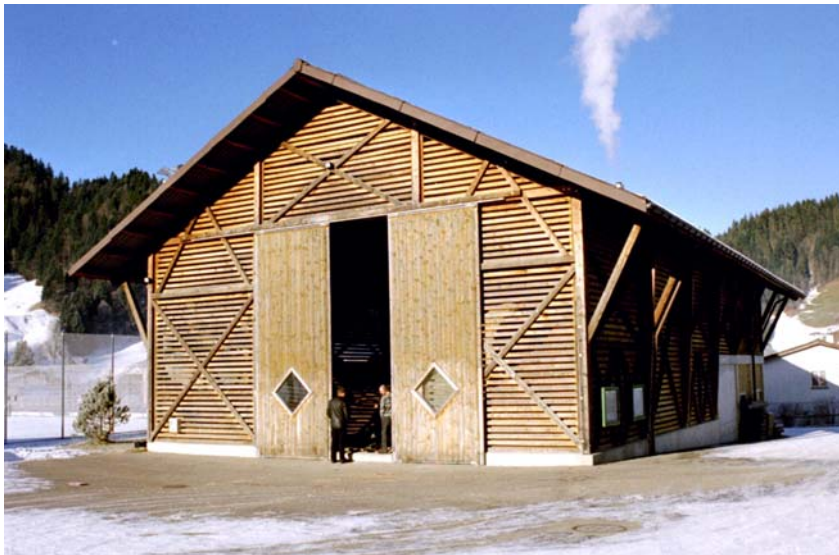


Schlussbericht Mai 2002

Systemoptimierung automatischer Holzheizungen

Projektphase 1

Projekt 41778 Vertrag 81749



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:
Beat Schweizer, Müller Holzfeuerungen AG
Wolfgang Steurer, Mawera AG
Guido Sutter, Schmid AG

Holzenergie Schweiz:
Christoph Rutschmann

QS-Holzheizung:
Ruedi Bühler, Umwelt und Energie

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:

ENET
Egnacherstrasse 69 · CH-9320 Arbon
Tel. 071 440 02 55 · Tel. 021 312 05 55 · Fax 071 440 02 56
enet@temas.ch · www.energieforschung.ch · www.energie-schweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung.....	5
2.	Ausgangslage und Zielsetzung	7
3.	Vorgehen.....	9
3.1.	Begleitgruppe und Projektteam	9
3.2.	Kriterien und Auswahl von Anlagen	9
3.3.	Ablauf der Systemoptimierung	10
4.	Resultate	12
4.1.	Anlage 1	12
4.2.	Anlage 2	13
4.3.	Anlage 3	14
4.4.	Anlage 4	15
4.5.	Anlage 5	16
5.	Erreichte Ziele.....	17
6.	Schlussfolgerungen und Empfehlungen.....	19
7.	Quellen	21
8.	Anhang	22
8.1.	Resultatübersicht.....	22
8.2.	Übersicht Schwachstellen und zugehörige Massnahmen	24

1. Zusammenfassung

Automatische Holzfeuerungen sind in den vergangenen Jahren vom Bund im Rahmen verschiedener Programme finanziell gefördert worden, um eine nachhaltige Erhöhung der Holzenergienutzung zu bewirken. Neben der Förderung neuer Anlagen sollen auch ältere Anlagen durch eine Systemoptimierung unterstützt werden. Die Systemoptimierung hat zum Ziel, dass bestehende automatische Holzfeuerungen ökologisch und ökonomisch optimal eingesetzt und betrieben werden. Den Schwerpunkt bilden Holzkessel von 300 kW bis 1 MW, die seit mindestens fünf Jahren in Betrieb sind.

Um das Optimierungspotenzial aufzuzeigen, wurde die Systemoptimierung in einer ersten Projektphase an fünf ausgewählten Anlagen durchgeführt. Mittels einer Checkliste wurden Angaben zu Wirtschaftlichkeit, Technik und Betrieb erhoben und daraus Kenndaten ermittelt. Auf Grund des Vergleichs der Kenndaten mit Erfahrungswerten und einer Besichtigung der Anlage wurde die wirtschaftliche und technische Situation der Anlagen beurteilt, Schwachstellen identifiziert und Lösungsvorschläge zur Beseitigung der Schwachstellen festgehalten.

Die Ergebnisse der Untersuchungen an den fünf Anlagen sind nicht repräsentativ für den Zustand von installierten Holzfeuerungsanlagen, da Anlagen ausgewählt wurden, bei denen ein Potenzial zur Optimierung vermutet wurde. Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Anlagen sind:

- Wirkungsgrade und Verluste bei vier Anlagen untersucht

Wärmeerzeugung:	η_{WE}	70 % – 86 %	Zielwert: > 85 % – 90 %
	Verluste _{WE}	30 % – 14 %	
Wärmeverteilung:	η_{WV}	70 % – 85 %	Zielwert: < 10 %
	Verluste _{WV}	30 % – 15 %	
Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung:	η_{Gesamt}	49 % – 73 %	Zielwert: > 77 % – 81 %
	Verluste _{Gesamt}	27 % – 51 %	

- Anschlussdichte der Wärmeverteilung bei vier Anlagen untersucht: 0.2 – 1.3 MWh/Tm a
Planungs-Zielwert: 2 MWh/Tm a im Endausbau
- Anzahl Volllaststunden der Wärmebezüger bei vier Anlagen untersucht: 900 h/a – 1860 h/a
Planungs-Zielwert ca. 2'000 h/a
- Nennleistung bei drei Anlagen untersucht und bei drei Anlagen nicht erreicht (bis 50 % zu wenig)
Möglich Gründe sind:
 - Ungünstige Einstellung der Luft- und Brennstoffmenge
 - Verwendung von ungeeignetem Brennstoff
 - evtl. nicht dokumentierte Änderung der ursprünglichen Einstellung
- Regelungsbedingte Leistungsschwankungen bei drei Anlagen untersucht und bei drei Anlagen aufgetreten. Mögliche Gründe sind:
 - Leistungsregelung führt bei konstantem Wärmeleistungsbedarf zu einem Ein/Aus-Betrieb oder einem Betrieb mit erheblichen Leistungsschwankungen (z.B. > 10 % bezogen auf die Nennleistung)

- Leistungsregelung verursacht bei rasch änderndem Wärmeleistungsbedarf ein Überspringen der Leistung
- Verbrennungsregelung kann bei ungünstiger Einstellung dazu führen, dass das Brennstoffbett periodisch auf- und abgebaut wird
- Brennstoffanforderungen bei zwei von fünf untersuchten Anlagen nicht eingehalten.
- Hydraulischen Einbindung von Ölkessel und einzelnen Wärmebezüglern bei drei Anlagen untersucht und bei drei Anlagen Mängel entdeckt
- Sicherheitsaspekte im Bereich des Hydraulikraums (Brandschutztüre und Gärgasabsaugung) bei fünf Anlagen untersucht, bei einer Anlage fehlt die Brandschutztüre, bei drei Anlagen ist keine Gärgasabsaugung am Tiefpunkt im Hydraulikraum installiert.

Um die Ertragslage eines Wärmeverbunds zu verbessern, muss über die bestehende Infrastruktur mehr Wärme verkauft werden. Dazu muss das bestehende Netz verdichtet werden, aber nur in geeigneten Gebieten, die in einem Perimeterplan festgehalten sein sollen. Innerhalb des Perimeters müssen neue Wärmekunden gewonnen werden. Bei neuen Bauvorhaben oder Heizungssanierungen soll das Anschliessen an den Wärmeverbund empfohlen oder verlangt werden.

Die Pilotphase der Systemoptimierung hat gezeigt, dass bei den Betreibern von Holzheizungen und Wärmeverbünden ein grosses Bedürfnis besteht, Transparenz über ihre Kosten- und Ertragsstruktur zu gewinnen und zu wissen, wo sie im Vergleich zu ähnlichen Anlagen stehen. Durch das Aufzeigen von Perspektiven, wie sie die Ertragslage verbessern können, erhalten sie die Möglichkeit, die Geschicke des Wärmeverbunds aktiv und positiv zu beeinflussen. Das Aufzeigen von meist unbemerkten technischen Mängeln und deren Behebung führt zu Reduktion von Betriebskosten, zur Erhöhung des Wirkungsgrades und zur Verminderung von Emissionen.

Provisorische Kriterien für „guten Feuerungsbetrieb“:

- Mindest-Jahresnutzungsgrad (> 85%)
- Maximaler Luftüberschuss (< 2)
- Maximale regelbedingte Leistungsschwankungen 10% der Nennleistung.

Empfehlungen:

- Vor einem allfälligen Ausbau der installierten Leistung muss das Leistungspotenzial und die Nennleistungsstunden der Feuerung geprüft werden
- Für einen guten Betrieb wird eine periodische Einstellung der Anlage empfohlen (z.B. mindestens einmal pro Jahr sowie bei jedem deutlichen Brennstoffwechsel)
- Über eine Einstellung der Feuerung auf reduzierte Leistung muss der Betreiber informiert werden und dies soll zudem auf der Anlage und im Journal dokumentiert werden.

2. Ausgangslage und Zielsetzung

Automatische Holzfeuerungen sind in den vergangenen Jahren vom Bund im Rahmen verschiedener Programme finanziell gefördert worden. Im Rahmen der Lothar-Förderung werden auch in den Jahren 2000 bis 2003 weitere Anlagen unterstützt. Der Mitteleinsatz des Bundes soll eine nachhaltige Erhöhung der Holzenergienutzung bewirken. Um dies zu gewährleisten, sollen gute Anlagen in Bezug auf Ökonomie und Ökologie realisiert werden. Für die ab jetzt unterstützten Anlagen wird dazu das Qualitätssicherungsinstrument QS Holzheizung eingesetzt. Bei bereits realisierten Anlagen kommt dies jedoch noch nicht zum Tragen. Da es im Interesse des Bundes ist, dass die ausgeführten Anlagen optimal betrieben werden, soll für bereits installierte automatische Holzfeuerungen eine so weit wie möglich flächendeckende Systemoptimierung unter Einbezug der involvierten Verbände und Hersteller durchgeführt werden.

Die Systemoptimierung hat somit zum Ziel, dass bestehende automatische Holzfeuerungen ökologisch und ökonomisch optimal eingesetzt und betrieben werden. Den Schwerpunkt bilden Holzkessel von 300 kW bis 1 MW, die seit mindestens fünf Jahren in Betrieb sind.

Bei der Systemoptimierung werden **Brennstoff, Technik (Feuerung, Hydraulik) und Betrieb** von Holzfeuerungsanlagen **technisch und wirtschaftlich** umfassend beurteilt. Zusätzlich zur eigentlichen Feuerungsanlage wird auch das gesamte technische Umfeld wie Brennstoffversorgung und -qualität, Hydraulik in Zentrale, Fernwärmeleitung und Übergabestationen, Sicherheits- und Betriebsaspekte, Hilfsenergieverbrauch, Verlust und Wirkungsgrad der Wärmeerzeugung und -verteilung, Reglereinstellungen analysiert. Neben den technischen Aspekten wird auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage detailliert untersucht. Dazu werden spezifische Kapital- und Betriebskosten bestimmt, aufgeteilt nach Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung. Die vom Betreiber ausgewiesenen Wärmegestehungskosten werden mit berechneten Netto-Wärmegestehungskosten verglichen. Die über die Vollkosten berechneten Wärmegestehungskosten erlauben einen Vergleich mit den Zielwerten von QS Holzheizung und mit anderen Anlagen.

In den technischen und wirtschaftlichen Bereichen werden kurz- und mittelfristige Massnahmen zur Optimierung der gesamten Anlage aufgezeigt. Massnahmen ohne Investitionsfolgen wie Optimieren von Reglereinstellungen können unter Beizug des Feuerungsherstellers sofort umgesetzt werden. Für Massnahmen mit Investitionsfolgen werden Potenzial und Kosten aufgezeigt und die Realisierung unterstützt.

Nach der Umsetzung von vorgeschlagenen Massnahmen erfolgt an ausgewählten Anlagen eine Erfolgskontrolle, die eine Beurteilung der Verbesserung an der Anlage und der Qualität der Systemoptimierung ermöglicht.

Bei einer Betriebsoptimierung beschränkt sich Analyse, Optimierung und Erfolgskontrolle in der Regel auf die Feuerung. Die Betriebsoptimierung kann somit Teil einer umfassenden Systemoptimierung sein.

Da durch die vom Bund initiierte Systemoptimierung nur ein Teil der Zielgruppe abgedeckt werden kann, soll das Optimierungspotenzial in einer Pilotphase (Projektphase 1) an 5 ausgewählten Anlagen

durchgeführt werden. Auf Grund der dabei gemachten Erfahrungen wird das Vorgehen für die nächsten Anlagen (Projektphase 2) festgelegt. Das Potenzial der Systemoptimierung soll an geeigneten Beispielen mit einer ausführlichen Bestandesaufnahme vor und einer Erfolgskontrolle nach der Optimierung dokumentiert und als Motivation für zukünftige Systemoptimierungen in der Projektphase 2 kommuniziert werden.

In das Projekt sollen neben dem Bund auch die wichtigsten Akteure der Holzenergiebranche einbezogen werden. Dies sind namentlich Vertreter von BFE, BUWAL, Holzenergie Schweiz und SFIH. Im weiteren soll eine Koordination mit dem Projekt QS Holzheizung erfolgen.

3. Vorgehen

3.1. Begleitgruppe und Projektteam

Zur Festlegung des Vorgehens und der Verantwortlichkeiten wurde eine Begleitgruppe gegründet, in der nebst dem Projektteam Bund, Verbände und Industrie vertreten sind, nämlich BFE, BUWAL, Holzenergie Schweiz und SFIH. Im weiteren wurde das Projektteam festgelegt, das für die Ausführung der Systemoptimierung verantwortlich ist.

Projektteam	PD Dr. Th. Nussbaumer, Verenum (Koordinator) Dr. J. Good, Verenum (Projektleiter) A. Jenni, Ardens GmbH Liestal (Fachexperte) Weitere Mitarbeiter nach Bedarf	
Begleitgruppe	Bund	D. Binggeli, BFE (BA für Energie) U. Jansen, BUWAL (BA für Umwelt)
	SFIH (Holzfeuerungen Schweiz, Fabrikanten und Importeure von Holzfeuerungen)	B. Schweizer, Müller AG W. Steurer, Mawera AG G. Sutter, Schmid AG
	Holzenergie Schweiz	C. Rutschmann
	QS-Holzheizung (Qualitätssicherung)	R. Bühler, Umwelt & Energie

3.2. Kriterien und Auswahl von Anlagen

Die Begleitgruppe hat folgende Kriterien zur Auswahl der Anlagen für die Projektphase 1 festgelegt. Die Zielgruppe für die Systemoptimierung umfasst folgende Anlagen:

- Leistungsbereich Holzkessel: Schwerpunkt: **300 kW – 1 MW**, einzelne Anlagen > 1 MW
- Alter der Holzkessel: Schwerpunkt: **> 5 Jahre**, einzelne Anlagen < 5 Jahre, falls eine massgebliche Verbesserung erwartet wird
- Anzahl: Insgesamt 5 Anlagen, davon wenn möglich eine oder zwei aus holzverarbeitenden Betrieben.

Aus den Adressbeständen von Holzenergie Schweiz wurden Anlagen aus der Zielgruppe ausgewählt und insgesamt 60 Anlagenbetreiber angeschrieben. Unter 12 Interessenten, darunter keiner aus holzverarbeitenden Betrieben, wurden fünf für die Teilnahme an der Projektphase 1 ausgewählt. Neben den Hauptkriterien wurden auch das Fabrikat und die Art der Wärmeerzeugung berücksichtigt. Anlagenbetreiber, die mit ihrer Anlage zufrieden sind, melden sich kaum für die Systemoptimierung. Deshalb geben die ausgewählten Anlagen nicht den typischen Zustand von automatischen Holzfeuerungen wieder.

Anlage	Fabrikat	Leistung	Typ	Inbetriebnahme	Wärmeerzeugung
1	A	240 kW	USR	1998	Monovalente Zweikesselanlage ohne Speicher
	A	80 kW	USR		
2	A	700 kW	USR	1992	Bivalente Zweikesselanlage mit Speicher
	A	700 kW	USR		
3	B	Öl 360 kW	USR	1995	Monovalente Einkesselanlage ohne Speicher
		750 kW			
4	C	580 kW	USR	1992	Bivalente Einkesselanlage (alternativ) mit Speicher
		Öl 195 kW			
5	D	1600 kW	VSR	1995	Bivalente Einkesselanlage ohne Speicher
		Öl 400 kW			

Tabelle 3.1: Ausgewählte Anlagen.

3.3. Ablauf der Systemoptimierung

Datenerhebung

Es wurde eine ausführliche Checkliste erarbeitet, die als Fragebogen an die Betreiber der Anlagen verschickt und von ihnen ausgefüllt retourniert wurden. Sie verlangt detaillierte Angaben zu:

Wirtschaftlichkeit

Investitionskosten	Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung
Finanzierung	Förderbeiträge Bund und Kanton, Darlehen, Eigenmittel, Anschlussgebühren
Jahreskosten	Kapital- und Betriebskosten
Jahresertrag	Wärmeverkauf, Grundgebühren

Technik

Wärmeerzeugung	
Brennstoff	Herkunft, Mengen, Abrechnungsart, Preis
Silo und Transporteinrichtungen	
Wärmeverteilung	

Betrieb	Wartung, Unterhalt, aufgetretene Störungen, Asche
----------------	---

Weitere Unterlagen	Prinzipschema, Verträge, Journale, Protokolle
---------------------------	---

Ermittlung von relevanten Kenndaten

Aus den Angaben der retournierten Checklisten wurden für eine Grobbeurteilung relevante Kenndaten bestimmt:

Kenndaten Finanzen

Investitionskosten Wärmeerzeugung	absolut und spezifisch
Investitionskosten Wärmeverteilung	absolut und spezifisch
Jahreskosten	Kapitalkosten (Verzinsung, Abschreibung, Rückstellungen) Betriebskosten (Brennstoff, Wartung, Unterhalt, Hilfsenergie, etc.)
Jahresertrag	Wärmeverkauf, Grundgebühren
Wärmegestehungskosten	ausgewiesen
Wärmegestehungskosten	berechnet aus Investitionskosten (Annuitätenmethode) und Annahmen über Wartungs- und Unterhaltskosten

Kenndaten Technik

Nennleistungsstunden Wärmeerzeugung
Jahresnutzungsgrad
Anschlussdichte Wärmeverteilung
Verluste Wärmeverteilung
Silodimensionierung
End- und Hilfsenergieverbrauch

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.

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 QS Holzheizung.

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 wenig Information zur Ausarbeitung eines Massnahmenplans ergab, aber ein grosses Verbesserungspotenzial vermutet wird, kann die Durchführung eines Messprogramms vorgeschlagen werden.

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.

Sofortmassnahmen ohne Investitionsbedarf

Massnahmen ohne Investitionsbedarf wie beispielsweise Änderung von Regelparametern an der Steuerung der Feuerung können im Auftrag des Anlagenbetreibers vorgenommen werden. Dabei ist vorgesehen, dass Einstellungen durch Vertreter der Feuerungshersteller im Beisein der Team-Mitglieder durchgeführt werden.

Umsetzung von Massnahmen mit Investitionsbedarf

Bei der Umsetzung von Massnahmen mit Investitionsbedarf ist vorgesehen, die Anlagenbetreiber durch das Projekt fachlich zu unterstützen und allenfalls Möglichkeiten für Finanzhilfen abzuklären.

4. Resultate

4.1. Anlage 1

Standort	1			
Fabrikat	A USR	240 kW		
Fabrikat	A USR	80 kW		
Inbetriebnahme	1998			
Art der Wärmeerzeugung	Monovalente Zweikessel-anlage ohne Speicher			
Wärmeerzeugung	Nennleistungsst. Holz	Ist	Zielwert QS	
	Wirkungsgrad WE	n.b.	> 2'000	h/a
	Verluste WE	n.b.	> 85 – 90	%
		n.b.	< 10 – 15	%
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	n.b.	> 2.0	MWh/ Tm a
	Wirkungsgrad WV	n.b.	> 90	%
	Verluste WV	n.b.	< 10	%
	Volllaststunden Bezüger	n.b.	1'900 .. 2'500	h/a
Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung WE+WV	Wirkungsgrad WE+WV	n.b.	> 77 – 81	%
	Verluste WE+WV	n.b.	< 23 – 19	%
Brennstoff	Art	Fichte/Tanne: WSH-g45-w50		
Hilfsenergie		n.b.		%

Bei Anlage 1 wurde vom Betreiber eine technische Beurteilung zum Betrieb von Feuerung und Nahwärmenetz gewünscht. Eine wirtschaftliche Beurteilung wurde dagegen nicht gewünscht, weshalb die entsprechenden Daten für Anlage 1 im Rahmen der Systemoptimierung nicht erhoben wurden.

Der Betreiber kann einen Teil der Betriebsdaten via Modem am Computer im Büro einsehen und hat festgestellt, dass bei kalter Witterung der Sollwert der Vorlauftemperatur der Fernleitungen erst gegen Mittag erreicht und während dieser Zeit dauernd die Ladung der Brauchwasserspeicher verlangt wird. Die Anlagenbesichtigung und die Analyse der vom Betreiber zur Verfügung gestellten Betriebsdatenaufzeichnung hat folgende Schwachstellen aufgezeigt:

- 240 kW-Feuerung erreicht nur ca. 70 % der Nennleistung
- Einstellung (Luft- und Brennstoffmenge) für Nennleistung und Minimalleistung an beiden Feuerungen ungünstig:
 - hoher Luftüberschuss (> 2.5), tiefer Wirkungsgrad, hohe Emissionen an CO und Staub
 - rasche und starke Verschmutzung der Kesselzüge
- Regelungsbedingte Leistungsschwankungen
 - Leistungsregelung führt bei konstantem Wärmeleistungsbedarf zu einem Ein/Aus-Betrieb oder einem Betrieb mit erheblichen Leistungsschwankungen (> 10% bezogen auf die Nennleistung)
 - Leistungsregelung verursacht bei rasch änderndem Wärmeleistungsbedarf ein Überschwingen der Leistung
 - Verbrennungsregelung kann bei ungünstiger Einstellung dazu führen, dass das Brennstoffbett periodisch auf- und abgebaut wird
- ungenügende Dokumentation der Zu- und Abschaltkriterien des zweiten Holzkessels
- Fehlende Brandschutztüre beim Hydraulikraum

Als Sofortmassnahme ohne Investitionsbedarf wurde die Reglereinstellung des 240 kW-Kessels für Nennleistung und Minimalleistung im Beisein des Feuerungslieferanten schrittweise optimiert. Der Luftüberschuss konnte dabei auf ca. 1.9 gesenkt werden, der Wirkungsgrad stieg dabei von ca. 73 % auf 81 %, eine weitere Steigerung um ca. 5 % wird erwartet auf Grund der tieferen Abgastemperatur nach erfolgter Reinigung der Kesselzüge. Die CO-Emissionen sanken dabei von ca. 500 mg/m³ auf 20 mg/m³ (bei 13 Vol.-% O₂).

Die Optimierung der Reglereinstellungen und die Abstimmung der Zu- und Abschaltung des zweiten Holzkessels erfolgen später. Ausserdem soll die morgendliche Wärmebedarfspitze durch zeitliche Staffelung gebrochen werden.

4.2. Anlage 2

Standort	2		
Fabrikat	A USR	700 kW	
Fabrikat	A USR	700 kW	
Fabrikat	Ölkessel	360 kW	
Inbetriebnahme	1992		
Art der Wärmeerzeugung	Bivalente Zweikesselanlage mit Speicher		
Wärmeerzeugung	Nennleistungsst. Holz	Ist 2'513	Zielwert QS > 2'000 h/a
	Wirkungsgrad WE	78.0	> 85 – 90 %
	Verluste WE	22.0	< 10 – 15 %
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	1.21	> 2.0 MWh/ Tm a
	Wirkungsgrad WV	85.0	> 90 %
	Verluste WV	15.0	< 10 %
	Volllaststunden Bezüger	1'864	1'900 .. 2'500 h/a
Wärmeerzeugung und	Wirkungsgrad WE+WV	66.3	> 77 – 81 %
Wärmeverteilung WE+WV	Verluste WE+WV	33.7	< 23 – 19 %
Brennstoff	Art	Fichte/Tanne: WSH-g45-w50	
Hilfsenergie		1.7	1.5 - 2.5 %

Die Anlagenbesichtigung und die Grobbeurteilung der Kenndaten hat folgende Schwachstellen aufgezeigt:

- Jahreskosten übersteigen den Jahresertrag
- Holzfeuerungen erreichen die Nennleistung nicht (ca. 500 kW im Mittel während Besichtigung statt 700 kW)
 - Ölkessel wird häufig zugeschaltet
- Einstellung (Luft- und Brennstoffmenge) für Nennleistung an beiden Feuerungen ungünstig:
 - hoher Luftüberschuss, tiefer Wirkungsgrad, hohe Emissionen an CO und Staub
 - rasche und starke Verschmutzung der Kesselzüge
- Regelungsbedingte Leistungsschwankungen
- erhöhte Wärmeverluste im Fernleitungsstrang Werkgebäude wegen Überdimensionierung s
- erhöhte Wärmeverluste im Fernleitungsstrang Schulhaus
- hohe Rücklauftemperaturen im Fernleitungsnetz
- Fernleitungspumpen ungeregelt wegen defekten Frequenzumformern
- Störungsanfälliger pneumatischer Aschesauger

Folgenden Massnahmen werden vorgeschlagen:

- Gezieltes Verdichten des bestehenden Fernleitungsnetzes zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
 - Ausscheiden von geeigneten Wärmeversorgungsgebieten in einem Perimeterplan oder Überprüfen von bestehenden Perimeterplänen
 - Verdichten des bestehenden Netzes durch Anschliessen geeigneter Wärmebezüger und evtl. installierte Leistung ausbauen
- Ausbau des bestehenden Fernleitungsnetzes
 - Ausbau des bestehenden Netzes in geeignete Wärmeversorgungsgebiete und evtl. installierte Leistung ausbauen
 - Wenn beide Holzkessel mit je 700 kW betrieben werden können und die Leistung weiter ausgebaut werden soll, so ist zu prüfen, ob der alte Ölkessel durch einen neuen Ölkessel mit ca. 1000 kW ersetzt werden kann, um höhere Redundanz und Spitzenlastabdeckung zu erhalten

- Einstellung (Luft- und Brennstoffmenge) zum Erreichen der Nennleistung an beiden Feuerungen optimieren durch senken des Luftüberschusses und Aufbau eines stabilen Brennstoffbettes. Folgen sind:
 - höherer Wirkungsgrad, niedrigere Emissionen an CO und Staub
 - geringerer Wartungsaufwand zum Reinigen der Kesselzüge
- Leistungsregelung stabilisieren durch optimieren der Reglereinstellungen
- Stilllegung des Fernleitungsstrangs Schulhaus während Sommermonaten prüfen
- Bezüger mit hohen Rücklaufftemperaturen lokalisieren und Hydraulik der Übergabestation anpassen
- Ersatz der bestehenden Nassläuferpumpen durch Inlinepumpen mit aufgesetztem Frequenzumformer und Regelgerät mit proportionaler Differenzdruckvorgabe
- Reduktion des Reinigungsaufwands von 3.5 h/Woche für Feuerung und Kessel auf ca. 1 h/Woche durch Nachrüstung mit automatischer Kesselabreinigung

4.3. Anlage 3

Standort	3			
Fabrikat	B	USR	700	kW
Inbetriebnahme	1995			
Art der Wärmeerzeugung	Monovalente Einkesselanlage			
Wärmeerzeugung	Nennleistungsst. Holz	Ist	Zielwert QS	
		1'767	> 2'000	h/a
		Wirkungsgrad WE	> 85 – 90	%
		Verluste WE	< 10 – 15	%
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	0.55	> 2.0	MWh/ Tm a
		Wirkungsgrad WV	> 90	%
		Verluste WV	< 10	%
		Volllaststunden Bezüger	1'525	1'900 .. 2'500 h/a
Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung WE+WV	Wirkungsgrad WE+WV	63.9	> 77 – 81	%
		Verluste WE+WV	< 23 – 19	%
Brennstoff	Art	Fichte/Tanne: WSH-g45-w50		
Hilfsenergie		2.5	1.5 - 2.5	%

Die Anlagenbesichtigung und die Grobbeurteilung der Kenndaten hat folgende Schwachstellen aufgezeigt:

- Jahresertrag deckt gerade die Jahreskosten, keine Rückstellungen möglich
- niedrige Nennleistungsstunden der Feuerung, geringe Auslastung der Feuerung
- niedrige Volllaststunden der Bezüger, überschätzter Wärmeleistungsbedarf
- tiefer Wirkungsgrad
- Regelungsbedingte Leistungsschwankungen
- erhöhte Wärmeverluste in der Fernleitung
- hoher Stromverbrauch
- Fehlende Gärgasabsaugung im Hydraulikraum

Folgenden Massnahmen werden vorgeschlagen:

- Gezieltes Verdichten des bestehenden Fernleitungsnetzes zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
 - Ausscheiden von geeigneten Wärmeversorgungsgebieten in einem Perimeterplan oder Überprüfen von bestehenden Perimeterplänen
 - Verdichten des bestehenden Netzes durch Anschliessen geeigneter Wärmebezüger und evtl. installierte Leistung ausbauen
- Ausbau des bestehenden Fernleitungsnetzes
 - Ausbau des bestehenden Netzes in geeignete Wärmeversorgungsgebiete und evt. installierte Leistung ausbauen
- Leistungsregelung stabilisieren durch optimieren der Reglereinstellungen oder Einbezug weiterer Messgrössen
- Einbau eines technischen Speichers prüfen, um Lastspitzen zu brechen und den Leistungsverlauf der Feuerung zu glätten

- Messprogramm zur Erfassung des Betriebsverhaltens der Feuerung und des Wärmebedarfs
- Bezüger mit hohen Rücklaufftemperaturen lokalisieren und Hydraulik der Übergabestation anpassen
- Nachrüstung einer Gärgasabsaugung im Hydraulikraum

4.4. Anlage 4

Standort	4			
Fabrikat	C USR	580 kW		
Fabrikat	Ölkessel	195 kW		
Inbetriebnahme	1992			
Art der Wärmeerzeugung	Bivalente Einkesselanlage			
Wärmeerzeugung	Nennleistungsst. Holz	Ist 1'172	Zielwert QS > 2'000	h/a
	Wirkungsgrad WE	71.2	> 85 – 90	%
	Verluste WE	28.8	< 10 – 15	%
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	0.23	> 2.0	MWh/ Tm a
	Wirkungsgrad WV	65.8	> 90	%
	Verluste WV	34.2	< 10	%
	Volllaststunden Bezüger	911	1'900 .. 2'500	h/a
Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung WE+WV	Wirkungsgrad WE+WV	46.8	> 77 – 81	%
	Verluste WE+WV	53.2	< 23 – 19	%
Brennstoff	Art	Fichte/Tanne: WSH-g45-w50		
Hilfsenergie		3.6	1.5 - 2.5	%

Die Anlagenbesichtigung und die Grobbeurteilung der Kenndaten hat folgende Schwachstellen aufgezeigt:

- Jahresertrag deckt gerade die Betriebskosten, nicht aber die Kapitalkosten
- 580 kW-Feuerung erreicht nur ca. 50 % der Nennleistung. Feuerung wurde durch Monteur so eingestellt, die Einstellungen sind aber nicht dokumentiert
- Stabilität der Leistungsregelung nicht bestimmt
- Einstellung (Luft- und Brennstoffmenge) für Nennleistung ungenügend:
 - hoher Luftüberschuss, tiefer Wirkungsgrad, hohe Emissionen an CO und Staub
 - rasche und starke Verschmutzung der Kesselzüge
- niedrige Nennleistungsstunden der Feuerung, geringe Auslastung der Feuerung
- niedrige Volllaststunden der Bezüger, überschätzter Wärmeleistungsbedarf
- sehr geringe Anschlussdichte des Fernleitungsnetzes
- hohe Wärmeverluste in der Fernleitung
- ungenügende hydraulische Einbindung des Ölkessels
- hoher Stromverbrauch
- Fehlende Gärgasabsaugung im Hydraulikraum
- Brennstoff zu feucht und Feinanteil zu hoch

Folgenden Massnahmen werden vorgeschlagen:

- Gezieltes Verdichten des bestehenden Fernleitungsnetzes zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
 - Ausscheiden von geeigneten Wärmeversorgungsgebieten in einem Perimeterplan oder Überprüfen von bestehenden Perimeterplänen
 - Verdichten des bestehenden Netzes durch Anschliessen geeigneter Wärmebezüger
 - Ausbau der installierten Leistung erst, wenn der Holzkessel über 2000 Nennleistungsstunden erreicht
- Sanierung der bestehenden Holzfeuerung oder Ersatz durch Neuanlage
- Ausbau des bestehenden Fernleitungsnetzes
 - Ausbau des bestehenden Netzes in geeignete Wärmeversorgungsgebiete
 - Ausbau der installierten Leistung erst, wenn der Holzkessel über 2'000 Nennleistungsstunden erreicht
- Bezüger mit hohen Rücklaufftemperaturen lokalisieren und Hydraulik der Übergabestation anpassen
- Nachrüstung einer Gärgasabsaugung im Hydraulikraum

- Brennstoff im Frühjahr in der Schnitzelhalle einlagern, damit er abtrocknet.

4.5. Anlage 5

Standort	5			
Fabrikat	D VSR	1600	kW	
Fabrikat	Ölkessel	400	kW	
Inbetriebnahme	1995			
Art der Wärmeerzeugung	Bivalente Einkesselanlage ohne			
Wärmeerzeugung	Nennleistungsst. Holz	Ist	Zielwert QS	
	Wirkungsgrad WE	2'140	> 2'000	h/a
	Verluste WE	86.2	> 85 – 90	%
		13.8	< 10 – 15	%
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	1.33	> 2.0	MWh/ Tm a
	Wirkungsgrad WV	78.4	> 90	%
	Verluste WV	21.6	< 10	%
	Volllaststunden Bezüger	1'654	1'900 .. 2'500	h/a
Wärmeerzeugung und		Wirkungsgrad WE+WV	67.5	> 77 – 81
Wärmeverteilung WE+WV		Verluste WE+WV	32.5	< 23 – 19
Brennstoff	Art	Fichte/Tanne: WSH-g45-w50		
Hilfsenergie		2.4	1.5 - 2.5	%

Die Anlagenbesichtigung und die Grobbeurteilung der Kenndaten hat folgende Schwachstellen aufgezeigt:

- Nach Erhöhung des Wärmepreises deckt der Jahresertrag die Jahreskosten
- Nennleistung der Feuerung nicht bestimmt
- Stabilität der Leistungsregelung nicht bestimmt
- hoher Wartungsaufwand
- niedrige Volllaststunden der Bezüger, überschätzter Wärmeleistungsbedarf
- niedrige Anschlussdichte des Fernleitungsnetzes
- hohe Wärmeverluste in der Fernleitung, Überdimensionierung
- hohe Rücklauftemperatur des Fernleitungsnetzes
- ungenügende hydraulische Einbindung des Ölkessels
- hoher Stromverbrauch
- Fehlende Gärgasabsaugung im Hydraulikraum

Folgenden Massnahmen wurden vorgeschlagen:

- Gezieltes Verdichten des bestehenden Fernleitungsnetzes zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit
 - Ausscheiden von geeigneten Wärmeversorgungsgebieten in einem Perimeterplan oder Überprüfen des bestehenden Perimeterplans
 - Verdichten des bestehenden Netzes durch Anschliessen geeigneter Wärmebezüger
 - Ausbau der installierten Leistung erst, wenn der Holzkessel über 2000 Nennleistungsstunden erreicht
- Stilllegung des Strangs Süd während der Sommermonate, Umrüsten auf dezentrale Warmwasseraufbereitung
- Ausbau des bestehenden Fernleitungsnetzes
 - Ausbau des bestehenden Netzes in geeignete Wärmeversorgungsgebiete
 - Ausbau der installierten Leistung erst, wenn der Holzkessel über 2'000 Nennleistungsstunden erreicht
- Senken der Rücklauftemperatur der Fernleitung
 - Anpassen der Technischen Anschlussverordnung TAV
 - Umbau der hydraulischen Einbindung des Alterszentrums
 - Prüfen der hydraulischen Einbindung des Spitals
- Hydraulischen Abgleich zwischen Ölkessel und Fernleitung optimieren
- Umrüstung der Fernleitungspumpenregelung von Konstanzdruck- auf Proportionaldruckregelung
- Senkung des Wartungsaufwands durch Einbau einer automatischen Kesselabreinigung
- Nachrüstung einer Gärgasabsaugung im Hydraulikraum

5. Erreichte Ziele

Im Rahmen der Systemoptimierung wurden für die Pilotphase fünf Anlagen von vier verschiedenen Fabrikaten ausgewählt und untersucht. Aus der Holzverarbeitenden Industrie konnten bis anhin keine Betreiber für eine Teilnahme an der Systemoptimierung gewonnen werden. Bei vier Anlagen wurden die Checklisten detailliert ausgefüllt und daraus wichtige Kenndaten zur wirtschaftlichen und technischen Situation ermittelt. Alle Anlagen wurden durch das Projektteam besichtigt und eine Grobbeurteilung durchgeführt.

Für eine Anlage liegt ein vollständiger Bericht vor und ist dem Betreiber zugestellt worden. Er umfasst eine detaillierte Schwachstellenanalyse mit Lösungsvorschlägen, die in einem zeitlich gestaffelten Massnahmenplan zusammengefasst sind. Ausserdem wurden Kosten und Nutzen der einzelnen Massnahmen abgeschätzt. Bei den übrigen Anlagen sind die entsprechenden Berichte noch in Bearbeitung.

Bei einer Anlage wurden Sofortmassnahmen eingeleitet, weil die Feuerung nur ca. 70 % der Nennleistung erreichte. Ausserdem war die Einstellung von Materialzufuhr und Luftmenge sehr ungünstig, da im Betrieb praktisch kein Brennstoffbett vorhanden war. Dies hatte zur Folge, dass der Luftüberschuss und dementsprechend die Emissionen an CO und Staub hoch waren. Dadurch waren die Kesselzüge häufig und stark verschmutzt. Als Sofortmassnahme ohne Investitionsfolge wurden die Regelparameter der Steuerung in Zusammenarbeit mit dem Feuerungshersteller geändert. Die Feuerung erbringt nun wieder annähernd die Nennleistung und weist im Betrieb ein ideales Brennstoffbett auf. Durch die verbesserte Einstellung konnten die Emissionen deutlich vermindert und der feuerungstechnische Wirkungsgrad um über 8 % gesteigert werden. Zudem wird eine Verlängerung des Reinigungsintervalls erwartet, wodurch der Wartungsaufwand gesenkt wird. Dieser Sachverhalt wird in den kommenden Wochen geprüft.

Den Betreibern konnten Perspektiven und Strategien aufgezeigt werden, wie die wirtschaftliche Situation des Wärmeverbunds verbessert werden kann. Dazu müssen geeignete Wärmeversorgungsgebiete in einem Perimeterplan festgelegt und die geeigneten Neubezüger aktiv akquiriert werden. So kann durch gezieltes Verdichten mit der bestehenden Infrastruktur mehr Wärme verkauft werden.

In einigen Fällen konnte den Betreibern konkrete Entscheidungshilfe geleistet werden. In einem Fall beabsichtigt der Betreiber zwei weitere Bezüger anzuschliessen. Da der bestehende Holzkessel oft bei 100 Prozent betrieben wurde, war geplant, einen weiteren Holzkessel zu installieren. Es konnte gezeigt werden, dass der bestehende Kessel bei der Einstellung für 100 Prozent nur ca. 50 Prozent seiner Nennleistung abgibt und deshalb als erste Massnahme das Erreichen der Nennleistung durch Optimierung der Feuerungseinstellung anzustreben ist. In einem weiteren Fall war geplant, den Wärmeabsatz durch Decken des Warmwasserbedarfs im Sommer zu erhöhen und das Wärmenetz somit ganzjährig zu betreiben. Es konnte gezeigt werden, dass der Wechsel auf durchgehenden Heizbetrieb im Sommer mehr Wärmeverluste verursacht, als zusätzliche Wärme für Warmwasseraufbereitung verkauft werden könnte.

Die Aufschlüsselung der effektiven Kosten nach einzelnen Kategorien sowie der Vergleich mit Erfahrungswerten und Referenzwerten nach QS Holzheizung (siehe Tabelle 8.1) ermöglicht eine rasche

Beurteilung der Kostenstruktur. Auf Grund der berechneten Kenngrößen und dem Vergleich mit entsprechenden Erfahrungswerten wurde in einigen Fällen festgestellt, dass die Betreiber die Gesamtkosten erheblich unterschätzten, da sie nicht mit den Vollkosten rechneten. So wurden zum Teil Kapital-, Verwaltungs- oder Stromkosten der allgemeinen Gemeinderechnung belastet.

Die Systemoptimierung hat gezeigt, dass für die Analyse der Anlagen und die anschließende Durchführung einer Betriebsoptimierung oft ein Messprogramm zur Erfassung von zeitlichem Verlauf des Wärmebezugs, Feuerungsleistungen, Speicherladezustände, Temperaturen und Emissionen notwendig ist. Bisher wurden dazu die bereits vorhandenen Möglichkeiten wie Handprotokolle oder Aufzeichnungen von SPS-Daten verwendet. In einem Fall konnte der Betreiber Anlagendaten wie Feuerungsleistung, Ventilstellungen sowie einige Temperaturen und Ladezyklen von Warmwasserspeichern via Modem anzeigen und manuell aufzeichnen. An Hand dieser Daten konnte der Erfolg der Änderung von Reglerparametern nachgewiesen werden. Emissionsveränderungen konnten an der gleichen Anlage durch kurzzeitigen Einsatz eines Emissionsmessgerätes vor und nach der Änderung der Reglerparameter festgestellt werden.

Ausführliche Messungen zur Situationsanalyse und Erfolgskontrolle nach Durchführung von vorgeschlagenen Massnahmen sind in der zweiten Messphase vorgesehen. Massnahmen mit Investitionsbedarf wurden bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine realisiert.

6. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Gezielte Verdichtung des bestehenden Fernleitungsnetzes steigert die Wirtschaftlichkeit des Wärmeverbunds

Um die Ertragslage eines Wärmeverbunds zu verbessern, muss über die bestehende Infrastruktur mehr Wärme verkauft werden. Dazu muss das bestehende Netz verdichtet werden, aber nur durch geeignete Bezüger bzw. in geeigneten Wärmeversorgungsgebieten. Dazu müssen Perimeterpläne erstellt werden, in denen **geeignete** Wärmeversorgungsgebiete eingezeichnet sind. Innerhalb der geeigneten Gebiete müssen interessante Kunden aktiv bearbeitet werden. Bauvorhaben innerhalb des Perimeters sollen durch die Gemeinde nur bewilligt werden, wenn ein Anschluss an den Wärmeverbund erfolgt. Analog soll bei Heizungssanierungen das Anschliessen an den Wärmeverbund empfohlen oder verlangt werden.

Die Tarifstruktur soll neben der einmaligen, leistungsabhängigen Anschlussgebühr auch eine leistungsabhängige, jährliche Grundgebühr und den verbrauchsabhängigen Wärmepreis enthalten.

Der Ausbau der installierten Leistung soll erst erfolgen, wenn sichergestellt ist, dass die bestehenden Holzkessel die Nennleistung erbringen und je nach Anlagentyp (mono-/bivalent, mit/ohne Speicher) 2'000 bis 3'000 Nennleistungsstunden pro Jahr erreichen. Zur Deckung kurzfristiger Lastspitzen soll der Einsatz technischer Speicher oder eines Bivalentkessels geprüft werden.

Bezüger mit hohen Rücklauftemperaturen müssen lokalisiert und deren hydraulische Einbindung an die Fernleitung entsprechend angepasst werden. Die Technische Anschlussverordnung (TAV) soll die maximal zulässige Rücklauftemperatur der Wärmebezüger begrenzen. Die Vorlauftemperatur soll in Funktion der Aussentemperatur abgesenkt werden.

Feuerung

Bei den drei Feuerungen, bei denen die Nennleistung untersucht wurde, wurde sie nicht erreicht. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass die Einstellung von Brennstoff- und Luftmenge nicht korrekt ist oder ein Brennstoff eingesetzt wird, für den die Feuerung nicht geeignet oder nicht richtig eingestellt ist. Es ist andererseits auch möglich, dass die Feuerung bei Inbetriebnahme auf eine niedrige Leistung eingestellt wird, weil noch nicht alle Wärmebezüger am Wärmeverbund angeschlossen sind. Die Folge davon sind hoher Luftüberschuss, tiefer Wirkungsgrad, hohe Emissionen an CO und Staub, rasche Verschmutzung der Kesselzüge, hoher Reinigungsaufwand. Es wird auch vermutet, dass die Einstellungen für die Minimalleistung der Feuerungen ungünstig sind.

Das Ziel der Einregulierung einer Feuerung ist, die Feuerung bei einem Luftüberschuss im Bereich von 1.5 bis 1.8 zu betreiben. Dazu muss ein genügend grosses, stabiles Brennstoffbett vorhanden sein. So kann die angegebene Nennleistung erbracht werden, sind die Emissionen tief und der feuerungstechnische Wirkungsgrad hoch. Ausserdem muss der Abgasventilator weniger Abgas fördern bzw. werden Stromkosten gespart. Auch die Wartungskosten sinken, da die Verschmutzung des Kessels langsamer erfolgt.

Das Einregulieren erfordert genügend Zeit, damit optimale Einstellungen bei Nennleistung und Teillast gefunden werden. Das Servicepersonal muss entsprechend geschult sein. Es wird empfohlen, die Anlagen einmal pro Jahr oder bei einem Wechsel des Brennstoffsortiments durch den Feuerungshersteller einregulieren zu lassen.

Bei den meisten Feuerungen wurden schnelle Schwankungen der Feuerungsleistung bzw. der Brennstoffzufuhr festgestellt. Diese Schwankungen können durch Optimierung der Reglereinstellungen verringert werden. Grundsätzlich besteht hier aber ein Entwicklungsbedarf; einerseits muss die Feuerung bei annähernd konstantem Wärmeleistungsbedarf die entsprechende Kesselleistung ohne Leistungsschwankungen erbringen. Andererseits müssen schnelle Schwankungen im Wärmeleistungsbedarf beim Ansteigen oder Absinken regeltechnisch unterschiedlich behandelt werden.

Planung

Bauvorhaben sollen nach den Richtlinien und Zielwerten von QS Holzheizung geplant werden. Investitionsentscheide sollen erst gefällt werden, wenn Verträge oder zumindest schriftliche Absichtserklärungen von interessierten Wärmebezüglern vorliegen.

Brennstoff

Es soll darauf geachtet werden, dass keine Fremdnässe (Regen, Schnee) an gelagertes Stammholz oder gelagerte Schnitzel kommt. Beim Hacken sollen immer scharfe Messer verwendet werden, damit Schnitzel mit geringem Feinanteil produziert werden.

Betriebsoptimierung

Es hat sich gezeigt, dass für die Beurteilung des korrekten Zusammenspiels von Wärmeerzeugung und Wärmeabnahme die Aufzeichnung von Betriebsdaten wie zeitlicher Verlauf von Wärmebezug, Feuerungsleistungen, Speicherladezuständen, Temperaturen und Emissionen notwendig ist. Für QS Holzheizung wird die Aufzeichnung dieser Daten für die Betriebsoptimierung verlangt. Für bereits realisierte Anlagen soll eine Betriebsoptimierung nach Bedarf soweit möglich durchgeführt werden

Vorgehen für die zweite Phase der Systemoptimierung

Die Pilotphase der Systemoptimierung hat gezeigt, dass bei den Betreibern von Holzheizungen und Wärmeverbünden ein grosses Bedürfnis besteht, Transparenz über ihre Kosten- und Ertragsstruktur zu gewinnen und zu wissen, wo sie im Vergleich zu ähnlichen Anlagen stehen.

Durch das Aufzeigen von Perspektiven, wie sie die Ertragslage verbessern können, erhalten sie die Möglichkeit, die Geschicke des Wärmeverbunds aktiv und positiv zu beeinflussen.

Das Aufzeigen von meist unbemerkten technischen Mängeln und deren Behebung führt zu Reduktion von Betriebskosten, zur Erhöhung des Wirkungsgrades und zur Verminderung von Emissionen.

An ausgewählten Anlagen soll eine umfassende Betriebsoptimierung mit der Erfassung der entsprechenden Daten durchgeführt werden. Dadurch wird eine Erfolgskontrolle möglich.

Im weiteren sind folgende Arbeiten geplant:

- Berechnungsmodell für Bestimmung des Jahresnutzungsgrads kontrollieren und vergleichen mit Anlagedaten (Jahreswärmeproduktion und Jahresschnitzelverbrauch)
- Kriterien für "guten" Feuerungsbetrieb definieren
- Betreiber von Anlagen aus der Holzindustrie zur Teilnahme an der Systemoptimierung motivieren
- Messprogramm an ausgewählter Anlage zur Situationsanalyse und als Erfolgskontrolle nach der Realisierung von vorgeschlagenen Massnahmen durchführen

7. Quellen

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

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

8. Anhang

8.1. Resultatübersicht

Erläuterungen zu Tabelle 8.1:

WE	Wärmeerzeugung
WV	Wärmeverteilung
Betreiberangaben	Eigenangabe des Betreibers
Vollkosten / Nettokosten	Die Wärmegestehungskosten auf Basis einer Vollkostenrechnung berücksichtigen alle Kosten des Wärmeverbands, insbesondere die Kapitalkosten für die gesamte getätigte Investition, unabhängig von der Art der Finanzierung (Finanzhilfe, Eigenmittel, Anschlussgebühren). So können die Wärmegestehungskosten von Anlagen mit unterschiedlicher Finanzierung verglichen werden. Die Nettokosten ergeben sich nach Abzug von Anschlussgebühren, Eigenmitteln und Finanzhilfe.
Aus Gesamtinvestition gemäss Annuitätenmethode und Annahmen über Betriebskosten	Kapitalkosten für Wärmeerzeugung und -verteilung sind mit der Annuitätenmethode berechnet. Die Betriebskosten sind mit Annahmen berechnet. Als Brennstoffkosten werden die Betreiberangaben verwendet.
Annahmen:	
Annuitätsfaktor Wärmeerzeugung	0.080 –
Nutzungsdauer	20 Jahre
Kapitalzinssatz	5.0 %
Annuitätsfaktor Wärmeverteilung	0.065 –
Nutzungsdauer	30 Jahre
Kapitalzinssatz	5.0 %
Allg. Betriebskosten WE in % der totalen Investitionskosten	4.6 %
Allg. Betriebskosten WV in % der totalen Investitionskosten	1.1 %
Referenzfall QS mit realer Anlagenauslegung gemäss Grafiken QS	Wärmegestehungskosten sind bestimmt mit Hilfe der Grafiken von QS Holzheizung (Planung und Ausführung S. 49) mit den effektiven Anlagedaten (Nennleistung, Anschlussdichte ...)
Referenzfall QS mit optimierter Anlagenauslegung gemäss Grafiken QS	Wärmegestehungskosten sind bestimmt mit Hilfe der Grafiken von QS Holzheizung (Planung und Ausführung S. 49) mit der effektiven Nennleistung, aber mit einer Anschlussdichte von 2 MWh/a Tm.

Anlage	Standort Fabrikat Fabrikat Fabrikat Inbetriebnahme Wärmeerzeugungs	1		2		3		4		5							
		A	USR	240 kW	A	USR	700 kW	B	USR	700 kW	C		USR	580 kW	D	VSR	1600 kW
		A	USR	80 kW	A	USR	700 kW				Ölkessel	195 kW		Ölkessel		400 kW	
						Ölkessel	360 kW				Ölkessel in Schulhaus						
			1998			1992			1995		1992			1995			
			Monovalente Zweikesselanlage ohne Speicher		Bivalente Zweikesselanlage mit Speicher		Monovalente Einkesselanlage ohne Speicher		Bivalente Einkesselanlage (alternativ) mit Speicher mit Ölkessel in Schulhaus		Bivalente Einkesselanlage ohne Speicher						
			Zielwerte OS			Zielwerte OS erfüllt											
			Betriebsangaben			Betriebsangaben											
						Aus Gesamtinvestition gemäss Annuliertmethode und Annahmen über Betriebskosten											
						Referenzfall OS mit realer Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Referenzfall OS mit optimierter Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Zielwerte OS erfüllt											
						Betriebsangaben											
						Aus Gesamtinvestition gemäss Annuliertmethode und Annahmen über Betriebskosten											
						Referenzfall OS mit realer Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Referenzfall OS mit optimierter Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Zielwerte OS erfüllt											
						Betriebsangaben											
						Aus Gesamtinvestition gemäss Annuliertmethode und Annahmen über Betriebskosten											
						Referenzfall OS mit realer Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Referenzfall OS mit optimierter Anlagenauslegung gemäss Grafiken OS											
						Zielwerte OS erfüllt											
Kapitalkosten	Wärmeerzeugung WE	Rp-N/WRN/WSJ				4.1											
	Wärmeverteilung WV	Rp-N/WRN/WSJ				4.3											
	Netto	Rp-N/WRN/WSJ				5.8	5.8										
	zuzügl. Anschlussgebühren u. Eigenmittel	Rp-N/WRN/WSJ				1.9											
	zuzügl. Finanzhilfen	Rp-N/WRN/WSJ				0.6											
	Vollkosten	Rp-N/WRN/WSJ				8.3	8.4										
Betriebskosten o. Br.	WE	Rp-N/WRN/WSJ				2.4											
	WV	Rp-N/WRN/WSJ				0.7											
	Total	Rp-N/WRN/WSJ				2.1	3.0	-									
Wärmeerzeugung o. Br.		Rp-N/WRN/WSJ	3 .. 4			6.5	4.2	3.5	-								
Wärmeverteilung		Rp-N/WRN/WSJ	2.5 .. 3.5			4.9	4.0	2.8	-								
Brennstoffkosten		Rp-N/WRN/WSJ	2.5 .. 4			4.1	4.1	4.0	3.2	+							
Vollkosten		Rp-N/WRN/WSJ	8 .. 11.5			15.5	12.2	9.5	-								
abzügl. Anschlussgebühren u. Eigenmittel		Rp-N/WRN/WSJ				-1.9	-1.9	-1.9	-								
abzügl. Finanzhilfen		Rp-N/WRN/WSJ				-0.6	-0.6	-0.6	-								
Nettokosten		Rp-N/WRN/WSJ				11.9	12.9	9.6	6.9	-							
						9.4	10.4	10.2	4.2	-							
						12.9	10.2	4.2	-								
						9.6	10.2	4.2	-								
						6.9	4.2	-	-								
Wärmeerzeugung WE	Nennleistungsst. Holz	h/a	> 2'000	n		2'513											
	Wirkungsgradgrad WE	%	> 85 – 90	n		78.0											
	Verluste WE	%	< 10 – 15	n		22.0											
Wärmeverteilung WV	Anschlussdichte	MW/m² T10 a	> 2.0	n		1.21											
	Wirkungsgradgrad WV	%	< 90	n		85.0											
	Verluste WV	%	< 10	n		15.0											
	Volllaststunden Bezüger	h/a	1'900 - 2'500	n		1'864											
Wärmeerzeugung und Wärmeverteilung	Wirkungsgradgrad WE+WV	%	> 77 – 81	n		66.3											
	Verluste WE+WV	%	< 23 – 19	n		33.7											
Brennstoff	Art		Fichte/Tanne: WSH-g45-w50			Buche: WSH-g45-w50											
	Feuchte		+			+											
	Feinanteil		+			+											
Hilfsenergie	%		n			1.7	1.5 - 2.5	+	2.5	1.5 - 2.5	+	3.6	1.5 - 2.5	+	2.4	1.5 - 2.5	+
Sicherheitsaspekte	Gärgasabsaugung		+			+											
	Brandschutzlücke		-			+											
Rücklauftemperaturen niedrig			+			-											
Vorlauftemperatur = f(Aussentemperatur)			+			n											
Einhalten der Kesselnennleistung			-			-											
Stabile Leistungsregelung			-			-											
Störungsfreie Transportsysteme			+			+											
Ölkessel hydraulisch korrekt eingebunden			-			-											
Einstellungen optimal	Emissionen niedrig		-			-											
	Brennstoffmenge/Luftmenge		-			-											
	Luftüberschuss niedrig		-			-											
	feuerungst. Wirkungsgrad hoch		-			-											
	Kesselverschmutzung gering		-			-											
Bericht zugestellt			-			-											

Tabelle 8.1: Zusammenstellung der Resultate der 5 untersuchten Anlagen (n: nicht bestimmt, USR: Unterschubfeuerung, VSR: Vorschubrostfeuerung).

8.2. Übersicht Schwachstellen und zugehörige Massnahmen

Wirtschaftliche Schwachstellen	Massnahmen	Zeithorizont
Hohe Wärmegestehungskosten	W1 Ausscheiden von geeigneten Wärmeversorgungsgebieten in einem Perimeterplan	kurzfristig
	W2 Verdichten des bestehenden Netzes durch Anschliessen geeigneter Wärmebezüger und evtl. installierte Leistung ausbauen	mittelfristig
	W3 Ausbau des bestehenden Netzes in geeignete Wärmeversorgungsgebiete und evtl. installierte Leistung ausbauen	mittelfristig
	W4 Tarifmodell anpassen: jährliche, leistungsabhängige Grundgebühr attraktiver Wärmepreis	kurzfristig
Hohe Kapitalkosten wegen hohem Investitionsvolumen		
Hoher Aufwand für Wartung, Unterschätzung des effektiven Aufwands für Wartung	W5 Einbau einer automatischen Kesselabreinigung	kurzfristig
Hoher Aufwand für Hilfsenergie	T11	

Tabelle 8.2: Übersicht der wirtschaftlichen Schwachstellen mit zugehörigen Massnahmen zur Behebung.

Technische Schwachstellen	Massnahmen	Zeithorizont
Wärmeerzeugung		
Nichterreichen der Kesselnennleistung	T1 Regelparameter anpassen, geeigneten Brennstoff einsetzen	kurzfristig
Ungeeigneter Brennstoff (zu feucht, hoher Feinanteil)	T2 Bessere Schnitzelqualität verwenden, Hacker statt Shredder einsetzen, Hacker mit scharfen Messern einsetzen, keine Fremdnässe an Stammholz oder gelagerte Schnitzel, bei grossem Silo Schnitzel im Frühjahr einlagern und trocknen lassen	kurzfristig
Störungen im Transportsystem	T2 Bessere Schnitzelqualität verwenden, Hacker statt Shredder einsetzen, Hacker mit scharfen Messern einsetzen, keine Überlängen	kurzfristig
Fehlende Gärgasabsaugung	T3 Nachrüsten zur Einhaltung von Vorschriften und Eliminierung von Sicherheitsmängeln	kurzfristig
Fehlende Brandschutztüre zwischen Hydraulikraum und Heizraum	T4 Nachrüsten zur Einhaltung von Vorschriften und Eliminierung von Sicherheitsmängeln	kurzfristig
Schwingende Leistungsregelung	T5 Regelparameter anpassen, Regler verlangsamen	kurzfristig
Zu kleines Brennstoffbett	T6 Regelparameter anpassen, Luft- und Materialeinstellung optimieren	kurzfristig
Ölkessel kann bei alleinigem Betrieb wegen hoher Rücklauf- temperatur des Netzes Leistung nicht abgeben	T7 T8 und/oder Thermostat des Ölkessels höher stellen	kurzfristig
Wärmeverteilung		
Geringe Anschlussdichte	W1, W2, W3	
Hohe Wärmeverluste wegen: Überdimensionierung Rohrdurchmesser	W1, W2, W3	
Hohe Rücklauf-temperatur	T8 TAV anpassen, maximale Rücklauf-temperatur der Bezüger begrenzen, hydraulische Einbindung der Bezüger prüfen	kurzfristig
Hohe Vorlauf-temperatur	T9 TAV anpassen, Vorlauf-temperatur in Funktion der Aussentemperatur absenken	kurzfristig
Geringer Wärmebezug im Sommer	T10 Stilllegen von Stamm- oder Zweigleitungen während Sommerbetrieb und Umrüsten auf dezentrale Warmwasseraufbereitung prüfen	
Hoher Stromverbrauch der Fernleitungspumpen	T11 Drehzahlgesteuerte Pumpen verwenden, Proportionaldruck- statt Konstantdruckregelung einsetzen, Druckmessdose am Ende der Stammleitung platzieren	kurzfristig

Tabelle 8.3: Übersicht der technischen Schwachstellen mit zugehörigen Massnahmen zur Behebung.