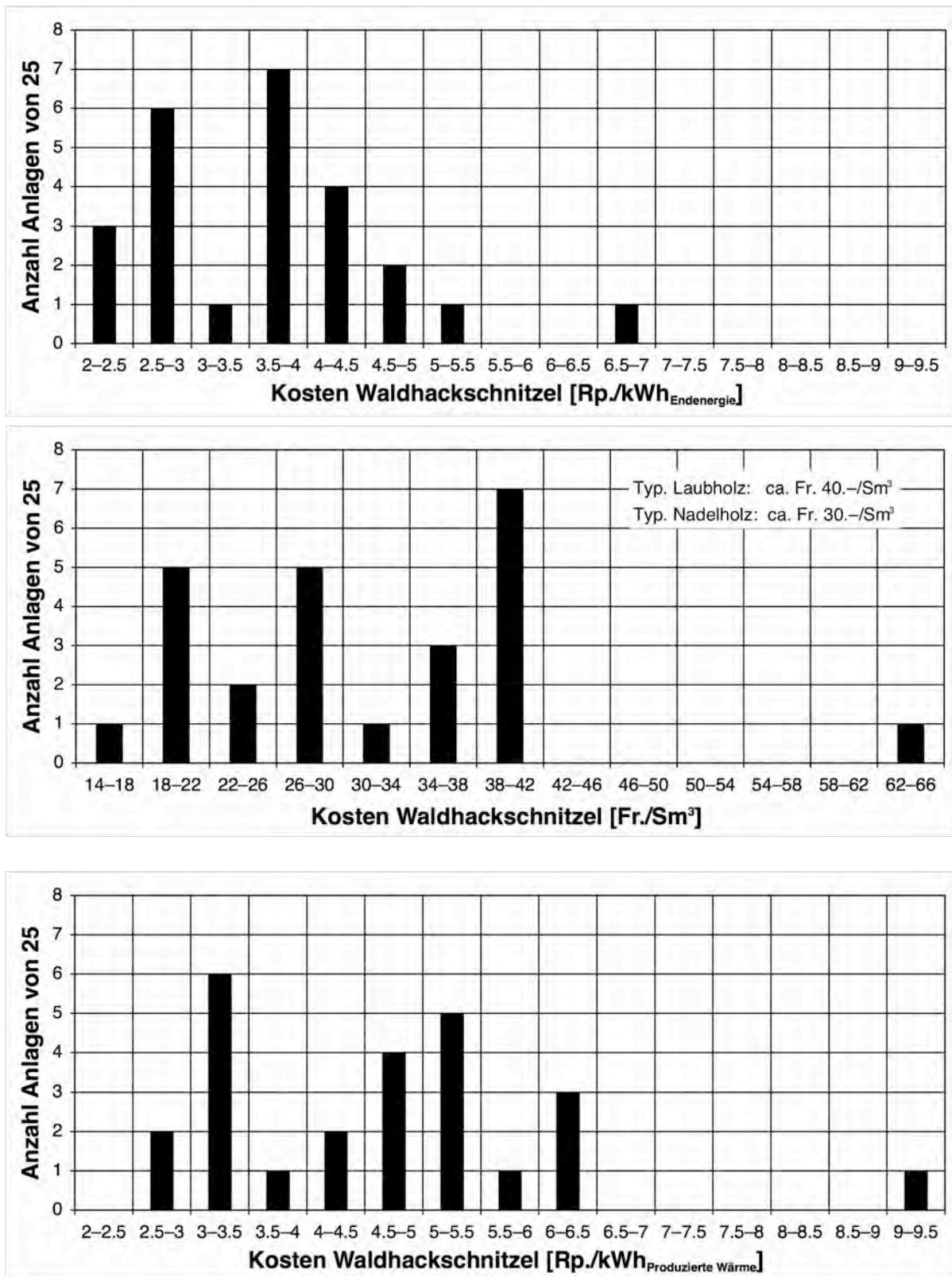


Bild 4.10 Holzkosten der untersuchten Anlagen, ohne Anlagenbetreiber aus der Holzindustrie.  
 Oben: in Fr. pro Schüttraummeter  
 Mitte: in Rp. pro kWh Endenergie  
 Unten: in Rp. pro kWh produzierte Wärme.

Die Abrechnung der Holzschnitzel erfolgt zum überwiegenden Teil nach geliefertem Schüttvolumen (21 Anlagen) und zum kleinen Teil nach produzierter Wärme (6 Anlagen). Bei der Abrechnung nach Schüttvolumen werden in der Regel Holzart und Wassergehalt berücksichtigt bzw. vorgegeben. Bei der Abrechnung nach produzierter Wärme wird der Jahresnutzungsgrad des Kessels in der Regel nicht mit einbezogen. Bei einer Anlage wird ausserdem nicht nach produzierter Wärme, sondern nach verkaufter Nutzwärme abgerechnet, womit die Wärmeverluste des Wärmenetzes zu Lasten des Brennstofflieferanten gehen.

## 4.5. Vertragssituation

### Brennstoffliefervertrag

Fünf Anlagen benötigen keinen Einkauf von Hackschnitzeln, da der Brennstoff innerbetrieblich anfällt. Nur die Hälfte der übrigen 25 Anlagen verfügen über einen eigentlichen Brennstoffliefervertrag, die andere Hälfte bezieht den Brennstoff auf Abruf bei Förstern oder Hackunternehmern. Oft sind keine genauen Anforderungen an den Brennstoff (Holzart, Wassergehalt) festgehalten oder sie werden nicht kontrolliert. Auch in den Brennstofflieferverträgen sind oft keine Anforderungen insbesondere an Feinanteil, Fremdanteil und Aschegehalt des Brennstoffs festgelegt. Bei Betriebsstörungen an Siloaustragung, Brennstofftransport, Beschickung oder Feuerung, die durch ungeeigneten Brennstoff hervorgerufen werden, sind schriftlich festgehaltene Brennstoffanforderungen wichtig, um die Verantwortlichkeiten festzustellen.

### Wärmeliefervertrag

Bei allen Anlagen, bei denen Wärme verkauft wird, bestehen Wärmelieferverträge mit den Wärmekunden. Aber nur die Hälfte der Wärmelieferverträge beinhalten auch Technische Anschlussvorschriften (TAV), welche die technische Ausführung der Wärmeübergabestationen genau vorschreiben. Bei Anlagen, bei denen keine Technischen Anschlussvorschriften festgelegt waren, waren die Wärmeübergabestationen meist ungeeignet ausgeführt und verursachten hohen Netzdurchfluss und hohe Netzurücklauftemperaturen bzw. Wärmeverluste im Wärmenetz.

## 4.6. Tarifmodelle

Beim Verkauf von Nutzwärme ab Wärmenetz werden in Wärmelieferverträgen in der Regel folgende Tarifpositionen aufgeführt:

- Einmalige Anschlussgebühren [Fr. / kW]  
Die Einmaligen Anschlussgebühren decken in der Regel einen Anteil der Investitionskosten des Wärmenetzes, in der Regel mindestens die Kosten aller Hausanschlussleitungen. Sie werden einmalig in Franken pro Kilowatt Anschlussleistung erhoben und sind meist gestaffelt nach Anschlussleistung und Neubau bzw. Altbau.
- Leistungspreis [Fr. / (kW a)]  
Der Leistungspreis wird jährlich in Franken pro Kilowatt Anschlussleistung erhoben und ist meist gestaffelt nach Anschlussleistung und Neubau bzw. Altbau. Die Jahreseinnahmen aus dem Leistungspreis decken in der Regel die Fixkosten der Anlage, d.h. die Kapitalkosten und die Allgemeinen Betriebskosten ohne Brennstoff.

- Wärmepreis [Rp./ (kWh a)]

Der Wärmepreis wird jährlich in Franken pro Kilowattstunde pro Jahr bezogene Nutzwärme erhoben. Die Jahreseinnahmen aus dem Wärmepreis decken in der Regel die variablen Kosten der Anlage, im Wesentlichen die Brennstoffkosten. Der Wärmepreis ist teilweise an den Preisindex für Heizöl oder Erdgas gekoppelt und wird entsprechend dem aktuellen, hohen Preisniveau von Heizöl auch ansteigen.

Die Tarife sind in der Regel zusätzlich an einen Index gebunden (z.B. Landesindex der Konsumentenpreise). Aus der Sicht des Anlagenbetreibers sollen die Jahreserträge aus dem Leistungs- und dem Wärmepreis die Jahreskosten der Anlage decken, d.h. die jährlichen Kapitalkosten, die Brennstoffkosten und die allgemeinen Betriebskosten.

Die angetroffenen Tarifmodelle sind sehr unterschiedlich. Bei einigen Anlagen wird keine Einmalige Anschlussgebühr erhoben, bei einigen wird kein jährlicher Leistungspreis erhoben, bei einigen wird weder Einmalige Anschlussgebühr noch jährlicher Leistungspreis erhoben. Tabelle 4.4 gibt eine Übersicht über die Tarifmodelle der untersuchten Anlagen mit einer Gesamtkostenbetrachtung für einen Wärmeabnehmer. Zur Vereinfachung der Berechnung wird in Tabelle 4.4 eine *mittlere Einmalige Anschlussgebühr* und ein *mittlerer Leistungspreis* der Anlage angegeben und daraus ein Zahlenbeispiel für einen Wärmeabnehmer mit einer Anschlussleistung von 50 kW und einem Jahreswärmebedarf von 100 MWh pro Jahr berechnet. Die mittlere Einmalige Anschlussgebühr ist dabei die Gesamteinnahme aus den jeweiligen Einmaligen Anschlussgebühren dividiert durch die Summe der Anschlussleistungen, der mittlere Leistungspreis ist dabei die Jahreseinnahme aus den jeweiligen Leistungspreisen dividiert durch die Summe der Anschlussleistungen.



Tabelle 4.4 Tarifmodelle der untersuchten Anlagen mit Gesamtkostenbetrachtung für einen Wärmeabnehmer (Anschlussleistung: 50 kW, Jahreswärmebedarf 100 MWh/a).

Die Jahreskosten beinhalten den mittleren Leistungspreis und den Wärmepreis. Die Jahreskosten inkl. kapitalisierte Einmalige Anschlussgebühr beinhalten zusätzlich die Kapitalkosten für die vom Wärmeabnehmer entrichtete mittlere Einmalige Anschlussgebühr (Annuitätsfaktor = 0.08).

Tarifmodell	Mittlere Einmalige Anschlussgebühr	Mittlerer Leistungspreis	Wärmepreis	Mittlere Einmalige Anschlussgebühr	Mittlerer Leistungspreis	Wärmepreis	Jahreskosten	Jahreskosten inkl. kapitalisierte Einmalige Anschlussgebühr
Anlage	Fr./kW	Fr./(kW a)	Rp./(kWh a)	Fr. pro 50 kW	Fr./a pro 50 kW	Fr./a pro 100 MWh/a	Fr./a	Fr./a
1	244	0	10.8	12'188	0	10'760	10'760	11'738
2								
3								
4	0	39	4.4	0	1'966	4'400	6'366	6'366 *
5	1'544	48	9.4	77'220	2'387	9'400	11'787	17'984
6	741	56	6.5	37'066	2'791	6'500	9'291	12'265
7								
8								
9	498	35	9.0	24'897	1'772	9'000	10'772	12'770
10								
11	686	27	9.2	34'299	1'355	9'150	10'505	13'258
12	813	35	7.3	40'647	1'771	7'300	9'071	12'333
13	1'360	0	8.3	68'000	0	8'310	8'310	13'766
14								
15	459	37	10.0	22'956	1'855	10'000	11'855	13'697
16	459	54	7.2	22'960	2'680	7'209	9'889	11'732
17								
18	1'080	49	9.0	53'985	2'448	9'000	11'448	15'780
19								
20	634	64	5.4	31'683	3'225	5'380	8'605	11'147
21	476	95	4.8	23'810	4'744	4'842	9'586	11'497
22	0	26	9.2	0	1'290	9'150	10'440	10'440
23								
24								
25	0	0	8.5	0	0	8'500	8'500	8'500 **
26	500	113	6.5	25'000	5'648	6'456	12'104	14'110
27	0	0	10.6	0	0	10'600	10'600	10'600
28	563	21	10.5	28'125	1'068	10'545	11'613	13'870
29								
30	465	0	12.0	23'270	0	12'000	12'000	13'867

\* Nur Betriebs- und Brennstoffkosten werden verrechnet, keine Kapitalkosten. Brennstoffkosten werden ausserdem reduziert verrechnet, da der Anlagenbetreiber eigenen Wald besitzt.

\*\* Heizzentrale in Sägerei für Prozess- und Raumwärme. Der verlangte Wärmepreis orientiert sich nur an den geschätzten Wärmegestehungskosten einer dezentralen Ölkesselanlage.

Mittlere Einmalige Anschlussgebühr = Gesamte Einmalige Anschlussgebühr / Gesamte Anschlussleistung [Fr./kW]

Mittlerer Leistungspreis = Gesamte Jahreseinnahmen aus Leistungspreis / Gesamte Anschlussleistung [Fr./(kW a)]

Wenn im Tarifmodell ein Leistungs- und ein Wärmepreis vorgesehen sind, so sind die beiden Tarifpositionen in der Regel nicht unabhängig von einander. Wenn der Wärmepreis hoch angesetzt ist, dann ist der Leistungspreis in der Regel nicht auch hoch angesetzt, je höher der Wärmepreis, desto niedriger ist in der Regel der mittlere Leistungspreis (Bild 4.11, links).

Der Jahresertrag aus dem Wärmepreis ist grundsätzlich abhängig von der Witterung. In einem kalten Winter wird mehr Wärme benötigt als in einem milden Winter, was sich auch in den jährlichen Heiz-

gradtagen äußert. Je höher nun der Anteil des Jahresertrags aus dem Wärmepreis am gesamten Jahresertrag aus Wärmepreis und Leistungspreis ist, desto stärker hängt der gesamte Jahresertrag von der Witterung bzw. von den Heizgradtagen ab. Enthält ein Tarifmodell nur den Wärmepreis und keinen Leistungspreis, dann ist der Jahresertrag der Anlage besonders stark von der Witterung abhängig. Bild 4.11, rechts, zeigt den Zusammenhang zwischen dem Anteil des Jahresertrags aus dem Wärmepreis am gesamten Jahresertrag in Funktion des Wärmepreises der untersuchten Anlagen.

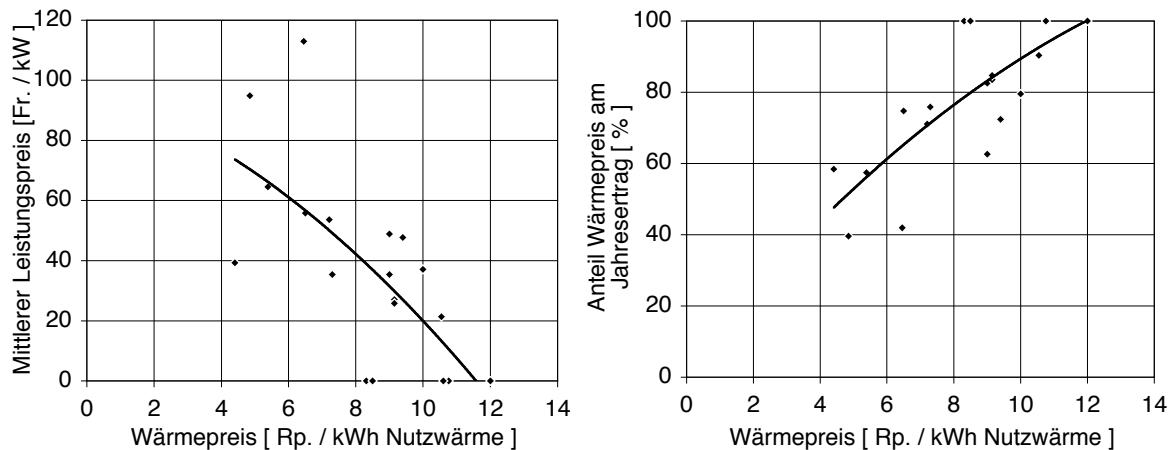


Bild 4.11: Mittlerer Leistungspreis in Funktion des Wärmepreises (links) und Anteil des Jahresertrags aus dem Wärmepreis am gesamten Jahresertrag aus Wärmepreis und Leistungspreis in Funktion des Wärmepreises (rechts).  
 (Mittlerer Leistungspreis = Gesamte Jahreseinnahmen aus Leistungspreis / Gesamte Anschlussleistung [Fr./((kW a))])

## 5. Resultate: Technik

Das Qualitätssicherungssystem QM Holzheizwerke wurde 2001 in der Schweiz und ab 2004 auch in Bayern und Baden-Württemberg eingeführt. Zur Beurteilung der untersuchten Anlagen werden die Qualitätsanforderungen und Zielwerte von QM Holzheizwerke als Vergleichswerte angewendet. Die untersuchten Anlagen wurden allerdings vor der Einführung von QM Holzheizwerke geplant und realisiert, sodass eine Einhaltung der für heutige Anlagen geltenden Qualitätsanforderungen nicht erwartet werden kann.

### 5.1. Wärmeerzeugung

#### 5.1.1. Leistungsreserven bei Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung

Eine der wichtigsten Massnahmen, um die Wirtschaftlichkeit von Holzheizwerken zu verbessern, ist das Anschliessen weiterer geeigneter Wärmeabnehmer im Perimeter des bestehenden Wärmenetzes (Netzverdichtung). Um neue Wärmeabnehmer im bestehenden Wärmenetz anschliessen zu können oder das Wärmenetz für den Anschluss weiterer Wärmeabnehmer zu erweitern (Netzerweiterung), ist es notwendig zu wissen, ob in der bestehenden Wärmeerzeugungs- und Wärmeverteilungsanlage entsprechende Leistungsreserven vorhanden sind. Investitionsentscheide über Netzverdichtung, Netzerweiterung oder den Ausbau der Wärmeerzeugungsleistung sollen erst getroffen werden, wenn diese Leistungsreserven bekannt sind.

Zur Bestimmung der Leistungsreserven bei der Wärmeerzeugung werden in der Regel die Kessel-nennleistungen summiert und davon die abonnierte Anschlussleistung der bisherigen Wärmeabnehmer abgezogen. In den Untersuchungen hat sich aber gezeigt, dass die Holzheizungsanlagen zum Teil die angegebene Kessel-nennleistung nicht erreichen und dass zudem der effektive Wärme-leistungsbedarf der Wärmeabnehmer oft kleiner ist als die abonnierte Anschlussleistung.

Die Nennleistung des Holzkessels kann bei entsprechend kalter Witterung am Wärmezähler im Kes-selkreis abgelesen oder über eine Bilanzierung der Anlage mittels Messung des Abgasmassenstroms und der Abgaszusammensetzung bestimmt werden. Bei rund der Hälfte der Anlagen, bei denen die entsprechenden Messungen durchgeführt wurden, wurde die Kessel-nennleistung nicht erreicht. Gründe dazu sind:

- Maximalleistung (bei 100%) ist bewusst nicht auf Nennleistung eingestellt, weil es nicht not-wendig ist (z.B. bei erster Ausbaustufe oder wenn der Wärmeleistungsbedarf deutlich überschätzt wurde)
- Verwendung von Brennstoff mit zu hohem Wassergehalt
- ungenügende Einstellung der Regelparameter für den verwendeten Brennstoff
- hohe Abgasverluste (hohe Abgastemperatur, hoher Luftüberschuss).

Ein Indikator für Leistungsreserven in der Wärmeerzeugung ist die jährliche Vollbetriebsstundenzahl der Holzheizungsanlage. Sie wird aus der mit Holz produzierten jährlichen Wärme und der Nenn-leistung der Holzkesselanlage berechnet. Je nach Gesamt-Wärmeleistungsbedarf und Anlagentyp soll die Holzheizungsanlage eine minimale jährliche Vollbetriebsstundenzahl erreichen. Bei einer heutigen bivalenten Anlage ohne Speicher mit einem Gesamt-Wärmeleistungsbedarf von beispielsweise 700 kW verlangt QM Holzheizwerke eine minimale Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage von 2'500 h/a, als Zielwert wird 4'000 h/a angestrebt.

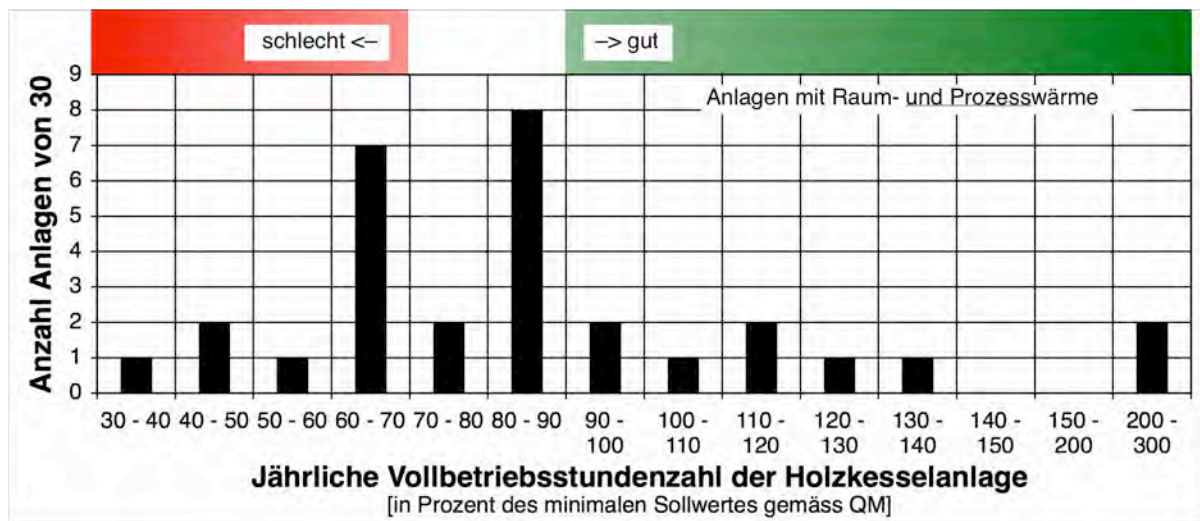


Bild 5.1: Jährliche Vollbetriebsstundenzahl der untersuchten Holzheizungsanlagen, angegeben in Prozent des minimalen Sollwertes, der in QM Holzheizwerke als Forderung in Abhängigkeit von Anlagentyp und Anlagengrösse angegeben ist [8].

Gemäss Bild 5.1 erreichen oder überschreiten 9 von 30 bzw. gut ein Drittel der untersuchten Holzheizungsanlagen die verlangte minimale Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage (grüner Bereich > 90%). Bei gut einem Drittel der Anlagen erreicht die Vollbetriebsstundenzahl weniger als 70% des verlangten Minimalwertes (roter Bereich < 70%). Dies ist ein deutlicher Hinweis, dass Leistungsreserven in der Wärmeerzeugung vorhanden sind. Auch die jährliche mittlere Laststufe einer Holzheizungsanlage gibt Hinweise auf mögliche Leistungsreserven in der Wärmeerzeugung (Bild 5.3, Bild 5.7).

Der effektive Wärmeleistungsbedarf der angeschlossenen Wärmeabnehmer kann aus dem jährlichen, heizgradtagbereinigten Nutzwärmebezug jedes einzelnen Wärmeabnehmers und einer entsprechend dem Wärmeabnehmertyp geschätzten Vollbetriebsstundenzahl (Wohnbauten, Bürogebäude, Schulhäuser) bestimmt werden. Damit kann abgeschätzt werden, ob die abonnierte Anschlussleistung tatsächlich benötigt wird oder ob in der Wärmeverteilung noch Leistungsreserven enthalten sind.

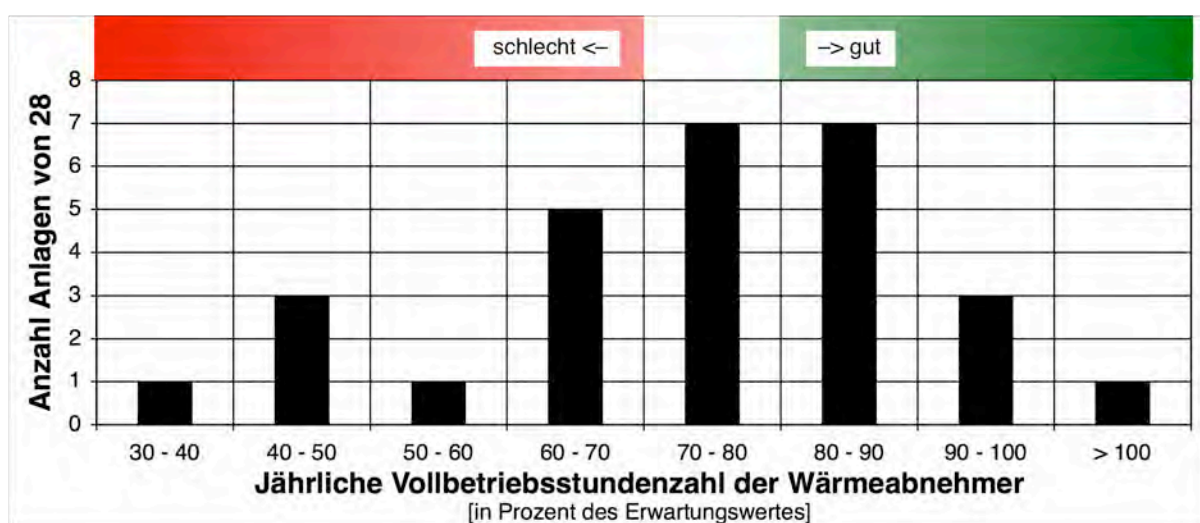


Bild 5.2: Jährliche Vollbetriebsstundenzahl der Wärmeabnehmer der untersuchten Holzheizungsanlagen, angegeben in Prozent des vom Gebäudetyp und den klimatischen Bedingungen am Anlagenstandort abhängigen Erwartungswertes.

Gemäss Bild 5.2 erreicht oder überschreitet die jährliche Vollbetriebsstundenzahl der Wärmeabnehmer bei 11 von 28 bzw. bei rund 40 Prozent untersuchten Holzheizungsanlagen den Erwartungswert (grüner Bereich > 80%). Bei 10 von 28 bzw. gut einem Drittel der Anlagen erreicht die Vollbetriebsstundenzahl weniger als 70% des Erwartungswertes (roter Bereich > 70%). Bei diesen Anlagen ist der geschätzte, effektive Wärmeleistungsbedarf kleiner als 70% der abonnierten Anschlussleistung. Da die Leitungsquerschnitte der Wärmenetze in der Regel grosszügig dimensioniert sind, sind bei diesen Anlagen somit deutliche Leistungsreserven in der Wärmeverteilung vorhanden.

### **Diskussion**

Investitionsentscheide über Netzverdichtung, Netzerweiterung oder den Ausbau der Wärmeerzeugungsleistung sollen erst getroffen werden, wenn die vorhandenen Leistungsreserven in Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung bekannt sind. Indikatoren über den Umfang der Leistungsreserven sind:

- Erreichen der Kesselnennleistung der Holzkessel
- Jährliche Vollbetriebsstundenzahl der Holzkesselanlage
- Jährliche Vollbetriebsstundenzahl der Wärmeabnehmer.

Im Weiteren muss geprüft werden, ob die Leistungsreserven auch zusätzlich in den Fernleitungsrohren übertragen werden können. Dazu müssen die Leitungsdimensionen überprüft werden. In der Regel sind die Leitungsquerschnitte bei bestehenden Anlagen grosszügig dimensioniert. Bei der Auslegung nach heutigen Erkenntnissen werden Leitungsquerschnitte um ein bis zwei Dimensionen kleiner gewählt. Mit etwas höherer Strömungsgeschwindigkeit und einer möglichst grossen Temperaturdifferenz zwischen Vorlauf und Rücklauf (mindestens 30 °C) können dabei dieselben Leistungen übertragen werden. Oft wurden bei den untersuchten Anlagen Temperaturdifferenzen von weniger als 20 °C angetroffen.

In bestehenden Wärmenetzen können allerdings hohe Rücklauftemperaturen die Übertragungsreserven einschränken. Hohe Rücklauftemperaturen werden bei den Hausstationen durch unerwünschtes Überströmen von heissem Vorlauf direkt in den Rücklauf (primär- und sekundärseitig) verursacht und müssen durch hydraulische Massnahmen bzw. durch die Einführung von entsprechenden technischen Anschlussvorschriften und/oder deren Durchsetzung behoben werden.

### **5.1.2. Leistung- und Verbrennungsregelung der Holzkessel**

Ziel einer Leistungs- und Verbrennungsregelung ist eine hohe Betriebszeit (wenig Unterbruch/Standby) bei stabilem, emissionsarmem Betrieb der Holzfeuerung mit möglichst hohem Wirkungsgrad. Die Regelung muss dabei brennstoffseitig unterschiedlichen Wassergehalt und variierende Schüttdichte kompensieren. Verbraucherseitig muss sie witterungsbedingte und verbraucherabhängige, teils kurzfristige Laständerungen kompensieren. Eine hohe Betriebszeit der Holzfeuerung mit möglichst wenig Unterbruch/Standby verlangt eine möglichst stufenlose Anpassung der Kesselleistung in einem weiten Bereich, z.B. 100% bis 30% (bei hohem Wassergehalt liegt die untere Grenze tendenziell höher, bei sehr trockenem Brennstoff teils tiefer). Stabiler Betrieb verlangt eine Einstellung der Regelparameter, mit der das Brennstoffbett in der Retorte oder auf dem Rost in seiner Grösse gleichmässig bleibt und nicht periodisch (typischerweise in Zeitintervallen in der Grössenordnung einer Stunde) auf- und wieder abgebaut wird. Emissionsarmer Betrieb einer Holzfeuerung mit möglichst hohem Wirkungsgrad verlangt einerseits eine niedrige Luftüberschusszahl im ganzen Leistungsbereich, zugleich aber andererseits die sichere Vermeidung von Luftmangelsituationen.

An die Regelung werden somit hohe Anforderungen gestellt. Zusätzlich spielt auch die Auslegung bzw. Dimensionierung der Holzfeuerung eine wichtige Rolle ebenso wie die regeltechnische Integra-

tion von Bivalentkesseln (Kriterien für Zu- und Abschaltung) und von Speichern (Ladezustand des Speichers als Regelgrösse für die Leistungsregelung des Holzkessels).

Zusätzlich sind die Holzkessellieferanten (Servicemonteure) bestrebt, ihre Anlagen so einzustellen, dass möglichst wenig Störungen bzw. Betriebsunterbrüchen auftreten. Sie stellen die Regelparameter ihrer Anlagen deshalb oft so ein, um die Anlage möglichst „auf der sicheren Seite“ zu betreiben. Dies führt allerdings oftmals zu Anlagenbetrieb bei hohem Luftüberschuss und mit zu schnellen Reaktionszeiten bei der Leistungsregelung mit den entsprechend negativen Auswirkungen auf Emissionen und Wirkungsgrad.

Während der im Rahmen der Systemoptimierung durchgeführten Anlagenbesichtigungen wurde das Betriebsverhalten der Holzheizungen mittels mehrstündiger Emissions- und Temperaturmessungen festgehalten. Zudem wurden die Einstellungen der Regelparameter überprüft und das zeitliche Verhalten des Glutbettes in der Retorte bzw. auf dem Rost sowie der Primärluftanteil optisch beurteilt. Die Resultate zeigen, dass bei rund 80 Prozent (24/29) der Anlagen ein Handlungsbedarf bei der Verbrennungsregelung festgestellt, bei rund 75 Prozent (20/27) der Anlagen ein Handlungsbedarf bei der Leistungsregelung besteht. Ursache sind in der Regel zu schnelle Reaktionszeiten bei der Leistungsregelung und übermässig hoher Luftüberschuss im niedrigen und teilweise auch im hohen Leistungsbereich. Diese Mängel können in der Regel z.B. im Rahmen eines regelmässigen Wartungs- oder Servicevertrags durch entsprechende Einstellung der Regelparameter behoben werden, sofern gewährleistet ist, dass die Anlage nicht „auf die sichere Seite“ eingestellt wird. In einigen Fällen muss dazu eine Gesamterneuerung der Leistungs- und Verbrennungsregelung inkl. Auswechslung der entsprechenden Stellglieder in Betracht gezogen werden.

Bild 5.3 zeigt als weiteren Indikator für einen allfälligen Handlungsbedarf die jährliche mittlere Laststufe der Holzessel in Funktion der jährlichen zeitlichen Auslastung der Holzessel. Eine niedrige zeitliche Auslastung bei hoher mittlerer Laststufe deutet auf einen übermässigen EIN/AUS-Betrieb bei hoher Leistung hin (EIN/AUS bei Maximalleistung). Mögliche Ursachen sind eine nur ein- oder zwei-stufige Leistungsregelung (nicht stufenlos) oder eine ungeeignete Einstellung der Regelparameter.

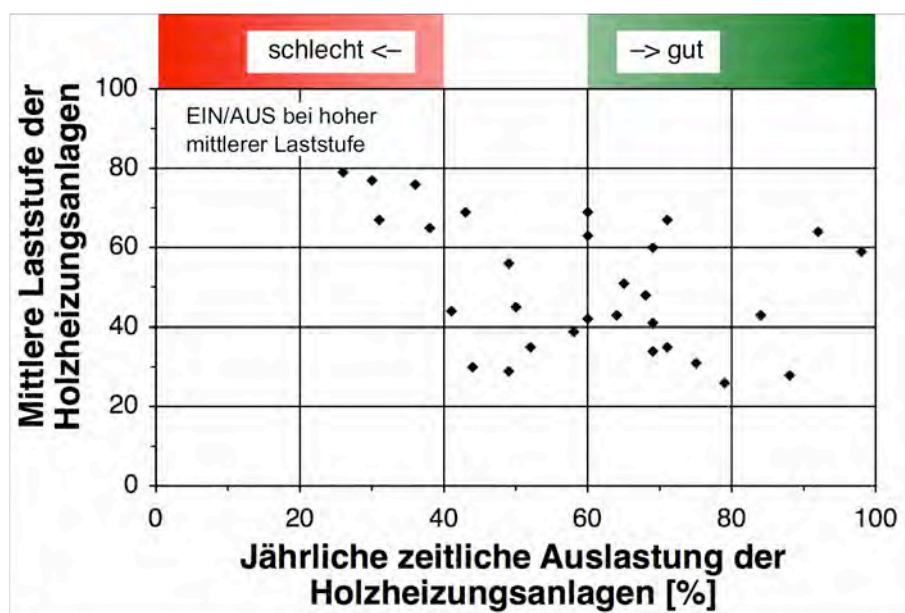


Bild 5.3: Jährliche mittlere Laststufe in Funktion der jährlichen zeitlichen Auslastung der Holzheizungsanlagen als Indikator für die Qualität der Leistungsregelung.

Jährliche mittlere Laststufe des Holzkessels =  $\frac{\text{Produzierte Wärme [kWh/a]}}{\text{Nennleistung [kW]} \cdot \text{Betriebszeit [h/a]}}$

Jährliche zeitliche Auslastung des Holzkessels =  $\frac{\text{Betriebszeit mit Nutzwärmeabgabe [h/a]}}{\text{gesamte Einschaltdauer [h/a]}}$

### 5.1.3. Emissionen und feuerungstechnischer Wirkungsgrad

Bei den untersuchten Anlagen wurde in der Regel eine mehrstündige Emissions- und Temperaturmessung durchgeführt. Neben Emissionen und Wirkungsgrad liefert die Emissionsmessung auch wichtige Informationen über das zeitliche Betriebsverhalten der Holzkesselanlage.

Bild 5.4 zeigt zwei Beispiele von Emissionsmessungen bei Winterbetrieb, links eine Anlage mit stabilem Regelverhalten, niedrigem Luftüberschuss, niedrigen Emissionen und hohem Wirkungsgrad, rechts eine Anlage mit instabilem Regelverhalten, hohem Luftüberschuss und stark schwankenden Emissionen. Der Wirkungsgrad ist bei der Anlage rechts dank zusätzlichem Economiser bzw. nachgeschaltetem Abgaswärmetauscher dennoch hoch, aber bei Betrieb mit tieferem Luftüberschuss könnte er weitaus höher sein. Bild 5.5 zeigt zwei Beispiele von Emissionsmessungen in der Übergangszeit, links eine Anlage ohne Speicher mit häufigem Wechsel von EIN/AUS-Betrieb, rechts eine Anlage mit Speicher und daher weniger häufigem Wechsel von EIN/AUS-Betrieb.

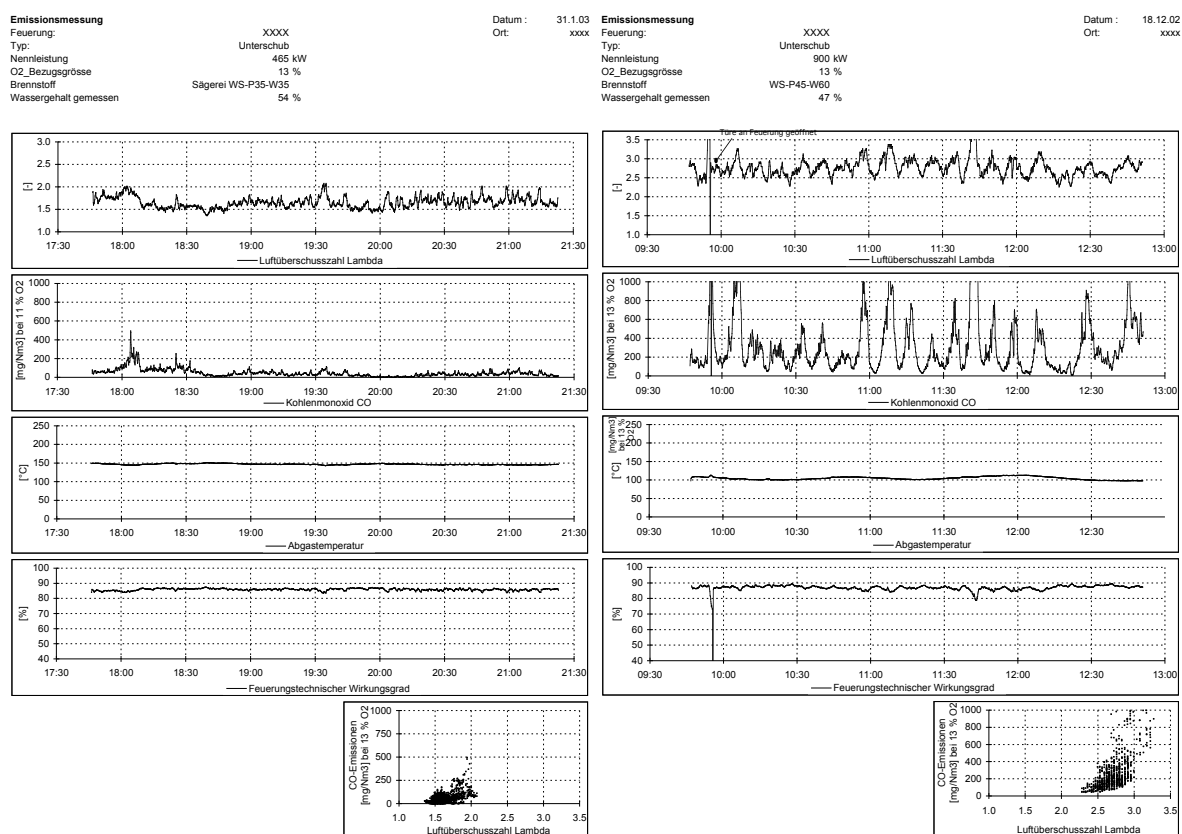


Bild 5.4: Beispiele von Emissionsmessungen bei Winterbetrieb.

Links: 470 kW-Unterschubfeuerung, Luftüberschusszahl und Kohlenmonoxidemissionen niedrig, stabiles Regelverhalten ohne CO-Spitzen, feuerungstechnischer Wirkungsgrad hoch.

Rechts: 900 kW-Unterschubfeuerung, Luftüberschusszahl hoch und schwankend, Kohlenmonoxidemissionen stark schwankend, instabiles Regelverhalten mit vielen CO-Spitzen, feuerungstechnischer Wirkungsgrad hoch (dank zusätzlichem Economiser bzw. nachgeschaltetem Abgaswärmetauscher).

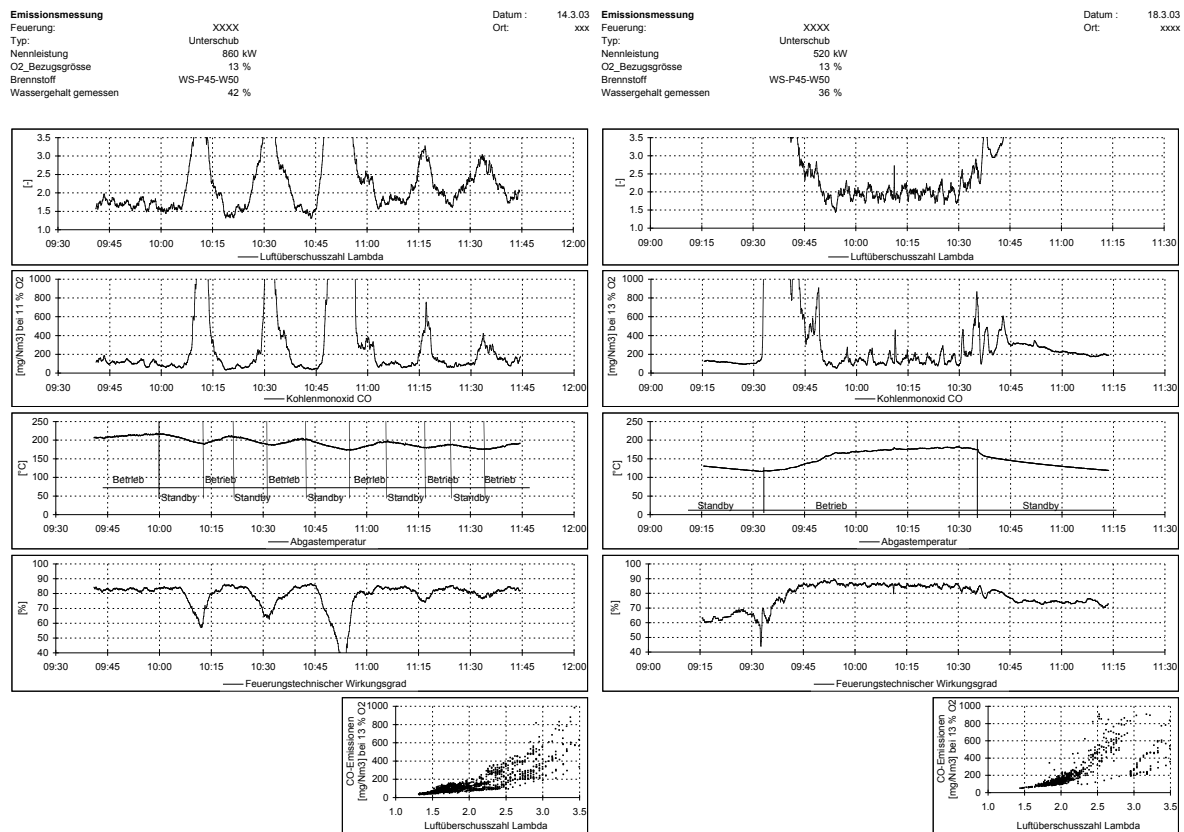


Bild 5.5 Beispiele von Emissionsmessungen in der Übergangszeit.

Links: 860 kW-Unterschubfeuerung, Luftüberschusszahl und Kohlenmonoxidemissionen bei Betrieb niedrig, EIN/AUS-Betrieb mit hohem Luftüberschuss und CO-Spitzen während Standby- und Anfahrphase, häufiger EIN-AUS-Wechsel im 15-Minutentakt.

Rechts: 520 kW-Unterschubfeuerung, Luftüberschusszahl und Kohlenmonoxidemissionen bei Betrieb niedrig, EIN/AUS-Betrieb mit hohem Luftüberschuss und CO-Spitzen während Standby- und Anfahrphase, EIN-AUS-Wechsel nur im 60-Minutentakt dank Speicher.

Ungeeigneter (z.B. zu feuchter) Brennstoff oder ungenügende Einstellung der Regelparameter verursachen nicht nur höhere Emissionen, sondern auch höhere Kosten beim Brennstoffverbrauch, bei der Wartung (Betriebsstörungen, Reinigungsintervall), im Unterhalt und beim Stromverbrauch (Abgasventilator). In der Übergangszeit und bei Sommerbetrieb des Holzkessels kann dies auch zu Geruchsbelästigung führen. Durch Verwendung von geeignetem Brennstoff und geeigneter Einstellung der Regelparameter lassen sich die Kohlenmonoxidemissionen oft um Faktoren senken und der Wirkungsgrad um einige Prozentpunkte steigern.

### 5.1.4. Jahresnutzungsgrad der Holzheizungsanlagen

Der Jahresnutzungsgrad einer Holzheizungsanlage hängt ab einerseits vom mittleren Kesselwirkungsgrad während der Betriebszeit des Holzkessels und andererseits von den Bereitschaftsverlusten des Holzkessels, die während der jährlichen Standby-Zeit des Holzkessels auftreten. Eine Methode zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrades einer Holzheizungsanlage ist in [6, 9, 10] beschrieben, Kap. 5.3 zeigt die Validierung dieser Methode sowie eine Übersicht über die Messunsicherheiten von drei verschiedenen Bestimmungsmethoden.



Die jährlichen Bereitschaftsverluste ergeben sich aus den spezifischen Bereitschaftsverlusten der Holzheizungsanlage und der jährlichen Dauer der Standby-Phasen des Holzkessels. Bild 5.6 zeigt die Verteilung der zeitlichen Auslastung der Holzheizungsanlagen (Jährliche Betriebszeit / Jährliche Einschaltdauer der Holzheizungsanlage). Bei einem Drittel der Anlagen liegt die zeitliche Auslastung unter 50 Prozent bzw. liegt der Anteil an Standby-Betrieb über 50 Prozent. Bild 5.7 zeigt die Verteilung der jährlichen mittleren Laststufen der Holzheizungsanlagen. Bei der Hälfte der Anlagen liegt die jährliche mittlere Laststufe unter 50 Prozent.

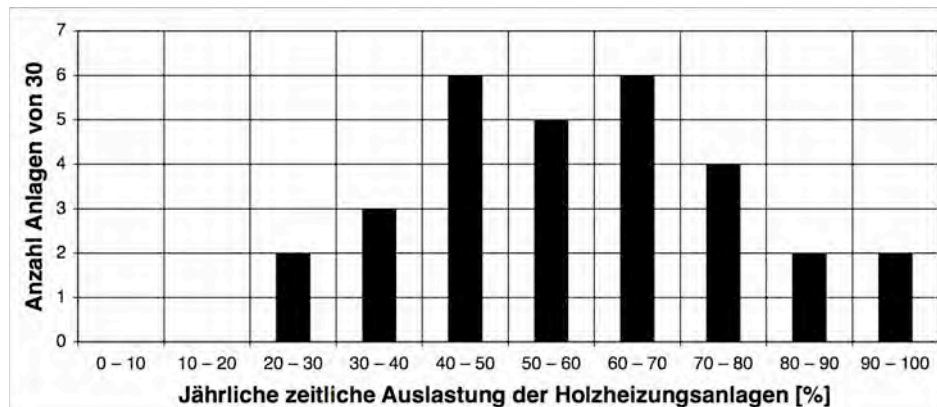


Bild 5.6: Verteilung der jährlichen zeitlichen Auslastung der Holzheizungsanlagen.

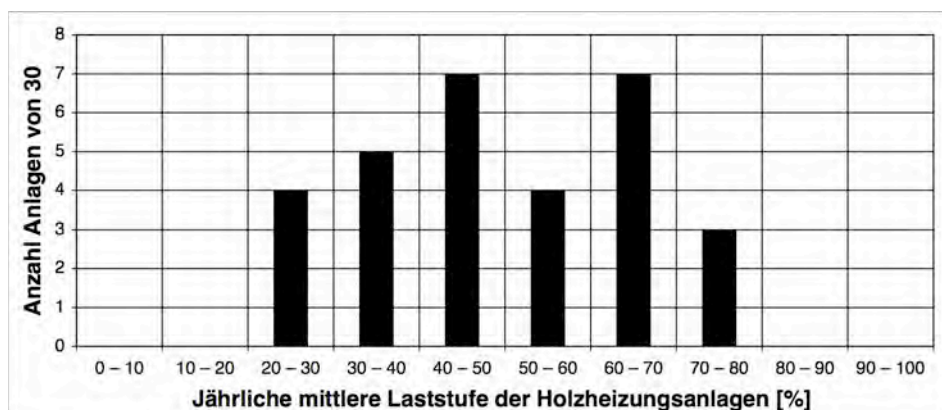


Bild 5.7: Verteilung der jährlichen mittleren Laststufen der Holzheizungsanlagen.

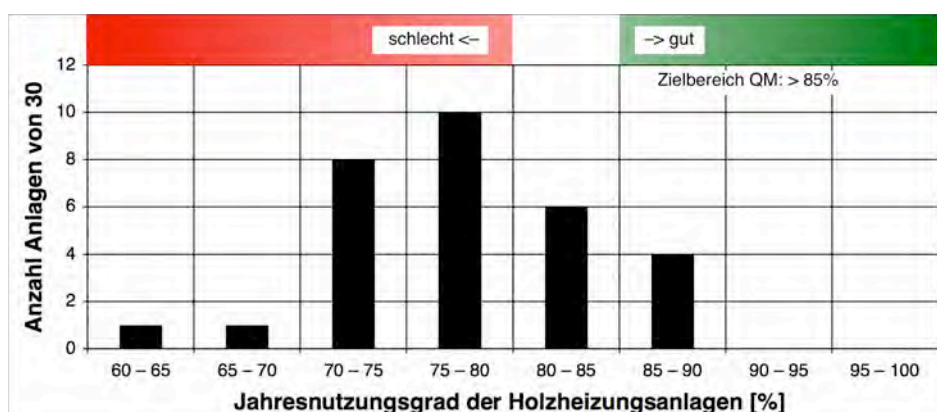


Bild 5.8: Verteilung des Jahresnutzungsgrades der Holzheizungsanlagen.

Gemäss Bild 5.8 erreichen nur wenige Anlagen einen Jahresnutzungsgrad der Holzheizungsanlagen über 85 % (grüner Bereich > 85%), rund ein Drittel der Anlagen erreichen Werte über 80 %. Bei rund der Hälfte der Anlagen liegt der Jahresnutzungsgrad zwischen 70 % und 80 %.

### 5.1.5. Gesamtverluste der Anlage

Die Gesamtverluste einer Holzheizungsanlage mit Wärmenetz hängen ab vom Jahresnutzungsgrad bzw. von den Verlusten der Wärmeerzeugung und von den Verlusten der Wärmeverteilung. QM Holzheizwerke strebt niedrige Gesamtverluste < 23.5 % an (Wärmeerzeugung < 15 %, Wärmeverteilung < 10 %).

Bild 5.9 zeigt die Verluste von Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung sowie die Gesamtverluste der untersuchten Anlagen mit Wärmenetz: Nur vier Anlagen erreichen Gesamtverluste unter 25 % (grüner Bereich in unterster Grafik < 25%), bei rund 70 Prozent der Anlagen liegen sie über 30 %, bei drei Anlagen liegen die Gesamtverluste sogar über 50 %.

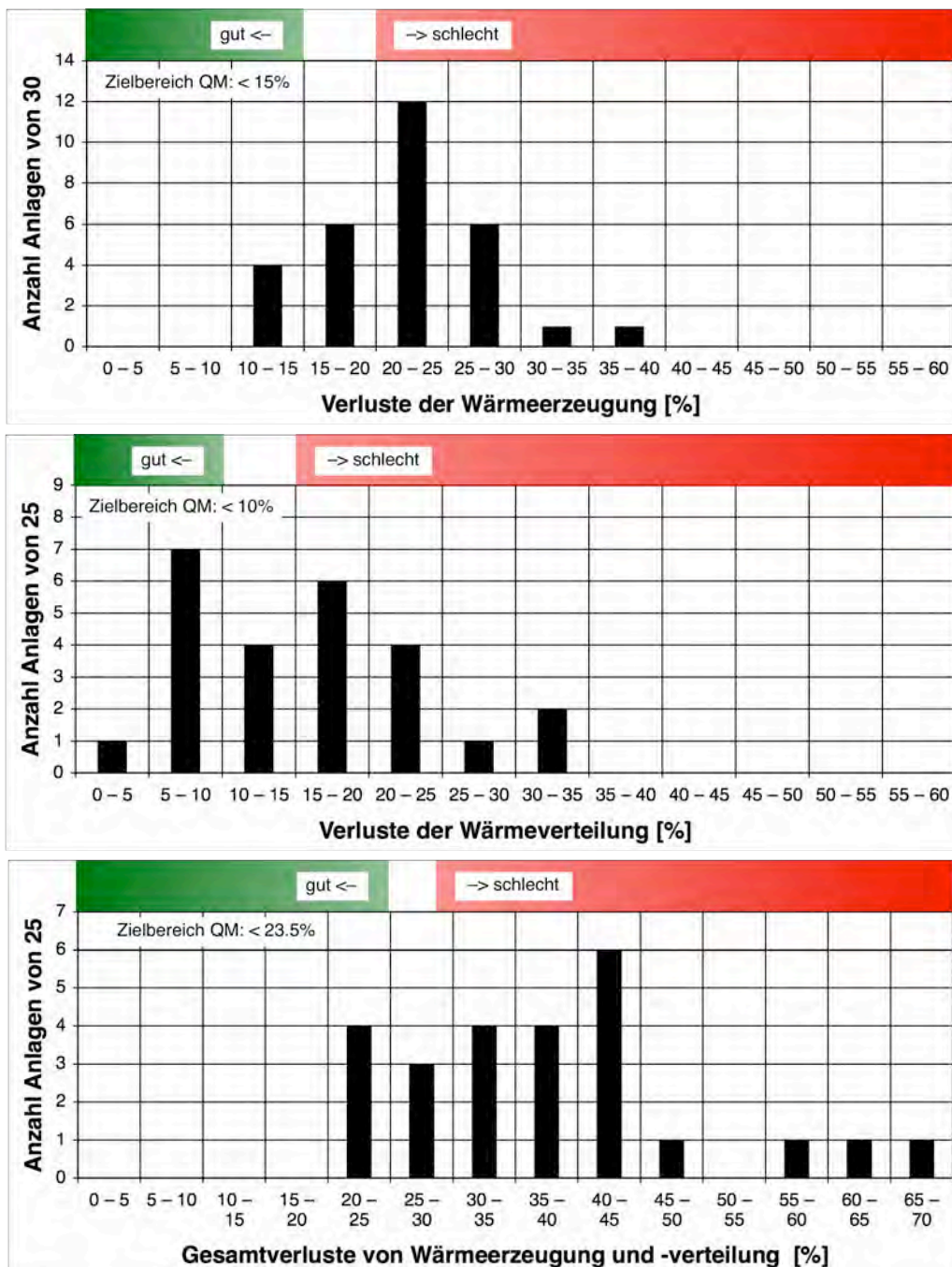


Bild 5.9: Verteilung der Verluste der Wärmeerzeugung (oben), der Wärmeverteilung (Mitte) und der Gesamtverluste von Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung (unten).

### 5.1.6. Hydraulik und Wasserqualität

Um hydraulische und regeltechnische Mängel festzustellen, ist in der Regel eine ausführliche Aufzeichnung von Betriebsdaten, deren grafische Darstellung und ihre Interpretation notwendig. Dies konnte im Rahmen dieses Projektes nicht durchgeführt werden, es wurden an einzelnen Anlagen nur Handprotokolle von wichtigen Betriebsdaten aufgenommen. Dennoch wurden im Bereich der Hydraulik der Wärmeerzeugung bei einigen Anlagen folgende Mängel festgestellt:

- Expansionsanlage nicht am druckneutralen Punkt angeschlossen
- Ungenügendes Funktionieren von Komponenten zur Wasserbehandlung (Entgasung, Entschlammung, Entkalkung)
- Störung von Wärmezählern durch elektrische Felder
- Hydraulische Anschlüsse am Speicher nicht korrekt angeordnet.

Sauerstoff, der über Diffusion durch Kunststoffrohre hindurch oder über Nachspeisung von Wasser ins Leitungswasser gelangt, verursacht Korrosion am Leitungsnetz und an den Heizkesseln. Deshalb wird der Sauerstoff in der Regel durch entsprechende Wasserbehandlung (Entgasung) entfernt. Bei vielen untersuchten Anlagen wurde im Heizwasser des Primärnetzes aber das Korrosionsprodukt Magnetit gefunden. Korrosion führt mit der Zeit zu schwerwiegenden Schäden am Leitungsnetz und an den Heizkesseln. Das Korrosionsprodukt Magnetit führt durch Ablagerungen bei verschiedenen Typen von Wärmezählern auch zu Falschmessungen. Dadurch entstehen Ertragseinbußen, weil in der Regel weniger als die tatsächlich abgegebene Wärmemenge erfasst wird. Bei der Erstbefüllung des Wärmenetzes und/oder durch Nachspeisung ins Heizwasser eingetragener Kalk kann durch Ausfällung und Ablagerungen an den Kesselrohren zu örtlicher Überhitzung und damit zu Rissen an den Kesselrohren führen.

Bei einer Anlage sind die hydraulischen Anschlüsse am Speicher nicht korrekt angeordnet. Dieser Speicher wird nicht kontrolliert geladen und entladen, sondern permanent zwangsdurchströmt und kann somit seine Funktion als Schichtspeicher gar nicht wahrnehmen.

### 5.1.7. Anlagen mit Speicher

Zweck des Einsatzes eines Speichers bei Holzheizungsanlagen ist:

- Brechen von kurzfristigen (morgendlichen) Spitzen im Wärmeleistungsbedarf
- Erhöhung der Betriebszeit (weniger EIN/AUS-Betrieb, geringere Emissionen) und damit der Auslastung des Holzessels (Steigerung des Jahresnutzungsgrads)
- Ausdehnung der Betriebszeit des Holzessels in die Übergangszeit bis hin zu Ganzjahresbetrieb des Holzessels.

Um diese Ziele zu erreichen ist eine geeignete Speicherladeregelung notwendig, welche die Leistung des Holzessels in Funktion des Ladezustands des Speichers und der Aussentemperatur vorgibt. Der Speicher soll so dimensioniert sein, dass er die während einer Stunde bei Nennleistung produzierte Wärme des (grössten) Holzessels aufnehmen kann.

Auch ohne ausführliche Datenaufzeichnung

Von den 30 untersuchten Anlagen sind 15 mit einem Speicher ausgerüstet (10 monovalente und 5 bivalente Anlagen). Auch ohne ausführliche Datenaufzeichnung konnten aber Mängel bei der Speicherladeregelung festgestellt werden. Bei den meisten Anlagen mit Speicher wurde in der Leistungsregelung des Holzessels nicht berücksichtigt, dass der Speicher mit möglichst geringer Leistung des Holzessels geladen werden soll. Nur so kann aber gewährleistet werden, dass der Holzessel

weniger EIN/AUS-Phasen durchläuft, wenig im Standbybetrieb ist und eine hohe Betriebsstundenzahl erreicht.

### 5.1.8. Brennstoff und Asche

Bild 5.10 zeigt eine Übersicht der verwendeten Brennstoffsortimente, wie sie im Q-Leitfaden [8] definiert sind. Die Stückigkeit P wurde abgeschätzt, der Wassergehalt W jeweils gemessen. Häufigster Grund für Betriebsstörungen sind nicht konforme Brennstoffe bzw. ungeeigneter Wassergehalt (Fremdwasser infolge Schnee oder Regen) sowie zu hoher Fremd- oder Feinanteil.

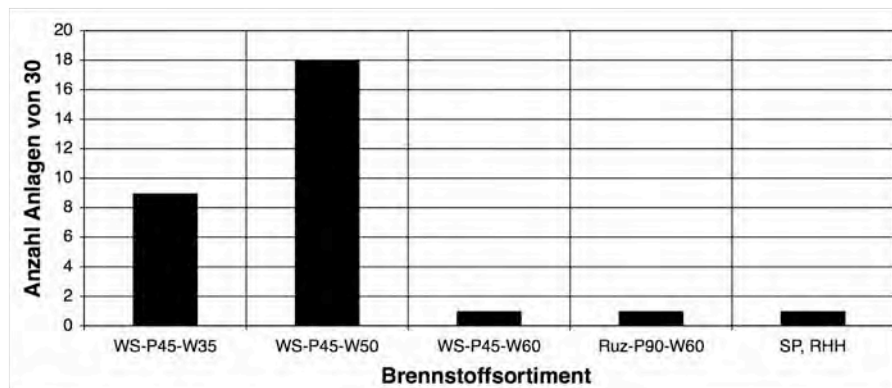


Bild 5.10: Verteilung der verwendeten Brennstoffsortimente gemäss Q-Leitfaden [8].  
WS: Wald- und Sägereestholz, P: Stückigkeit (geschätzt), W: Wassergehalt (gemessen),  
Ruz: Rinde unzerkleinert, SP: Späne, RHH: Restholz aus der Holzverarbeitung.

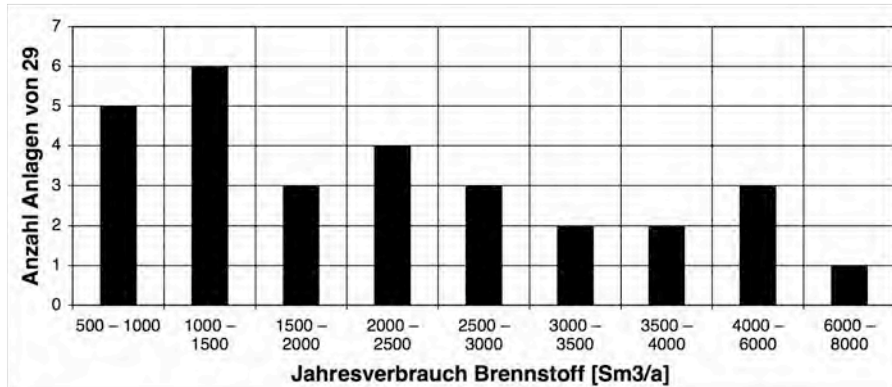


Bild 5.11: Verteilung des jährlichen Brennstoffverbrauchs.

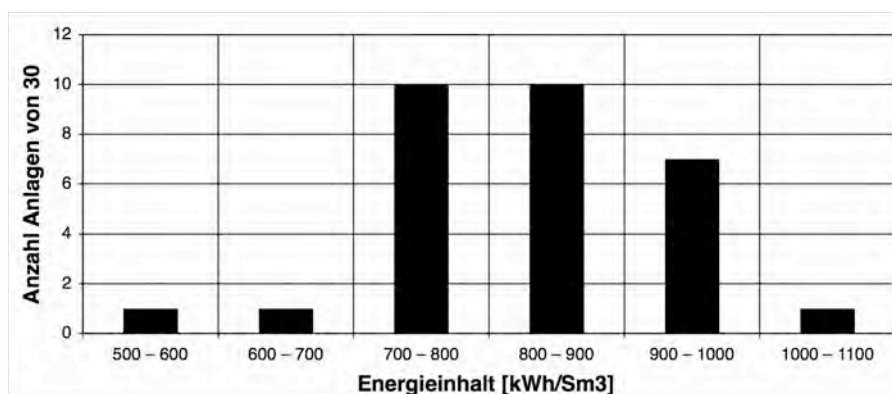


Bild 5.12: Verteilung des Energieinhalts der verwendeten Brennstoffe.

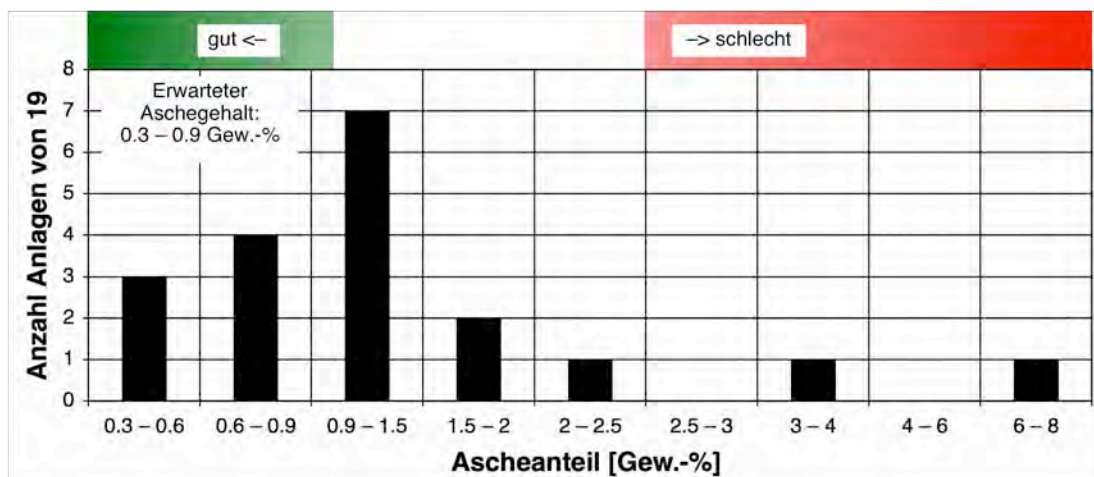


Bild 5.13: Verteilung des Aschegehalts in Trockengewicht Asche zu Trockengewicht Brennstoff. Trockengewicht Asche: aus jährlichem Aschevolumen und Annahmen über Dichte. Trockengewicht Brennstoff: aus Jahresbrennstoffverbrauch und Annahmen über Anteil Hartholz, Schüttgewicht und Wassergehalt.

### 5.1.9. Silodimensionierung

Um kostengünstige Brennstoffsilos zu realisieren wird bei heutigen Anlagen (bei günstigen Versorgungsbedingungen) ein Silonettovolumen angestrebt, das 5 bis 7 Tagesbedarfe der Feuerungsanlage bei Nennleistungsbetrieb plus eine zusätzliche Containeranlieferung fassen kann.

Bild 5.14 zeigt die Versorgungsautonomie der Brennstoffsilos. Bei einem Drittel der Anlagen liegt sie unter 5 Tagen. Bei der Hälfte der Anlagen liegt sie zum Teil deutlich über 8 Tagen, so dass der Silo vergleichsweise gross ist und zu hohe Kapitalkosten verursacht.

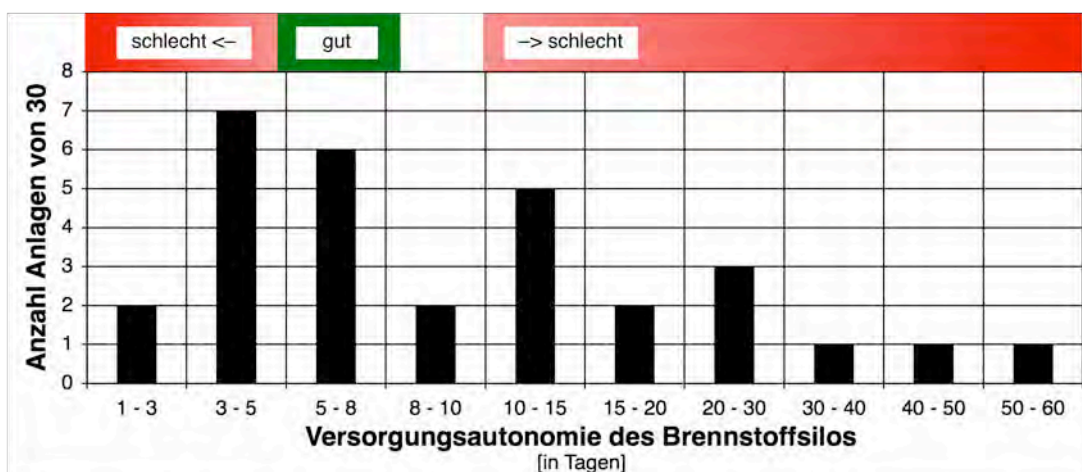


Bild 5.14: Verteilung der Versorgungsautonomie des Brennstoffsilos in Tagen (Zielwert gemäss QM Holzheizwerke: 5 – 7 Tage bei Nennleistungsbetrieb der Holzfeuerung plus eine Containerladung).

### 5.1.10. Hilfsenergie, Stromverbrauch

Als Zielwert gilt, dass der jährliche Stromverbrauch einer Holzkesselanlage ohne Wärmenetz 1.0 % ... 1.5 % der produzierten Wärme betragen darf. Bei Holzkesselanlagen mit Wärmenetz darf er rund 1.5 % ... 2.5 % der produzierten Wärme betragen.

Um dies zu erreichen müssen die Wärmenetze korrekt dimensioniert sein. Zudem müssen die Fernleitungspumpen korrekt ausgelegt und mit einer geeigneten Differenzdruckregelung (Proportional-

druckregelung, Schlechtpunktregelung) ausgerüstet sein. Bild 5.15 zeigt den Hilfsenergieanteil der untersuchten Anlagen.

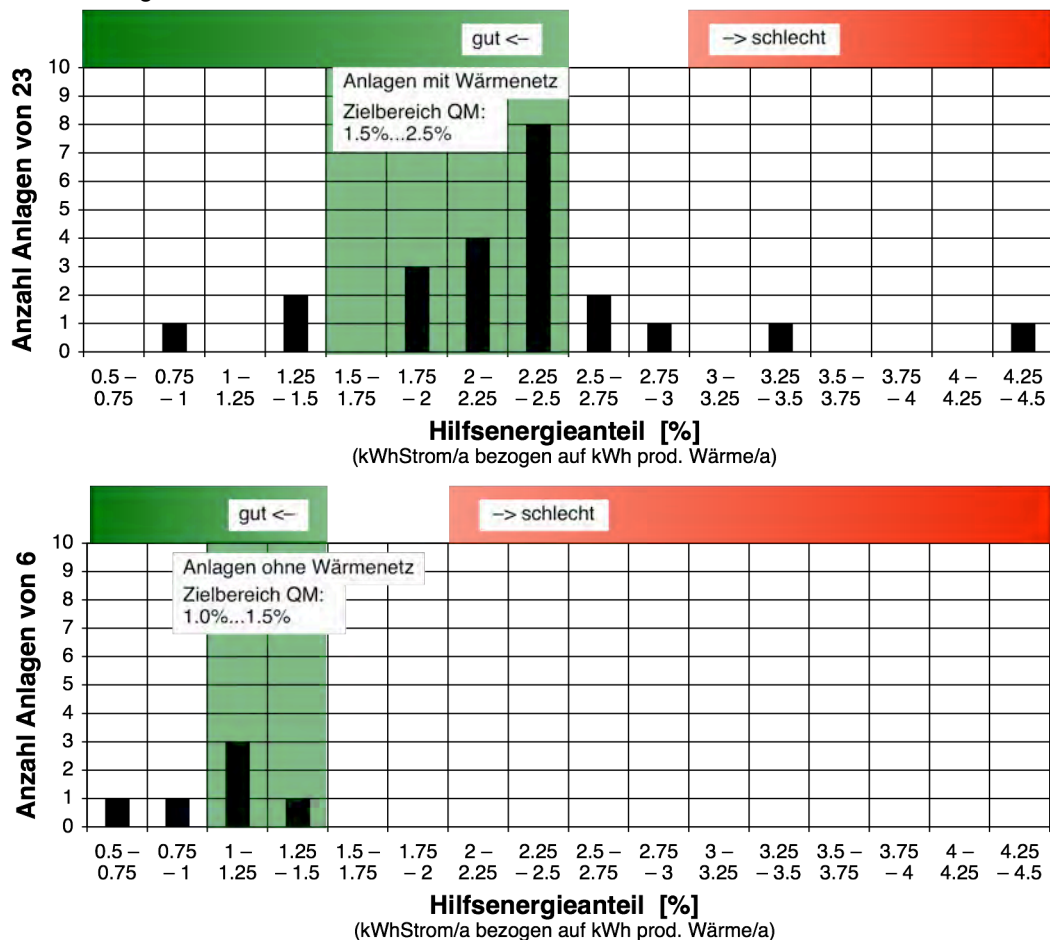


Bild 5.15: Hilfsenergieanteil der untersuchten Anlagen mit Wärmenetz (oben) und ohne Wärmenetz (unten).

### Diskussion

Der geschätzte Hilfsenergieanteil liegt bei den meisten Anlagen im Zielbereich. Bei 5 von 23 Anlagen mit Wärmenetz liegt er zum Teil deutlich über dem Zielwert. Es ist zu erwarten, dass bei diesen Anlagen die Regelung der Fernleitungspumpen ungenügend ist bzw. der Durchfluss im Wärmenetz konstant statt variabel ist und somit zuviel Wasser im Fernleitungsnetz umgewälzt wird.

### 5.1.11. Sicherheitsaspekte

Die meisten Anlagen erfüllen die sicherheitstechnischen Auflagen in den Bereichen des Personen- und Brandschutzes. Bei einigen Anlagen wurden folgende sicherheitstechnische Mängel festgestellt:

- 10 von 30: Fehlende Gärgasabsaugung im Hydraulikraum
- 4 von 30: Fehlende Betriebsanzeige des Absaugventilators beim Betreten des Hydraulikraumes
- 1 von 30: Fehlende Absturzsicherungen bei Siloöffnungen
- 5 von 30: Fehlende bzw. offene Brandschutztüre/Brandabschnitt zwischen Heizraum und Hydraulikraum
- 5 von 30: Fehlende bzw. nicht-betriebene Brandschutzklappe im Lüftungskanal zwischen Heizraum und Hydraulikraum
- 3 von 30: Verbrennungsluftzufuhr zum Heizraum durch verschliessbare Fenster.

## 5.2. Wärmeverteilung

### 5.2.1. Anschlussdichte und Wärmeverluste im Wärmenetz

Die Anschlussdichte eines Wärmenetzes ist definiert als die pro Jahr vom Netz abgegebene Nutzwärme dividiert durch die Trassenlänge. Die Trassenlänge umfasst dabei die Stammleitungen, die Zweigleitungen und die Hausanschlussleitungen des Wärmenetzes. Die Anschlussdichte ist eine wichtige Kenngrösse, einerseits als Indikator für die Wärmeverluste im Wärmenetz und andererseits für die Investitionskosten der Wärmeverteilung. Bild 5.16 zeigt die Anschlussdichten der untersuchten Anlagen aufgeteilt nach:

- Anlagen mit Ganzjahresbetrieb inkl. Brauchwarmwasser
- Anlagen mit Betrieb während der Heizperiode inkl. Brauchwarmwasser
- Anlagen mit Betrieb während der Heizperiode ohne Brauchwarmwasser.

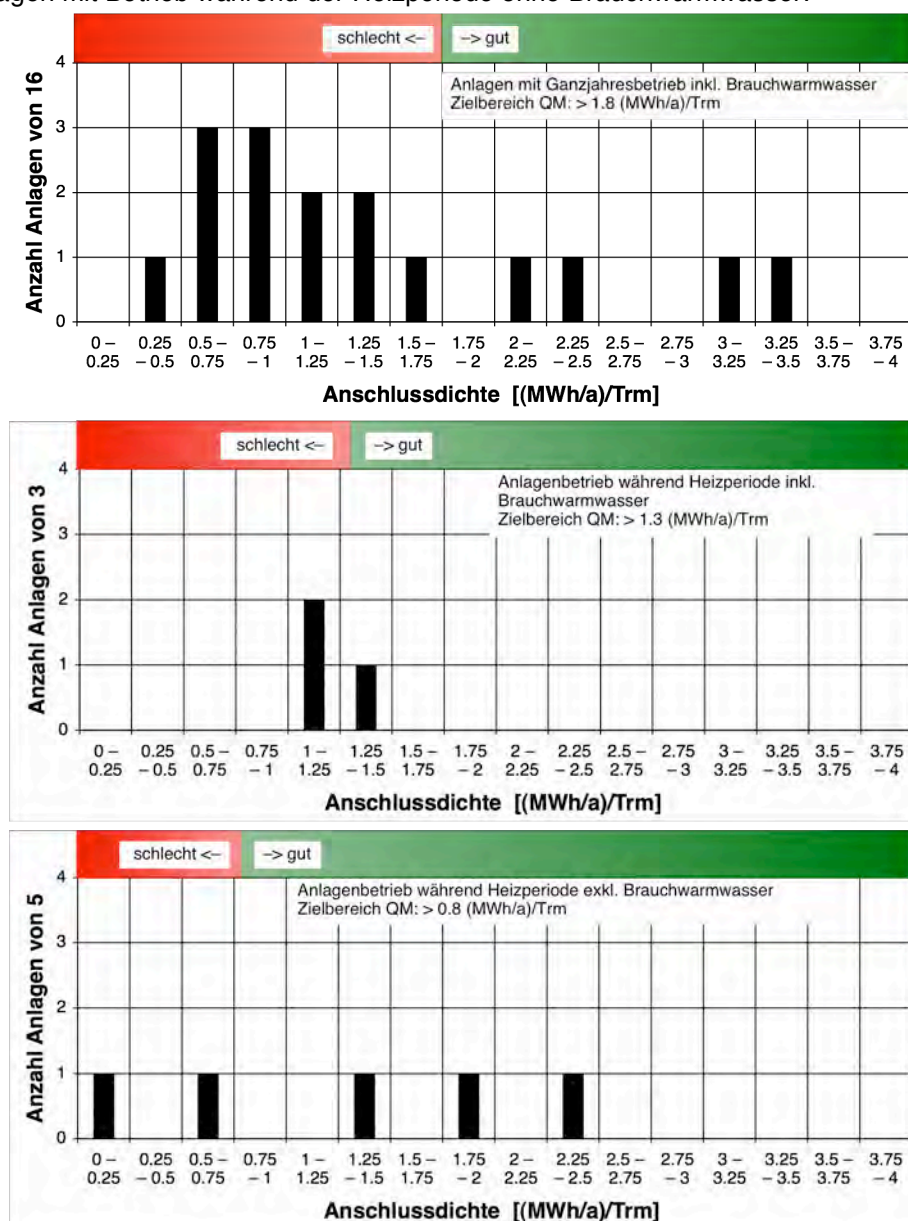


Bild 5.16: Anschlussdichte der Anlagen mit Ganzjahresbetrieb inkl. Brauchwarmwasser (oben), mit Betrieb während der Heizperiode inkl. Brauchwarmwasser (Mitte) und mit Betrieb während der Heizperiode ohne Brauchwarmwasser (unten).

Bild 5.17 zeigt den Zusammenhang zwischen den Wärmeverlusten im Wärmenetz und der Anschlussdichte für die drei unterschiedlichen Betriebsweisen eines Wärmenetzes (ausgezogene Linien). Mit zunehmender Anschlussdichte nehmen die Wärmeverluste ab. Zusätzlich sind die Anschlussdichten und die zugehörigen, effektiven Wärmeverluste der untersuchten Anlagen in der jeweiligen Betriebsweise eingetragen.

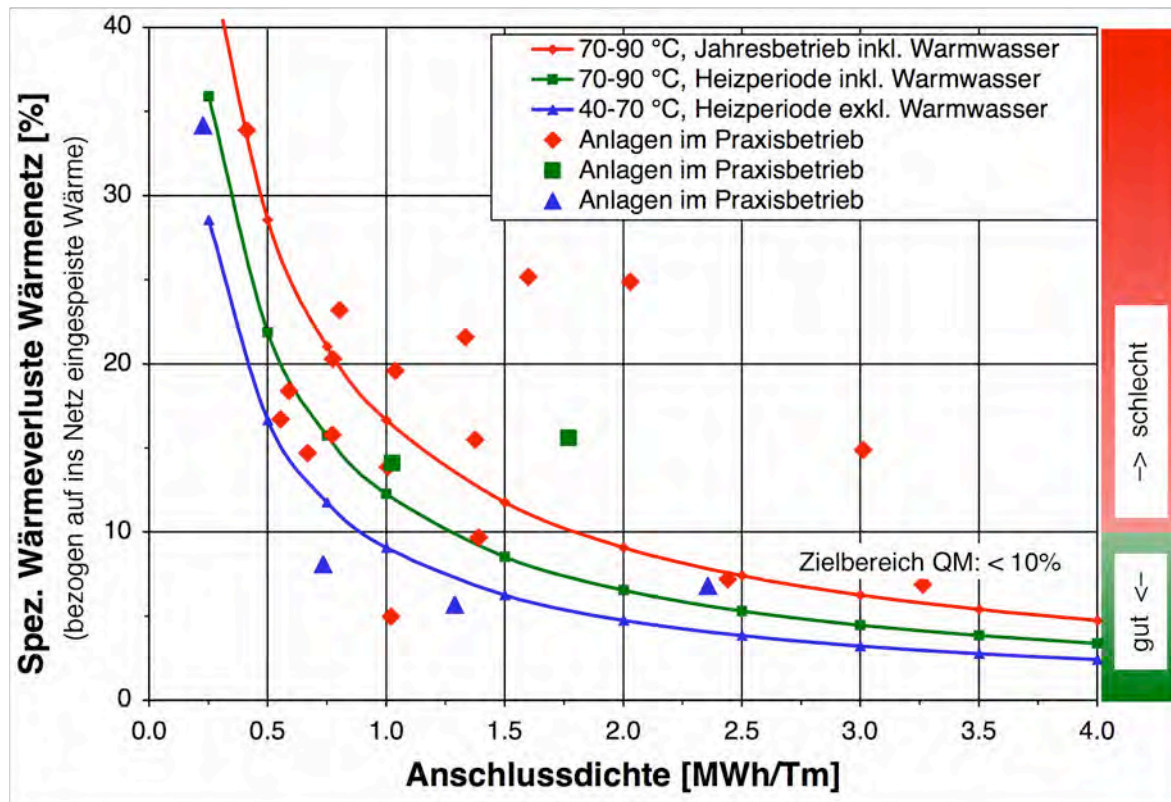


Bild 5.17: Wärmeverluste im Wärmenetz in Funktion der Anschlussdichte. Gemäss Forderung von QM Holzheizwerke sollen die Verluste < 10% betragen.

### Diskussion

8 von 25 Anlagen mit Wärmenetzen erreichen die von QM Holzheizwerke verlangten Wärmeverluste im Wärmenetz von unter 10 Prozent (grüner Bereich). Wie erwartet nehmen die Verluste mit abnehmender Anschlussdichte zu und liegen innerhalb eines Streubereichs um den erwarteten Wert (ausgezogene Linien in Bild 5.17). Bei Anlagen, deren Wärmeverluste im Wärmenetz den Erwartungswert deutlich übersteigen, liegen die Ursachen für die erhöhten Verluste in der Regel bei:

- Überdimensionierung der Nennweiten der Fernwärmerohre
- zu hohen Temperaturen im Netzvorlauf und insbesondere im Netzzrücklauf
- ungenügender Dämmstärke der Fernleitungen
- ungünstigem Sommerbetrieb des Wärmenetzes.

### 5.2.2. Hydraulik

Wie bereits in Kap. 5.1.6 erwähnt, ist in der Regel eine ausführliche Aufzeichnung von Betriebsdaten notwendig, um hydraulische und regeltechnische Mängel festzustellen. Dennoch wurden im Bereich der Hydraulik der Wärmeverteilung bei einigen Anlagen folgende Mängel festgestellt:

- ungeeignete Schaltung von Wärmeübergabestationen mit hohen Netzzrücklauftemperaturen
- ungeeignete Regelung der Netzvorlauftemperatur
- Fernleitungspumpen mit ungenügender Differenzdruckregelung.



**Diskussion**

Hohe Netzurücklauftemperaturen entstehen bei den Wärmeübergabestationen durch Überströmung von heissem Vorlaufwasser direkt in den Rücklauf. Dies kann auf der primär- oder auf der Sekundärseite der Wärmeübergabestation erfolgen. Um die Wärmeverluste im Wärmenetz tief zu halten müssen Überströmungen durch entsprechende hydraulische Massnahmen bzw. durch Einführen von entsprechenden technischen Anschlussvorschriften und/oder deren Durchsetzung behoben werden.

Die Netzurücklauftemperatur soll so niedrig wie nötig in Funktion der Aussentemperatur geregelt sein. Bei Wärmeabnehmern, die über zu geringe Heizleistung klagen, soll nicht als erster Schritt die Netzurücklauftemperatur angehoben, sondern die Sekundärseite der Wärmeübertragung soll auf Verschmutzung überprüft und gereinigt werden.

Das Wärmenetz soll grundsätzlich mit variablem Durchfluss betrieben werden. Geeignet sind drehzahlgesteuerte Pumpen mit hohem Wirkungsgrad und mit Proportionaldruckregelung.

### **5.3. Bestimmung des Jahresnutzungsgrads einer Holzheizungsanlage**

#### **5.3.1. Vorgehen**

An einer Holzfeuerungsanlage wurde die Bestimmung des Jahresnutzungsgrads in der Heizperiode 2003/04 ausführlich untersucht, zweimal nach der direkten Methode und einmal nach einer indirekten Methode. Zusätzlich wurden die zu erwartenden Messunsicherheiten der drei Bestimmungsmethoden abgeschätzt.

#### **Jahresnutzungsgrad nach direkter Methode mit einfacher Bestimmung der zugeführten Energiemenge**

Bei der direkten Methode ist der Jahresnutzungsgrad einer Holzfeuerung definiert als das Verhältnis zwischen der jährlich produzierten Wärme und der im selben Zeitraum zugeführten bzw. verfeuerten Energiemenge. Die jährlich produzierte Wärme wird dabei mit einem Wärmezähler ermittelt, der die von der Holzfeuerung produzierte Wärme misst. Zur Bestimmung der zugeführten bzw. verfeuerten Energiemenge werden die verfeuerte Holzmenge und deren Energieinhalt benötigt.

Bei der einfachen Bestimmung der zugeführten Energiemenge wird das Volumen des gelieferten Brennstoffes erfasst. Holzart und Wassergehalt werden nur grob abgeschätzt. Das gelieferte Brennstoffvolumen multipliziert mit einem angenommenen, ungefähren Heizwert ergibt die verfeuerte Energiemenge, ohne dass der effektive Wassergehalt und der Anteil an Hartholz genau bekannt sind. Aus der jährlich produzierten Wärme und verfeuerten Energiemenge wird der Jahresnutzungsgrad bestimmt.

#### **Jahresnutzungsgrad nach direkter Methode mit präziser Bestimmung der zugeführten Energiemenge**

Die jährlich produzierte Wärme wird ebenfalls mittels Wärmezähler gemessen. Für eine möglichst präzise Bestimmung der zugeführten bzw. verfeuerten Energiemenge werden bei jeder Brennstofflieferung während einer Heizsaison folgende Grössen bestimmt:

- Gewicht des gelieferten Brennstoffs gemessen mittels Lastwagenwaage
- Wassergehalt einer repräsentativen Brennstoffprobe
- Anteil an Hartholz und Weichholz.

Zur Bilanzierung der verfeuerten Brennstoffmenge wird auch die Restmenge im Brennstoffsilo zu Beginn und am Ende des betrachteten Zeitraums berücksichtigt. Aus dem über den betrachteten Zeitraum gemittelten Wassergehalt und dem mittleren Anteil an Hartholz wird der Heizwert berechnet. Aus der verfeuerten Brennstoffmenge und dem Heizwert wird dann die zugeführte bzw. verfeuerte Energiemenge berechnet. Aus der jährlich produzierten Wärme und verfeuerten Energiemenge wird der Jahresnutzungsgrad bestimmt.

#### **Jahresnutzungsgrad nach indirekter Methode**

Bei der indirekten Methode wird der Jahresnutzungsgrad einer Holzfeuerung mit einer empirischen Formel aus den auftretenden Verlusten berechnet. Die Verluste, die während der Zeit anfallen, während der die Feuerung in Betrieb ist und nutzbare Wärme produziert, werden durch den Kesselwirkungsgrad beschrieben. Er beinhaltet Verluste durch fühlbare Wärme und chemische Verluste des Abgases, durch unverbrannte Rückstände sowie durch Abstrahlung und Konvektion des heissen Kessels. Im Jahresnutzungsgrad müssen zusätzlich diejenigen Verluste berücksichtigt werden, die während Stillstandsphasen (Standby) der Feuerung auftreten, während der die Feuerung auf Betriebstemperatur gehalten wird, ohne dass sie dabei nutzbare Wärme produziert. Der Jahresnutzungsgrad wird nach einer Formel berechnet, die in [6, 9] beschrieben ist.

### **5.3.2. Resultate**

Tabelle 10.1 bis Tabelle 10.3 in Anhang 10.1 zeigen die Resultate der Berechnung des Jahresnutzungsgrades nach der direkten Methode (einfache und präzise Bestimmung der zugeführten Energiemenge) und der indirekten Methode. Sie zeigen die bei der jeweiligen Methode benötigten Grössen mit der jeweiligen Messunsicherheit.

Die einfach und kostengünstig durchzuführende Bestimmung des Jahresnutzungsgrades mittels direkter Methode mit einfacher Bestimmung der zugeführten Energiemenge führt im vorliegenden Fall zu dem vergleichsweise niedrigen Wert von 69.7 %, der mit einer grossen Unsicherheit behaftet ist. Bei einem Vertrauensbereich von 75 % beträgt die absolute Messunsicherheit  $\pm 9.8$  %, d.h. mit 75-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Wert innerhalb des Intervalls von  $(69.7 \pm 9.8)$  %. Wird ein höherer Vertrauensbereich verlangt, liegt der wahre Wert mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit innerhalb des Intervalls von  $(69.7 \pm 18.6)$  %. Im Vergleich zu den beiden anderen Methoden wird der effektive Jahresnutzungsgrad in diesem Fall deutlich unterbewertet.

Die aufwendige Bestimmung des Jahresnutzungsgrades mittels direkter Methode mit präziser Bestimmung der zugeführten Energiemenge führt zu einem Wert von 78.4 %. Mit 75-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Wert innerhalb des Intervalls von  $(78.4 \pm 3.9)$  %, mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt er innerhalb des Intervalls von  $(78.4 \pm 7.8)$  %.

Die weniger aufwendige Bestimmung des Jahresnutzungsgrades mittels indirekter Methode führt zu einem Wert von 80.6 %, der mit einer überraschend niedrigen Unsicherheit behaftet ist. Mit 75-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt der wahre Wert innerhalb des Intervalls von  $(80.6 \pm 2.8)$  %, mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit liegt er innerhalb des Intervalls von  $(80.6 \pm 5.6)$  %.

Diese berechneten Messunsicherheiten dürfen nicht ohne weiteres auf andere Situationen übertragen werden. Bei einer deutlich geringeren zeitlichen Auslastung einer Holzfeuerung dürfte die Messunsicherheit der weniger aufwendigen, dritten Methode wesentlich grösser werden, während die Messunsicherheiten der beiden ersten Methoden in etwa gleich bleiben dürften.

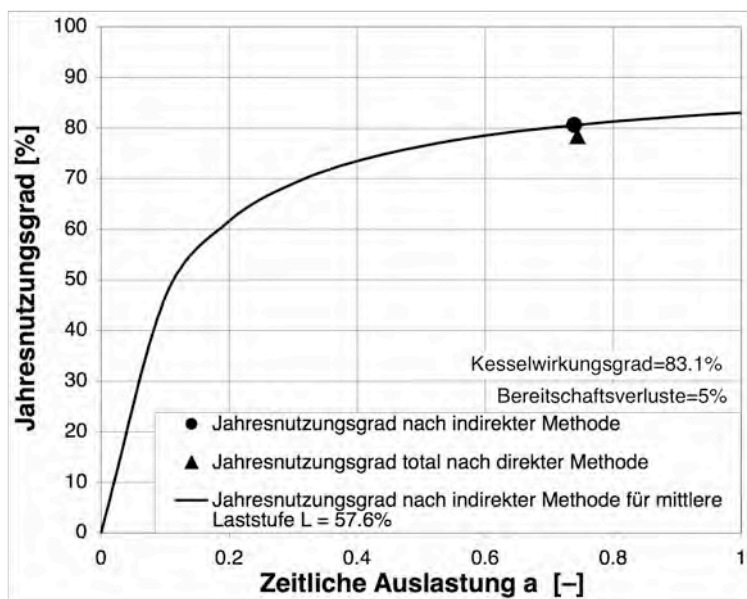


Bild 5.18: Vergleich des Jahresnutzungsgrads nach indirekter Methode und nach der direkten Methode mit präziser Bestimmung des verfeuerten Energieinhalts.

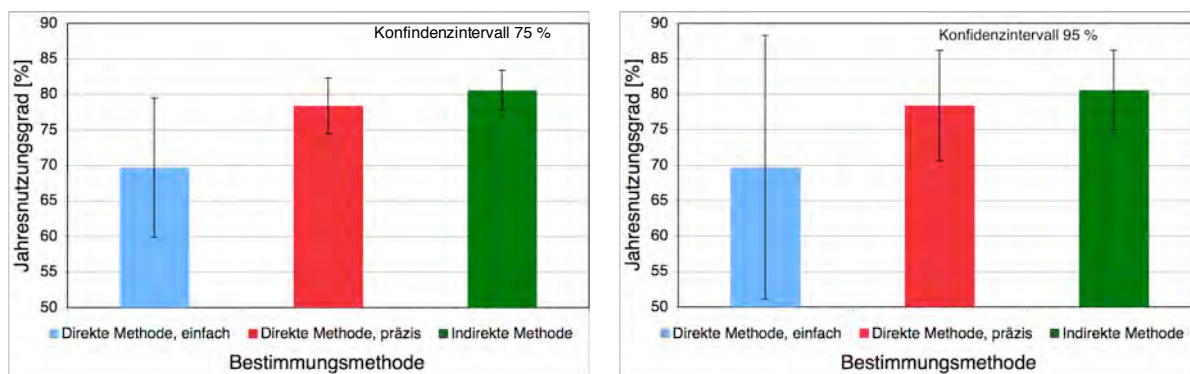


Bild 5.19: Jahresnutzungsgrad nach verschiedenen Bestimmungsmethoden mit der zugehörigen Messunsicherheit für ein Konfidenzintervall von 75 % (links) und von 95 % (rechts).

## 6. Umsetzung von Massnahmen

Die Umsetzung von Massnahmen, die im Rahmen der Systemoptimierung vorgeschlagen werden, erfordern finanzielle Mittel, Entscheidungen und Zeit. Tabelle 6.1 zeigt am Beispiel einer Anlage die vorgeschlagenen kurz- und mittelfristigen Massnahmen sowie den positiven Stand ihrer Umsetzung. Der Betreiber dieser Anlage hat auf Grund der Ergebnisse der Systemoptimierung im Bereich der Wärmeerzeugung Investitionen in der Höhe von CHF 150'000 und im Bereich der Wärmeverteilung in der Höhe von CHF 200'000 getätigt. Nach Abzug von Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren beträgt die Nettoinvestition ca. CHF 160'000.

Bei 13 Anlagen sind im Anschluss an die Systemoptimierung bereits Investitionen in der Höhe von insgesamt ca. CHF 1.1 Mio. getätigt worden, CHF 0.3 Mio. im Bereich der Wärmeerzeugung und CHF 0.76 Mio. im Bereich der Wärmeverteilung. Nach Abzug von Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren beträgt die Nettoinvestition insgesamt ca. CHF 0.5 Mio.

Der Erfolg der Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen konnte nur an einzelnen Anlagen abgeklärt werden. So konnten bei einigen Anlagen die Wartungskosten um bis zu 50 Prozent vermindert werden. An einer anderen Anlage konnte der Jahresnutzungsgrad um 7 Prozent auf rund 81 Prozent gesteigert und somit die Brennstoffkosten entsprechend vermindert werden. Andernorts konnten die Kohlenmonoxidemissionen um Faktoren gesenkt werden.

Tabelle 6.1 Kurz- und mittelfristige Massnahmen sowie Stand der Umsetzung am Beispiel einer Anlage.

<b>Kurzfristige Massnahmen</b>	<b>Stand der Umsetzung</b>
<b>Vertragliche Regelungen</b>	
<b>Wärmeverteilung</b>	
Fernleitungspumpen optimieren:	
- Vorhandene Differenzdruckregelung der Fernleitungsgruppen in Betrieb setzen	✓
<b>Heizzentrale</b>	
Sicherheit gewährleisten:	
- Anlaufen der Absaugventilatoren bei Betreten des Hydraulikraums sicherstellen	✓
- Optische Anzeige für Betrieb der Absaugventilatoren nachrüsten	✓
Brandschutz gewährleisten:	
- Brandschutzklappe zwischen Heizraum und Hydraulikraum nachrüsten	✓
Regelung Holzkessel optimieren:	
- Kesselleistung und Emissionen bei Nennleistung und Minimallast kontrollieren	o
- Folgeregelung für Ölkessel nachrüsten, Zu- und Abschaltkriterien optimieren	✓
Holzkessel:	
- Turbulatoren einbauen	✓
<b>Mittelfristige Massnahmen</b>	
<b>Vertragliche Regelungen</b>	
<b>Wärmeverteilung</b>	
Gezielte Netzverdichtung (Neukunden im Perimeter des bestehenden Wärmenetzes)	✓
Netzerweiterung in geeignete Versorgungsgebiete	o
<b>Heizzentrale</b>	
Technischen Speicher mit intelligenter Speicherladeregelung nachrüsten	✓
Bestehenden Ölkessel ersetzen	✓
Bestehenden Holzkessel nach ca. 20 Betriebsjahren durch Vorschubrostfeuerung ersetzen	o

## 7. Erreichte Ziele

Die Systemoptimierung liefert:

- Analyse des Ist-Zustands der Anlage in technischer und wirtschaftlicher Sicht
- Grundlagen und Argumente für Entscheidungsträger
- Neutrale Zweitmeinung (Second opinion) von Experten
- Handlungsperspektiven und Strategien zur Verbesserung der wirtschaftlichen Situation
- Handlungsperspektiven und Strategien zur Behebung von technischen Mängeln
- Transparente Kostenstruktur
- Vergleich der Anlagendaten mit Kenngrößen und Erfahrungswerten.

Die Systemoptimierung wird von den Anlagenbetreibern generell als sehr wertvoll bezeichnet, weil sie kurz- und mittelfristige Handlungsperspektiven aufzeigt. In einigen Fällen bestätigt sie bereits bekannte Sachverhalte. Durch sachliche Wertung des Ist-Zustands und dem Vergleich mit optimalen Werten trägt die Systemoptimierung dazu bei, dass die notwendigen Entscheidungen getroffen werden. In vielen Fällen zeigt sie jedoch auch bisher unentdeckte Schwachstellen auf und verhindert unnötige oder verfrühte Investitionen.

Neben Massnahmen, für deren Umsetzung grössere Investitionen getätigt werden müssen, werden oft auch Massnahmen aufgezeigt, die mit geringen Mitteln grosse Kosteneinsparungen bewirken.

An einzelnen Anlagen konnten nach Umsetzung entsprechender Massnahmen folgende Ziele erreicht werden und die Wirtschaftlichkeit der Anlage gesteigert werden:

- Steigerung des Jahresnutzungsgrad des Holzkessels um bis zu 7 Prozent gesteigert und als Folge entsprechende Verminderung der Brennstoffkosten
- Verminderung der Wartungskosten um bis zu 60 Prozent
- Steigerung der Erträge (Verdichtung von bestehenden Wärmenetzen)
- Verminderung von Emissionen.

## 8. Empfehlungen und Schlussfolgerungen

### 8.1. Empfehlungen an Anlagenbetreiber

#### **Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch Ausschöpfen vorhandener Leistungsreserven**

- Netzverdichtung durch Anschliessen geeigneter Wärmeabnehmer im Perimeter des bestehenden Wärmenetzes
- Netzerweiterung nur bei günstigen Randbedingungen
- Ausbau der Wärmeerzeugungsleistung erst, wenn die Nennleistung und die erwartete jährliche Vollbetriebsstundenzahl des Holzkessels erreicht wird.

#### **Erhöhung des Jahresnutzungsgrads der Holzkesselanlage**

- Verwendung von geeignetem und zulässigem Brennstoff
- Lange Betriebszeiten durch kontinuierlichen Betrieb der Holzkesselanlage bei möglichst tiefer Leistung; entsprechende Einstellung der Regelparameter, witterungsgeführte Begrenzung der maximalen Leistungsabgabe der Holzkesselanlage, Nachrüsten einer automatischen Zündung prüfen, Nachrüsten eines Speichers mit geeigneter Speicherladeregelung (Vorgaben gemäss [7]) prüfen
- Funktionstauglichkeit der Speicherladeregelung bei vorhandenem Speicher prüfen
- Kesselrohre mit Turbulatoren/Wirbulatoren ausrüsten, nachgeschalteten Abgaswärmeübertrager nachrüsten
- Jährliche Einstellung der Verbrennungsqualität; Verbrennungsregelung im gesamten Leistungsbereich auf tiefe Luftüberschusszahl und niedrige Emissionen einregulieren z.B. mittels Servicevertrag. Das Servicepersonal muss entsprechend geschult sein und soll die Anlage nicht „auf die sichere Seite“ einstellen.

#### **Verluste des Wärmenetzes senken**

- Netzvorlauftemperatur witterungsgeführt regeln, auf minimal notwendiges Niveau senken
- Netzurücklauftemperatur senken; mangelhafte Wärmeübergabestationen lokalisieren und hydraulisch umrüsten, Technische Anschlussvorschriften durchsetzen bzw. einführen
- Im Falle einer Verdichtung oder Erweiterung des Wärmenetzes Überdimensionierung der Rohrdurchmesser vermeiden
- Sommerbetrieb von Wärmenetzen mit geringer Anschlussdichte prüfen, evtl. bei geringer Anschlussdichte im Sommer dezentrale Warmwasserbereitung einführen.

#### **Wartungskosten senken**

- Nachrüsten einer pneumatischen Kesselabreinigung, Reinigungsintervall bei manueller Kesselreinigung vom Verschmutzungsgrad des Kessels abhängig machen (Anstieg der Abgastemperatur bei einer Referenzleistung beobachten)
- Einsatz von Hilfsgeräten für die Reinigung von Feuerraum und Kessel
- Verwendung von für das Transportsystem und die Feuerung geeignetem und zulässigem Brennstoff
- Sensoren im Bereich der Brennstoffförderung optimal einstellen und geeignet positionieren.

#### **Unterhaltskosten senken**

- Verwendung von für das Transportsystem und die Feuerung geeignetem und zulässigem Brennstoff
- Sicherstellen einer hohen Wasserqualität zur Vermeidung von Schäden (Korrosion, Ablagerungen an Wärmezählern und Armaturen, Überhitzung im Kesselbereich)
- Regelmässige Kontrolle/Revision der Anlagekomponenten (Servicevertrag zur Früherkennung und Behebung von Schäden).

### **Stromkosten senken**

- Möglichst grosse Spreizung von Netzvorlauf- und -rücklauf-temperatur
- Geeignete Differenzdruckregelung der Fernleitungspumpen
- Geeignete Dimensionierung der jeweiligen Fernleitungspumpe für Winter- und Sommerbetrieb.

### **Reduktion von Emissionen und Verhinderung von Geruchsbelästigung**

- Jährliche Einstellung der Verbrennungsqualität im gesamten Leistungsbereich bzw. bei markanter Änderung der Brennstoffeigenschaften (Wassergehalt, Schüttdichte)
- Lange Betriebszeiten durch kontinuierlichen Betrieb der Holzkesseanlage bei möglichst tiefer Leistung; entsprechende Einstellung der Regelparameter, witterungsgeführte Begrenzung der maximalen Leistungsabgabe der Holzkesseanlage, Nachrüsten einer automatischen Zündung prüfen, Nachrüsten eines Speichers mit geeigneter Speicherladeregelung (Vorgaben gemäss [7]) prüfen
- Funktionstauglichkeit der Speicherladeregelung bei vorhandenem Speicher prüfen.

### **Erhöhung des Holzenergieanteils zur Abdeckung des Gesamt-Jahreswärmebedarfs**

- Sicherstellen, dass der Öl- oder Gaskessel bei Spitzenlastbetrieb so spät wie möglich zugeschaltet und so früh wie möglich abgeschaltet wird
- Sicherstellen, dass der Holzessel bei Nennleistung betrieben werden kann.

### **Brennstoffqualität sicherstellen**

- Brennstoffkonformität (Feinanteil, Fremdanteil, Wassergehalt) bei jeder Lieferung prüfen, Konsequenzen bei Abweichungen mit dem Brennstofflieferanten vereinbaren
- Nichtkonformen Brennstoff, der zu Betriebsproblemen bzw. Schäden führt, zurückweisen
- Wassergehalt periodisch bestimmen.

### **Sicherstellen der Betriebs- und Versorgungssicherheit**

- Sicherheitsmängel beheben
- Bei monovalenten Holzheizwerken Anschlüsse für den Einsatz einer mobilen, externen Notheizung nachrüsten.

### **Vermeidung von Ertragseinbussen**

- Tarifmodell und Tarifgestaltung überprüfen und gegebenenfalls anpassen, Witterungsabhängigkeit der Erträge verringern, Tarifanpassung bei Kopplung an Öl- oder Gaspreis ausschöpfen
- Genauigkeit der Wärmemessung bzw. Wasserqualität durch geeignete Massnahmen sicherstellen:
  - Funktionstüchtigkeit der Wasseraufbereitenden Einrichtungen sicherstellen
  - Magnetflussfilter bei Bedarf nachrüsten
  - Wasserqualität jährlich kontrollieren
  - Wärmezähler, die für Wärme- oder Brennstoffverrechnung dienen, alle 5 Jahre nach-eichen lassen.

Neben den generellen Empfehlungen, die sich aus der Erfahrung der Systemoptimierung an den 30 untersuchten Anlagen ergeben, sind auch eine Vielzahl von kleineren Mängeln aufgetaucht, die sich erst bei genauem Hinsehen erkennen und beheben lassen.

## **8.2. Empfehlungen an Kessellieferanten**

### **Reglereinstellungen**

- Genügend Zeit zur Einregulierung einer Anlage bzw. zur Überprüfung der Reglereinstellung einplanen
- Reglereinstellungen der Anlagen protokollieren und geeignet dokumentieren

- Schulung des Servicepersonals im Hinblick auf optimale Reglereinstellung für emissionsarmen Betrieb (genügend grosses, stabiles Brennstoffbett, niedriger Luftüberschuss über den ganzen Lastbereich, hoher Wirkungsgrad, nicht „auf die sichere Seite“ einstellen)
- Weiterentwicklung der Regelungstechnik.

### **8.3. Empfehlungen an Gemeinden**

#### **Netzverdichtung durch Bewilligungspraxis unterstützen**

- Restriktive Bewilligung von fossilen Heizanlagen (Neubau und Sanierung) im Perimeter des bestehenden Wärmenetzes und Anschlusspflicht prüfen oder verlangen. Dies ist z.B. im Kanton Zürich möglich [11]
- Anreize zur Umrüstung von bestehenden fossilen Heizanlagen liefern [12, 13].

### **8.4. Empfehlungen an Anlagenplaner**

#### **QM Holzheizwerke anwenden**

- Anwendung von QM Holzheizwerke beim Ausbau der Wärmeerzeugung und bei Verdichtung oder Ausbau von bestehenden Wärmenetzen.

### **8.5. Schlussfolgerungen**

- Systemoptimierung ist wirksam
- Empfehlungen kommunizieren und umsetzen
- Weiterführen der Systemoptimierung mit Variante ‚*Systemoptimierung Standard*‘ und Variante ‚*Systemoptimierung light*‘
- Systemoptimierung auch an Anlagen durchführen, die mit QM Holzheizwerke begleitet wurden, um den aktuellen Stand (Wirtschaftlichkeit, Kosten, Technik, Kenndaten) zu erfassen.



---

## 9. Literatur

- [1] Good, J.; Nussbaumer, Th.: Fernwärmenetze mit Holzheizungen: Wirtschaftliche und technische Optimierung, *Heizung Klima*, 2 2003, 38–40
- [2] Good, J.; Binggeli, D.: Verbesserungen sind willkommen, *ENET-NEWS*, Juli 2003 / Nr. 55, Bern 2003, S.15
- [3] Good, J.; Nussbaumer, Th; Jenni, A.; Bühler, R.: Systemoptimierung automatischer Holzfeuerungen in der Praxis. In: *Luftreinhaltung und Explosionsschutz bei Holzfeuerungen und Stand der Technik der Holzvergasung, Tagungsband zum 7. Holzenergie-Symposium am 18. Oktober 2002 in Zürich*, Bundesamt für Energie und ENET, Zürich 2002, ISBN 3-908705-01-0, S. 73–102
- [4] Good, J.: Optimierung bestehender Holzheizwerke. In: *Energie aus Biomasse, Tagungsband zum 12. OTTI-Symposium am 20./21. November in Bad Staffelstein*, Bad Staffelstein 2003
- [5] Merkblatt QM Holzheizwerke: *Qualität zahlt sich aus*.  
Bezug über [www.qmholzheizwerke.ch](http://www.qmholzheizwerke.ch)
- [6] Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke: *Planungshandbuch*. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 4) ISBN 3-937441-94-8
- [7] Gabathuler, H.R.; Mayer, H.: *Standard-Schaltungen-Teil I*. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 2) ISBN 3-937441-92-1
- [8] Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke: *Q-Leitfaden*. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 1) ISBN 3-937441-91-3
- [9] Good, J.; Nussbaumer, T.; Delcarte, J.; Schenkel, Y.: Methods for Efficiency Determination for Biomass Heating Systems and Influence of Operation Mode on Plant Efficiency, *Proceedings Second World Biomass Conference*, 10-14 May 2004, Rome, ETA Florence and WIP Munich, ISBN 88-89407-04-2, 1431–1434
- [10] Good, J.; Nussbaumer, T.: Optimisation of Biomass Heating Plants, *Proceedings Second World Biomass Conference*, 10-14 May 2004, Rome, ETA Florence and WIP Munich, ISBN 88-89407-04-2, 1828–1831
- [11] Meier, D.; Good, J.; Nussbaumer, Th.; Thrier, A.; Kunz, H.: Wirtschaftlichkeitsvergleich Fernwärme und Ölheizung, *8. Holzenergie-Symposium*, Bundesamt für Energie, Bern 2004, ISBN 3-908705-10-X, 195–208
- [12] Nussbaumer, Th.; Good, J.: Das Feuer brennt auch ohne teures Heizöl, *Kommunalmagazin*, 11 (2005), 8-9)
- [13] Good, J.; Jenni, A.; Nussbaumer, Th.: Sparpotenzial durch Systemoptimierung, *HK-Gebäude-technik*, 12 2005, 19–22

## 10. Anhang

### 10.1. Übersicht Jahresnutzungsgrad

Die folgenden Tabellen zeigen eine Übersicht über drei Methoden zur Berechnung des Jahresnutzungsgrads.

Tabelle 10.1 Jahresnutzungsgrad und zugehörige Messunsicherheit. Bestimmung mittels direkter Methode mit einfacher Bestimmung der zugeführten Energiemenge.

Werte			Einfache Messunsicherheit		Kombinierte Messunsicherheit		Erweiterte Messunsicherheit	
			absolut	%relativ	Vertrauensbereich 75%		Vertrauensbereich 95%	
					absolut	%relativ	absolut	%relativ
<b>Produzierte Wärme</b>	<b>MWh/a</b>	<b>823.0</b>	16.46	2.0				
Gelieferte Brennstoffmenge	Sm <sup>3</sup> /a	1'181	60	5.1				
Geschätzter Heizwert	kWh/Sm <sup>3</sup>	1'000	150	15.0				
<b>Verfeuerte Energiemenge</b>	<b>MWh/a</b>	<b>1'181</b>			189	16.0		
<b>Jahresnutzungsgrad</b>	<b>%</b>	<b>69.7</b>			<b>± 9.8</b>	14.1	<b>± 18.6</b>	26.7

Tabelle 10.2 Jahresnutzungsgrad und zugehörige Messunsicherheit. Bestimmung mittels direkter Methode mit präziser Bestimmung der zugeführten Energiemenge.

Werte			Einfache Messunsicherheit		Kombinierte Messunsicherheit		Erweiterte Messunsicherheit	
			absolut	%relativ	Vertrauensbereich 75%		Vertrauensbereich 95%	
					absolut	%relativ	absolut	%relativ
<b>Produzierte Wärme</b>	<b>MWh/a</b>	<b>823.0</b>	16.46	2.0				
Verfeuerte Brennstoffmenge	kg/a	368'945	360	0.1				
Mittlerer Wassergehalt	%	41	5	12.2				
Mittlerer Anteil Hartholz	%	54	5	9.3				
Berechneter mittlerer Heizwert	MJ/kg	10.24			0.3	2.9		
<b>Verfeuerte Energiemenge</b>	<b>MWh/a</b>	<b>1'050</b>			50	4.8		
<b>Jahresnutzungsgrad</b>	<b>%</b>	<b>78.4</b>			<b>± 3.9</b>	5.0	<b>± 7.8</b>	9.9

Tabelle 10.3 Jahresnutzungsgrad und zugehörige Messunsicherheit. Bestimmung mittels indirekter Methode mit Berechnungsformel.

Werte			Einfache Messunsicherheit		Kombinierte Messunsicherheit		Erweiterte Messunsicherheit	
			absolut	%relativ	Vertrauensbereich 75%		Vertrauensbereich 95%	
					absolut	%relativ	absolut	%relativ
Mittel Abgas- minus Heizraumtemperatur	°C	150	13	8.7				
Mittel CO <sub>2</sub> + CO	Vol.-%	8.7	1.5	17.2				
Mittlerer Wassergehalt	%	41	5	12.2				
Heizwert atro bei 54% Anteil Hartholz	kJ/kg atro	18'500	250	1.4				
Feuerungstechn. Wirkungsgrad	%	85.1			2.8	3.3		
Strahlungsverluste	%	2	0.5	25				
<b>Kesselwirkungsgrad</b>	<b>%</b>	<b>83.1</b>			2.83	3.4		
Produzierte Wärme	MWh/a	823.0	16.46	2.0				
Nennwärmeleistung	kW	350	50	14.3				
Betriebszeit	h/a	4'082	20	0.5				
<b>Mittlere Laststufe</b>	<b>%</b>	<b>57.6</b>			8.31	14.4		
Betriebszeit	h/a	4'082	20	0.5				
Standbydauer	h/a	1'445	7.2	0.5				
<b>Mittlere zeitliche Auslastung</b>	<b>-</b>	<b>0.74</b>			0.005	0.7		
<b>Bereitschaftsverluste</b>	<b>%</b>	<b>5</b>	1	20				
<b>Jahresnutzungsgrad</b>	<b>%</b>	<b>80.6</b>			<b>± 2.8</b>	3.5	<b>± 5.6</b>	6.9

## 10.2. Jahresnutzungsgrad nach indirekter Methode

Formel zur Bestimmung des Jahresnutzungsgrads nach der indirekten Methode:

$$\eta_a = \eta_k \frac{1}{1 + \frac{q_B}{L} \frac{1-\alpha}{\alpha}} \quad [\%]$$

Mit den folgenden Annahmen und den Betriebswerten der Anlage ergeben sich folgende Werte:

$$\text{Kesselwirkungsgrad } \eta_k = (85 - 2) = 83 \%$$

$$\text{Bereitschaftsverluste } q_B = 5 \%$$

$$\text{Mittlere Laststufe } L = \frac{\Delta WZ}{\text{Nennwärmeleistung } t_{\text{Betrieb}}} \cdot 100 = \frac{823'000 \text{ kWh/a}}{350 \text{ kW} \cdot 4'082 \text{ h/a}} \cdot 100 = 57.6 \%$$

$$\text{Zeitliche Auslastung } \alpha = \frac{\text{Betriebszeit der Feuerung}}{\text{Einschaltdauer der Feuerung}} = \frac{t_{\text{Betrieb}}}{t_{\text{Ein}}} = \frac{4'082 \text{ h/a}}{5'527 \text{ h/a}} = 0.739 \quad [-]$$

Daraus ergibt sich folgender Jahresnutzungsgrad bezogen auf die gesamte Heizperiode:

$$\eta_a = \eta_k \frac{1}{1 + \frac{q_B}{L} \frac{1-\alpha}{\alpha}} = 83.0 \frac{1}{1 + \frac{5.0}{57.6} \frac{1-0.739}{0.739}} = 80.6 \%$$

# 11. Beilage

## 11.1. Anonymisiertes Faktenblatt einer untersuchten Anlage



verenum



Verenum  
Langmuerstrasse 109  
CH - 8006 Zürich  
Telefon: 044 377 70 70  
Internet: www.verenum.ch

### Faktenblatt Systemoptimierung Anlage 5

### Teil 1: Anlagendaten

Anlage							
Standort							
Betreiber							
Holzkesselelieferant							
Inbetriebnahme	1992						
Wärmeerzeugungsart	Bivalent ohne Speicher						
Betriebsweise	Bivalent						
Wärmeverteilung	Wärmenetz						
Nutzungsart	Raumwärme						
Nutzungszeitraum	Heizperiode						
Datenbasis aus Betriebsjahr	2001/02						
<b>Technik</b>							
<b>Wärmeerzeugung</b>		Zielwert allgemein		Zielwert Anlage	Istwert Betreiber	Schätzung SO-Team	
<b>Holzessel 1</b>					Unterschub		
Nennleistung	kW				450		
Wärmeproduktion	MWh/a				717		
Vollbetriebsstundenzahl	h/a				1'593		
<b>Holzessel 2</b>							
Nennleistung	kW						
Wärmeproduktion	MWh/a						
Vollbetriebsstundenzahl	h/a						
<b>Bivalentkessel</b>							
Nennleistung	kW				200		
Wärmeproduktion	MWh/a				33		
Vollbetriebsstundenzahl; bei Notkessel ≤ 100 h/a)	h/a				165		
<b>Technischer Speicher</b>		Liter			-	9)	
<b>Gesamtanlage</b>							
Installierte Leistung					650		
Wärmeproduktion					750		
Anteil Holz an Wärmeproduktion	%				96		
Vollbetriebsstundenzahl Holzessel (gesamt)	h/a	1'500 ... 3'500 <sup>7)</sup>		> 2'500	1'593		
Jahresnutzungsgrad Holzessel (gesamt)	%	> 85		> 85	70.5		
Jahresnutzungsgrad Holzessel	%				70.5		
Einschaltdauer	h/a				5'760		
davon in Betrieb	h/a				3'700		
Zeitliche Auslastung	%				64		
Mittlere Kesselleistung	%				43		
Silovolumen netto	m <sup>3</sup>			130	150		
Versorgungsautonomie Silo	Tage	5 ... 7 (+40m <sup>3</sup> ) <sup>8)</sup>		5 ... 7	8.0		
<b>Endenergie/prod. Wärme/Nutzwärme</b>							
Endenergieverbrauch	MWh/a				1'072		
Wärmeproduktion	MWh/a				750		
Nutzwärme	MWh/a				689		
<b>Wärmeverteilung</b>							
Wärmeleistungsbedarf	kW				520	360	
Vollbetriebsstundenzahl Wärmeabnehmer					1'325	1'914	
Trassenlänge Wärmenetz	Trm				940		
Anschlussdichte	MWh / (a Trm)	0.8 ... 1.8 <sup>4)</sup>		0.8	0.7		
<b>Wärmeverluste</b>							
Wärmeerzeugung	bezogen auf Endenergie	%	< 15	< 15	29.5		
Wärmeverteilung	bezogen auf eingespeiste Wärme	%	< 10	< 10	8.1		
Gesamtverlust	bezogen auf Endenergie	%	< 20	< 20	35.7		
<b>Brennstoff</b>							
Brennstoffklasse		9)			WS-P35-W35		
Anteil Hartholz (Laubholz)	%				50		
Jahresverbrauch	Srm/a				1'220		
Energieinhalt	bezogen auf gelieferte Hackschnitzel	kWh/Srm			833		
Energieinhalt	bezogen auf produzierte Wärme	kWh/Srm			588		
Aschenanteil	Entsorgung auf Gemeindedepone	Gew.-%	0.3 ... 0.9	0.3 ... 0.9	1.5		
<b>Stromverbrauch</b>							
	bezogen auf produzierte Wärme	mit Wärmenetz %	1.5 ... 2.5	1.5 ... 2.5	2.1		
	bezogen auf produzierte Wärme	ohne Wärmenetz %	1 ... 1.5	1 ... 1.5	2.1		
<b>Finanzen</b>							
<b>Spezifische Investitionskosten</b>		Zielwert allgemein		Zielwert Anlage	Istwert Betreiber	Schätzung SO-Team	
Spez. Investitionskosten der Wärmeverteilung	bezogen auf Nutzwärme	Fr./ (MWh/a)	500 ... 700 <sup>6)</sup>	500...700	1'550	1420	
Spez. Investitionskosten der Wärmeerzeugung	bezogen auf Wärmeleistungsbedarf gemäss Schätzung SO-Team	Fr./ kW	<sup>7)</sup>	1670	980		
<b>Spezifische Wärmegestehungskosten</b>							
Wärmeerzeugung	bezogen auf Nutzwärme	Rp. / kWh			-	6.4	
Wärmeverteilung	bezogen auf Nutzwärme	Rp. / kWh			-	7.0	
Brennstoff	bezogen auf Nutzwärme	Rp. / kWh			5.4	5.4	
Spez. Wärmegestehungskosten netto	bezogen auf Nutzwärme	Rp. / kWh			12.0	18.8	
Spez. Wärmegestehungskosten (Vollkostenbasis)	bezogen auf Nutzwärme	Rp. / kWh				26.9	
<b>Brennstoffkosten</b>							
Kosten für Hackschnitzel	franko Silo	Fr./Srm			30		
	bezogen auf gelieferte Hackschnitzel	Rp. / kWh			3.6		
	bezogen auf produzierte Wärme	Rp. / kWh			5.1		
Kosten für Heizöl		Fr./ 100 Liter			13		
	bezogen auf produzierte Wärme	Rp. / kWh			2.1		

1) Empfehlung: 1 Stunde Betrieb bei Nennleistung Holzessel (bei Temperaturdifferenz EIN-AUS von 45°C)

2) Zielwert abhängig von Wärmeerzeugungsart, Betriebsweise und Anlagengrösse

3) Zielwert: Nettovolumen für den Bedarf von 5 bis 7 Tagen bei Nennwärmeleistung + 1 Containerfüllung

4) Zielwert für Anschlussdichte abhängig von Temperaturniveau und Betriebsdauer der Wärmeverteilung

5) Klassierung gemäss OM Holzheizwerke

6) Zielwert Inbetriebnahme 700 Fr./ (MWh/a), Endausbau: 500 Fr./ (MWh/a), abhängig auch von Bauerschwerisn und Anschlussdichte

7) Zielwert abhängig von Gesamt-Wärmeleistungsbedarf

Tabellen 18 bis 19 in Q-Leitfaden

Tabelle 8 in Q-Leitfaden

Abbildung 15 in Q-Leitfaden

Tabelle 14 in Q-Leitfaden

Abbildung 17 in Q-Leitfaden

Abbildung 22 in Q-Leitfaden



verenum

Verenum  
Langmuerstrasse 109  
CH - 8006 Zürich  
Telefon: 044 377 70 70  
Internet: www.verenum.ch



## Faktenblatt Systemoptimierung Anlage 5

## Teil 2: Bewertung & Massnahmen

Bewertung gemäss Systemoptimierungsteam	
<b>Wärmeerzeugung</b>	
Vollbetriebsstundenzahl Holzkessel	1
Jahresnutzungsgrad Holzkessel	1
Zeitliche Auslastung während Einschaltdauer	1
Wärmeverluste	1
Geruchsimmissionen	2
Lärmimmissionen	2
Sicherheit Brandschutz	1
Sicherheit Personenschutz	1
Belüftung Heizraum, Hydraulikraum und Silo	1
Hydraulik	2
Speicherladeregelung	-
Versorgungsautonomie Silo	2
Wasserqualität	2
Stromverbrauch	2
<b>Wärmeverteilung</b>	
Anschlussdichte	1
Wärmeverluste	2
Hydraulik	2
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;"> <p><i>Bewertungsschlüssel</i>  3 entspricht dem aktuellen Stand der Technik  2 genügt den Anforderungen  1 Handlungsbedarf gemäss Einschätzung Systemoptimierung  - keine Angaben/ keine Aussage</p> </div>	
<b>Kurzfristige Massnahmen</b>	
<b>Vertragliche Regelungen</b>	<b>Stand der Umsetzung</b>
<b>Wärmeverteilung</b>	
Fernleitungspumpen optimieren: - Vorhandene Differenzdruckregelung der Fernleitungsgruppen in Betrieb setzen	✓
<b>Heizzentrale</b>	
Sicherheit gewährleisten: - Anlaufen der Absaugventilatoren bei Betreten des Hydraulikraums sicherstellen	✓
- Optische Anzeige für Betrieb der Absaugventilatoren nachrüsten	✓
Brandschutz gewährleisten: - Brandschutzklappe zwischen Heizraum und Hydraulikraum nachrüsten	✓
Regelung Holzkessel optimieren: - Kesselleistung und Emissionen bei Nennleistung und Minimallast kontrollieren	o
- Folgeregelung für Ölkessel nachrüsten, Zu- und Abschaltkriterien optimieren	✓
Holzkessel: - Turbulatoren einbauen	✓
<b>Mittelfristige Massnahmen</b>	
<b>Vertragliche Regelungen</b>	<b>Stand der Umsetzung</b>
<b>Wärmeverteilung</b>	
Gezielte Netzverdichtung (Neukunden im Perimeter des bestehenden Wärmenetzes)	✓
Netzerweiterung in geeignete Versorgungsgebiete	o
<b>Heizzentrale</b>	
Technischen Speicher mit intelligenter Speicherladeregelung nachrüsten	✓
Bestehenden Ölkessel ersetzen	✓
Bestehenden Holzkessel nach ca. 20 Betriebsjahren durch Vorschubrostfeuerung ersetzen	o

## **11.2. Anonymisierter Anlagenbericht einer untersuchten Anlage**

Auf den folgenden Seiten ist einer der 30 Anlagenberichte in anonymisierter Form als Beispiel beigelegt. Er soll veranschaulichen, welche Informationen ein Anlagenbetreiber im Rahmen einer an seiner Anlage durchgeführten Systemoptimierung erhält.



**verenum**

*Verenum Dr. Thomas Nussbaumer  
Ingenieurbüro für Verfahrens-, Energie- und Umwelttechnik*

Verenum  
Langmauerstrasse 109  
CH – 8006 Zürich (Switzerland)  
Phone: ++41 (0)1 377 70 70  
Fax: ++41 (0)1 377 70 77  
Internet: www.verenum.ch

# Systemoptimierung automatischer Holzheizungen für Wärmeverbund

**Grobbeurteilung der wirtschaftlichen und technischen Situation**  
**Schwachstellenanalyse**  
**Massnahmenplan**

---

ausgearbeitet durch  
**Jürgen Good**, Verenum, Zürich  
**Andres Jenni**, ardens GmbH, Liestal  
**Thomas Nussbaumer**, Verenum, Zürich

im Auftrag von  
**Gemeinderat**

mit Unterstützung von  
**Bundesamt für Energie**

März 2003

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Zusammenfassung und Massnahmenplan</b> .....	<b>1</b>
1.1. Zusammenfassung .....	1
1.2. Massnahmenplan .....	3
<b>2. Bestandesaufnahme</b> .....	<b>5</b>
2.1. Anlagenbeschreibung .....	5
2.2. Anlagenbeurteilung aus Sicht des Betreibers .....	7
<b>3. Grobbeurteilung</b> .....	<b>8</b>
3.1. Wirtschaftliche Situation .....	8
3.2. Technische Situation .....	13
3.3. Vertragssituation .....	17
<b>4. Massnahmen zur Behebung von Schwachstellen</b> .....	<b>18</b>
4.1. Sicherheit.....	18
4.2. Verluste der Wärmeerzeugung senken.....	18
4.3. Leistung Holzkessel erhöhen.....	18
4.4. Folgeregelung Ölkessel.....	18
4.5. Stromverbrauch der Wärmeverteilung senken .....	19
4.6. Ausbau des Fernwärmenetzes .....	19
4.7. Ausbau der Wärmeerzeugung .....	20
<b>5. Anhang</b> .....	<b>23</b>
5.1. Kenndaten der Anlage .....	23
5.2. Abschätzung der effektiven Anschlussleistung .....	27
5.3. Emissionsmessung vom 10.12.2002 .....	28
5.4. Fotos der Anlage.....	29
<b>6. Literatur</b> .....	<b>31</b>



# 1. Zusammenfassung und Massnahmenplan

## 1.1. Zusammenfassung

Mit dem Projekt *Systemoptimierung automatischer Holzheizungen* bietet das Bundesamt für Energie eine Dienstleistung an für Betreiber von Heizanlagen. Ziel ist die ökologische und ökonomische Optimierung von in Betrieb stehenden automatischen Holzheizungen. Dazu umfasst die Systemoptimierung folgende Schritte:

- Bestandesaufnahme
- Grobbeurteilung der wirtschaftlichen und technischen Situation
- Schwachstellenanalyse
- Massnahmenvorschlag zur Anlagenoptimierung.

Der Wärmeverbund versorgt im Dorfkern verschiedenen öffentliche und private Gebäude während der Heizsaison mit Raumwärme. Die Heizanlage wurde 1992 als bivalente Einkesselanlage ohne Speicher in Betrieb genommen mit einer Leistung von 650 kW (Holzkessel 450kW, effektiv allerdings nur ca. 300 kW, Ölkessel 200 kW). Das Fernwärmenetz wurde laufend erweitert, die abonnierte Anschlussleistung beträgt ca. 520 kW, die geschätzte effektive Anschlussleistung beträgt ca. 360 kW. Der jährliche Nutzwärmebezug beträgt ca. 690 MWh. Bei einer Länge von 940 Trasseemetern beträgt die Anschlussdichte des Fernwärmenetzes 0.7 MWh pro Jahr und Trasseemeter.

Die für das Betriebsjahr 01/02 ausgewiesenen Wärmegestehungskosten betragen 12 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>. Mit einem Arbeitspreis von 9.4 Rp./kWh und einer Grundgebühr von 48.40 Fr./kW (inkl. MWSt) wird ein Gewinn von ca. Fr. 7'000.– erwirtschaftet (siehe Tabelle 1.1).

Als kurzfristige Massnahmen wird empfohlen, die Abgastemperatur der Holzfeuerung durch Einbau von Turbulatoren zu senken, die Regelparameter für eine höhere Kesselleistung einzustellen, eine Folgeregelung zur automatischen Zu- und Abschaltung des Ölkessels zu installieren und die defekten Regelgeräte der Fernleitungspumpen zu ersetzen. Aus Brandschutzgründen soll zwischen Heiz- und Hydraulikraum eine Brandschutzklappe nachgerüstet werden und die Ventilatoren für Hydraulikraum und Siloblauft sollen beim Betreten des Hydraulikraums anlaufen.

Als mittelfristige Massnahmen wird empfohlen, einen technischen Speicher einzubauen, den alten Ölkessel durch einen grösseren Ölkessel mit ca. 400 kW Leistung zu ersetzen, das Wärmeversorgungsgebiet gezielt zu verdichten oder in geeignete Gebiete auszubauen. In ca. 10 Jahren oder bei weiterem Ausbau des Wärmenetzes wird empfohlen, den bestehenden Holzkessel durch eine Rostfeuerung zu ersetzen. Diese soll im Bandlastbetrieb gefahren werden. Der Wartungsaufwand kann dadurch weiter vermindert werden und die Brennstoffversorgung kann rationeller und günstiger erfolgen.

Für die Verdichtung oder Erweiterung des Wärmeversorgungsgebiet soll in einem Perimeterplan festgelegt werden, in welchen Gebieten der Ausbau der Fernwärmeversorgung sinnvoll und wirtschaftlich ist. Interessante Gebiete sind MFH-Gebiete, Dorfkern oder Zonen mit verdichteter Bauweise. Ebenfalls interessant ist das Einbinden nahe gelegener Grossbezüger. Nicht interessant sind in der Regel

lose EFH-Gebiete. Genauere Ausführungen dazu finden sich in Kap. 10 und 11 in *QS Holzheizung, Automatische Holzheizungen: Planung und Ausführung*.

Tabelle 1.1: Jahres- und Wärmegestehungskosten für das Betriebsjahr 2001/02.

		Ausgewiesene Kosten	Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode		Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung		
			Nettokosten II	Vollkosten	Nettokosten II	Reale Anlagedaten	Optimierte Anlagedaten
						Vollkosten	Besteh. Netz optimal aus- gelastet
Investition Wärmeerzeugung	Fr.	510 000					
Investition Wärmeverteilung	Fr.	1 108 000					
Investitionsvolumen	Fr.	1 618 000	1 618 000	1 618 000			
Finanzhilfen	Fr.	0		0			
Einmalige Anschlussgebühren	Fr.	-798 000		-798 000			
Kapitalbedarf (Fremd- und Eigenkapital)	Fr.	820 000	1 618 000	820 000			
Kapitalkosten total	Fr./a	29 800	113 001	57 269			
Kapitalverzinsung + Abschreibung	Fr./a	29 800					
Rückstellungen	Fr./a	0					
Betriebskosten total	Fr./a	52 700	72 394	72 394			
Brennstoffe	Fr./a	37 300	37 300	37 300			
Betriebsaufwand	Fr./a	15 400	35 094	35 094			
<b>Jahreskosten</b>	<b>Fr./a</b>	<b>82 500</b>	<b>185 395</b>	<b>129 663</b>			
Jahresertrag	Fr./a	89 535	89 535	89 535			
Verkaufte Nutzwärme	MWh/a	689	689	689			940
Wärmeertrag	Rp./kWhNutz	13.0					
Wärmeerzeugungskosten ohne Brennstoff	Rp./kWhNutz		9.3	6.4	8.6	6.9	
Wärmeverteilungskosten	Rp./kWhNutz		12.1	7.0	5.4	4.5	
Brennstoffkosten	Rp./kWhNutz	5.4	5.4	5.4	4.6	4.5	
<b>Wärmegestehung Vollkosten</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>		<b>26.9</b>		<b>18.6</b>	<b>15.9</b>	
<b>Wärmegestehung Nettokosten II</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>	<b>12.0</b>		<b>18.8</b>			

Erläuterung:

Ausgewiesene Kosten:	Angaben des Betreibers für Betriebsjahr 2001/02, Nettokosten.
Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode:	Kapital- und Betriebskosten berechnet gemäss Annahmen in Tabelle 3.2. Berechnung für gesamtes Investitionsvolumen (Vollkosten) und für Fremdkapitalbedarf (Nettokosten)
Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit realen Anlagedaten:	Spezifische Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff grafisch bestimmt gemäss Abbildung 3.2 mit realen Anlagedaten: Leistungsbedarf 520 kW, Jahresnutzungsgrad 70 %, Anschlussdichte 0.7 MWh/a Tm, Verteilungsverluste 8 %
Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit optimierten Anlagedaten (Netz optimal ausgelastet):	Spezifische Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff grafisch bestimmt gemäss Abbildung 3.2 mit optimierten Anlagedaten: Leistungsbedarf 520 kW, Jahresnutzungsgrad 88 %, Anschlussdichte 1.0 MWh/a Tm, Verteilungsverluste 9 %

## 1.2. Massnahmenplan

Tabelle 1.2: Kurzfristige Massnahmen, zu realisieren innerhalb der nächsten 2 Jahre.

<b>Massnahmen</b>	<b>Nutzen</b>	<b>Kosten</b>
<b>Verluste der Wärmeerzeugung senken</b> Abgastemperatur senken durch Einbau von Turbulatoren im Wärmetauscher der Holzfeuerung	<b>Senkung der Brennstoffkosten</b> Senkung der Abgastemperatur auf 150 °C führt zu einer Erhöhung des Jahresnutzungsgrads von heute 74 Prozent auf ca. 86 Prozent. Verminderung der Brennstoffkosten um rund Fr. 5'100.-/a.	Investition Fr. 5'000.- bzw. Kapitalkosten Fr. 325.-/a
<b>Leistung Holzessel erhöhen</b> Regelparameter optimal einstellen	<b>Leistungsreserven für Netzverdichtung oder -ausbau</b> Anheben der Leistung von aktuell ca. 300 kW auf ca. 400kW	Abklären mit Feuerungslieferant
<b>Folgeregelung Ölkessel</b> Nachrüsten einer stufenlosen Leistungsregelung	Zu- und Abschaltung erfolgt automatisch, unabhängig von der Verfügbarkeit des Betriebswerts	Abklären mit Feuerungslieferant
<b>Stromverbrauch der Wärmeverteilung senken</b> Inbetriebsetzung der vorhandenen Differenzdruckregelung der Fernleitungspumpen	<b>Senkung der Stromkosten</b> Senkung der Stromverbrauchs bzw. der Stromkosten um ca. 30 %. Einsparung von ca. Fr. 850.- pro Jahr	Investition Fr. 5'000.- bzw. Kapitalkosten Fr. 400.-/a
<b>Brandschutzklappe, Anlaufsteuerung</b> Brandschutzklappe zwischen Heiz- und Hydraulikraum und Anlaufsteuerung für Ventilatoren für Hydraulikraum und Siloabsaugung nachrüsten.	<b>Sicherheitsmangel beheben</b>	

Tabelle 1.3: Mittelfristige Massnahmen, zu realisieren innerhalb der nächsten 5 Jahre.

<b>Massnahmen</b>	<b>Nutzen</b>	<b>Kosten</b>
<b>Einbau Speicher</b>		
Einbau eines technischen Speichers in Kombination mit einer geeigneten Speicherladeregulierung	Brechen von Lastspitzen, weniger Bereitschaftsverluste, Leistungsreserve, hoher Holzenergieanteil	Investition Fr. 15'000 – 20'000.– Kapitalkosten Fr. 1'200 – 1'600.–/a
<b>Ersatz Ölkessel</b>		
Neuer Ölkessel mit ca. 500 kW, Anpassen der hydraulischen Einbindung	Erhöhung der Redundanz und der Leistungsreserven für Netzverdichtung oder -erweiterung	Investition Fr. 40'000.– bzw. Kapitalkosten Fr. 3'200.–/a
<b>Bestehendes Wärmenetz verdichten</b>	<b>Wirtschaftlichkeit steigern</b>	
Anschliessen weiterer geeigneter Wärmebezogener mit ca. 100 kW Leistungsbedarf	Steigerung der Anschlussdichte, Senkung der prozentualen Verluste der Wärmeverteilung, Verbesserung der Auslastung der Feuerung, Steigerung des Wärmeabsatzes und damit der Wirtschaftlichkeit des Wärmeverbundes. Jährlicher Überschuss der Mehreinnahmen von ca. Fr. 17'000.–/a für ordentliche Amortisation einsetzen.	Mehrkosten F. 6'500.–/a bei Mehreinnahmen von F. 23'500.–/a (siehe Tabelle 4.1)
<b>Wärmenetz ausbauen</b>	<b>Wirtschaftlichkeit steigern, Tarifsenkung ermöglichen</b>	
<b>Ersatz Ölkessel</b>		
Neue Rostfeuerung mit ca. 400 kW (in ca. 10 Jahren)	Geringere Wartungskosten, Brennstoffversorgung rationaler und günstiger	Abklären mit Feuerungslieferant

## 2. Bestandesaufnahme

### 2.1. Anlagenbeschreibung

#### Zweck der Anlage

Der Wärmeverbund wurde 1992 in Betrieb genommen und versorgt im Dorfkern verschiedenen öffentliche und private Gebäude während der Heizsaison mit Raumwärme.

#### Wärmeerzeugung WE

Bivalente Einkesselanlage ohne Speicher:

Holzessel	450 kW	(, Unterschub, , 1992)
Ölkessel	200 kW	(CTC, 1300-170, 1988)
Installierte Leistung	650 kW	
Anschlussleistung	520 kW	(Abonnierte Leistung)

Der Holzessel wird während der Heizsaison betrieben, der Ölkessel wird manuell bei niedriger Ausstemperatur zugeschaltet oder bei Betriebsunterbruch eingesetzt.

#### Betriebsjahr 2000/2001

Jahreswärmeproduktion: Holz	717 MWh/a	(geschätzt)
Öl	33 MWh/a	(gemäss Ölverbrauch und Nutzungsgrad)
Total	750 MWh/a	gemäss Wärmezähler
Endenergieverbrauch total	1'072 MWh/a	(geschätzter Jahresnutzungsgrad ca. 70 %)
Verluste Wärmeerzeugung	322 MWh/a	(geschätzt, ca. 30 %)

Jahresverbrauch Schnitzel:	1'220 Sm <sup>3</sup> /a	(Angabe des Betreibers)
Durchschnittlicher Heizwert:	833 kWh/Sm <sup>3</sup>	(berechnet)
Silovolumen:	brutto 210 m <sup>3</sup> , netto 150 m <sup>3</sup>	

Der Brennstoff wird ab Zwischenlager bezogen, die Schnitzel sind daher trocken. Die Abrechnung der Waldhackschnitzel (Mischung zwischen Laub- und Nadelholz) erfolgt pro Sm<sup>3</sup>, ca. Fr. 30.-/ Sm<sup>3</sup>.

Nennleistungsstunden: Holzessel	1'593 h/a	(Jahreswärmeproduktion / Nennleistung)
Öl	165 h/a	
Gesamt	1'154 h/a	

#### Wärmeverteilung WV

Eine Stammleitung mit einer Netzlänge von total 940 Tm versorgt die angeschlossenen Wärmebezüger mit Raumwärme. Die Vorlauftemperatur der Fernleitung ist witterungsgeführt und beträgt bei Auslegetemperatur (-10°C) 80°C. Die Fernleitungspumpen sind mit einer Druckregelung und Drehzahlregulierung ausgerüstet. Die Wärmeabgabe erfolgt indirekt, alle Wärmezähler messen den Durchfluss mechanisch und sind im Primärkreis angeordnet.

Netzlänge:	940 Tm
Anschlussdichte:	0.7 MWh/aTm
Jahresnutzwärmebezug:	689 MWh/a (gemäss Summe der Wärmezähler aller Bezüger)

Eigenbedarf in Zentrale:	0 MWh/a (wird ab Fernleitung versorgt)
Jahresnutzwärmebezug ab Netz:	689 MWh/a (Summe WZ aller Bezüger - Eigenbedarf Zentrale)
Verluste Wärmeverteilung:	61 MWh/a bzw. ca. 8 % bez. auf eingespiesene Wärme
Verluste WE+WW:	383 MWh/a bzw. ca. 36 % bez. auf Endenergieverbrauch

**Tarifmodell** (alle Angaben exkl. MWSt, Beispiel für 15 kW abonnierte Anschlussleistung)

Einmalige Anschlussgebühr (AG):	Fr. 28'475.-
Leistungspreis (LP):	45.- Fr./kW
Arbeitspreis (AP):	8.7 Rp./kWh



Abbildung 2.1 Am Fernwärmenetz angeschlossene Liegenschaften, Stand Januar 2002.

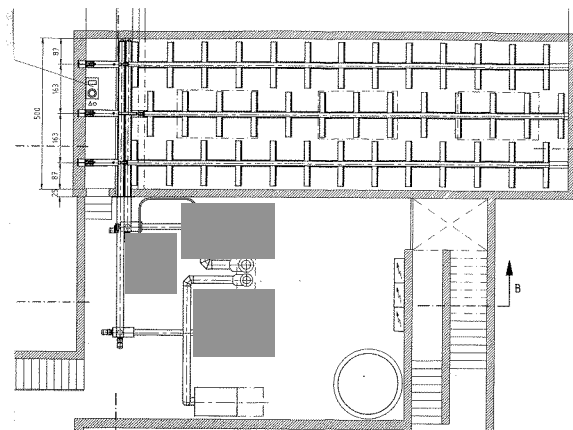


Abbildung 2.2 Grundriss von Heizzentrale und Silo.

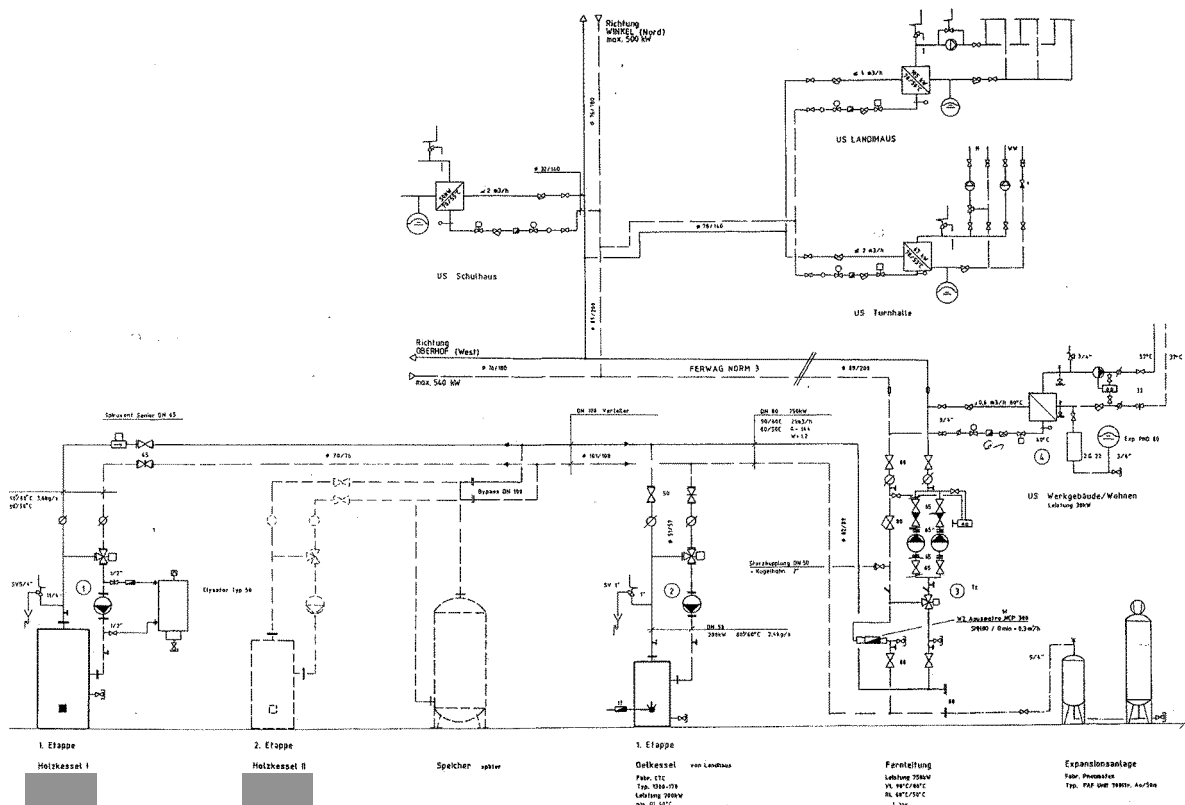


Abbildung 2.3 Prinzipschema der Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung.

## 2.2. Anlagenbeurteilung aus Sicht des Betreibers

- Der Betreiber ist mit seiner Anlage zufrieden.
- Eine Erweiterung des bestehenden Netzes ist geplant.





### 3.1.2. Wärmegestehungs- und Jahreskosten

Tabelle 3.1: Jahres- und Wärmegestehungskosten.

		Ausgewiesene Kosten	Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode		Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung	
			Vollkosten	Nettokosten II	Reale Anlagedaten	Optimierte Anlagedaten
					Vollkosten	Besteh. Netz optimal aus- gelastet
		Nettokosten II			Vollkosten	Vollkosten
Investition Wärmeerzeugung	Fr.	510 000				
Investition Wärmeverteilung	Fr.	1 108 000				
Investitionsvolumen	Fr.	1 618 000	1 618 000	1 618 000		
Finanzhilfen	Fr.	0		0		
Einmalige Anschlussgebühren	Fr.	-798 000		-798 000		
Kapitalbedarf (Fremd- und Eigenkapital)	Fr.	820 000	1 618 000	820 000		
Kapitalkosten total	Fr./a	29 800	113 001	57 269		
Kapitalverzinsung + Abschreibung	Fr./a	29 800				
Rückstellungen	Fr./a	0				
Betriebskosten total	Fr./a	52 700	72 394	72 394		
Brennstoffe	Fr./a	37 300	37 300	37 300		
Betriebsaufwand	Fr./a	15 400	35 094	35 094		
Jahreskosten	Fr./a	82 500	185 395	129 663		
Jahresertrag	Fr./a	89 535	89 535	89 535		
Verkaufte Nutzwärme	MWh/a	689	689	689		940
Wärmeertrag	Rp./kWhNutz	13.0				
Wärmeerzeugungskosten ohne Brennstoff	Rp./kWhNutz		9.3	6.4	8.6	6.9
Wärmeverteilungskosten	Rp./kWhNutz		12.1	7.0	5.4	4.5
Brennstoffkosten	Rp./kWhNutz	5.4	5.4	5.4	4.6	4.5
<b>Wärmegestehung Vollkosten</b>	Rp./kWhNutz		<b>26.9</b>		<b>18.6</b>	<b>15.9</b>
<b>Wärmegestehung Nettokosten II</b>	Rp./kWhNutz	<b>12.0</b>		<b>18.8</b>		

## Erläuterung:

Ausgewiesene Kosten:	Angaben des Betreibers für Betriebsjahr 2001/02, Nettokosten.
Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode:	Kapital- und Betriebskosten berechnet gemäss Annahmen in Tabelle 3.2. Berechnung für gesamtes Investitionsvolumen (Vollkosten) und für Fremdkapitalbedarf (Nettokosten)
Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit realen Anlagedaten:	Spezifische Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff grafisch bestimmt gemäss Abbildung 3.2 mit realen Anlagedaten: Leistungsbedarf 520 kW, Jahresnutzungsgrad 70 %, Anschlussdichte 0.7 MWh/a Tm, Verteilungsverluste 8 %
Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit optimierten Anlagedaten (Netz optimal ausgelastet):	Spezifische Kosten für Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Brennstoff grafisch bestimmt gemäss Abbildung 3.2 mit optimierten Anlagedaten: Leistungsbedarf 520 kW, Jahresnutzungsgrad 88 %, Anschlussdichte 1.0 MWh/a Tm, Verteilungsverluste 9 %

Tabelle 3.2: Annahmen der Annuitätenmethode.

Annuitätsfaktor Wärmeerzeugung WE	0.080	-
Nutzungsdauer	20	Jahre
Kapitalzinssatz	5.0	%
Annuitätsfaktor Wärmeverteilung WV	0.065	-
Nutzungsdauer	30	Jahre
Kapitalzinssatz	5.0	%
Allg. Betriebskosten WE in % Investitionskosten der Wärmeerzeugung	4.6	%
Allg. Betriebskosten WV in % Investitionskosten der Wärmeverteilung	1.1	%

### **Ausgewiesene Kosten (Nettokosten)**

Für das Betriebsjahr 2001/02 werden Kapitalkosten von Fr. 29'800.– ausgewiesen, die Betriebskosten betragen Fr. 52'700.–, davon Fr. 37'300.– für Brennstoff und Fr. 15'400.– für den übrigen Betriebsaufwand. Damit betragen die ausgewiesenen Jahreskosten Fr. 82'500.–. Mit dem Jahresertrag aus Wärmeverkauf und jährlicher Leistungsgebühr von Fr. 89'535.– ergibt sich ein Jahresgewinn von ca. Fr. 7'000.–. Die Wärmegestehungskosten betragen netto ca. 12 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>.

### **Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode (Vollkosten)**

*Vollkosten: Gesamter Investitionsbedarf von 1.6 Mio. Franken durch Fremdkapital finanziert*

Müsste die Gesamtinvestition von 1.6 Mio. Franken durch Fremdkapital finanziert werden, liegen die gemäss Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten, unter üblichen Annahmen für Annuitätsfaktoren und Betriebskosten (siehe Tabelle 3.2) und mit den Brennstoffkosten des Betriebsjahres 2001/02 bei 26.9 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>.

Die berechneten spezifischen Wärmeerzeugungskosten liegen mit 9.3 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> über dem grafisch bestimmten Wert (gemäss Grafiken QS Holzheizung mit realen Anlagedaten) von 8.6 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> für eine Anlage mit gleicher Leistung und Anschlussdichte. Die berechneten spezifischen Wärmeverteilungskosten liegen mit 12.1 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> deutlich über dem grafisch bestimmten Wert (gemäss Grafiken QS Holzheizung mit realen Anlagedaten) von 5.4 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>. Die Wärmeverteilung ist somit vergleichsweise teuer erstellt worden bzw. weist grosszügige Reserven auf.

Mit üblichen Annahmen für Verzinsung und Amortisation ergeben sich jährliche Kapitalkosten von ca. Fr. 113'000.–. Die an Hand der Investitionskosten abgeschätzten jährlichen Betriebskosten von Fr. 72'400.– sind ca. Fr. 20'000.– höher als die ausgewiesene Betriebskosten von Fr. 52'700.–. Da die Brennstoffkosten bei der Annuitätenmethode gleich sind, ist der Unterschied auf den Betriebsaufwand zurückzuführen. Der ausgewiesene Betriebsaufwand ist somit um ca. Fr. 20'000.– günstiger als der an Hand der Investitionskosten abgeschätzte Betriebsaufwand.

### **Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode (Nettokosten I)**

*Nettokosten I (Gesamtinvestition abzügl. Finanzhilfen): 1.6 Mio. Franken durch Fremdkapital finanziert*  
Da keine Finanzhilfen erhalten wurden, entsprechen die Nettokosten I den Vollkosten.

### **Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode (Nettokosten II)**

*Nettokosten II (Gesamtinvestition abzüglich Finanzhilfen und einmaligen Anschlussgebühren): 0.82 Mio. Franken durch Fremdkapital finanziert*

Mit dem verbleibenden Kapitalbedarf von 0.82 Mio. Franken liegen die gemäss Annuitätenmethode berechneten Wärmegestehungskosten, unter üblichen Annahmen für Annuitätsfaktoren und Betriebskosten (siehe Tabelle 3.2) und mit den Brennstoffkosten des Betriebsjahres 2001/02, bei 18.8 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>. Die berechneten Kapitalkosten betragen dabei ca. Fr. 57'300.–, die ausgewiesenen sind rund Fr. 20'000.– niedriger.

### **Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit realen Anlagedaten (Vollkosten)**

Wäre die Anlage mit dem realen, heutigen Wärme- und Wärmeleistungsbedarf (520 kW), der realen Anschlussdichte (0.7 MWh/a Tm) und dem Brennstoffpreis vom Stand 2001 nach den Richtwerten von

QS Holzheizung realisiert worden, lägen die entsprechenden Wärmegestehungskosten bei 18.6 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> (Vollkosten) (siehe Abbildung 3.2). Dabei wären allerdings in der Heizzentrale und bei der Wärmeverteilung keine technischen Reserven für einen weiteren Ausbau enthalten.

### Grafisch bestimmte Kosten gemäss QS Holzheizung mit optimierten Anlagedaten (Vollkosten)

Gemäss den Zielwerten von QS Holzheizung werden Wärmegestehungskosten (Vollkosten) im Bereich von 10 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> angestrebt. Könnte das bestehende Wärmenetz besser ausgelastet werden (Anschlussdichte ca. 1.0 MWh/a Tm, Wärmeleistungsbedarf ca. 520 kW, Brennstoffpreis vom Stand 2001), lägen die entsprechenden Wärmegestehungskosten bei ca. 15.9 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> (Vollkosten). Könnte das bestehende Wärmenetz optimal ausgelastet werden (Anschlussdichte ca. 2.0 MWh/a Tm, Wärmeleistungsbedarf ca. 700 kW, Brennstoffpreis vom Stand 2001), lägen die entsprechenden Wärmegestehungskosten bei ca. 11 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> (Vollkosten).

### 3.1.3. Tarifmodell

Einmalige Anschlussgebühr (AG):		für 15 kW:	Fr.28 475.–
Leistungspreis (LP):	45.– Fr./kW	für 15 kW:	Fr.675.–/a
Arbeitspreis (AP):	8.7 Rp./kWh	für 30 MWh/a	Fr.2 610.–/a
Alle Angaben exkl. MWSt.			

Im Tarifmodell ist keine Unterscheidung für den Anschluss an Neubauten oder an bestehende Bauten vorgesehen. Die Anschlussgebühr ist über den Index der Gebäudeversicherung des Kantons Zürich indexiert, der Leistungspreis über den Landesindex der Konsumentenpreise. Der Arbeitspreis ist mit dem Ölpreis verknüpft. Er wird nach oben angepasst, wenn das Jahresmittel des Heizölpreises in Fr./100 kg für Mengen von 6'000 – 9'000 kg Fr. 50.– übersteigt.

Die Angaben des statistischen Amtes der Stadt Zürich erfolgen seit 1997 in Fr./100 l inkl. MWSt. Für 2002 beträgt das Jahresmittel des Heizölpreises für Mengen von 6'001 – 9'000 Liter Fr. 44.70/100 l inkl. MWSt. Die Basis der Anpassung muss somit neu festgelegt werden (z.B. Fr. 50.–/100 kg  $\approx$  Fr. 42.50.–/100 l bzw.  $\approx$  Fr. 45.73.–/100 l inkl. MWSt.)

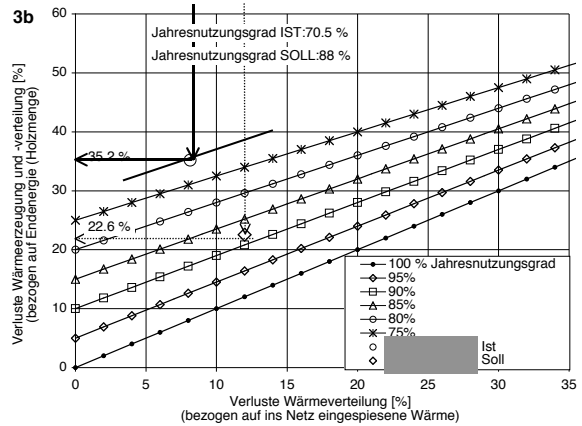
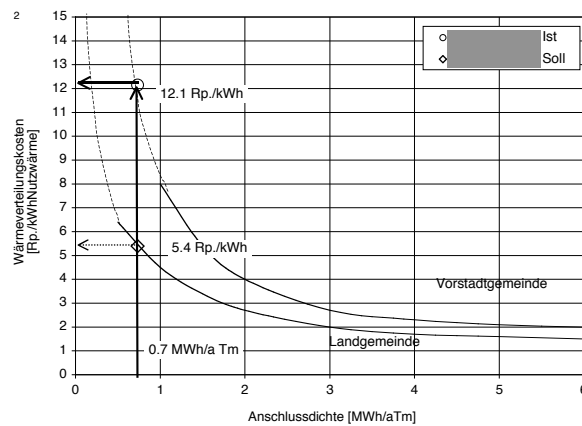
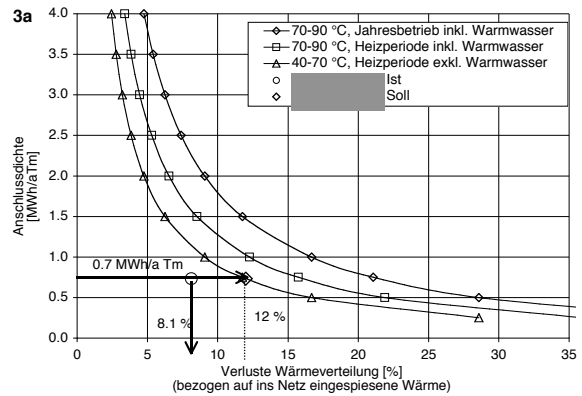
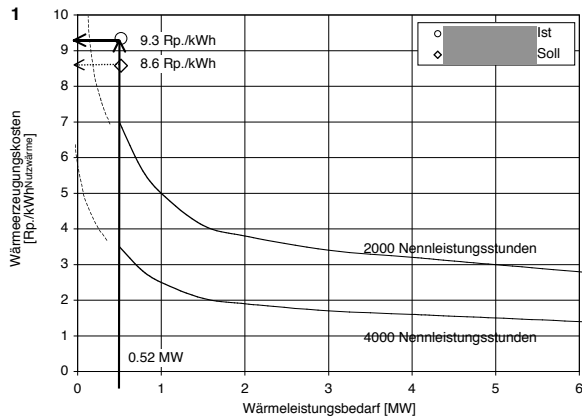
### 3.1.4. Brennstoffkosten

Der Brennstoff stammt vorwiegend aus den gemeindeeigenen Wäldern. Unter der Annahme, dass der Waldzugang im Winter nicht gewährleistet sei, wurde ein Zwischenlager mit einem Fassungsvermögen von ca. 1'400 m<sup>3</sup> erstellt. Die Kosten von rund Fr. 380'000.– wurden nicht in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Wärmeverbundes eingerechnet. Die Gemeinde zahlt das Hacken und den Transport separat und kann dadurch die entsprechende Mehrwertsteuer zurückverlangen. Der Brennstoff wird somit zu ca. Fr. 30.–/Sm<sup>3</sup> bezogen. Bezogen auf die Nutzwärme ergeben sich Brennstoffkosten von ca. 5.6 Rp/kWh, was im üblichen Rahmen liegt.

### 3.1.5. Allgemeine Betriebskosten

Die ausgewiesenen Betriebsaufwand von Fr. 15'400.– sind um ca. Fr. 20'000.– tiefer als der gemäss den Annahmen von Tabelle 3.2 berechnete Betriebsaufwand von Fr. 35'100.–.

Der Aufwand für Wartung, Unterhalt und Hilfsenergie ist mit 1.3 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> niedrig, sogar niedriger als der Richtwert von QS Holzheizung von 1.5 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub> bis 2.4 Rp./kWh<sub>Nutzwärme</sub>.



	QS Soll	Ist
	Rp./kWh	Rp./kWh
Wärmeproduktionskosten	8.6	9.3
Wärmeverteilungskosten	5.4	12.1
Brennstoffkosten (Holz + Öl)	4.6	5.6
<b>Wärmegestehungskosten</b>	<b>18.6</b>	<b>27.1</b>
Verluste Wärmeverteilung	12.0 %	8.1 %
Jahresnutzungsgrad Holz	88.0 %	70.5 %
<b>Gesamtverluste</b>	<b>22.6</b>	<b>35.2</b>

QS Soll: Grafisch bestimmt aus Kenndaten der Anlage gemäss QS Holzheizung (Vollkosten)  
Ist: Berechnete Kosten gemäss Annuitätenmethode (Vollkosten)

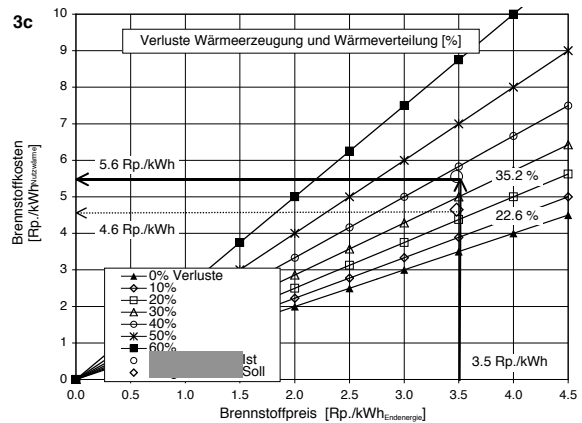


Abbildung 3.2: Grafiken QS Holzheizung zur grafische Bestimmung der Wärmegestehungskosten (Vollkosten). Vergleich zwischen den realen Werten (Ist) und den mit realen Anlagedaten grafisch bestimmten Kosten (Soll).

## 3.2. Technische Situation

### 3.2.1. Wärmeerzeugung

#### *Leistungs- und Verbrennungsregelung des Holzkessels*

Die Leistungsregelung war während der knapp dreistündigen Emissionsmessung stabil, es waren allerdings auch keine grösseren Lastschwankungen auf Seiten der Wärmebezüger aufgetreten und die Feuerung lief mehrheitlich bei 100 % Leistung (gemäss Ablesung an speicherprogrammierbarer Steuerung SPS). Die Parameter der Verbrennungsregelung scheinen zu schnell eingestellt zu sein.

#### *Nennleistung des Holzkessels*

Gemäss Typenschild beträgt die Nennleistung des Kessels 450 kW. Bei maximaler Leistung (gemäss SPS) wurde am Wärmezähler ca. 300 kW gemessen. Der Holzkessel erreicht die Nennleistung nicht. Bei Temperaturen unter  $-2\text{ °C}$  reicht nach Angabe des Betriebswirts die Leistung des Holzkessels nicht mehr aus und der Ölkessel muss manuell zugeschaltet werden. Bei der Anlagenbesichtigung (Aussentemperatur ca.  $0\text{ °C}$ ) betrug die Vorlauftemperatur der Fernleitung  $61\text{ °C}$ . Der Sollwert der Vorlauftemperatur von  $65\text{ °C}$  wurde bereits nicht mehr erreicht.

#### *Abgastemperatur des Holzkessels*

Die Abgastemperatur betrug bei maximaler Leistung (gemäss SPS) rund  $300\text{ °C}$ . Dies ist deutlich zu hoch, die Abgastemperatur sollte bei Nennleistung im Bereich von  $130 - 180\text{ °C}$  liegen.

#### *Wirkungsgrad*

Der während der Emissionsmessung bestimmte momentane feuerungstechnische Wirkungsgrad der Holzfeuerung erreichte im kontinuierlichen Betrieb ca. 77 %, der Kesselwirkungsgrad betrug somit ca. 75 %.

Unter Berücksichtigung der Stillstandsverluste durch Glutbettunterhalt, hochgerechnet auf ein ganzes Jahr, ergibt sich ein geschätzter Jahresnutzungsgrad von ca. 70 %.

#### *Emissionen*

Während der rund dreistündigen Emissionsmessung lief die Feuerung ohne Unterbruch durch. Zwischen 9:30 und 11:15 wurden folgende durchschnittliche Werte erreicht:

Luftüberschuss Lambda	ca. 1.8 ... 2.2 (bzw. Sauerstoffgehalt 9.5 ... 11.5 Vol.-% $O_2$ )
Kohlenmonoxid CO	ca. 300 mg/Nm <sup>3</sup> (bei 13 Vol.-% $O_2$ , Grenzwert 1000 mg/Nm <sup>3</sup> )
Stickoxid NO <sub>x</sub>	ca. 230 mg/Nm <sup>3</sup> (bei 13 Vol.-% $O_2$ ).

Die Werte für Luftüberschuss und Kohlenmonoxid während der kurzen Betriebsphasen können als "befriedigend" bezeichnet werden. Die Stickoxidwerte entsprechen denjenigen für reines Waldholz.

#### *Nennleistungsstunden der Holzfeuerung*

Bei einer bivalenten Holzfeuerungsanlage ohne Speicher im Leistungsbereich von 300 – 1000 kW sollen die Nennleistungsstunden bei saisonalem Betrieb gemäss den Richtlinien von QS Holzheizung ca. 2'000 – 3'000 h/a betragen.

Die vom Holzkessel produzierte Wärmemenge beträgt ca. 717 MWh/a. Bei einer Nennleistung von 450 kW betragen die Nennleistungsstunden ca. 1'600 h/a und liegen somit unter dem Richtwert. Bei der momentanen maximalen Kesselleistung von ca. 300 kW betragen die „Kessel“leistungsstunden ca. 2'390 h/a

#### *Leistungsreserven der Holzfeuerung*

Bei saisonalem Bedarf an Raumwärme und einer Standorthöhe von 410 m.ü.M. betragen die angenommenen Volllaststunden ca. 2'000 h/a. Mit 690 MWh/a bezogenen Nutzwärme beträgt die berechnete Anschlussleistung bzw. der aktuelle Wärmeleistungsbedarf ca. 360 kW (siehe Tabelle 5.10). Mit Verteilungsverlusten von ca. 60 MWh/a beträgt die Verlustleistung der Wärmeverteilung ca. 7 kW und ist somit vernachlässigbar.

Durch Senken der Abgastemperatur und optimaler Einstellung der Regelparameter kann die Leistung der Holzfeuerung auf ca. 400 kW angehoben werden.

#### *Leistungsreserven der Wärmeerzeugung*

Bei einer Leistung der Holzfeuerung von 400 kW besteht zusammen mit den 200 kW des Ölkessels eine Erzeugungsleistung von ca. 600 kW. Beim aktuellen Wärmeleistungsbedarf ca. 360 kW besteht in der Wärmeerzeugung somit eine Leistungsreserve von knapp 250 kW.

#### *Auslastung der Feuerung*

Die Feuerung ist während der Heizsaison während rund 5'800 h/a eingeschaltet. Da der Betriebsstundenzähler der Feuerung nicht protokolliert wird, wurde die jährliche Betriebszeit (Einschaltdauer der Feuerung ohne Stillstandszeit) aus der produzierte Wärmemenge (717 MWh/a) und einer geschätzten mittleren Leistung von rund 200 kW abgeschätzt. Die Anzahl Stunden, in denen die Feuerung in Betrieb ist und Nutzwärme abgibt, betragen somit ca. 3'700 h/a. Die zeitliche Auslastung der Holzkessel beträgt somit ca. 64 %. In der restlichen Zeit ist die Anlage in Bereitschaft und verursacht entsprechende Bereitschaftsverluste, die sich in der Abschätzung des Jahresnutzungsgrads der Feuerung unerwünscht bemerkbar machen.

#### *Bivalenter Ölkessel*

Der Ölkessel ist bereits 15-jährig, er wird bei Aussentemperaturen unter ca. -2°C zugeschaltet. Die Zuschaltung erfolgt manuell, es ist keine Regelung vorhanden, die den Ölkessel automatisch zu- und abschaltet. Bei bivalenten Anlagen beträgt die Leistung des Ölkessels in der Regel ca. 70% des Wärmeleistungsbedarfs. Mit einer Nennleistung von 200 kW ist der Ölkessel zu klein dimensioniert.

#### *Sicherheitsaspekte*

Zwischen Heizraum und Zylinderraum ist keine Brandschutzklappe vorhanden. Beim Eintreten in den Hydraulikraum müssen der Ventilator im Hydraulikraum und der Abluftventilator des Silos anlaufen, damit die Luft unkontrolliert aus dem Zylinderraum abgesaugt wird.

#### *Erfassung der Wärmemengen*

In der Heizzentrale ist ein mechanischer Wärmezähler vorhanden, der die vom Holz- und vom Ölkesel produzierte Wärmemenge erfasst. Wärmezähler müssen vorschriftsgemäss alle 5 Jahre gereinigt und nachgeeicht werden, damit der Wärmebezug genau erfasst wird.

### **3.2.2. Wärmeverteilung**

#### *Anschlussdichte*

Die Anschlussdichte des gesamten Fernleitungsnetzes, d.h. die über das Wärmenetz bezogene Nutzwärme (689 MWh/a) dividiert durch die Netzlänge (940 Trasseemeter), beträgt 0.7 MWh pro Jahr und Trasseemeter (siehe Tabelle 5.6). Gemäss QS Holzheizung sollen die Verluste der Wärmeverteilung 10 Prozent nicht übersteigen. Dazu muss die Anschlussdichte bei Ganzjahresbetrieb und Endausbau des Wärmeverbands ca. 2 MWh/aTm, bei saisonalem Betrieb exkl. Warmwasser und Endausbau des Wärmeverbands ca. 1 MWh/aTm betragen. Die Anschlussdichte des Wärmenetzes ist verhältnismässig gering. Da das Wärmenetz aber nur während der Heizsaison in Betrieb ist, sind die Verluste der Wärmeverteilung trotz der geringen Anschlussdichte niedrig.

#### *Volllaststunden der Wärmebezüger*

Die Volllaststunden der Wärmebezüger sollten bei ca. 1'900 h/a liegen (siehe Anhang 5.2), sie betragen aber nur 1'325 h/a bzw. nur 70 % der abonnierten Anschlussleistung von 520 kW. Der effektive Wärmeleistungsbedarf beträgt somit nur ca. 360 k.

#### *Regelung Fernleitungspumpen*

Die Fernleitungspumpen verfügen zwar über eine Differenzdruckregelung (Differenzdruckmessung über der Pumpe), diese ist aber gemäss Angabe des Betriebsworts ausser Betrieb, da kein Stromsparpotenzial vorhanden sei.

#### *Erfassung der Wärmemengen*

Bei den Unterstationen sind ebenfalls mechanische Wärmezähler im Einsatz. Dank genauer technischer Weisungen sind die Wärmezähler ordnungsgemäss auf der Primärseite installiert und durch Schmutzfänger geschützt.

Wärmezähler müssen vorschriftsgemäss alle 5 Jahre gereinigt und nachgeeicht werden, damit der Wärmebezug genau erfasst wird.

#### *Wasserqualität*

Das Hauptverteilnetz besteht aus Stahlrohr-Verbundmantelrohren, die Zweigleitungen aus Kunststoffrohren. Durch die Kunststoffrohre ist ein permanenter Eintrag von Sauerstoff durch Diffusion ins Fernleitungswasser möglich. Sauerstoff im Primärkreis verursacht Korrosion (Magnetit als Abbauprodukt) in den Leitungen aus Stahl bzw. in der Feuerung.

In der Heizzentrale ist ein Entgaser zur Entfernung des Sauerstoffs aus dem Leitungswasser vorhanden. Das Wasser im Primärkreis ist klar und enthält keine schwarzen Magnetitablagerungen. Die Wasserqualität wird periodisch überprüft.

### Wärmeübergabestation, Verschmutzung bei Wärmetauschern

Im Gemeindehaus wurde eine typische Wärmeübergabestation mit Wärmetauscher untersucht. Dank genauer technischer Weisungen ist der Wärmehähler ordnungsgemäss auf der Primärseite installiert und durch Schmutzfänger geschützt.

### 3.2.3. Gesamtverluste

#### Jahresnutzungsgrad Holzfeuerung

Der geschätzte Kesselwirkungsgrad der Holzfeuerung beträgt ca. 75 %. Der Jahresnutzungsgrad, der durch die Betriebszeit und die Bereitschaftsverluste beeinflusst wird, beträgt ca. 70 % (siehe Tabelle 5.9). Dieser Wert liegt weit unter den Anforderungen von QS Holzheizung (85 – 90 %).

#### Verluste Wärmeverteilung

Für saisonalen Betrieb exkl. Warmwasser müssen bei einer Anschlussdichte von 0.7 MWh/a Tm Verluste der Wärmeverteilung von ca. 12 % erwartet werden. Die berechneten Verluste betragen ca. 8 %.

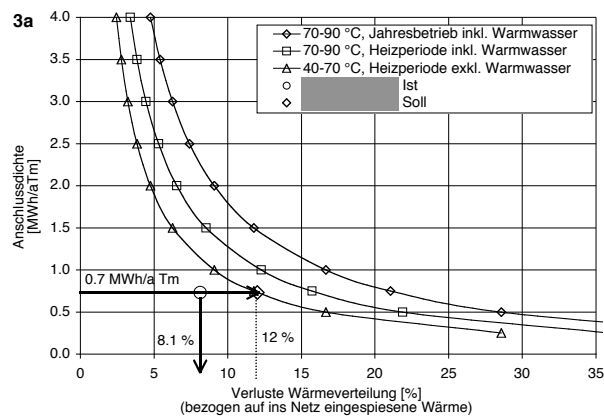


Abbildung 3.3: Verluste der Wärmeverteilung in Funktion der Anschlussdichte.

#### Gesamtverluste Wärmeerzeugung und -verteilung

Aus dem Jahresnutzungsgrad der Wärmeerzeugung und den Verlusten der Wärmeverteilung ergeben sich Gesamtverluste von ca. 32 %, die hauptsächlich durch den niedrigen Kesselwirkungsgrad der Holzfeuerung verursacht werden. Ein Drittel des jährlichen Brennstoffbedarfs wird benötigt zur Deckung dieser Wärmeverluste.

### 3.2.4. Brennstoff

Der während der Anlagenbesichtigung verwendete Brennstoff besteht aus Hackschnitzeln von Laub- und Nadelholz. Die Schnitzel sind trocken, der gemessene Wassergehalt beträgt ca. 26 %. Die Schnitzel stammen hauptsächlich aus einem Zwischenlager. Aus Emissionsgründen wird empfohlen, die Unterschubfeuerung für trockenen Brennstoff einzuregulieren und entsprechend nur mit trockenen Hackschnitzeln zu betreiben.



### **3.2.5. Silo und Austragung**

Mit einem Nettovolumen von 150 m<sup>3</sup> (brutto: 210 m<sup>3</sup>) beträgt die Versorgungsautonomie der Heizanlage bei permanenter Nennleistung von 450 kW ca. 9 Tage. Um die Silokosten niedrig zu halten strebt QS Holzheizung eine Versorgungsautonomie von rund 5 Tagen an. Dank des vorhandenen Zwischenlagers können die Holzschnitzel verhältnismässig trocken und kurzfristig bezogen werden. Endstücke und feine, lange Zweige führen wöchentlich zu Störungen im Brennstofffördersystem.

### **3.2.6. Hilfsenergieverbrauch**

Der Stromverbrauch in der Heizzentrale und für die Wärmeverteilung wird separat erfasst und beträgt ca. 16 MWh/a bzw. 2.1 % bezogen auf die produzierte Wärmemenge. Gemäss den Richtlinien von QS Holzheizung beträgt der Zielbereich 1.0 – 2.5 %. Der Stromverbrauch liegt somit im Zielbereich von QS Holzheizung.

## **3.3. Vertragssituation**

Es bestehen keine Brennstofflieferverträge.

Es bestehen Wärmelieferverträge mit den Wärmebezügern. Diese regeln die Verpflichtungen des Wärmebezügers, des Wärmelieferanten, die Eigentumsverhältnisse der Wärmeübergabestation und die Tarife.

Die hydraulischen Anforderungen der Wärmeübergabe, z.B. die notwendige Vorlauftemperatur oder die Begrenzung der Rücklauftemperatur ins Fernwärmenetz, sind in einer Technischen Anschlussverordnung (TAV) geregelt.

## 4. Massnahmen zur Behebung von Schwachstellen

### 4.1. Sicherheit

**Massnahmen:** Brandschutzklappe zwischen Heiz- und Hydraulikraum nachrüsten, Anlaufsteuerung installieren, dass vor dem Eintreten in den Hydraulikraum der Ventilator im Hydraulikraum und der Abluftventilator des Silos anlaufen.

**Nutzen:** Behebung von Sicherheitsmängeln.

**Kosten:** Abklären.

### 4.2. Verluste der Wärmeerzeugung senken

**Massnahmen:** Abgastemperatur senken durch Einbau von Turbulatoren im Wärmetauscher der Holzfeuerung.

**Nutzen:** Steigerung des Jahresnutzungsgrads, Senkung von Brennstoffverbrauch und -kosten.

Schätzung: Eine Senkung der Abgastemperatur auf 150 °C führt zu einer Erhöhung des Jahresnutzungsgrads von heute 70 Prozent auf ca. 82 Prozent. Dies führt zu einer Verminderung des jährlichen Brennstoffbedarfs von 1220 Sm<sup>3</sup>/a auf ca. 1050 Sm<sup>3</sup>/a und damit zu einer Verminderung der Brennstoffkosten von rund Fr. 5'100.–/a. Ausserdem nimmt die Kesselleistung um ca. 40 kW zu.

**Kosten:** Turbulatoren inkl. Reinigungskopf: Investition Fr. 5'000.– bzw. Kapitalkosten Fr. 325.–/a.

### 4.3. Leistung Holzkessel erhöhen

**Massnahmen:** Einstellungen der Regelparameter in Steuerung des Holzkessels überprüfen und optimal einstellen: Begrenzung der Materialzufuhr anheben, Sollwert der Verbrennungstemperatur anheben.

**Nutzen:** Zusammen mit der Absenkung der Abgastemperatur wird die Kesselleistung von aktuell 300 kW auf ca. 400 kW angehoben. Die zusätzliche Leistung kann für die Verdichtung des Wärmenetzes verwendet werden.

**Kosten:** Abklären mit Feuerungshersteller.

### 4.4. Folgeregelung Ölkessel

**Massnahmen:** Nachrüsten einer Folgeregelung für den Ölkessel.

**Nutzen:** Zu- und Abschaltung erfolgt automatisch und ist nicht von der Verfügbarkeit des Betriebswerts abhängig.

**Kosten:** Die Folgeregelung kann evt. in der bestehenden Steuerung des Holzkessels aktiviert werden, abklären mit Feuerungshersteller.

## 4.5. Stromverbrauch der Wärmeverteilung senken

**Massnahmen:** Ersatz der defekten Regelgeräte der Fernleitungspumpen durch neue Regelgeräte mit negativer Pumpenkennlinie.

**Nutzen:** Senkung der Stromverbrauchs bzw. der Stromkosten um ca. 30 %. Einsparung von ca. Fr. 850.–/a.

**Kosten:** Investition ca. Fr. 5'000.– bzw. Kapitalkosten Fr. 400.–/a.

## 4.6. Ausbau des Fernwärmenetzes

### 4.6.1. Gezielte Verdichtung des bestehenden Fernwärmenetzes

Die wirtschaftliche Situation kann grundsätzlich verbessert werden, wenn mit der bestehenden Infrastruktur (Heizzentrale, Wärmeverteilung) mehr Nutzwärme verkauft wird. Dazu müssen im bereits bestehenden Wärmeversorgungsgebiet neue, geeignete Wärmebezügler gefunden werden.

**Massnahmen:** Anschliessen weiterer geeigneter Wärmebezügler im Bereich des bestehenden Fernleitungsnetzes. Die vorhandene Leistungsreserve ohne Ausbau der Wärmeerzeugung beträgt ca. 250 kW (siehe Kap. 3.2.1).

**Nutzen:** Steigerung der Anschlussdichte, Senkung der prozentualen Verluste der Wärmeverteilung, Verbesserung der Auslastung der Feuerung, Steigerung des Wärmeabsatzes und damit der Wirtschaftlichkeit des Wärmeverbundes, Möglichkeit zur Senkung des Wärmepreises.

Die Verdichtung des bestehenden Netzes durch Anschliessen neuer Bezügler mit einem Leistungsbedarf von zusätzlich 100 kW führt zu einem jährlichen Überschuss der Mehreinnahmen von ca. Fr. 17'000.–/a. Damit können die gesamten Kapitalkosten für Verzinsung und vor allem ordentliche Amortisation gedeckt werden.

**Kosten:** Verdichtung um 100 kW siehe Tabelle 4.1.

### 4.6.2. Gezielter Ausbau des Fernwärmenetzes

Durch gezielten Ausbau des Wärmenetzes kann mehr Wärme verkauft und dadurch die Wirtschaftlichkeit des Wärmeverbunds erhöht werden, sofern der Ausbau in gemäss ausgeschiedenem Wärmeversorgungsgebiet geeigneten Gebieten erfolgt.

Durch Ausscheiden des Wärmeversorgungsgebietes in einem Perimeterplan soll genau festgelegt werden, in welchen Gebieten der Ausbau der Fernwärmeversorgung sinnvoll und wirtschaftlich ist. Interessante Gebiete sind MFH-Gebiete, Dorfkerne oder Zonen mit verdichteter Bauweise. Ebenfalls interessant ist das Einbinden nahe gelegener Grossbezügler. Nicht interessant sind in der Regel lose EFH-Gebiete. Genauere Ausführungen dazu finden sich in Kap. 10 und 11 in *QS Holzheizung, Automatische Holzheizungen: Planung und Ausführung*.

Innerhalb der Dorfkernzone ist ein Ausbau des Fernwärmenetzes geplant, wobei ein Potenzial von ca. 170 kW angenommen wird. Davon können ca. 80 kW sofort realisiert werden.

Tabelle 4.1: Verdichtung des bestehenden Netzes (Ausschöpfung der Leistungsreserve).

<b>Annahmen</b>			
	5 neue Bezüger à	20 kW	
Leistungsbedarf	100 kW		
Volllaststunden	2000 h/a		
Nutzwärmebedarf	200 MWh/a	200 MWh/a	Nutzenergie
Verteilverluste	8 %	217 MWh/a	Produziert
Jahresnutzungsgrad	82 %	265 MWh/a	Endenergie
Heizwert	830 kWh/Sm <sup>3</sup>		
Brennstoffbedarf für neue Bezüger	319 Sm <sup>3</sup> /a		
Bisheriger Brennstoffbedarf reduziert	-200 Sm <sup>3</sup> /a		
Verbleibender zusätzl. Brennstoffbedarf	119 Sm <sup>3</sup> /a		
Brennstoffpreis	30 Fr./Sm <sup>3</sup>		
zusätzl. Brennstoffkosten	3 580 Fr./a		
<b>Arbeitspreis inkl. MWSt</b>	<b>9.4 Rp./kWh_Nutzwärme</b>		
<b>Leistungspreis inkl. MWSt</b>	<b>48.4 Fr./kW</b>		
Resultierender Arbeits- und Leistungspreis	11.8 Rp./kWh_Nutzwärme		
<b>Investition</b>			
Übergabestation	6 000 Fr./Bezüger	30 000 Fr.	
Leitungsanschlüsse	14 000 Fr./Bezüger	70 000 Fr.	
Verluste Wärmeerzeugung senken		5 000 Sa	
<b>Einmalige Einnahmen</b>			
Einmalige Anschlussgebühren	20 000 Fr./Bezüger	100 000 Fr.	
<b>Investitionsbedarf</b>		<b>5 000 Fr.</b>	
<b>Zusätzliche Kosten</b>			
zusätzl. Kapitalkosten		325 Fr./a	
zusätzl. Brennstoffkosten		3 580 Fr./a	
zusätzl. Kosten Wartung+Unterhalt+Hilfsenergie	1.3 Rp./kWh_Nutzwärme	2 600 Fr./a	
<b>Total zusätzliche Kosten</b>		<b>6 505 Fr./a</b>	
<b>Zusätzliche Einnahmen</b>			
Einnahmen aus Arbeitspreis		18 722 Fr./a	
Einnahmen aus Leistungspreispreis		4 840 Fr./a	
<b>Total zusätzliche Einnahmen</b>		<b>23 562 Fr./a</b>	
<b>Ertragsüberschuss</b>		<b>17 057 Fr./a</b>	

## 4.7. Ausbau der Wärmeerzeugung

Wenn ein Ausbau der Wärmeerzeugung durch Verdichtung oder Ausbau des Wärmenetzes notwendig wird, soll erst ein technischer Speicher eingebaut und der bestehende Ölkessel durch einen grösseren (ca. 400 kW) ersetzt werden. Nach ca. 10 weiteren Betriebsjahren kann der bestehende Holzkessel durch eine neue Rostfeuerung (ca. 400 kW) ersetzt werden, die als Bandlastfeuerung betrieben wird. Durch eine Rostfeuerung wird der Wartungsaufwand weiter verringert und die Brennstofflogistik kann rationeller und günstiger gestaltet werden, indem vermehrt Brennstoff ohne Zwischenlagerung geliefert wird. Das bestehende Zwischenlager kann immer noch als Stützlager verwendet werden. Der Einbau einer zweiten Holzfeuerung wird aus Kostengründen und wegen ungünstiger Betriebsweise nicht empfohlen.

### Ausbauetappen der Wärmeerzeugung für Netzverdichtung und -ausbau bis 600 kW:

Aktueller Wärmeleistungsbedarf	ca. 360 kW	
Geplante Ausbauetappe	ca. 80 kW	plus Reserven ca. 90 kW
Netzverdichtung		Reserven ca. 70 kW
Wärmeleistungsbedarf kurzfristig	ca. 440 kW	langfristig ca. 600 kW

Erzeugungsleistung:

aktuell:	Holzessel 300 kW, Ölkessel 200kW	total ca. 500 kW
nach Optimierung Holzessel:	Holzessel 400 kW, Ölkessel 200kW)	total ca. 600 kW
Ersatz Ölkessel:	Ölkessel 400 kW (ca. 70 % von 600 kW).	

### **Ausbauetappen der Wärmeerzeugung für Netzverdichtung und -ausbau bis 900 kW:**

Bis 600 kW: Holzessel auf 400 kW Kesselleistung bringen und Speicher einbauen

+ 150 kW: Ersatz Ölkessel mit 500 kW Leistung (ca. 70 % von 750 kW), falls kein weiterer Ausbau

+ 150 kW: Ersatz Holz. durch neue Rostfeuerung mit ca. 450 kW Leistung (ca. 50 % von 900 kW).

#### **4.7.1. Speicher einbauen**

**Massnahmen:** Einbau eines technischen Speichers in Kombination mit einer geeigneten Speicherladeregelung.

**Nutzen:** Die morgendliche Lastspitze wird durch den Speicher verzögert und vermindert an den Holzessel gegeben. Dieser erhält dadurch mehr Zeit für die Anpassung der Feuerungsleistung und läuft dadurch länger, mit weniger EIN/AUS-Phasen und weniger Bereitschaftsverlusten. Erhöhung der Leistungsreserven für Netzverdichtung oder -erweiterung. Hoher Holzenergieanteil.

**Kosten:** Speicher inkl. Speicherladeregelung: Investition ca. Fr. 15'000 – 20'000.– bzw. Kapitalkosten Fr. 1'200 –1'600.–/a.

#### **4.7.2. Ersatz Ölkessel**

**Massnahmen:** Ersatz des bestehenden Ölkessels durch einen neuen Kessel mit einer Leistung von ca. 400 kW, Einbindung mittels einer automatischen Folgeregelung.

**Nutzen:** Erhöhung der Redundanz und der Leistungsreserven für Netzverdichtung oder -erweiterung.

**Kosten:** Ölkessel inkl. hydraulische Einbindung: Investition ca. Fr. 40'000.– bzw. Kapitalkosten Fr. 3'200.–/a.

#### **4.7.3. Ersatz Holzessel**

**Massnahmen:** Ersatz der bestehenden Unterschubfeuerung durch eine Rostfeuerung mit einer Leistung von ca. 400 kW.

**Nutzen:** Geringere Wartungskosten, Feuerung kann im Bandlastbetrieb gefahren werden, Brennstoffversorgung kann rationeller und günstiger gestaltet werden.

**Kosten:** Abklären mit Feuerungslieferant.

#### **4.7.4. Variante Zweikesselanlage**

Bei monovalentem Betrieb wäre eine Zweikesselanlage sinnvoll, ein Speicher wäre nicht unbedingt nötig. Die übliche Aufteilung der Kesselleistung von 1/3 zu 2/3 ergibt bei einem mittelfristigen Bedarf von 600 kW einen Holzessel mit 200 kW und einen mit 400 kW Nennleistung. Der kleinere Kessel würde bei Spitzenlastbedarf und bei Schwachlastbetrieb eingesetzt. Dazu muss der kleine Kessel mit einer automatischen Zündung ausgerüstet sein und der grosse Kessel bei warmer Witterung oder in der Übergangszeit manuell ausser Betrieb genommen und entsprechend wieder in Betrieb genommen werden.

Da die Anlage aber bivalent ist, d.h. die gesamte Infrastruktur für den Betrieb eines Ölkessels vorhanden ist, bringt ein zweiter Holzkessel in betrieblicher Hinsicht keinen wirklichen Nutzen. Er verursacht Investitionen bzw. Kapitalkosten und insgesamt höhere Wartungskosten. Bei einer bivalenten Ein-(holz)kesselanlage mit Speicher wird über 90% der Wärmeproduktion durch den Holzkessel erbracht, sofern eine geeignete Speicherladeregulierung eingesetzt wird und die Zuschaltung des Ölkessels sehr zurückhaltend erfolgt.

## 5. Anhang

### 5.1. Kenndaten der Anlage

Die Anlage wurde am 10. Dezember 2002 von den Herren Good und Jenni besichtigt. Mit Herrn Vetter, Gemeindeschreiber, wurden die Bereiche Kosten, Finanzierung und Wirtschaftlichkeit besprochen, mit Herrn Fehr, Anlagewart, wurde die Anlage besichtigt. Aufgrund der Besichtigung und des vom Betreiber ausgefüllten Fragebogens wurden die folgenden Kenndaten bestimmt.

#### 5.1.1. Kenndaten Finanzen

Tabelle 5.1: Ausgewiesene Investitionskosten.

<b>Investitionskosten total</b>	<b>1 618 000</b>	<b>Fr.</b>
<b>Investitionskosten Wärmeerzeugung</b>		
Gebäude + Silo	220 000	Fr.
Wärmeerzeugung inkl. Silotechnik	250 000	Fr.
Umgebung Heizzentrale	0	Fr.
Baunebenkosten	40 000	Fr.
Wärmeerzeugung total	<b>510 000</b>	Fr.
Spezif. Investitionskosten Wärmeerzeugung	<b>740</b>	<b>Fr./MWhNutz</b>
Spezif. Investitionskosten Wärmeerzeugung	981	Fr./kWBedarf
Spezif. Investitionskosten Wärmeerzeugung	785	Fr./kWinst.
Spezif. Inv'kosten Wärmeerzeugung (ohne Gebäude und Silo)	<b>250</b>	<b>Fr./kWholz</b>
Spezif. Inv'kosten Silo (50% Gebäude + 35% Technik)	<b>940</b>	<b>Fr./m3</b>
<b>Investitionskosten Wärmeverteilung</b>		
Fernleitung	800 000	Fr.
Übergabestationen	268 000	Fr.
Baunebenkosten	40 000	Fr.
Wärmeverteilung total	<b>1 108 000</b>	Fr.
Spezif. Investitionskosten Wärmeverteilung	<b>1 550</b>	<b>Fr./MWhNutz</b>
Zielwert QS (Endausbau)	500	Fr./MWhNutz

Tabelle 5.2: Finanzierung.

Investitionskosten total	1 618 000	Fr.
Förderbeiträge à fonds perdu	0	Fr.
IHG-Darlehen Bund (15 Jahre Laufzeit)	0	Fr.
IHG-Darlehen Kanton (20 Jahre Laufzeit)	0	Fr.
Einmalige Anschlussgebühren	798 000	Fr.
Eigenkapital	0	Fr.
Fremdkapitalbedarf	820 000	Fr.

Tabelle 5.3: Ausgewiesene Wärmegestehungs- und Jahreskosten 2001/02.

<b>Wärmegestehungskosten 2001/02</b>	<b>11.97</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Kapitalkosten 2001/02	29 800	Fr./a
Fremdkapitalverzinsung	8 000	Fr./a
Abschreibungen	21 800	Fr./a
Rückzahlungen IHG-Darlehen	0	Fr./a
Betriebskosten 2001/02	52 700	Fr./a
Brennstoffe	37 300	Fr./a
Betriebsaufwand	15 400	Fr./a
Total Aufwand 2001/02	82 500	Fr./a
Wärmeverkaufspreis inkl. MwSt	9.36	Rp./kWhNutz
Grundgebühr inkl. MwSt	48.4	Fr./kW
Ertrag 2001/02	89 535	Fr./a
Gewinn 2001/02	7 035	Fr./a
Verkaufte Nutzwärme 2001/02	689	MWh/a

Tabelle 5.4: Ausgewiesene Brennstoffkosten 2001/02.

<b>Jahreskosten Brennstoff</b>		
Brennstoff Holz	36 600	Fr./a
Brennstoff Öl	700	Fr./a
Transport	0	Fr./a
Brennstoff Holz + Öl	37 300	Fr./a
Endenergieverbrauch Holz + Öl	1 072	MWh/a
Brennstoffpreis Holz + Öl bez. auf Endenergie	<b>3.48</b>	<b>Rp./kWhEnd</b>
Brennstoffpreis Holz + Öl bez. auf Nutzenergie	<b>5.41</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Brennstoffpreis Holz	30.00	Fr./Sm3
Brennstoffpreis Holz	3.60	Rp./kWhEnd
Brennstoffkosten Holz	5.31	Rp./kWhNutz
Brennstoffpreis Öl	12.92	Fr./100Liter
Brennstoffpreis Öl	1.27	Rp./kWhEnd
Brennstoffkosten Öl	2.12	Rp./kWhNutz

Tabelle 5.5: Ausgewiesene Kosten für Betriebsaufwand 2001/02: Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie.

<b>Jahreskosten Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie</b>		
Wartungskosten (Mittel der letzten 3 Jahre)	3 856	Fr./a
Unterhaltskosten (Mittel der letzten 3 Jahre)	2 438	Fr./a
Hilfsenergiekosten (Mittel der letzten 3 Jahre)	2 531	Fr./a
Wartungskosten bezogen auf totale Investitionskosten	0.2	%
Unterhaltskosten bezogen auf totale Investitionskosten	0.2	%
Hilfsenergiekosten bezogen auf totale Investitionskosten	0.2	%
Spezif. Wartungskosten	<b>0.6</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Spezif. Unterhaltskosten	<b>0.4</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Spezif. Hilfsenergiekosten	<b>0.4</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Spezif. Jahreskosten Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie	<b>1.3</b>	<b>Rp./kWhNutz</b>
Zielwert QS	1.5 – 2.4	Rp./kWhNutz



## 5.1.2. Kenndaten Technik

Tabelle 5.6: Anschlussdichte, Leistung und Nennleistungsstunden.

<b>Anschlussdichte Gesamtleitungsnetz</b>	<b>0.73</b>	<b>MWh/a Tm</b>
Via Wärmenetz verkaufte Nutzwärme	689	MWh/a
Netzlänge gesamt	940	Tm
Zielwert QS (Endausbau)	1.2 – 2	MWh/a Tm
<b>Leistung</b>		
Nennleistung Holz 1	450	kW
Nennleistung Holz 2		kW
Nennleistung Oel	200	kW
Installierte Leistung	650	kW
Anschlussleistung	520	kW
<b>Nennleistungsstunden</b>		
Nennleistungsstunden Holz 1	1 593	h/a
Nennleistungsstunden Holz 2		h/a
Nennleistungsstunden Holz 1+2	1 593	h/a
Nennleistungsstunden Oel	165	h/a
Nennleistungsstunden Gesamt	1 154	h/a
Volllaststunden Bezüger	1 325	h/a

Tabelle 5.7: Jahresnutzungsgrad, Wärmeerzeugung, -verteilung, Verluste und Silodimensionierung.

<b>Jahresnutzungsgrad</b>		
Holzessel 1	70.5 %	geschätzt
Holzessel 2		geschätzt
Holzessel gesamt	70.5 %	geschätzt
Zielwert QS	85 – 90 %	
Oelkessel (Annahme)	60 %	geschätzt, Sommer + Spitzenlast
<b>Verluste der Wärmeerzeugung</b>		
Produzierte Wärmemenge Holz 1	<b>717</b> MWh/a	gemäss WZ Heizzentrale
Produzierte Wärmemenge Holz 2	0 MWh/a	
Produzierte Wärmemenge Holz	717 MWh/a	berechnet
Produzierte Wärmemenge Oel	33 MWh/a	berechnet aus Ölverbrauch und Eta
Produzierte Wärmemenge	750 MWh/a	gemäss WZ Heizzentrale
Endenergieverbrauch	1 072 MWh/a	berechnet mit Jahresnutzungsgrad
Verluste WE	322 MWh/a	berechnet
VerlusteWE bez. auf zugeführte Endenergiemenge	30.0 %	berechnet
<b>Verluste der Wärmeverteilung</b>		
Produzierte Wärmemenge	<b>750</b> MWh/a	berechnet
Eigenverbrauch in Heizzentrale	0 MWh/a	geschätzt
Eigenverbrauch in Heizzentrale	0.0 %	berechnet
Eingespiesene Wärmemenge	750 MWh/a	berechnet
Abgegebene Wärmemenge abzügl. Eigenverbrauch	689 MWh/a	berechnet
Verluste WV	61 MWh/a	
Verluste pro Trasseemeter	65 kWh/a Tm	
Verlustleistung	7 W/Tm	
Verlustleistung pro Trasseemeter	7.0 kW	
Verluste WV bez. auf eingesp. Wärmemenge	8.1 %	
Zielwert QS	10 %	
<b>Gesamtverluste WE+WV</b>		
Verkaufte Nutzwärme	<b>689</b> MWh/a	
Endenergieverbrauch	1 072 MWh/a	
Verluste WE+WV bez. auf zugeführte Endenergie	383 MWh/a	
<b>Silo</b>		
Bruttovolumen	210	m3
Nettovolumen	150	m3
Füllgrad	71.4	%
Tagesbrennstoffbedarf	15.6	Sm3/d
Versorgungsautonomie	9.6	Tage
Nettovolumen Zielwert QS (5 * Tagesbedarf + 40)	118	m3

Tabelle 5.8: Holz-, Öl und Stromverbrauch.

<b>Endenergieverbrauch Holz</b>			
Produzierte Wärmemenge	717	MWh/a	
Holzenergieanteil	96	%	
Endenergieverbrauch	1 017	MWh/a	berechnet mit Jahresnutzungsgrad
Holzverbrauch	1 220	Sm <sup>3</sup> /a	
Heizwert berechnet	833	kWhEnd/Sm <sup>3</sup>	Kontrollrechnung
Heizwert berechnet entspricht Sortiment	588	kWhProd/Sm <sup>3</sup>	Kontrollrechnung
	WSH-g30-w35: 50% Laubholz + 50% Fichte/Tanne		
<b>Endenergieverbrauch Oel</b>			
Produzierte Wärmemenge	33	MWh/a	
Endenergieverbrauch	55	MWh/a	berechnet mit Jahresnutzungsgrad
Endenergieverbrauch	5 416	l/a	
Heizwert (10 kWh/l)	10.16	kWh/l	
Heizwert (11.9 kWh/kg)	11.95	kWh/kg	
<b>Hilfsenergie</b>			
Stromkosten 2001/02	2 864	Fr./a	gemäss Stromrechnung
Strompreis (inkl. Leistungsquote) (berechnet)	17.9	Rp./kWh	
Stromverbrauch	16.0	MWh/a	gemäss Stromzähler
Hilfsenergieanteil bez. auf erz. Wärmemenge	2.1	%	
Zielwert QS	1.5 – 2.5	%	

Tabelle 5.9: Geschätzter Jahresnutzungsgrad Holzkessel.

<b>Jahresnutzungsgrad</b>	<b><math>\eta_a</math></b>	<b>70.5 %</b>	
Luftüberschuss	lambda	2 -	geschätzt
T_Abgas	TKamin	300 °C	geschätzt
T_Luft	TLuft	12 °C	geschätzt
Holzfeuchte	u	35 %atro	geschätzt
Heizwert atro	Huatro	18300 MJ/kgatro	
Wassergehalt	w	26 %	
CO <sub>2</sub>	Anteil_CO2	10.2 Vol.-%	
O <sub>2</sub>	Anteil_O2	10.2 Vol.-%	
Feuerungstechn. Wirkungsgrad	$\eta_f$	76.8 %	
Strahlungsverluste	qs	2.0 %	geschätzt
Kesselwirkungsgrad	$\eta_k$	74.8 %	
Nennwärmeleistung	Qnenn	450 kW	
Abgegebene Wärmemenge	WZ	717 MWh/a	
Einschaltdauer		8 m/a	
Einschaltdauer	tEin	5760 h/a	
Betriebszeit	tBetrieb	3700 h/a	geschätzt
Standby		2060	
Bereitschaftsverluste	qB	4.0 %	geschätzt
Mittlere Laststufe	L	43.1 %	
Auslastung	$\alpha$	0.64 -	

## 5.2. Abschätzung der effektiven Anschlussleistung

Die effektive Anschlussleistung der Wärmebezüger wurde mit Hilfe der gemessenen Wärmebezüge und der Annahme von typischen Volllaststunden abgeschätzt. Sie beträgt ca. 360 kW. Die abonnierte Anschlussleistung beträgt dagegen rund 510 kW.

Tabelle 5.10: Abschätzung der effektiven Anschlussleistung.

2001/2002	Gemessener Wärmebezug kWh/a	Angenommene Volllaststunden h/a	Berechnete Anschlussleistung kW	Abbonnierte Anschlussleistung
<b>Gesamtnetz</b>	<b>688 758</b>	<b>1891</b>	<b>364</b>	<b>513</b>
1	42 827	2000	21.4	30
2	14 206	2000	7.1	8
3	10 632	2000	5.3	8
4	19 917	2000	10.0	8
5	7 640	2000	3.8	8
6	16 686	2000	8.3	10
7	19 656	2000	9.8	7
8	32 789	2000	16.4	14
9	11 024	2000	5.5	6
10	25 454	2000	12.7	10
11	6 903	2000	3.5	8
12	7 544	2000	3.8	4.9
13	29 121	2000	14.6	16
14	21 589	2000	10.8	8
15	20 296	2000	10.1	8
16	6 338	2000	3.2	8
17	30 015	2000	15.0	18
18	64 057	1800	35.6	105
19	43 663	1800	24.3	30
20	10 278	1800	5.7	6.5
21	33 680	1800	18.7	42
22	74 259	1600	46.4	67
23	37 212	1800	20.7	14
24	9 799	2000	4.9	4.9
25	18 626	2000	9.3	18
26	22993	2000	11.5	12
27	11 333	2000	5.7	8
28	24903	2000	12.5	15.5
29	15 318	2000	7.7	10

### 5.3. Emissionsmessung vom 10.12.2002

Am 10.12.02 wurde an der Anlage eine mehrstündige Emissionsmessung mit TESTO 300 XXL durchgeführt. Das Gerät misst kontinuierlich O<sub>2</sub>, CO, NO, Abgas- und Verbrennungslufttemperatur. Punktuell wurde der Unterdruck im Kamin sowie der Differenzdruck einer Staurohrsonde erfasst, woraus sich die Abgasgeschwindigkeit bzw. die Feuerungsleistung berechnen lässt. Der Wassergehalt wurde durch Trocknung einer Brennstoffprobe ermittelt.

Feuerung:	Schmid	Ort:	Berg am Irchel
Typ:	UTSK 450		
Nennleistung	450 kW		
Baujahr	1992		
O <sub>2</sub> -Bezugsgrösse	13 %		
Brennstoff	Waldhackschnitzel g30-w35		
Wassergehalt gemessen	26 %		
Berechnete Kesselleistung	304 kW	bei 100% Leistung gemäss Steuerung	

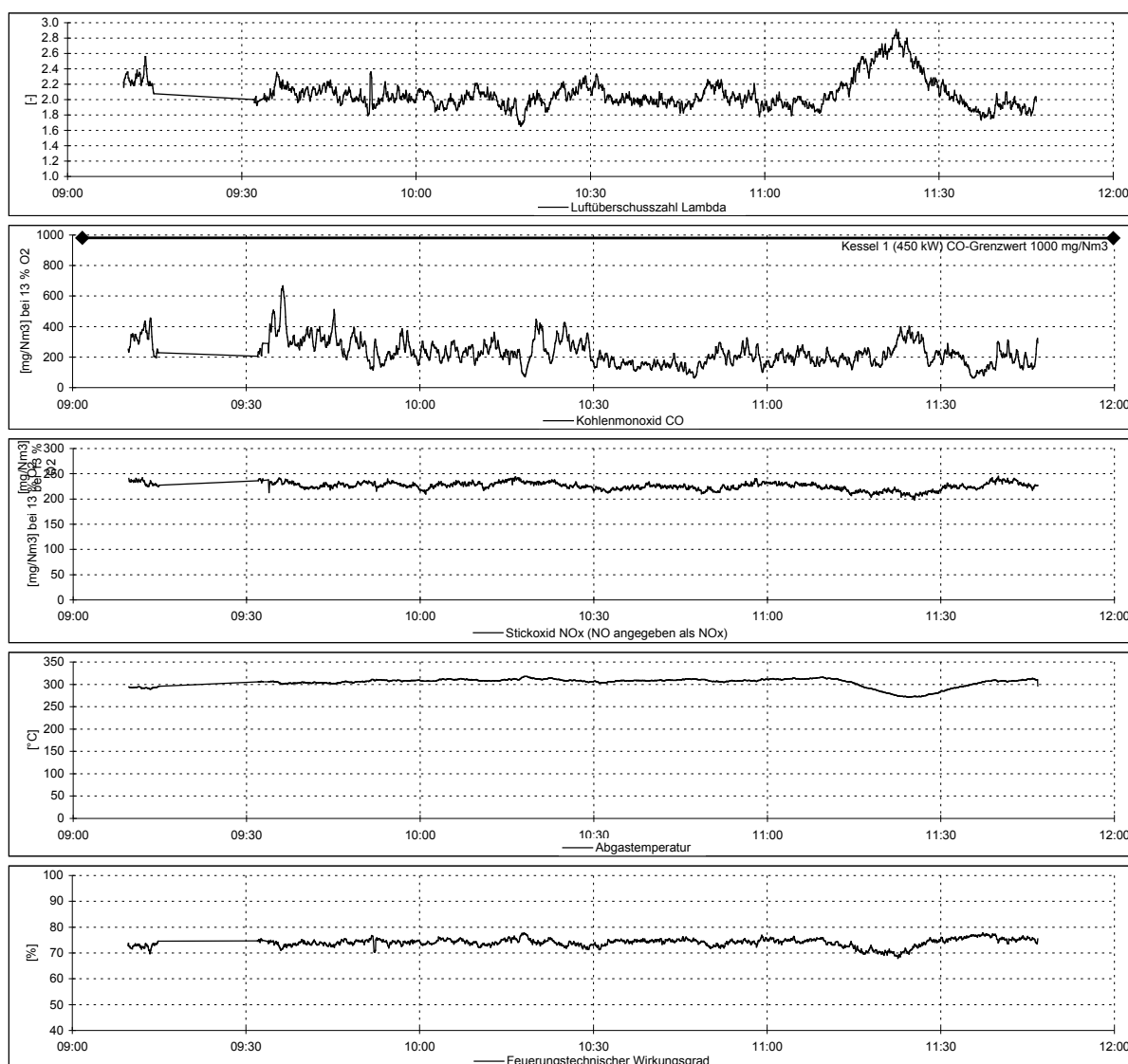


Abbildung 5.1: Emissionsmessung und Bestimmung der Kesselleistung.

## 5.4. Fotos der Anlage



Wohn- und Werkgebäude



Drei befahrbare Silodeckel



Silo



Schubboden mit Queraustragung



Luftabsaugrohr im Zylinderraum



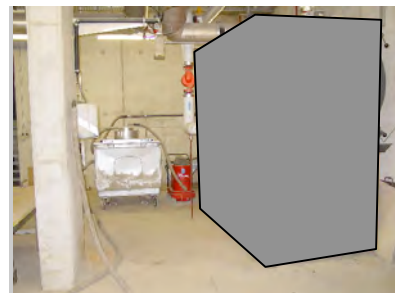
Siloabluft via Heizraum über Dach



Fallschacht und Beschickung



Ölkessel



Holzessel mit Aschecontainer der pneumat. Ascheabsaugung



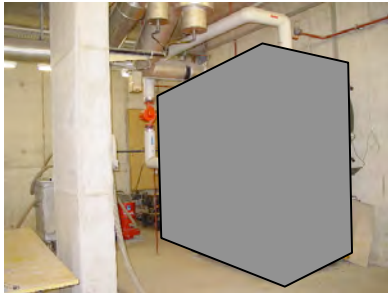
Glutbett



Aschecontainer



Kranvorrichtung für  
Aschecontainer



Holzfeuerung



Emissionsmessung



EMPA-Messflansch



Fernleitungsabgang mit  
Wärmezähler



Unterstation im Landihaus



Druckregler der Übergabestation

## 6. Literatur

Nussbaumer, Th.; Good, J.; Jenni, A.; Bühler, R.; Gabathuler, H.R.: *Automatische Holzheizungen: Planung und Ausführung*, Bundesamt für Energie, Bern 2001, 175 Seiten

Nussbaumer, Th.; Good, J.; Jenni, A.; Bühler, R.: *Automatische Holzheizungen: Grundlagen und Technik*, Bundesamt für Energie, Bern 2001, 110 Seiten

Gabathuler, H.R.; Mayer, H.: *Qualitätssicherung bei Holzheizungsanlagen: Standardlösungen*, Bundesamt für Energie, Bern 2000, 70 Seiten

Bezugsmöglichkeit bei Holzenergie Schweiz ([www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch)) unter *Publikationen* in Papierform oder elektronisch.