	FAQ Inhaltsverzeichnis		FAQ
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Inhaltsverzeichnis

- FAQ 1: GELÖSCHT – Wie wird der Speicherladezustand erfasst?*
- FAQ 2: Messung der Hauptvorlauftemperatur vor oder nach dem Bypass?*
- FAQ 3: GELÖSCHT – Rücklaufhochhaltung bei Betriebsart MANUELL und LOKAL*
- FAQ 4: GELÖSCHT – Geht «Öl-/Gaskessel allein» auch im Sommerbetrieb?*
- FAQ 5: Wann sind Bypässe in den Kesselkreisen sinnvoll und wann nicht?*
- FAQ 6: Wie soll die Expansionsanlage angeschlossen werden?*
- FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung?*
- FAQ 8: Wie soll die Darstellung der Daten in der Betriebsoptimierung erfolgen?*
- FAQ 9: Wie soll ein kondensierender Gaskessel eingebunden werden?*
- FAQ 10: Wie kann ein externer Öl-/Gaskessel eingebunden werden?*
- FAQ 11: Wie soll ein Pelletskessel mit Speicher betrieben werden?*
- FAQ 12: Wie gross muss die Minimallast eines Holzkessels im Schwachlastbetrieb sein?*
- FAQ 13: Wie soll die Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN freigegeben und gesperrt werden?*
- FAQ 14: Welche Rolle spielen Reihenfolge und Entfernung von Wärmeerzeugern, Speicher usw.?*
- FAQ 15: Wie kann ein «druckloser» Verteiler an einer Fernleitung angeschlossen werden?*
- FAQ 16: GELÖSCHT – Gibt es Standardschaltungen für Dreikesselanlagen?*
- FAQ 17: Wie soll ein Abgaswärmetauscher eingebunden werden?*
- FAQ 18: Was ist beim Einbau von Partikelabscheidern zu beachten?*
- FAQ 19: Wie ist der Kesselkreis auszulegen und welche Sollwerte sind einzustellen?*
- FAQ 20: Wie kann eine Folgeschaltung für monovalente Dreikesselanlagen realisiert werden?*
- FAQ 21: Was sind die Vorteile eines Speichers und wie soll er ausgelegt werden?*
- FAQ 22: Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei einem gemeinsamen Elektro-Partikelabscheider?*
- FAQ 23: Wie wird der Holz-Deckungsgrad berechnet?*
- FAQ 24: Welche Massnahmen gibt es für eine tiefe Rücklauftemperatur?*
- FAQ 25: Welche Möglichkeiten gibt es zur Wärmezählung im Holzkesselkreis?*
- FAQ 26: Welche Anforderungen bestehen an die Leistungsregelung über den Speicherladezustand?*
- FAQ 27: Was ist zur Brandvermeidung in Schnitzel-Silos und -Aussenlagern zu tun?*
- FAQ 28: Wie erfolgt der Schwachlastbetrieb im Winter?*
- FAQ 29: Welche Fernleitungs-Vorlauftemperaturen und -Volumenströme sollen gefahren werden?*
- FAQ 30: Welche Schaltungen zur Trinkwassererwärmung sind für Fernwärmenetze geeignet?*
- FAQ 31: Wie sollen Wärmetauscher ausgelegt und abgeglichen werden?*

FAQ 32: Wie sollen Sonnenkollektoren eingebunden werden?

FAQ 33: Was ist beim Trinkwarmwasser-Zirkulationssystem zu beachten?

FAQ 34: Wie wird die Verschmutzung des Trinkwassers durch Heizungswasser verhindert?

FAQ 35: Was ist bei der sekundärseitigen Optimierung der Wärmeabnehmer zu beachten?


*FAQ 36: Neue Klassifizierung von Brennstoffen und Partikelgrößen basierend auf der
EN ISO 17225-1:2014 und der EN ISO 17225-4:2013*

FAQ 37: Wann sind 1/3-2/3-Ventile sinnvoll?

FAQ 38: Wie wird die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern bestimmt?

FAQ Literatur, Downloads und Impressum


Alle im Inhaltsverzeichnis aufgeführten FAQ's, die Literatur, Downloads und Impressum und das Gesamtdokument können in der jeweils aktuellsten Version unter www.qmholzheizwerke.ch als PDF-Dokumente gratis heruntergeladen werden.

	FAQ 2: Messung der Hauptvorlauftemperatur vor oder nach dem Bypass?		FAQ 2	
	Erste Veröffentlichung: 2008 oder davor	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009		
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.			

Bei der Standardschaltung WE3 «Bivalente Holzheizungsanlage ohne Speicher» gemäss «Standardschaltungen – Teil I» [2] wird die Hauptvorlauftemperatur T341 (Hauptregelgrösse) vor dem Bypass gemessen; die Messung nach dem Bypass bei T342 ist nur als Variante mit Maximalvorrang auf die Rücklauftemperatur bei T344 vorgesehen. Wieso wird nicht grundsätzlich nach dem Bypass gemessen und dann auf einen möglichst tiefen Wert (z. B. grösste momentane Wärmeanforderung) geregelt?

Bei Normalbetrieb stehen die Regelventile der Kessel auf Durchgang. Damit steht im Kesselkreis normalerweise der grösstmögliche Durchfluss zur Verfügung. Nur bei extremen Laständerungen greift die Rücklaufhochhaltung ein und reduziert den Durchfluss. Im Normalbetrieb wird somit der Bypass immer von oben nach unten durchflossen und beide Fühler messen den gleichen Wert. Solange dies der Fall ist, ist die Messung vor dem Bypass einfach sicherer (der Fühler ist immer gut umströmt, weil er sich nicht im «toten Wasser» befindet). Die Messung nach dem Bypass und Regelung auf einen möglichst tiefen Wert ist problematisch. Sobald nämlich der Bypass von unten nach oben zirkuliert, sind die hoch eingestellten Rücklaufhochhalteregler wegen des kalten Rücklaufs dauernd im Eingriff, während die Wärmeerzeuger ohne oder mit tief eingestellter Rücklaufhochhaltung mit Maximaldurchfluss arbeiten. Bei solchen Anlagen einen ruhigen Betrieb zu erreichen ist auch mit aufwendigem Abgleich nur schwer zu erreichen. Zusammenfassend kann gesagt werden:

- Messung vor dem Bypass und Regelung auf hohen Festwert ist eine sichere Lösung (Standardschaltung)
- Messung nach dem Bypass und Regelung auf einen hohen Festwert ist ebenfalls möglich (wird als Standardschaltungs-Variante anerkannt)
- Messung nach dem Bypass und Regelung auf einen möglichst tiefen Wert ist problematisch (wird deshalb normalerweise nicht als Standardschaltung anerkannt)

	FAQ 5: Wann sind Bypässe in den Kesselkreisen sinnvoll und wann nicht?		FAQ 5
	Erste Veröffentlichung: 2008 oder davor	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

In «Standardschaltungen – Teil I» [2] sind in allen Kesselkreisen Bypässe eigezeichnet (beispielsweise D311 und D321 in FAQ 5), die realisiert oder weggelassen werden können. Wann sind diese Bypässe sinnvoll und wann nicht?

Bypässe sind in der Regel sinnvoll,

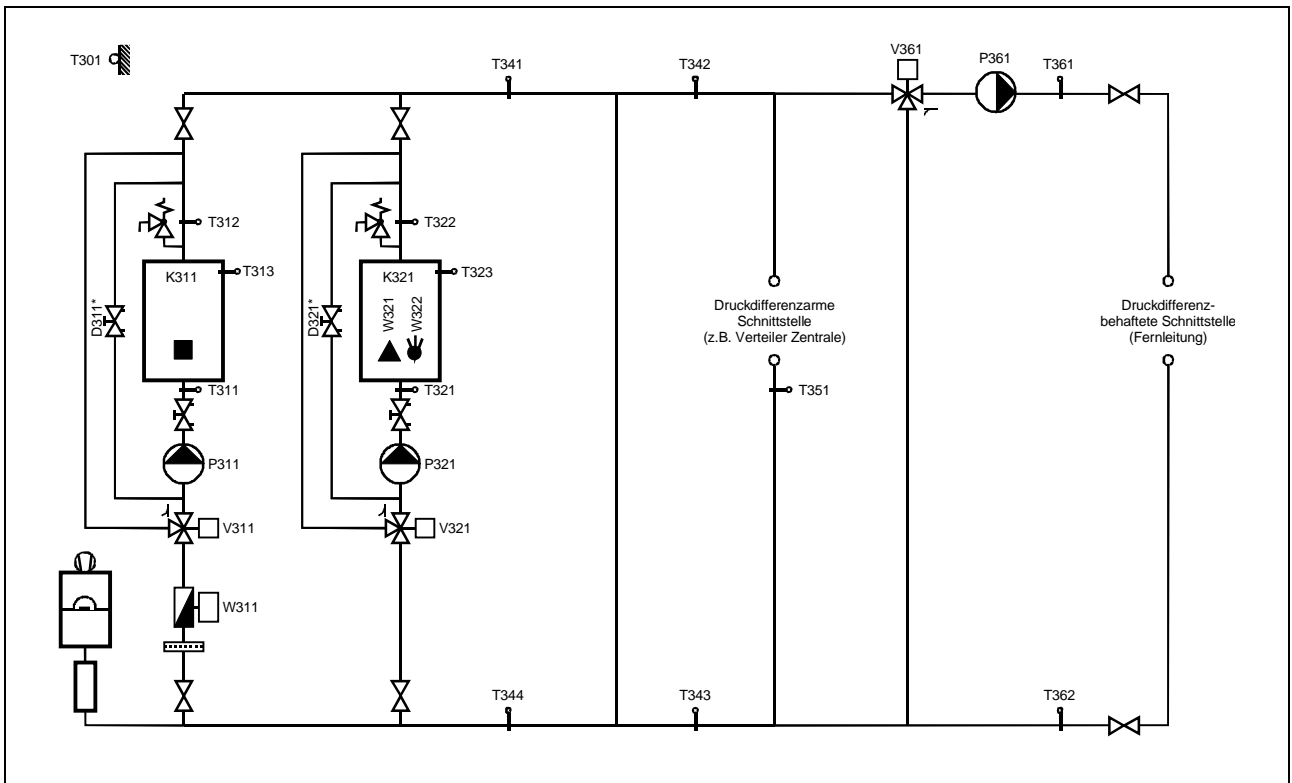
- wenn die Temperaturdifferenz zwischen Kessel-Austrittstemperatur und Kessel-Eintrittstemperatur um mehr als 10 K kleiner ist als die Temperaturdifferenz zwischen Kessel-Austrittstemperatur und maximal zulässiger Hauptrücklauftemperatur T343 (so kann das Mischventil kleiner ausgelegt und sein Regelbereich vollständig genutzt werden);
- wenn sichergestellt ist, dass die Hauptrücklauftemperatur in keinem Betriebsfall über den Auslegewert ansteigen kann (nur so kann die Leistung in jedem Fall abgegeben werden).

Auf die Bypässe sollte jedoch verzichtet werden, wenn die Temperaturdifferenz über den Kesselkreisen (T341–T344) bei Schaltung WE3 tief gehalten werden muss. Beim Zuschalten von Kessel 2 hat dieser, sobald er die minimal zulässige Eintrittstemperatur erreicht hat, den vollen Volumenstrom bei Minimalleistung und damit eine kleinere Temperaturdifferenz zwischen Eintritt und Austritt als Kessel 1 mit Vollast. Diese Abweichung bewirkt ein «Floaten» der Kesselwassertemperaturen: Die Temperatur T312 von Kessel 1 (Vollast) ist höher und T322 von Kessel 2 (Teillast) tiefer als die Hauptvorlauftemperatur T341.


Beispiel: Zwei Kessel in Schaltung WE3 haben die gleiche Leistung und sind identisch auf 85°C Hauptvorlauftemperatur und 55°C Hauptrücklauftemperatur ausgelegt. Die Temperaturdifferenz über den Kesselkreisen beträgt bei 100% Leistung ohne Bypass 15 K bzw. mit Bypass 30 K. Die Leistung von Kessel 1 wird durch den Sequenzregler auf 100% gehalten, während Kessel 2 eine Leistung von 33% abgibt. Somit ergeben sich folgende Temperaturen:

- Die Rücklauftemperatur von Kesselkreis 1 ist zwangsläufig gleich hoch wie die Rücklauftemperatur von Kesselkreis 2, also mit insgesamt 133% Leistung (von maximal 200%) $85-10=75^{\circ}\text{C}$ ohne Bypass bzw. $85-20=65^{\circ}\text{C}$ mit Bypass
- Resultierende Austrittstemperatur Kessel 2 (33% Leistung von maximal 100%) ohne Bypass $75+5=80^{\circ}\text{C}$ bzw. mit Bypass $65+10=75^{\circ}\text{C}$
- Um eine Hauptvorlauftemperatur von 85°C zu erreichen (Mischung 1:1), steigt die Kesselwassertemperatur von Kessel 1 ohne Bypass lediglich auf $75+15=90^{\circ}\text{C}$ mit Bypass hingegen auf $65+30=95^{\circ}\text{C}$

Mit einer Austrittstemperaturregelung bei Kessel 2 kann das Floaten verhindert werden. Falls die Hauptvorlauftemperatur bei T341 gemessen wird, muss aber sichergestellt sein, dass der Haupt-Bypass im Normalbetrieb immer von oben nach unten zirkuliert (Durchfluss Kesselkreis 1 genügend gross oder Minimaldurchfluss bei Kessel 2 sicherstellen), sonst muss bei T342 gemessen werden (Maximalvorrang zusammen mit T344). Die Austrittstemperaturregelung muss deaktiviert sein, wenn Kessel 2 allein läuft (z. B. wenn Kessel 1 auf Störung).



FAQ 5 Abbildung 1: Standardanschaltung WE3

	FAQ 6: Wie soll die Expansionsanlage angeschlossen werden?		FAQ 6
	Erste Veröffentlichung: 2008 oder davor	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

In «Standardschaltungen – Teil I» [2] sind Pumpen am Kesseleintritt gezeichnet und die Expansionsanlage ist hinter den Pumpen am Hauptrücklauf angeschlossen. Sind diese Anschlussarten zwingend?

Die gewählten Anschlussarten sind ein Kompromiss unterschiedlicher Forderungen, die im Folgenden beschrieben werden.

Sowohl bei Pumpen wie auch bei Expansionsanlagen ist die Lebensdauer unter anderem von der Betriebstemperatur abhängig. Somit ist der Einbau im Rücklauf bezüglich der tieferen Betriebstemperatur in beiden Fällen besser. (Durch ein Vorgefäß kann die Betriebstemperatur einer Expansionsanlage in jedem Falle wirksam reduziert werden.)

Der Kessel wirkt als Absetzkammer für Schwebeteile im Heizwasser. Aus dieser Sicht ist der Einbau der Pumpe im Vorlauf günstiger. (Dieser Punkt steht immer im Widerspruch zum ersten und wurde in den Standardschaltungen nicht berücksichtigt.)

Um Dampfbildung zu vermeiden, muss der Druck in der Anlage immer höher sein als der Dampfdruck des Wassers. Kritisch sind hier Temperaturen über 100°C und Stellen hoher Strömungsgeschwindigkeit:

- Wasser von 120°C erfordert beispielsweise rund 1 bar mehr Druck als Wasser von unter 100°C, um sicher über dem Dampfdruck zu bleiben
- Innerhalb einer Pumpe kann der Dampfdruck örtlich unterschritten werden, weil es aus konstruktiven Gründen Bereiche gibt, an denen der Druck kleiner ist als der Zulaufdruck; Folgen sind Lärm und Materialzerstörung durch Druckspitzen, sogenannte Kavitation (Hersteller schreiben deshalb einen Mindestdruck am Saugstutzen vor)

Stopfbuchsen, Gewinde, automatische Entlüfter usw. sind Bauteile, die zwar bei Überdruck von innen wasserdicht sind, aber bei Überdruck von aussen sind sie nicht luftdicht. Folgen sind Korrosionsschäden und Verschmutzung der Anlage durch die Korrosionsprodukte.

Die Erwärmung von Wasser von beispielsweise 10°C auf 100°C ergibt eine Wasserausdehnung von 4,3%. Damit die Expansionsanlage diese erhebliche Wassermenge ungehindert aufnehmen kann, dürfen keine Absperrungen im Weg sein. Kritisch sind Vierwegemischer, Revisionsabsperrhahnen usw., weil diese die Expansionsanlage vollständig von der übrigen Anlage trennen können. Der Sicherheitsvorlauf bei offenen Expansionsgefäßen darf unter keinen Umständen absperrbar sein. Bei Druckexpansionsgefäßen muss die Sicherheit durch separate Sicherheitsventile an jedem Wärmeerzeuger gewährleistet sein. Was erlaubt ist und was nicht, ist den örtlichen Normen und Vorschriften zu entnehmen.

Die Bauteile in den Standardschaltungen sind so angeordnet, dass in der Regel keine Probleme entstehen. In kritischen Fällen sollten die Druckverhältnisse der Anlage jedoch genauer analysiert werden, mit dem Ziel, in jedem regulären Betriebsfall an jedem Punkt der Anlage genügend Überdruck zu garantieren. Hierzu ist es notwendig, denjenigen Punkt in der Anlage zu kennen, an dem immer der statische Druck herrscht, unabhängig davon, ob die Pumpe läuft oder nicht. Dieser Punkt, der sogenannte **Anlagenullpunkt**, ist immer der Anschlusspunkt der Expansionsanlage (egal, ob offenes Expansionsgefäß, Druckexpansionsgefäß oder Druckhalteautomat).

Beispiel 1 (FAQ 6 FAQ 6 Abbildung 1): Guter Kompromiss

- Die Pumpe im Vorlauf ist zwar ein Nachteil (höhere Betriebstemperatur als im Rücklauf), dafür kann der Kessel als Absetzkammer für Schwebeteilchen im Heizwasser genutzt werden
- Das Druckexpansionsgefäß ist am Rücklauf angeschlossen (niedrigere Betriebstemperatur als im Vorlauf), dafür wird der Nachteil in Kauf genommen, dass der Zulaufdruck der Pumpe etwas tiefer liegt als bei einem Anschluss des Expansionsgefäßes direkt hinter der Pumpe

Bei diesem Beispiel ist in jedem Punkt der Anlage immer genügend Überdruck vorhanden:

- Der Zulaufdruck der Pumpe liegt nur geringfügig unter dem statischen Druck der Anlage, d. h. es ist keine Kavitation zu befürchten
- Alle Bauteile haben einen deutlichen Überdruck, d. h. es ist kein Eindringen von Luft in die Anlage zu befürchten

Beispiel 2 (FAQ 6 FAQ 6 Abbildung 1): Schlechter Kompromiss

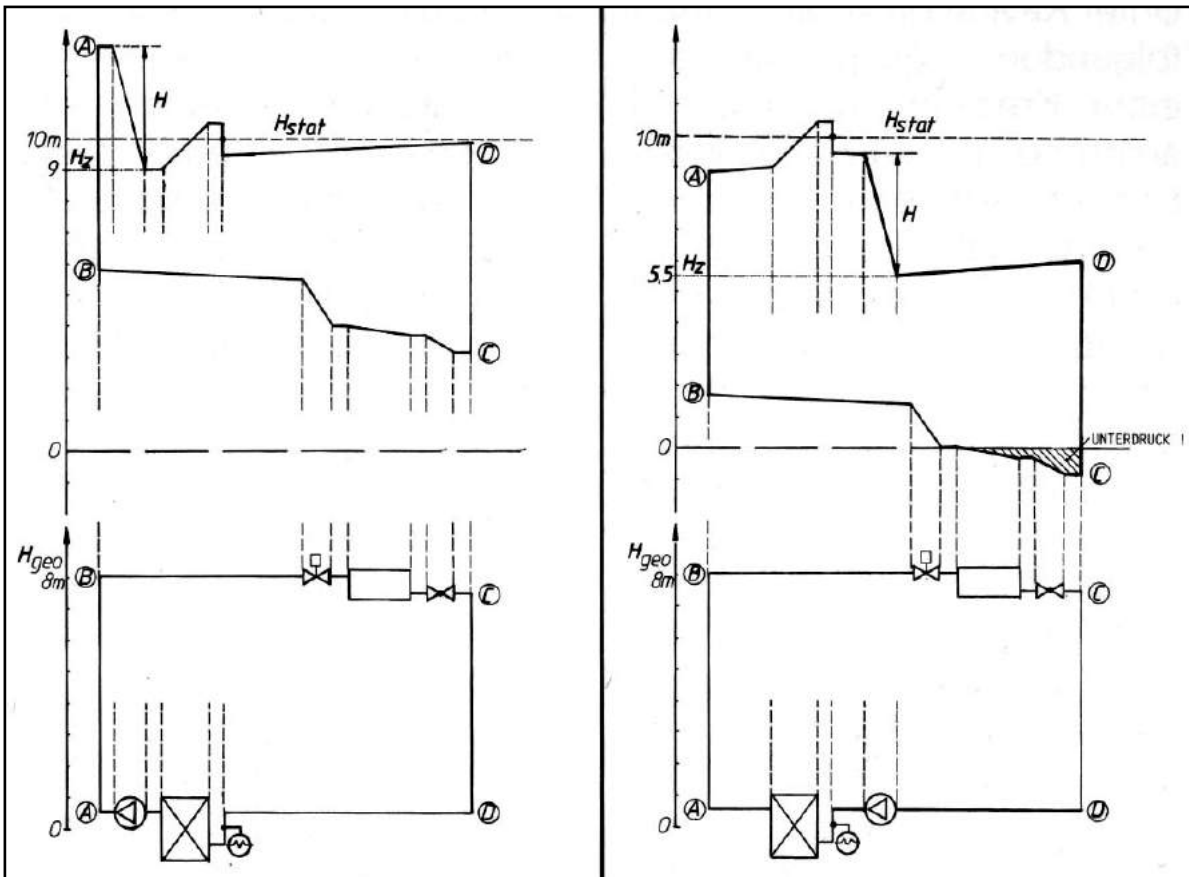
- Die Pumpe ist im Rücklauf eingebaut (niedrigere Betriebstemperatur als im Vorlauf), dafür kann der Kessel nicht als Absetzkammer für Schwebeteilchen im Heizwasser genutzt werden
- Das Druckexpansionsgefäß ist am Rücklauf angeschlossen (niedrigere Betriebstemperatur als im Vorlauf), aber es ist auf der Druckseite der Pumpe angeschlossen

Der erste Punkt ist ein geringfügiger Nachteil. Der zweite Punkt ist hingegen viel gravierender, der Anschluss des Druckexpansionsgefäßes auf der Druckseite der Pumpe ist sehr problematisch, weil sich damit eine ausserordentlich ungünstige Druckverteilung in der Anlage ergibt:


- Der Zulaufdruck der Pumpe liegt viel weiter unter dem statischen Druck der Anlage als in Beispiel 1, d. h. es besteht die Gefahr von Kavitation in der Pumpe
- Einzelne Bauteile liegen sogar in einem Unterdruckgebiet, d. h. hier kann Luft in die Anlage eindringen und zu Korrosionsschäden und Verschmutzung führen
- Bei Anlagen mit Betriebstemperaturen über 100°C besteht ganz generell die Gefahr, dass der Dampfdruck örtlich unterschritten wird

Situation bei den Standardschaltungen: Der Anschluss der Expansionsanlage ist ein Kompromiss

- Kesselpumpen und Expansionsanlage befinden sich im kälteren Rücklauf und die Expansionsanlage ist noch zusätzlich durch ein Vorgefäß geschützt
- Die Wärmeerzeuger sind durch separate Sicherheitsventile gegen Überdruck abgesichert; die Sicherheit ist damit auch dann gewährleistet, wenn die Kessel durch Schliessen der Schieber von der Expansionsanlage abgetrennt würden
- Der Anlagenullpunkt ist durch den Anschluss der Expansionsanlage im Hauptrücklauf nicht allzu weit von den Saugstutzen der Pumpen entfernt; der Zulaufdruck der Pumpe liegt damit nur geringfügig unter dem statischen Druck der Anlage (d. h. es ist keine Kavitation zu befürchten), und alle Bauteile haben einen deutlichen Überdruck (d. h. es ist kein Eindringen von Luft in die Anlage zu befürchten)



FAQ 6 Abbildung 1: Beispiel 1 (links), Beispiel 2 (rechts); Bild: Grundfos

	FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung?		FAQ 7
	Erste Veröffentlichung: 2008 oder davor	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

«Standard-Schaltungen – Teil I» [2] fordert bei allen Mehrkesselanlagen eine Sequenzregelung nach der Hauptregelgrösse. Was ist eine Sequenzregelung?

Bei der Beurteilung von Regelkreisen muss immer als Erstes geklärt werden: Was ist Regelgrösse, was ist Stellgrösse? Im Falle der Sequenzregelung einer Mehrkesselanlage ist bei Schaltungen ohne Speicher die Hauptvorlauftemperatur die (Haupt-)Regelgrösse und bei Anlagen mit Speicher der Speicherladezustand. Stellgrösse ist die Feuerungsleistung der beiden Kessel.

Ein weiterer Punkt führt immer wieder zu Missverständnissen: Der Unterschied zwischen der Ein-/Aus-schaltung bzw. der stetigen Regelung eines Kessels und der Freigabe/Sperrung eines Kessels. Da bei Holzheizungsanlagen immer der Holzkessel Führungskessel ist, ist die Frage der Freigabe/Sperrung nur für den Öl-/Gaskessel als Folgekessel von Bedeutung:

Die **Ein-/Ausschaltung bzw. stetigen Regelung (Modulation)** der beiden Kessel erfolgt immer über die Sequenzregelung, die weiter unten erklärt wird.

Die **Freigabe/Sperrung** des Öl-/Gaskessels ist ein Zusatzkriterium zur Sequenzregelung und bedeutet, dass das Stellsignal der Sequenzregelung freigegeben oder gesperrt wird. Damit soll verhindert werden, dass der Öl-/Gaskessel allzu häufig in Betrieb genommen wird. Mögliche Freigabe-/Sperrkriterien sind:

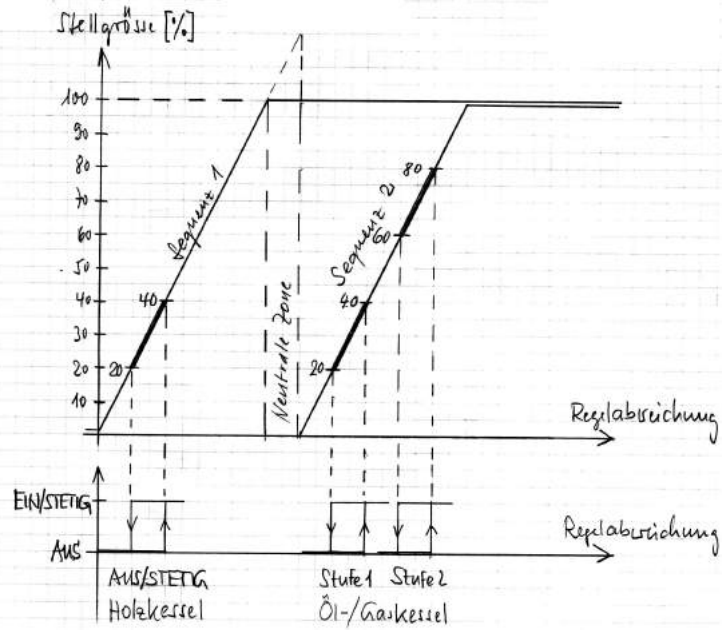
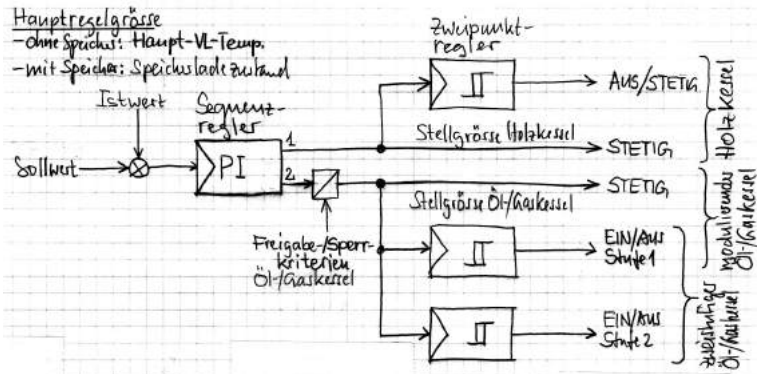
- Freigabe, wenn bestimmte minimale Aussentemperatur UND Sollwert der Feuerungsleistung Holzkessel eine bestimmte Zeit auf 100%
- Freigabe, wenn Vorlauftemperatur für längere Zeit wenig zu tief ODER für kürzere Zeit viel zu tief
- Sperrung (Rückschaltung), wenn Sollwert der Feuerungsleistung Holzkessel eine bestimmte Zeit wieder auf 90%

Wie eine **Sequenzregelung** für zwei Kessel prinzipiell funktioniert, zeigt FAQ 7 FAQ 7 Abbildung 1:


- Jeder Kessel hat eine eigene Sequenz, die stetig zwischen 0% und 100% arbeitet (meist PI-Regler mit relativ grosser Nachstellzeit).
- Beim Holzkessel sorgt ein zusätzlicher Zweipunktregler für die Umschaltung zwischen AUS (bzw. Glutbettunterhalt) und stetiger Regelung. Beispiel: STETIG > 40%, AUS < 20%
- Dasselbe Prinzip ergibt sich bei einem modulierenden Öl-/Gasbrenner. Bei einem zweistufigen Öl-/Gasbrenner muss ein zweiter Zweipunktregler für Stufe 2 vorgesehen werden. Beispiel für Stufe 2: EIN > 80%, AUS < 60%
- Die beiden Sequenzen können durch eine (einstellbare) Neutralzone getrennt werden. Praktisch bedeutet dies, dass die erste Sequenz auf über 100% ansteigen muss, bis die zweite Sequenz bei 0% beginnt. Diese Neutralzone hat einen ähnlichen, aber weniger starken Effekt wie die oben beschriebenen Freigabekriterien: Die zweite Sequenz kommt erst in Funktion, wenn die Hauptregelgrösse kurzzeitig stark ODER für längere Zeit wenig abweicht.
- Die Sequenz kann noch durch spezielle Bedingungen ergänzt werden. Beispiele: Zusätzliche Anzugsverzögerung für Stufe 2 bei Freigabe des Öl-/Gaskessels, damit Stufe 2 wirklich nur kommt, wenn sie tatsächlich gebraucht wird; Überspringen der Neutralzone beim Zurückfahren, wenn plötzlich viel Last wegfällt

Da der Holzkessel durch den Sequenzregler zwangsläufig immer auf 100% gehalten wird, solange die darüber befindliche Sequenz im Eingriff ist, kann der Öl-/Gaskessel den Holzkessel im Normalfall nicht zum Zurückregeln zwingen. Damit wird ein möglichst hoher Holz-Deckungsgrad erreicht.

Die Standardschaltungen haben – zusätzlichen zum Sequenzregler – einen Begrenzungsregler, der die Kesselwassertemperatur auf einem hohen Sollwert zusätzlich begrenzt. Dieser Begrenzungsregler sollte im Normalfall möglichst nicht zum Eingriff kommen, da dadurch der Deckungsgrad verschlechtert wird.



FAQ 7 Abbildung 1: Sequenzregelung

	FAQ 8: Wie soll die Beurteilung und die Darstellung der Daten in der Betriebsoptimierung erfolgen?		FAQ 8
	Erste Veröffentlichung: 2008 oder davor	Letzte Bearbeitung: 10. Februar 2015	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Bericht Betriebsoptimierung

Wird ein Projekt gemäss QM Holzheizwerke erstellt, wird zwingend eine Betriebsoptimierung gefordert. Verantwortlich für die Interpretation und Beurteilung der Daten ist grundsätzlich der Hauptplaner.

Der Hauptplaner hat Aussagen darüber zu machen,

- ob die Anlage wie vorgesehen funktioniert,
- wo allenfalls noch Mängel oder offene Fragen bestehen und
- wann und wie allfällige Mängel behoben und offene Fragen beantwortet werden.

Der Hauptplaner hat insbesondere folgende Fragen zu beantworten:

- Ist nachgewiesen, dass der Holzkessel die vertraglich vereinbarte Minimal- und Maximalleistung erbringt?
- Arbeitet die Holzfeuerung im diskontinuierlichen Betrieb (Übergangszeit, Sommer) ohne Geruchsbelästigungen?
- Wird die Feuerungsleistung entsprechend dem Bedarf erbracht, ohne dass die abgegebene Leistung schwingt?
- Arbeitet die Leistungsregelung so, dass der Holzkessel immer auf dem tiefst möglichen Leistungs-niveau betrieben wird?
- Für bivalente Anlagen: Wird der Öl/Gaskessel nur freigegeben, wenn wirklich Bedarf vorhanden ist und wird er auch möglichst schnell wieder gesperrt?
- Entsprechen die gemessenen Temperaturen den Planungswerten und ist das Zeitverhalten stabil?

Datenerfassung

Damit die gemäss Betriebsoptimierungskonzept (Leitfaden Checkliste 4 – Zusatzdokument Nr. 424) erfassten Daten interpretiert und beurteilt werden können, ist eine grafische Darstellung der Daten durch den Hauptplaner unerlässlich. Sie muss folgende Anforderungen erfüllen:

- Zur Beurteilung der Auslastung und Verluste sollen Angaben zu Jahreswerten gemäss FAQ 8 Tabelle 1 gemacht werden.
- Darstellung der Wochenverläufe für die Betriebszustände: Übergangszeit mit Schwachlast, Hauptanteil Heizperiode und Kalte Heizperiode gemäss FAQ 8 Tabelle 3.
- Darstellung der Tagesverläufe von ausgewählten Tagen für die Betriebszustände: Übergangszeit mit Schwachlast, Hauptanteil Heizperiode und kalte Heizperiode gemäss FAQ 8 Tabelle 4.
- Einteilung und Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse so, dass numerische Werte leicht herausgelesen werden können (z.B. für die Zeit 14.00, 16.00 usw.; für die Leistung 500, 550, 600 kW usw.; für die Temperaturen 40, 60, 80°C usw.)

Betriebszustände

In der Checkliste MS4 / 424 *Konzept Betriebsoptimierung* sind die minimal zu erfassenden Betriebszustände je nach Standard-Schaltung vorgegeben. In der Regel sind folgende Betriebszustände darzustellen:

- Schwachlast (Übergangszeit oder Sommer)
- Hauptanteil Heizperiode; T_{aussern} im Tagesmittel 0...10 °C; Kaskadenbetrieb *
- Kalte Heizperiode; T_{aussern} im Tagesmittel -5...-10 °C; Kaskadenbetrieb *

* Kaskadenbetrieb des Öl-/Gaskessels oder des zweiten Holzkessels

Daten von Jahreswerten

Daten	Parameter	Kürzel	Wert	Einheit	Beurteilung
Holzkessel 1	Jahresproduktion	Q_{HK_1}		MWh/a	<input type="checkbox"/> Vollbetriebsstundenzahl HK1 <input type="checkbox"/> Richtwert Standardschaltung <input type="checkbox"/> Anzahl Starts pro Jahr
	Nennleistung	$P_{HK_1_Nenn}$		kW	
	Betriebsstunden	—		h/a	
	Gesamt	—		h/a	
	100-75%	—		h/a	
	75-50%	—		h/a	
	50-30%	—		h/a	
Stand-by	—		h/a		
Zünden / Anfahren	—	/	h/a / n		
Holzkessel 2	Jahresproduktion	Q_{HK_2}		MWh/a	<input type="checkbox"/> Vollbetriebsstundenzahl HK2 <input type="checkbox"/> Richtwert Standardschaltung <input type="checkbox"/> Anzahl Starts pro Jahr
	Nennleistung	$P_{HK_2_Nenn}$		kW	
	Betriebsstunden	—		h/a	
	Gesamt	—		h/a	
	100-75%	—		h/a	
	75-50%	—		h/a	
	50-30%	—		h/a	
Stand-by	—		h/a		
Zünden / Anfahren	—	/	h/a / n		
Bivalent- kessel	Jahresproduktion	Q_{BK}		MWh/a	<input type="checkbox"/> Vollbetriebsstundenzahl BK <input type="checkbox"/> Anteil Holz an Jahresproduktion
	Nennleistung	P_{BK_Nenn}		kW	
	Betriebsstunden	—		h/a	
Netz	Jahresbedarf ab Zentrale	Q_N		MWh/a	<input type="checkbox"/> Netzverluste <input type="checkbox"/> DT im Jahresmittel <input type="checkbox"/> Verluste Speicher/Zentrale
	Jahresbedarf der Abnehmer	Q_{AB}		MWh/a	
	Wassermenge	Q_{N_W}		m ³ /a	
Brennstoff- einsatz	Pellet	m_P		kg/a	<input type="checkbox"/> Anlagennutzungsgrad <input type="checkbox"/> Jahresnutzungsgrad Pelletkessel <input type="checkbox"/> Jahresnutzungsgrad Bivalentkessel
	Öl oder Gas	V_{BK}		m ³ /a	

FAQ 8 Tabelle 1: Geforderte Daten von Jahreswerten

Darstellung / Prüfung der Diagramme im Tages- und Wochenverlauf

Auswahlmatrix Standard-Schaltung – Diagramme

Diagramm	Standard-Schaltung								Keine Standard- Schaltung
	WE1	WE2	WE3	WE4	WE5	WE6	WE7	WE8	
WV									<input type="checkbox"/>
UE									<input type="checkbox"/>
HK1									<input type="checkbox"/>
HK2									<input type="checkbox"/>
ZD									<input type="checkbox"/>
SP									<input type="checkbox"/>
Anzahl Diagramme¹	4	5	4	5	5	6	5	6

FAQ 8 Tabelle 2: Auswahlmatrix der Diagramme nach Standard-Schaltungen aufgeschlüsselt. Je nach Standardschaltung sind die Diagramme jeweils für die Betriebszustände Übergangszeit mit Schwachlast, Hauptanteil Heizperiode und Kalte Heizperiode zu erstellen.

¹ Anzahl Diagramme für jeweils einen der Betriebszustände

Wochenverlauf

Diagramm	Parameter	Kürzel	Bez. ²	Einheit	Beurteilung
Wochenverlauf WV	Leistung Holzkessel 1 Ist	P _{HK_1_IST}	Kx11	kW	<input type="checkbox"/> Relevanz Auswahl Tagesverlauf <input type="checkbox"/> Anzahl Starts pro Tag / Woche <input type="checkbox"/> Zu-/Wegschalten Bivalentkessel
	Leistung Holzkessel 2 Ist	P _{HK_2_IST}	Kx21	kW	
	Leistung Bivalentkessel Ist	P _{BK_IST}	Kx21/Kx31	kW	
	Leistung Netz Ist	P _{N_IST}	–	kW	
	Speicher-Ladezustand Ist	–	–	%	
	Aussentemperatur	T _A	Tx01	°C	

FAQ 8 Tabelle 3: Wochenverlauf

Tagesverlauf

Diagramm	Parameter	Kürzel	Bez. ²	Einheit	Beurteilung
Übersicht UE	Aussentemperatur	T _A	Tx01	°C	<input type="checkbox"/> Betriebszustand <input type="checkbox"/> Regelung Speicherladezustand <input type="checkbox"/> Zu-/Wegschalten Bivalentkessel
	Speicher-Ladezustand Ist	–	–	%	
	Speicher-Ladezustand Soll	–	–	%	
	Leistung Holzkessel 1 Ist	P _{HK_1_IST}	Kx11	kW	
	Leistung Holzkessel 2 Ist	P _{HK_2_IST}	Kx21	kW	
	Leistung Bivalentkessel Ist	P _{BK_IST}	Kx21/Kx31	kW	
Holzkessel 1 HK1	Kessel-Austrittstemperatur	T _{HK_1_AUS}	Tx12	°C	<input type="checkbox"/> Nennleistung <input type="checkbox"/> Minimalleistung <input type="checkbox"/> ΔT bei Nennleistung ≤ 15K <input type="checkbox"/> Leistung folgt Bedarf o. Schwingen <input type="checkbox"/> Leistung auf tiefst möglichen Niveau <input type="checkbox"/> Regelung Kessel-Austrittstemperatur <input type="checkbox"/> Anzahl Starts pro Tag ≤ 3...5
	Kessel-Eintrittstemperatur	T _{HK_1_EIN}	Tx11	°C	
	Leistung Holzkessel Ist	P _{HK_1_IST}	Kx11	kW	
	Leistung Holzkessel Soll	P _{HK_1_SOLL}	–	kW, %	
	Restsauerstoff / Lambda	O _{2_HK_1} / λ _{HK_1}	–	% / –	
	Abgastemperatur	T _{HK_1_AG}	–	°C	
Holzkessel 2 HK2	Kessel-Austrittstemperatur	T _{HK_2_AUS}	Tx22	°C	<input type="checkbox"/> Nennleistung <input type="checkbox"/> Minimalleistung <input type="checkbox"/> ΔT bei Nennleistung ≤ 15K <input type="checkbox"/> Leistung folgt Bedarf o. Schwingen <input type="checkbox"/> Leistung auf tiefst möglichen Niveau <input type="checkbox"/> Regelung Kessel-Austrittstemperatur <input type="checkbox"/> Anzahl Starts pro Tag ≤ 3...5
	Kessel-Eintrittstemperatur	T _{HK_2_EIN}	Tx21	°C	
	Leistung Holzkessel Ist	P _{HK_2_IST}	Kx21	kW	
	Leistung Holzkessel Soll	P _{HK_2_SOLL}	–	kW, %	
	Restsauerstoff / Lambda	O _{2_HK_2} / λ _{HK_2}	–	% / –	
	Abgastemperatur	T _{HK_2_AG}	–	°C	
Zusatzdiagramm ZD	Vorlauftemperatur Netz Ist	T _{N_VL_IST}	Tx61	°C	<input type="checkbox"/> T _{VL_IST_N} 5K tiefer als T _{K_AUS} <input type="checkbox"/> ΔT _N ≥ 30K <input type="checkbox"/> Leistung folgt Bedarf ohne Schwingen <input type="checkbox"/> Regelung Kesselaustrittstemperatur <input type="checkbox"/> Freigabe/Sperren
	Rücklauftemperatur Netz Ist	T _{N_RL_IST}	Tx62	°C	
	Leistung Netz Ist	P _{N_IST}	–	kW	
	Freigabesignal Bivalent	–	–	–	
	Haupt-Vorlauf vor Speicher	T _{K_H_VL}	Tx41	°C	
	Haupt-Rücklauf nach Speicher	T _{K_H_RL}	Tx44	°C	
Speicher SP	Temperatur Speicher-Fühler	T ₁ -T _X	Tx31 - Tx3x	°C	<input type="checkbox"/> Schichtung Ladung/Entladung <input type="checkbox"/> Nutzbares DT

FAQ 8 Tabelle 4: Tagesverlauf

Hinweis:

Wird zusätzlich eine Abgaskondensationsanlage installiert und betrieben so soll diese ebenfalls bewertet werden. In diesem Fall sind zusätzlich Parameter aufzuzeichnen und Jahreswerte auszuweisen. Die Festlegung der zusätzlichen Parameter zur Beurteilung erfolgt in Absprache zwischen dem Hauptplaner und dem Q-Beauftragten zum frühestmöglichen Zeitpunkt (am besten bei Meilenstein 1).

² Parameterbezeichnung gemäss Standard-Schaltungen I+II; z.B.: Tx12 wobei x auf die Nummerierung der Standard-Schaltung verweist → WE1: T112 entspricht der Kessel-Austrittstemperatur

Hinweise zur grafischen Darstellung der Daten

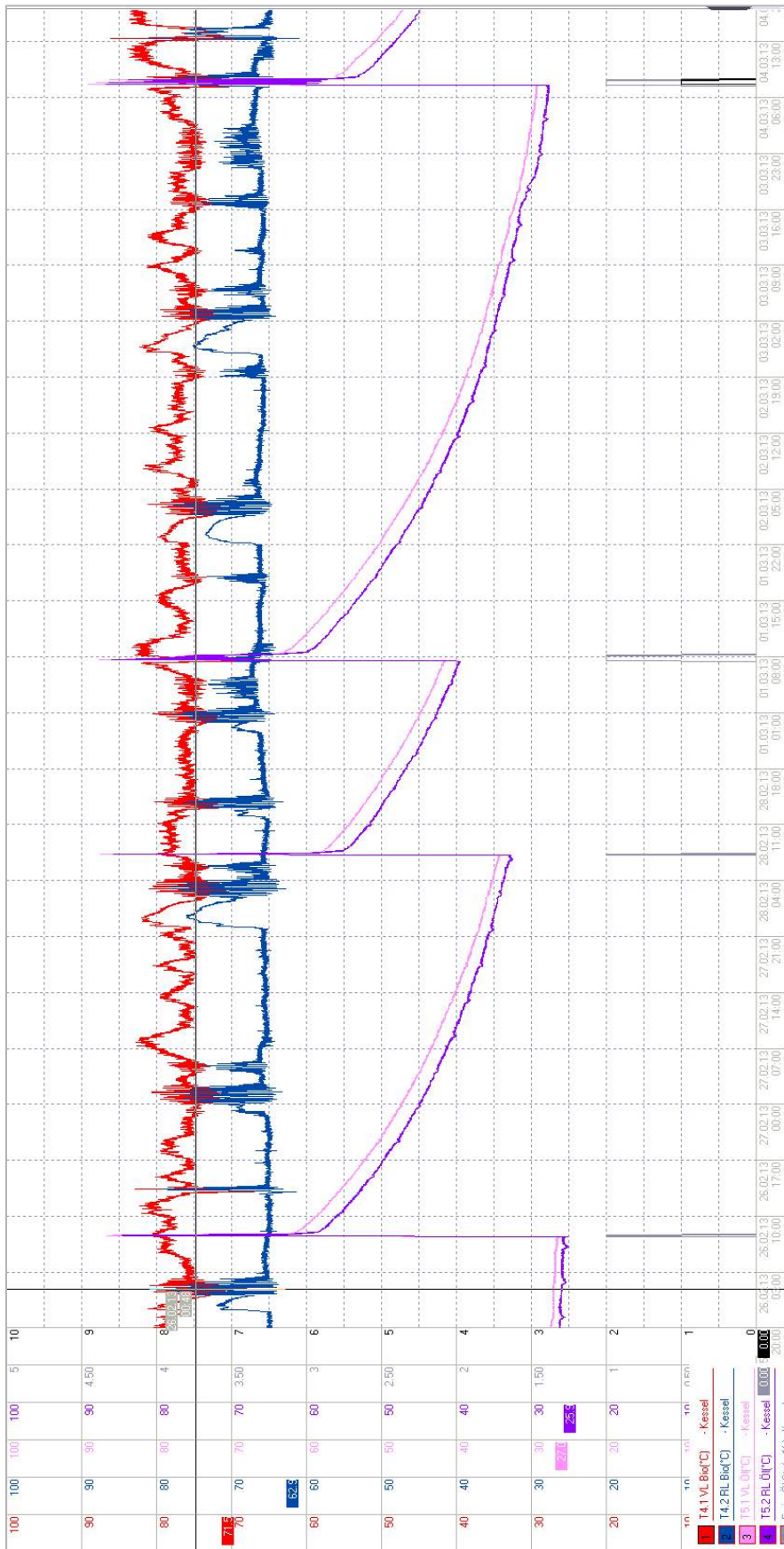
Alle Unterlagen (Bericht, Diagramme, usw.) sind dem Q-Berater in elektronischer Form zuzustellen.

Für die bestmögliche Interpretation der Daten und Beurteilung der Diagramme ist **ein Diagramm pro Seite** (A4 quer) zu erstellen. Die Diagramme können auch integriert in einer Tabellenkalkulation eingesandt werden (z.B. Excel).

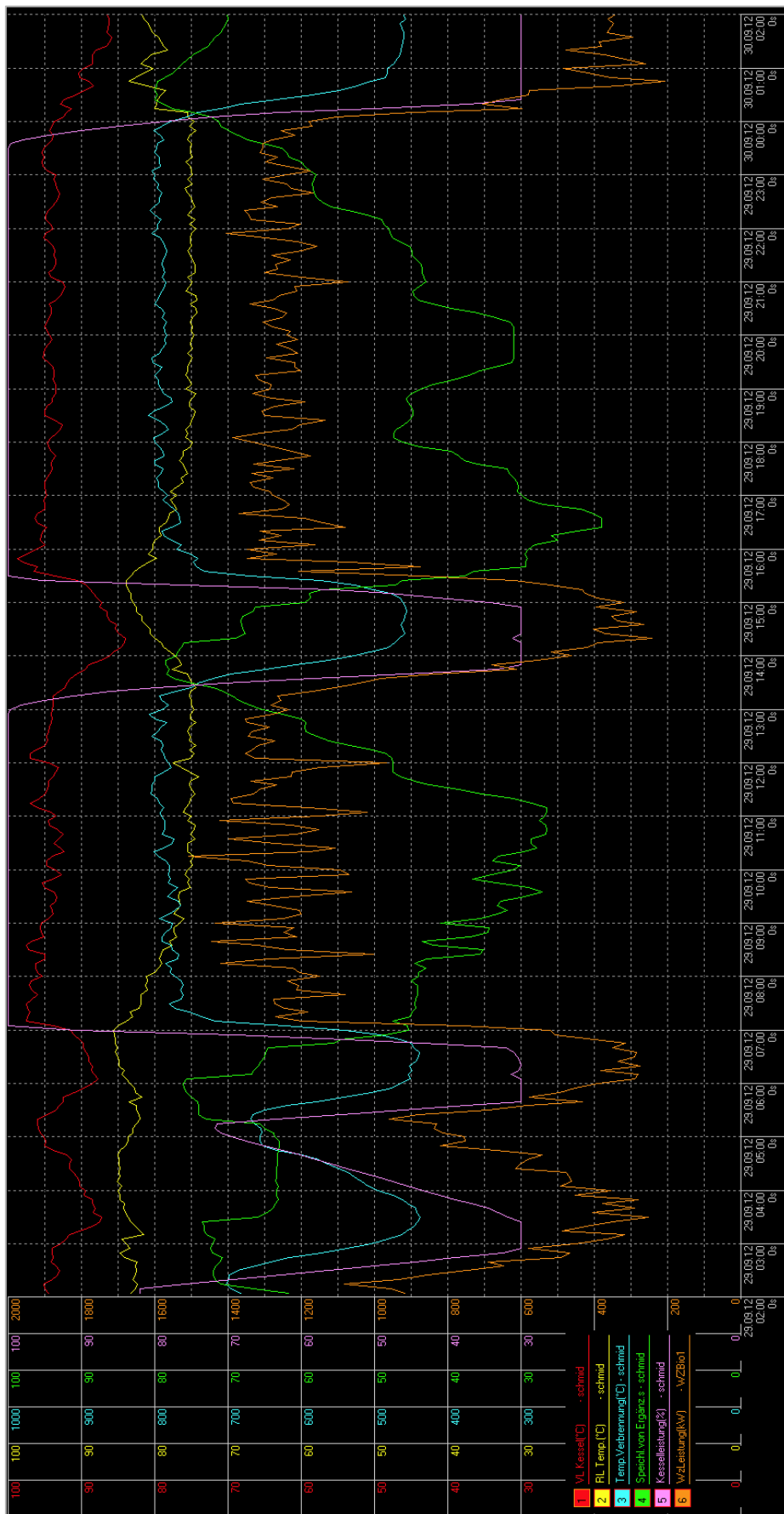
Jedes der einzelnen Diagramme (Tagesverlauf) sollte zur besseren Vergleichbarkeit dieselbe Grösse und Zeiteinteilung mit derselben Start- und Endzeit aufweisen. Somit können die einzelnen Diagramme miteinander (untereinander) verglichen werden.

Die Einteilung und die Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse ist von zentraler Bedeutung, die numerischen Werte sollten einfach herausgelesen werden können (z.B. für die Zeit 14.00, 16.00 usw.; für die Leistung 500, 550, 600 kW usw.; für die Temperaturen 40, 60, 80°C usw.) und die Grafen wenn möglich in kontrastreichen Farben erstellen. Für die Beurteilung von wichtigen Wertepaaren wie: Vor- und Rücklauftemperatur, Ein- und Austrittstemperatur, Ist- und Sollwerte muss zwingend dieselbe Skalierung verwendet werden. Die Skalierung für weitere Parameter können zur besseren Lesbarkeit individuell angepasst werden (z.B. sekundäre Y-Achse).

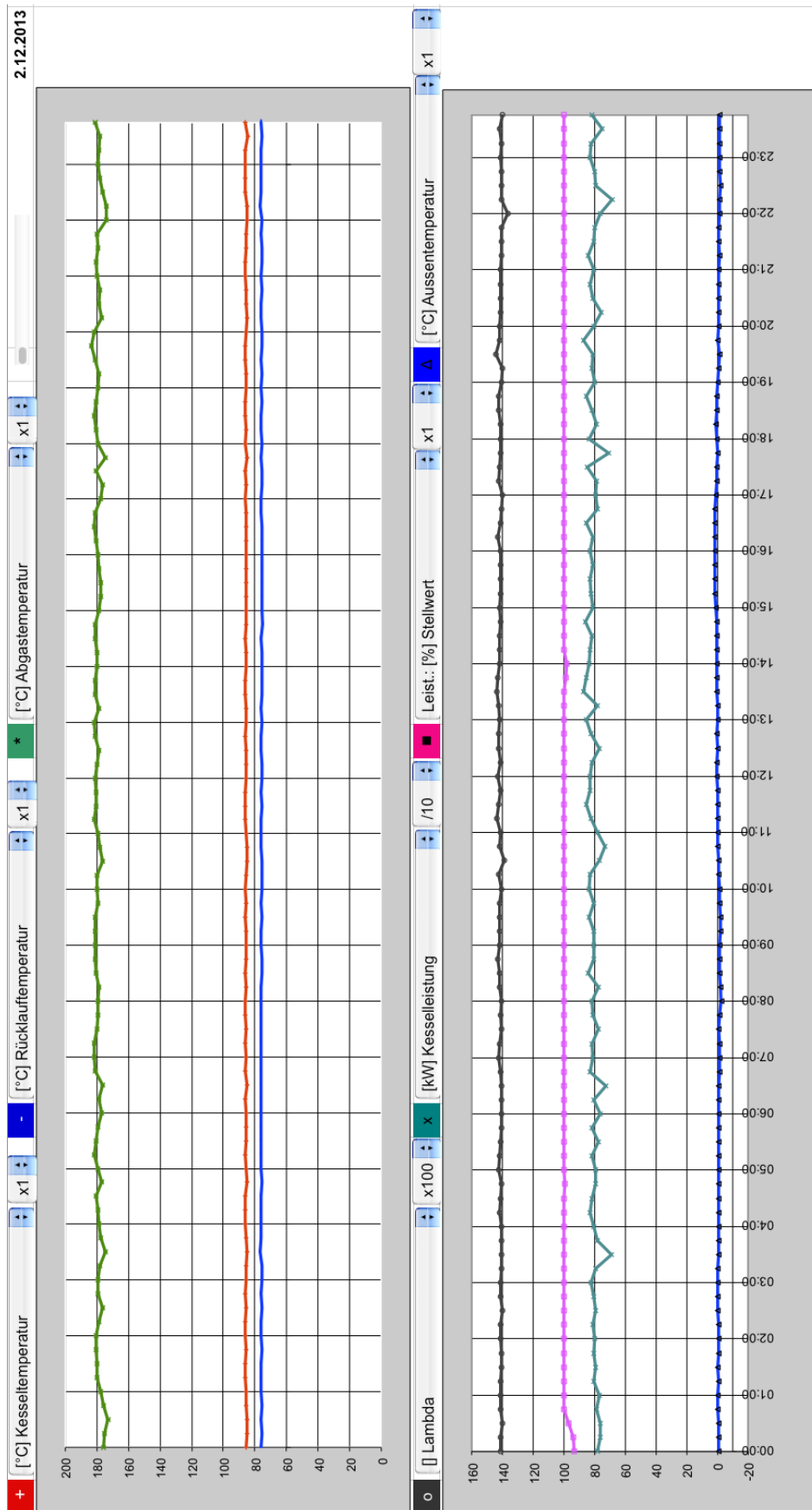
In FAQ 8 Abbildung 1 ist ein Wochenverlauf und in FAQ 8 Abbildung 2, FAQ 8 Abbildung 3 und FAQ 8 Abbildung 4 ist je ein Tagesverlauf zu sehen. Bei allen Abbildungen ist die Zeitachse mit der stündlichen Einteilung gut ablesbar. Eine Einteilung zum Beispiel mit ungeraden Stunden- und Minuten-Angaben würde die Lesbarkeit dramatisch verschlechtern. Die y-Achsen weisen alle eine ablesfreundliche, ganzzahlige Aufteilung in 10er-, 20er- oder 100er-Schritten auf. Für eine verbesserte Lesbarkeit empfiehlt es sich zum Teil einzelne Grafen mit einer anderen Skalierung darzustellen damit die einzelnen Grafen besser auseinander zu halten sind.



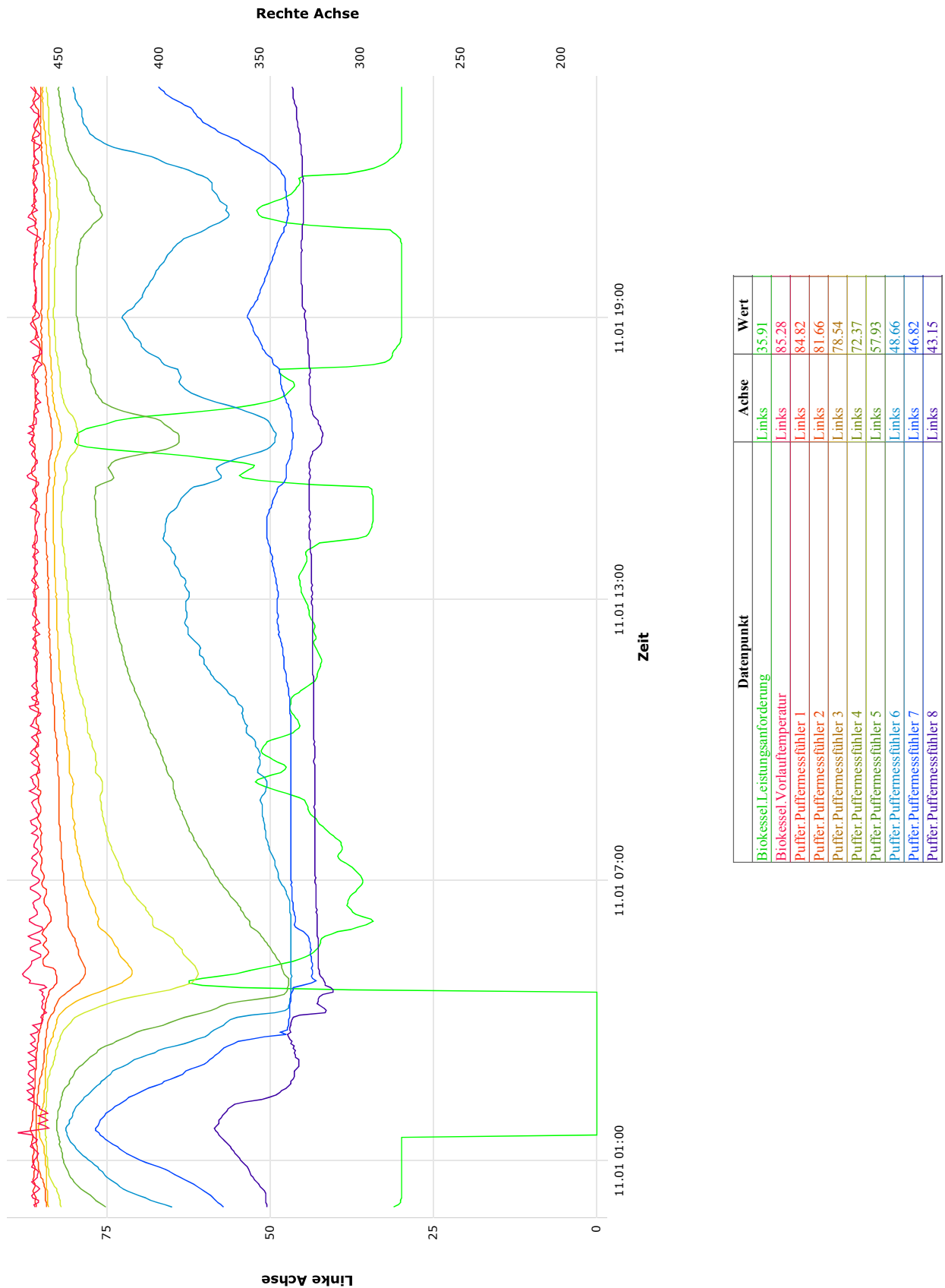
FAQ 8 Abbildung 1: Beispiel für einen Wochenverlauf aus einem übergeordneten Leitsystem. Die in diesem Beispiel gezeigten Parameter entsprechen nicht der Parameterliste nach FAQ 8 Tabelle 3. Dennoch ist die Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse unmissverständlich und klar ersichtlich und die Grafen sind gut voneinander unterscheidbar.



FAQ 8 Abbildung 2: Beispiel für einen Tagesverlauf aus einem übergeordneten Leitsystem. Die in diesem Beispiel gezeigten Parameter entsprechen nicht der Parameterliste einem nach FAQ 8 Tabelle 4 geforderten Diagramm. Dennoch ist die Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse unmissverständlich und klar ersichtlich und die Grafen sind gut voneinander unterscheidbar.



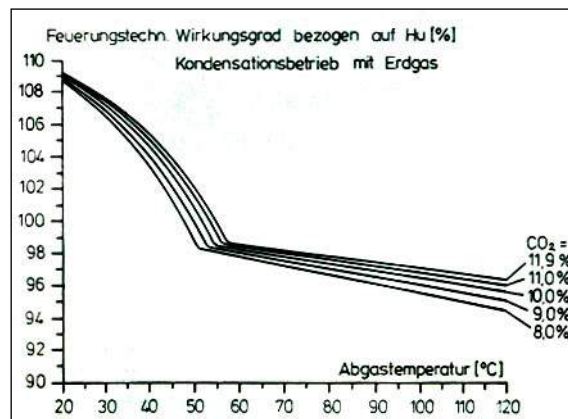
FAQ 8 Abbildung 3: Beispiel für einen Tagesverlauf mit Daten aus der SPS einer Feuerung. Die in diesem Beispiel gezeigten Parameter entsprechen dem Tagesverlauf Holzessel 1 HK1 gemäss der Parameterliste nach FAQ 8 Tabelle 4. Auch hier ist die Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse unmissverständlich und klar ersichtlich und die Grafen sind gut voneinander unterscheidbar. Zu bemerken ist, dass die einzelnen Parameter in der y-Achse mit verschiedenen Skalierungsfaktoren dargestellt werden können. Zusätzlich ist die Aussentemperatur aufgeführt da die Möglichkeit besteht mehr als sechs Parameter aufzuzeichnen und dies die Lesbarkeit nicht behindert.



FAQ 8 Abbildung 4: Beispiel für einen Tagesverlauf aus einem übergeordneten Leitsystem. Die in diesem Beispiel gezeigten Parameter entsprechen dem Tagesverlauf **Speicher SP** gemäss der Parameterliste nach FAQ 8 Tabelle 4. Auch hier ist die Beschriftung der Zeitachse und der y-Achse unmissverständlich und klar ersichtlich und die Grafen sind gut voneinander unterscheidbar. Zusätzlich ist die Soll-Leistung des Holzkessels in % aufgeführt da die Möglichkeit besteht mehr als sechs Parameter aufzuzeichnen und dies die Lesbarkeit nicht behindert.

Kondensierende Gaskessel (Gas-Brennwertkessel) machen nur dann einen Sinn, wenn Sie einen wesentlichen Teil ihrer Betriebszeit im kondensierenden Bereich arbeiten. Was sind die Bedingungen für einen kondensierenden Betrieb und wie muss der kondensierende Gaskessel eingebunden werden?

FAQ 9 Abbildung 1 zeigt, dass für einen kondensierenden Betrieb Abgastemperaturen deutlich unter 55°C notwendig sind. Nur so werden feuerungstechnische Wirkungsgrade von über 100% (bezogen auf den unteren Heizwert) erreicht.



FAQ 9 Abbildung 1: Feuerungstechnischer Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Abgastemperatur

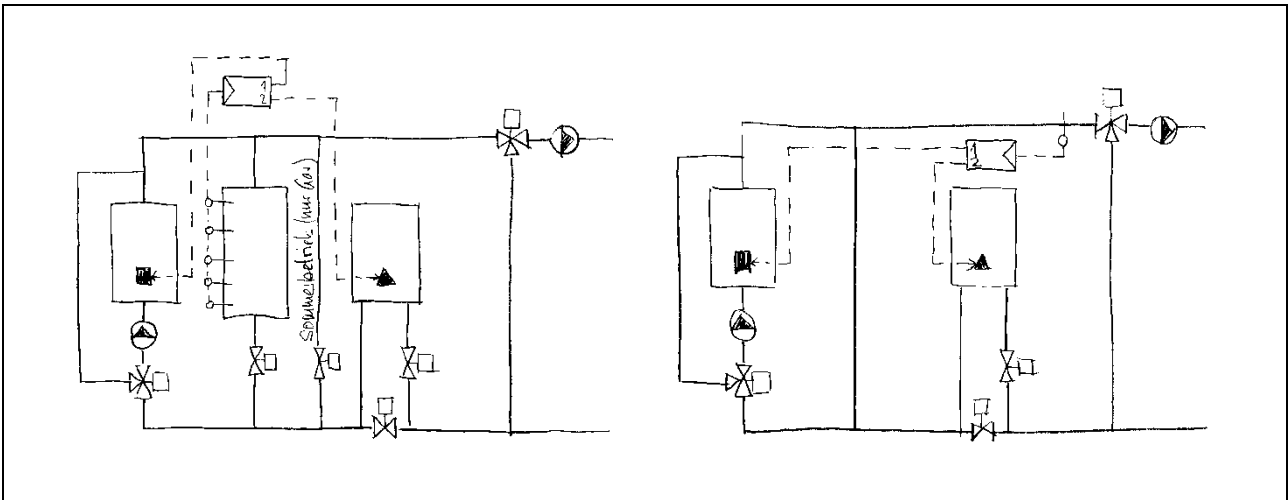
Um die geforderte tiefe Abgastemperatur zu erreichen, genügt es, wenn der letzte Teil der Wärmeaustauschfläche des Heizkessels so tief abgekühlt wird, dass dort das Wasser in den Abgasen möglichst weitgehend auskondensieren kann. Deshalb haben kondensierende Gaskessel oft zwei Rückläufe: einen Niedertemperatur- und einen Hochtemperatur-Rücklauf. Da bei üblichen Folgeschaltungen nur ein Rücklauf – nämlich der Hauptrücklauf – zur Verfügung steht, wird hier davon ausgegangen, dass der Kesselkreis allein über den Niedertemperatur-Rücklauf betrieben wird.

Wenn also die Hauptrücklauftemperatur einer Holzheizungsanlage während eines grossen Teiles der Betriebszeit mit dem Folgekessel deutlich unter 55°C liegt, ist der Einsatz eines kondensierenden Gaskessels als Folgekessel gerechtfertigt. Dazu muss der Gaskessel aber so eingebunden werden, dass er mit der tiefstmöglichen Hauptrücklauftemperatur betrieben werden kann.

Diese Forderung erfüllt vor allem die Serienschaltung, weil hier der Gaskessel zwangsläufig mit der tiefstmöglichen Rücklauftemperatur bei einem kleinen Temperaturhub (Kondensation immer gewährleistet) betrieben werden kann. Eine Parallelschaltungen ist schwieriger zu realisieren, weil hier der Rücklauf nicht durch einen Bypass hochgemischt werden darf und zudem ein viel grösserer Temperaturhub (Kondensation nur im untersten Bereich gewährleistet) bewältigt werden muss.

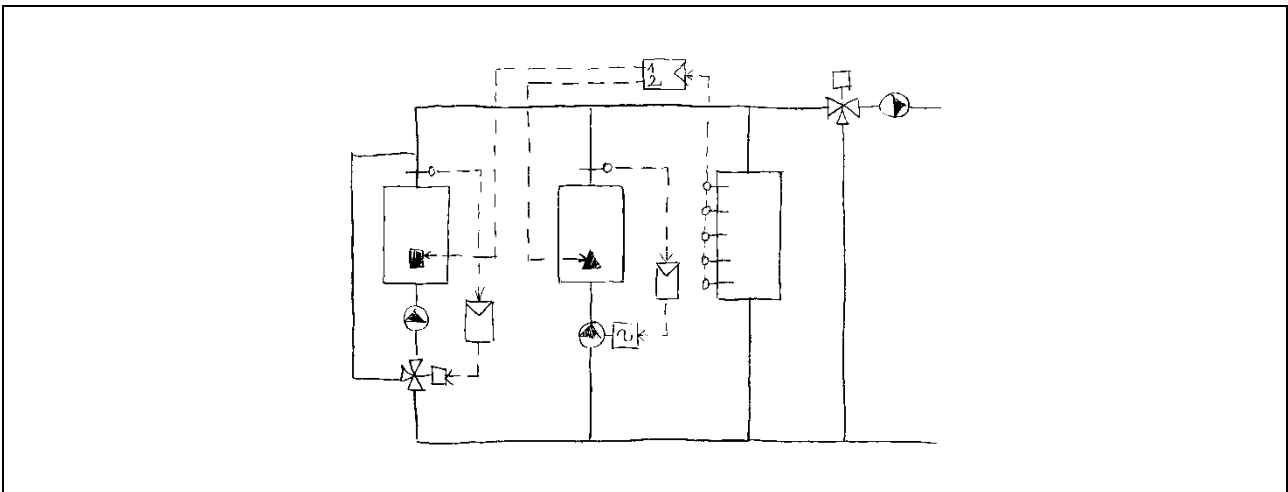
Beispiel 1 (FAQ 9 Abbildung 2): Zwangsdurchströmter Gaskessel in Serienschaltung (mit und ohne Speicher möglich). Durch Umschaltung der beiden Motorklappen wird der Gaskessel in den Hauptrücklauf geschaltet und damit zwangsdurchströmt. Durch die Sequenzregelung wird dann die Gaskesselleistung solange erhöht, bis die Hauptvorlauftemperatur (bzw. der Speicherladezustand) wieder den gewünschten Sollwert erreicht. Im Falle eines Speichers muss die Austrittstemperatur des Heizkessels geregelt werden. Falls der Sommerbetrieb allein mit dem Gaskessel erfolgt, sollte der Speicher dazu umgangen werden können. Zwei Bedingungen müssen hier erfüllt sein:

- Der vom Gaskesselhersteller vorgeschriebene Minimaldurchfluss durch den Gaskessel muss in jedem Betriebsfall gewährleistet sein
- Der Durchfluss durch den Gaskessel ist zwangsläufig relativ gross, der Druckabfall über dem Gaskessel darf aber nicht zu gross werden, weil sonst die Ventilautorität der Vorregelung bei zugeschaltetem Gaskessel nicht mehr gewährleistet ist



FAQ 9 Abbildung 2: Zwangsdurchströmter Gaskessel in Serienschaltung

Beispiel 2 (FAQ 9 Abbildung 3): Gaskessel mit variablem Durchfluss in Parallelschaltung (nur mit Speicher möglich). Die Austrittstemperatur des Gaskessels wird durch Drehzahlverstellung der Kesselpumpe geregelt. Durch die Sequenzregelung wird die Gaskesselleistung solange erhöht, bis der Speicherladungszustand wieder den gewünschten Sollwert erreicht. Nachteilig ist bei dieser Schaltung der grosse Temperaturhub über dem Gaskessel; nur ein kleiner Teil der Wärmeaustauschfläche des Heizkessels wird deshalb im kondensierenden Bereich liegen.



FAQ 9 Abbildung 3: Gaskessel mit variablem Durchfluss in Parallelschaltung

Es kommt relativ oft vor, dass ein bestehender Öl-/Gaskessel in ein Wärmenetz eingebunden werden soll, der nicht in der Heizzentrale mit dem Holzkessel steht. Wie kann ein solcher externer Öl-/Gaskessel eingebunden werden?

Dieses Thema wurde bereits im Planungshandbuch [4] auf Seite 189/190 behandelt. Dort werden zwei Lösungsvorschläge gezeigt:

1. Öl-/Gaskessel im Wärmenetz (Planungshandbuch [4], Bild 16.14).
2. Holzkessel und Öl-/Gaskessel an zwei Standorten je mit druckdifferenzarmer Wärmeabnahme (Planungshandbuch [4], Bild 16.15).

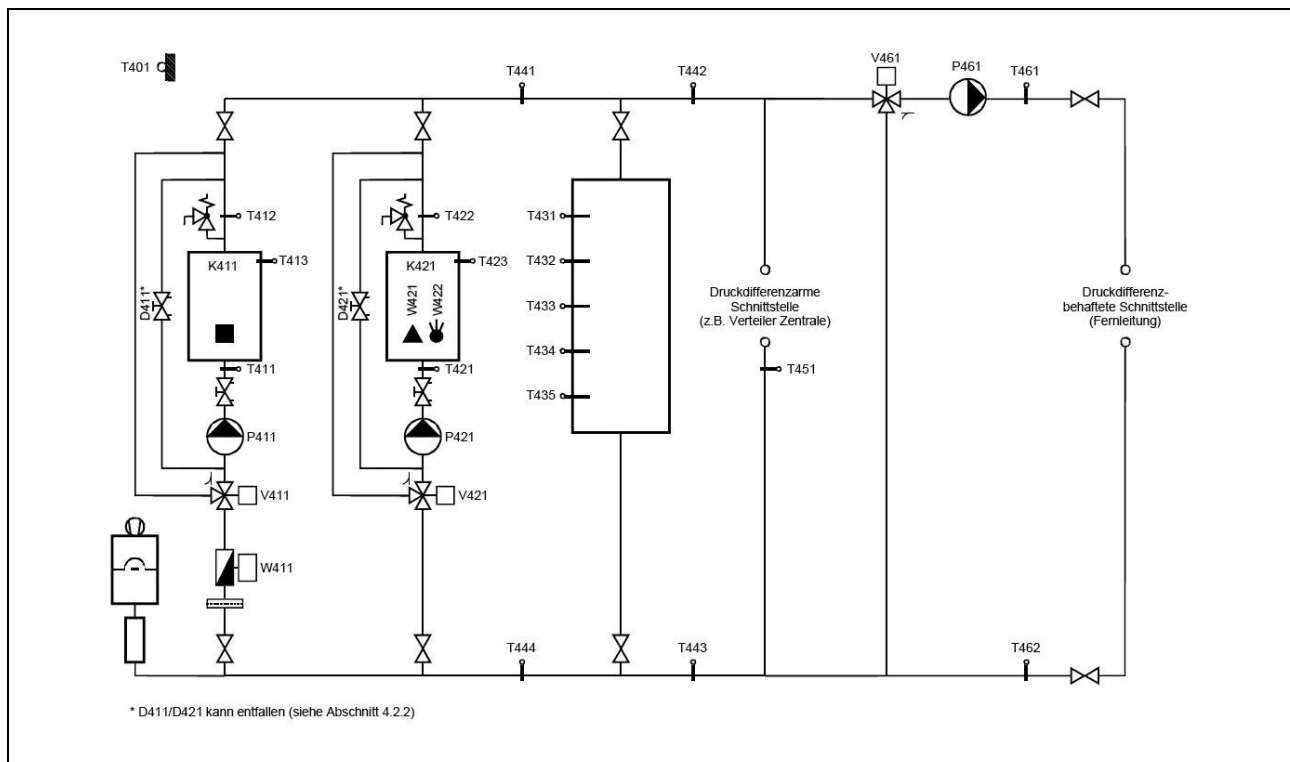
Der Vollständigkeit halber muss auch noch eine weitere Möglichkeit erwähnt werden:

3. Lastabwurf, d. h. ein Teil der Anlage wird vom Netz abgetrennt und durch einen eigenen Öl-/Gaskessel versorgt. Die Last eines Teils des Netzes wird also «abgeworfen» und muss so nicht mehr durch den Holzkessel erbracht werden.

Diese drei Lösungen sind ausdrücklich keine fertigen Standard-Schaltungen, sondern lediglich Lösungsvorschläge, die geprüft werden können, wenn ein externer Öl-/Gaskessel eingebunden werden soll. Lösung 1 wird im Folgenden noch etwas ausführlicher für eine Anlage mit Speicher beschrieben.

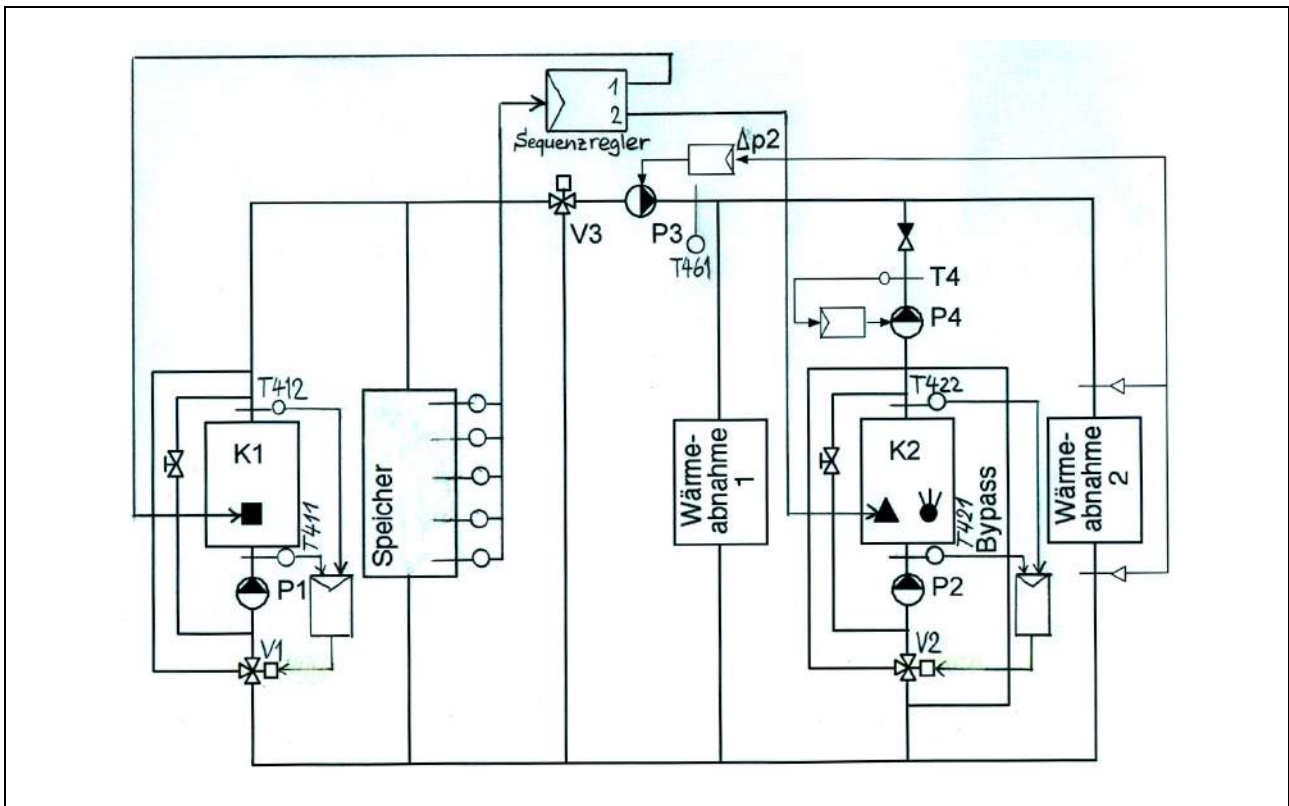
Herleitung der hydraulischen Schaltung

Basis für die hydraulische und regelungstechnische Auslegung ist Standard-Schaltung WE4 (FAQ 10 Abbildung 1), die bivalente Holzheizungsanlage mit Speicher gemäss Kapitel 4 in Standardschaltungen – Teil I [2].



FAQ 10 Abbildung 1: Standardschaltung WE4

Der externe Öl-/Gaskessel wird gemäss Bild 16.14 des Planungshandbuchs [4] ins Wärmenetz eingebunden. Weil Standard-Schaltung WE4 einen Speicher hat und damit eine klare Hauptregelgrösse vorhanden ist, wird auch hier die Schaltung mit Speicher gewählt. Wenn dann noch die wichtigsten Temperaturfühler aus Standard-Schaltung WE4 übernommen und die wichtigsten Regelfunktionen eingezeichnet werden, ergibt sich die Schaltung gemäss FAQ 10 Abbildung 2.



FAQ 10 Abbildung 2: Abgeänderte Schaltung WE4

Bemerkung: Die vorliegende Art von Schaltung widerspricht dem in Standardschaltungen – Teil I [2] aufgestellten Grundsatz der strikten Entkoppelung von hydraulischen Kreisen: Die Pumpen P3 und P4 wirken gleichzeitig auf mehrere hydraulisch nicht entkoppelte Kreise. Dies ist selbstverständlich nicht verboten, es bedeutet jedoch, dass die Druckverhältnisse der geplanten Anlage sehr genau auf alle denkbaren Lastverhältnisse hin untersucht werden müssen. Ausserdem ist zu beachten, dass die Anlage zwar eine gemeinsame Expansionsanlage hat, aber der Druck beim Holzkessel K1 und beim Öl-/Gaskessel K2 sehr unterschiedlich sein kann. Entsprechend sorgfältig müssen die Ansprechdrücke der Sicherheitsventile ausgelegt werden.

Regelungstechnische Voraussetzungen

Hauptregelgrösse: Speicherladezustand

Stellgrösse: Feuerungsleistung der beiden Kessel in Sequenz K1 – K2 (siehe [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#))

Freigabe Öl-/Gaskessel: z. B. Aussentemperatur tief UND Sollwert Feuerungsleistung Holzkessel während 30 Minuten auf 100%; sofortige Freigabe, wenn Holzkessel auf Störung

Sperrung Öl-/Gaskessel: z. B. Feuerungsleistung Holzkessel während 10 Minuten \leq 90%

Der nicht in Betrieb stehende Kessel muss gegen die übrige Anlage so abgetrennt sein, dass er nicht durchflossen wird.

Regelung Kesselkreis Holzkessel

Die Regelung der Kesselaustrittstemperatur (T412) erfolgt mit Hilfe des Dreiwegenventils (V1) auf einen vorgegebenen Sollwert, mit dem der Speicher geladen werden soll (z. B. 85°C). Bei Unterschreitung der minimalen Kesselintrittstemperatur (T411) wird mit dem Dreiwegenventil (V1) die Rücklaufhochhaltung sichergestellt.

Regelung Kesselkreis externer Öl-/Gaskessel

Beim externen Ölkessel ist ein zusätzlicher Bypass, eine zusätzliche Fernleitungspumpe P4 sowie ein zusätzlicher Temperaturfühler T4 vorhanden.

Die Regelung der Kesselaustrittstemperatur (T422) erfolgt mit Hilfe des Dreiwegeventils (V2) auf einen Sollwert, der 5 Grad höher ist als der Sollwert der Kesselaustrittstemperatur des Holzkessels ($T422 = T461 + 5^{\circ}\text{C}$). Diese Differenz ist notwendig, damit die Regelung der ins Fernleitungsnetz eingespeisten Temperatur T4 mit Hilfe der Drehzahl von Pumpe P4 geregelt werden kann. Damit zirkuliert der Bypass immer von unten nach oben.

Bei Unterschreitung der minimalen Kesseleintrittstemperatur (T421) wird mit dem Dreiwegeventils (V2) die Rücklaufhochhaltung sichergestellt.

Regelung Speicherladezustand

Die Erfassung des Speicherladezustandes erfolgt gemäss [2].

Im Normalbetrieb erfolgt die Speicherladung mittels Regelung der Feuerungsleistung der beiden Kessel in Sequenz (siehe [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#)). Je nach Witterung kann die Feuerungsleistung noch zusätzlich begrenzt werden.

Regelung Feuerungsleistung Holzkessel

Die Regelung der Feuerungsleistung erfolgt durch die interne Regelung des Holzkessels. Der Sequenzregler gibt in Abhängigkeit des Speicherladezustandes den Sollwert der Feuerungsleistung für diesen internen Regler vor: zwischen 0 und 30% als Zweipunktregler und zwischen 30 und 100% als stetiger PI-Regler (siehe [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#)).

Die Zweipunktregelung EIN/AUS (bzw. EIN/GLUTBETTUNTERHALT) zwischen 0 und 30% kann vermieden werden, wenn bei Schwachlastbetrieb (Übergangszeit, Sommerbetrieb, längere Phasen mit reduziertem Betrieb) die Speicherladung mittels Zweipunktregelung FÜLLEN/ENTLEEREN erfolgt. Das heisst, wenn der Speicher den minimalen Ladezustand erreicht hat, geht der Holzkessel in Betrieb und füllt den Speicher mit Minimalleistung. Ist der Speicher gefüllt, schaltet der Holzkessel aus und geht erst wieder in Betrieb, wenn der Speicher leer ist. So wird eine möglichst lange Betriebszeit des Holzkessels erreicht. Diese beiden unterschiedlichen Arten der Zweipunktregelung (EIN/AUS und FÜLLEN/ENTLEEREN) dürfen nicht miteinander verwechselt werden (siehe auch [FAQ 13: Wie soll die Betriebsart Füllen/Entleeren freigegeben werden?](#)).

Durch den internen Regler des Holzkessels erfolgt zusätzlich eine Begrenzung der Kesselaustrittstemperatur auf einen möglichst hohen Wert (z. B. 100°C). Unabhängig davon sind selbstverständlich zur übergeordneten Sicherheit vorhanden: evtl. Wärmeabfuhr (z. B. 110°C), Sicherheitstemperaturwächter (z. B. 115°C), Sicherheitsventil.

Regelung Feuerungsleistung Öl-/Gaskessel

Freigabe oder Sperrung wurde bereits unter «Regelungstechnische Voraussetzungen» erklärt.

Die Regelung der Feuerungsleistung erfolgt prinzipiell gleich wie beim Holzkessel. Im Unterschied zu diesem jedoch oft nicht stetig mittels moduliertem Brenner, sondern bloss in Stufen mittels Zweistufenbrenner (siehe [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#)).

Was geschieht, wenn die Leistung des Holzkessel nicht mehr ausreicht?

Der Holzkessel arbeitet in der 1. Sequenz gemäss [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#). Wenn die Leistung des Holzkessels nicht mehr ausreicht, um den Wärmeleistungsbedarf zu decken, dann geschieht im Idealfall folgendes:

1. Der Speicherladezustand (Hauptregelgrösse) sinkt. Dadurch steigt der Sollwert für die Feuerungsleistung des Holzkessels durch den I-Anteil des PI-Reglers auf 100%.
2. Der Öl-/Gaskessel wird freigegeben, sobald die Freigabe-Bedingungen erfüllt sind (z. B. Aussentemperatur tief UND Leistung Holzkessel während 30 Minuten auf 100%).
3. Je nach Einstellung der Regelparameter würde der Öl-/Gaskessel schon vor seiner Freigabe auf Stufe 1 einschalten, möglicherweise sogar auf Stufe 2 weiterschalten und damit zum Zeitpunkt der Freigabe sofort auf Stufe 2 zu laufen beginnen. Um dies zu vermeiden, ist es sinnvoll, für Stufe 2 eine weitere Zeitverzögerung einzubauen, die erst zu laufen beginnt, wenn der Öl-/Gaskessel freigegeben ist.
4. Solange der Öl-/Gaskessel freigegeben ist, wird seine Austrittstemperatur T422 geregelt auf $T422_Soll = T461_Soll + 5^{\circ}\text{C}$.

Achtung: Dieser Sollwert muss immer mindestens so hoch sein, dass er der Rücklaufhochhaltung nicht in die Quere kommt.

5. T4 wird geregelt mittels Drehzahlregelung der Pumpe P4. Pumpe P4 schöpft dabei Wasser vom Fernleitungsrücklauf durch den Bypass und regelt auf $T4_Soll = T461_Soll$.
6. Pumpe P3 reagiert darauf, indem sie die Fördermenge solange zurück regelt, bis die Soll-Druckdifferenz Δp_2 wieder erreicht ist.
7. Solange der Öl-/Gaskessel arbeitet, bleibt der Holzkessel immer auf 100%, obwohl der Wärmeleistungsbedarf des Wärmenetzes um die durch den Öl-Gaskessel produzierte Leistung zurückgeht. Damit beginnt der Speicherladezustand wieder zu steigen und der Öl-/Gaskessel wird entsprechend Sequenz 2 zurück geregelt, bis sich ein Gleichgewicht zwischen Produktion und Verbrauch einstellt.
8. Der Öl-/Gaskessel arbeitet nun in der 2. Sequenz gemäss [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung](#). Das heisst, bei kleinerer Last im Zweipunktbetrieb zwischen AUS und Stufe 1, bei grösserer Last zwischen Stufe 1 und Stufe 2 und schliesslich bei Vollast nur noch auf Stufe 2.
9. Wenn der gesamte Wärmebedarf auf unter 100% sinkt, regelt zuerst Sequenz 2 den Öl-Gaskessel zurück, und erst wenn dieser auf 0% zurück geregelt hat, kann Sequenz 1 den Holzkessel zurück regeln. Sobald die Leistung des Holzkessels während 10 Minuten unter 90% gesunken ist, wird der Öl-/Gaskessel gesperrt.

Optimierung der Regelparameter, Zeitverzögerungen und Sollwerte

Die vorstehende Beschreibung stellt den Idealfall dar. In Wirklichkeit können sich dadurch Probleme ergeben, dass der Öl-/Gaskessel sehr weit vom Speicher entfernt ist und zu schnell zuviel Leistung abgibt. Dabei kann es passieren, dass der Holzkessel (der ja immer auf 100% Leistung läuft) den Speicher zu schnell wieder füllt. Als Folge davon wird der Sequenzregler relativ schnell wieder auf Sequenz 1 zurück regeln und den Öl-/Gaskessel zu schnell wieder sperren, womit das ganze Spiel mit den Zeitverzögerungen bis zur Freigabe wieder von vorne beginnt...

Durch eine sorgfältige Optimierung der Regelparameter, Zeitverzögerungen und Sollwerte muss ein solches Verhalten verhindert werden. Das Ziel ist ein stabiler Betrieb von Holzkessel (100%) und Öl-/Gaskessel (Rest), sobald der Wärmebedarf der Anlage die Leistung des Holzkessels überschreitet. Konkret heisst das:

- Verhinderung einer zu schnellen Freigabe des Öl-/Gaskessels bei kurzzeitigen Wärmebedarfsspitzen durch zu kurze Zeitverzögerungen und zu schnelle Freigabe von Stufe 2 des Öl-/Gaskessels
- Verhinderung des zu schnellen Zurückschaltens von Sequenz 2 (Öl-/Gaskessel) auf Sequenz 1 (Holzkessel) durch zu kleine Zeitkonstanten (Nachstellzeit PI-Regler), wenn der Wärmebedarf der Anlage die Leistung des Holzkessels für längere Zeit überschreitet

Sommerbetrieb mit Ölkessel

Mit der beschriebenen Schaltung könnte auch ein Sommerbetrieb mit dem Öl-/Gaskessel allein realisiert werden. Dazu müsste ein Dreiwegeventil nach dem Bypass vor der Pumpe P4 eingebaut werden. Pumpe P4 müsste dann nicht über T4 geregelt werden, sondern über den Differenzdruck (z. B. Schlechtpunktregelung).

Pelletskessel (oder auch kleinere Hackschnitzelkessel) mit Speicher im Leistungsbereich bis etwa 150 kW werden oft mit nicht befriedigenden Regelkonzepten betrieben. Wie soll eine solche Anlage betrieben werden?

Auch bei einem Pelletskessel sollte zwischen 30% und 100% Last ein stetiger Betrieb angestrebt werden und nur zwischen 0% und 30% ein Zweipunktbetrieb.

Pelletskessel mit Speicher werden heute oft folgendermassen betrieben:

- Einschaltung des Pelletskessel durch einen Einschaltfühler oben im Speicher
- Regelung der Kesselwassertemperatur durch kesselinterne Regelung der Feuerungsleistung
- Rücklaufhochhaltung über ein Regelventil, aber meist keine Regelung der Kesselaustrittstemperatur
- Anstelle der Regelung der Kesselaustrittstemperatur wird manchmal eine Vorgabe der Feuerungsleistung durch die Speichertemperatur oben vorgeschlagen
- Ausschaltung des Pelletskessels (bzw. Glutbettunterhalt für eine gewisse Zeit) durch einen Ausschaltfühler unten im Speicher

Dieses Regelkonzept hat zur Folge, dass die Kesselleistung sehr schnell auf 100% ansteigt und damit der Speicher praktisch mit Maximalleistung durchgeladen wird. Infolge der fehlenden Kesselaustrittstemperaturregelung findet oft noch zusätzlich eine unkontrollierbare Umschichtung des Speichers statt.

Anstatt einer Verbesserung gegenüber einer Anlage ohne Speicher wird mit dieser Betriebsart leider das Gegenteil erreicht. Der Grund dafür ist, dass bei einer Anlage ohne Speicher eine klare Regelgrösse – nämlich die Hauptvorlauftemperatur – zur Leistungsregelung vorhanden ist, während beim oben beschriebenen Regelkonzept eine klare Regelgrösse fehlt.

Beste Lösung: Standardschaltung WE2

Standardschaltung WE2 gemäss [2] zeigt, wie man es an besten macht: Regelgrösse ist der Speicherladezustand, der über 5 Speicherfühler erfasst wird (wie das genau gemacht wird, steht in [FAQ 1](#)). Der Regler versucht nun durch Anpassung der Feuerungsleistung den Speicherladezustand auf 50% zu regeln. Wenn die Wärmeabnehmer plötzlich mehr Leistung verlangen sinkt der Speicherladezustand und die Feuerungsleistung wird erhöht, und wenn plötzlich weniger Leistung gebraucht wird, steigt der Speicherladezustand und die Feuerungsleistung wird zurückgeregelt. Im ersten Fall steht die obere Hälfte des Speichers als Leistungsreserve zur Verfügung bis der Holzessel reagiert hat, und im zweiten Fall kann der Holzessel den vorübergehenden Leistungsüberschuss an die untere Speicherhälfte abgeben.

Mögliche Vereinfachungen gegenüber Standardschaltung WE2

Bei Pelletskesseln (oder Hackschnitzelkesseln) im kleinen Leistungsbereich bis 150 kW mit Speicher wären gegenüber Standardschaltung WE2 zwei Vereinfachungen denkbar:

- 1. Verwendung der Rücklaufhochhaltung als Eintrittstemperaturregelung:** Eine Regelung zur Rücklaufhochhaltung (z. B. auf 65°C) über ein Regelventil ist meistens vorhanden. Dieser Regler kann bei entsprechender Auslegung und mit höherem Sollwert (z. B. 77°C) als Eintrittstemperaturregler verwendet werden. Damit die Austrittstemperatur nicht allzu stark schwankt, muss die Kesselpumpe relativ grosszügig ausgelegt werden, z. B. auf 8 K Temperaturdifferenz über dem Kessel. Mit einer konstant geregelten Eintrittstemperatur von 77°C würde damit die Austrittstemperatur bei 30...70% Kesselleistung «nur» zwischen etwa 80°C und 85° schwanken.
- 2. Verwendung der mittleren Speichertemperatur als Mass für den Speicherladezustand:** Die mittlere Speichertemperatur als Ersatzgrösse für den Speicherladezustand ist einfacher zu realisieren als die effektive Erfassung des Speicherladezustandes. Mit 4 linearen Widerstandsfühlern (PT100, PT1000, Ni1000) kann sogar eine hardwaremässige Mittelwertbildung realisiert werden:

$$1/R = 1/(R1+R2) + 1/(R3+R4)$$

R = Gesamtwiderstand = Mittelwert aller vier Fühler

R1 = Widerstand des Speicherfühlers 1

usw.

Dies bedeutet, dass die Serienschaltung R1+R2 parallel zur Serienschaltung R3+R4 exakt den Mittelwert

der 4 Fühler ergibt und damit nur ein Analogeingang (anstatt 4) und keine softwaremässige Mittelwertbildung benötigt wird. Nachteilig ist jedoch, dass die Mitteltemperatur des Speichers den tatsächlichen Speicherladezustand je nach Schichtung, Auskühlung, Rücklauf Temperatur usw. unterschiedlich wiedergibt. Insbesondere wird mit einer Eintrittstemperaturregelung – wegen der lastabhängig schwankenden Austrittstemperatur – der Ladezustand ebenfalls entsprechend schwankend wiedergegeben.

Fazit 1: Von der Realisierung beider Vereinfachungen gleichzeitig wird eher abgeraten. Wie weit Vereinfachung 1 überhaupt Sinn macht ist fraglich: einerseits ist der zusätzliche Regelaufwand für eine Austrittstemperaturregelung nicht allzu gross, andererseits wird die Einstellung der Speicherladezustand-Erfassung durch die schwankende Austrittstemperatur erschwert. Bei genauer Überlegung ist deshalb vor allem Vereinfachung 2 prüfenswert: mit Vereinfachung 2 ergeben sich wesentliche Vereinfachungen, sowohl auf der Hardware- wie auf der Softwareseite. Standardschaltung WE2 ist jedoch – regelungstechnisch gesehen – immer die beste Lösung.

Zweipunktbetrieb

Grundsätzlich tritt mit der geschilderten Regelung des Speicherladezustandes auf 50% irgendwann der Fall ein, bei dem der Pelletskessel in den Zweipunktbetrieb EIN/AUS übergeht. Solange dies nur kurzzeitig der Fall ist, lohnt es sich nicht die Betriebsart zu wechseln. Sobald jedoch ein länger andauernder Schwachlastbetrieb eintritt (Übergangszeit, Sommerbetrieb, längere Phasen mit reduziertem Betrieb), sollte die Speicherladung mittels Zweipunktregelung FÜLLEN/ENTLEEREN erfolgt. Das heisst, wenn der Speicher den minimalen Ladezustand erreicht hat, geht der Pelletskessel in Betrieb und füllt den Speicher mit Minimalleistung. Ist der Speicher gefüllt, schaltet der Pelletskessel aus und geht erst wieder in Betrieb, wenn der Speicher leer ist. So wird eine möglichst lange Betriebszeit des Pelletskessels erreicht. Diese beiden unterschiedlichen Arten der Zweipunktregelung (EIN/AUS und FÜLLEN/ENTLEEREN) dürfen nicht miteinander verwechselt werden (siehe auch [FAQ 13: Wie soll die Betriebsart Füllen/Entleeren freigegeben und entsperrt werden?](#)).

Wenn die Auslegung des Speichers analog Standardschaltung WE2 erfolgte, also auf 1 Stunde bei 100% Leistung, kann mit Zweipunktregelung FÜLLEN/ENTLEEREN der Speicher theoretisch 3 Stunden lang kontinuierlich mit 30% Minimalleistung durchgeladen werden.


Fazit 2: Auslegung des Speichers auf 1 Stunde bei 100% Leistung. Bei länger andauerndem Schwachlastbetrieb Umstellung auf Zweipunktregelung FÜLLEN/ENTLEEREN.

Anfahren mit zu viel Leistung

Bei Schwachlastbetrieb ergibt sich oft ein Problem. Die meisten Pelletkessel fahren nämlich mit 100% Leistung an, um dann auf die geforderte Minimalleistung von 30% hinunter zu regeln. Dies hat bei Anlagen ohne Speicher zur Folge, dass der Kessel, kaum angefahren, schon wieder abgestellt werden muss, weil bereits zuviel Wärme produziert wurde, um in einem kontinuierlichen Betrieb mit 30% Minimalleistung fahren zu können. Bei Anlagen mit Speicher wird mindestens die Betriebszeit mit Minimalleistung eingeschränkt, die ja möglichst lange sein sollte.

Die Erfahrung zeigt, dass es durchaus möglich ist, das Überschwingen der Leistung zu minimieren, wenigstens auf maximal 60%.

Fazit 3: Das Überschwingen beim Anfahren sollte auf ein Minimum beschränkt werden.

	FAQ 12: Wie gross muss die Minimallast eines Holzkessels im Schwachlastbetrieb sein?		FAQ 12
	Erste Veröffentlichung: 30. September 2009	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Der Betrieb von Holzkesseln im Schwachlastbetrieb (Übergangszeit, Sommerbetrieb, längere Phasen mit reduziertem Betrieb) führt häufig zu Problemen. Wie gross muss die Minimallast sein, damit keine Probleme auftreten?

Zu kleine Last im Schwachlastbetrieb führt zu Problemen:

- Geruchsbelästigung bei ungünstigen Windverhältnissen.
- Periodisch sichtbarer Rauch führt zu Reklamationen (vor allem bei feuchtem Brennstoff).
- Gefahr der Versottung des Holzkessels.
- Eingeschränkte Wirksamkeit des Partikelabscheiders, weil dieser während eines zu grossen Teils der Betriebszeit nicht auf Betriebstemperatur kommt und damit während dieser Zeit nur beschränkt wirkt (reduzierte Spannung beim Elektro-Partikelabscheider) bzw. wirkungslos ist (Hochspannung «aus» beim Elektro-Partikelabscheider bzw. Abgase über Bypass beim Gewebefilter).
- Elektro-Partikelabscheider: Bei Taupunktunterschreitung besteht die Gefahr von feuchten Partikelanbackungen im Gehäuse, an den Isolatoren und an den Abscheideelektroden; Folgen: Kurzschluss über Isolatoren, Ausfall der automatischen Abreinigung und Ascheaustragung
- Gewebefilter: Bei Taupunktunterschreitung besteht die Gefahr von feuchten Partikelanbackungen am Filtergewebe; Folgen: Ausfall der automatischen Abreinigung bis zur Zerstörung des Filtergewebes

Zur Beantwortung der Frage müssen verschiedene Randbedingungen berücksichtigt werden:

- Rostfeuerungen müssen infolge des grösseren Glutbettes mit einer höheren Minimalleistung betrieben werden als Unterschubfeuerungen.
- Der Vorteil einer automatischen Zündung ist, dass sie eine automatische Folgeschaltung ermöglicht und die minimale Wärmeabnahme bei Glutbettunterhalt entfällt. Im Schwachlastbetrieb können sich dadurch Vorteile gegenüber einer Anlage mit Glutbettunterhalt ergeben.
- Bei Anlagen mit Speicher und automatischer Zündung kann im Schwachlastbetrieb der Speicher mit Minimallast vollständig gefüllt und dann wieder vollständig entleert werden. Damit kann ein längerer kontinuierlicher Betrieb mit Minimalleistung erreicht werden. (Siehe FAQ 13: Wie soll die Betriebsart Füllen/Entleeren freigegeben und entsperrt werden?)

Folgende Antworten liegen heute vor:

- QM Holzheizwerke sagt im Planungshandbuch [4] auf Seite 74 (Tabelle 6.7), dass Rostfeuerungen für Schwachlastbetrieb ungeeignet sind.
- QM Holzheizwerke fordert im Q-Leitfaden [1] auf Seite 22 eine minimale Auslastung von 12 Stunden pro Tag bei Minimalleistung. Dies entspricht einer minimalen mittleren Tages-Heizlast von 15%.
- Die Erfahrungen der Holzkesselhersteller zeigen, dass eine minimale mittlere Tages-Heizlast differenziert für unterschiedliche Randbedingungen (Feuerungsart, ohne/mit Speicher, Wassergehalt des Brennstoffs) gefordert werden muss. Dabei sollte ein möglichst kontinuierlicher Tagesverlauf der Heizlast angestrebt werden, d. h. grosse Lastschwankungen sind zu vermeiden.

Eine zusammenfassende Antwort aus heutiger Sicht gibt FAQ 12 Tabelle 1.

Feuerungsart →	Rostfeuerung					Unterschubfeuerung		
	mit autom. Zündung		mit Glutbettunterhalt			mit autom. Zündung		mit Glutbettunterhalt
Ohne/mit Speicher Empfehlungen ↓	w ≤ 35%	w > 35% w ≤ 45%	w ≤ 35%	w > 35% w ≤ 50%	w > 50%	w ≤ 35%	w > 35% w ≤ 45%	w ≤ 50%
Ohne Speicher	20%	25%	20%	25%	40%	15%	20%	20%
Mit Speicher	15%	20%	15%	20%	30%	10%	15%	15%

Wichtiger Hinweis: Je nach Holzesselhersteller können die Werte etwas abweichen. Massgebend sind immer die Werte und Empfehlungen des Holzesselherstellers.


FAQ 12 Tabelle 1: Geforderte minimale mittlere Tages-Heizlast für verschiedene Randbedingungen

Beispiel: Holzessel-Maximalleistung = 1000 kW; Wärmebedarf im Sommerbetrieb = 1500 kWh pro Tag; Speicher- und Fernleitungsverluste im Sommerbetrieb = 1000 kWh pro Tag.

$$\text{Minimallast} = (1500 \text{ kWh} + 1000 \text{ kWh}) / (24 \text{ h} \times 1000 \text{ kW}) = 0,10 = 10\%$$

Bei Verwendung von trockenen Schnitzeln ($w \leq 35\%$) von guter Qualität sollte bei dieser Anlage ein Sommerbetrieb mit Unterschubfeuerung möglich sein, wenn eine automatische Zündung und ein Speicher vorhanden sind.

Bei Anlagen ohne Sommerbetrieb muss der Betrieb in der Übergangszeit die gleichen Forderungen erfüllen. Oft ist es deshalb notwendig, bei Schwachlastbetrieb zunächst noch den Öl-/Gaskessel (falls vorhanden) bzw. den kleinen Holzessel (bei monovalenten Anlagen) zu benützen.

	FAQ 13: Wie soll die Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN freigegeben und gesperrt werden?		FAQ 13
	Erste Veröffentlichung: 30. September 2009	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Bei Schwachlastbetrieb (Sommerbetrieb, Übergangszeit, längere Phasen mit reduziertem Betrieb) ist es oft sinnvoll, den Speicher vollständig zu füllen und dann wieder vollständig zu entleeren. Wie soll die Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN freigegeben und gesperrt werden?

Der Sequenzregler gibt in Abhängigkeit des Speicherladezustandes den Sollwert der Feuerungsleistung für den internen Regler des Holzkessels vor: zwischen 0 und 30% als Zweipunktregler und zwischen 30 und 100% als stetiger PI-Regler (siehe [FAQ 7: Was ist eine Sequenzregelung?](#)).

Die Zweipunktregelung EIN/AUS zwischen 0 und 30% kann vermieden werden, wenn bei Schwachlastbetrieb die Speicherladung mittels Zweipunktregelung FÜLLEN/ENTLEEREN erfolgt. Das heisst, wenn der Speicher den minimalen Ladezustand erreicht hat, geht der Holzkessel in Betrieb und füllt den Speicher mit Minimalleistung. Ist der Speicher gefüllt, schaltet der Holzkessel aus und geht erst wieder in Betrieb, wenn der Speicher leer ist. So wird eine möglichst lange Betriebszeit des Holzkessels erreicht. Diese beiden unterschiedlichen Arten der Zweipunktregelung (EIN/AUS und FÜLLEN/ENTLEEREN) dürfen nicht miteinander verwechselt werden.

Die Freigabe der Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN lohnt sich erst, wenn einigermaßen sicher ist, dass der Wärmeleistungsbedarf der Anlage für längere Zeit deutlich unter der Minimalleistung des Holzkessels bleibt. Solche Phasen für Schwachlastbetrieb sind typischerweise:

- Nachtabsenkung: ca. 8 Stunden
- Wochenendabsenkung: 1...2 Tage
- Ferienabsenkung: Phasen von mehreren Tagen möglich
- Übergangszeit: Phasen von mehreren Tagen möglich
- Sommerbetrieb: Oft den ganzen Sommer (siehe aber auch [FAQ 12: Wie gross muss die Minimallast eines Holzkessels im Schwachlastbetrieb sein?](#)).

Als Freigabe- und Sperrkriterien für die Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN kommen in Frage:

- Manuelle Freigabe/Sperrung über einen Schalter
- Freigabe/Sperrung nach Zeitprogramm
- Freigabe/Sperrung über die Aussentemperatur
- Sperrung (d. h. Rückkehr in den normalen Sequenzbetrieb) in jedem Falle, wenn die Hauptvorlauftemperatur nach dem Speicher (oder die Speichertemperatur am obersten Fühler) während einer bestimmten Zeit nicht gehalten werden kann

Bei der Freigabe/Sperrung über die Aussentemperatur ist folgendes zu beachten:

- Für längere Phasen (Ferienabsenkung, Übergangszeit) sollte ein stark gedämpfter Aussentemperaturwert verwendet werden (z. B. Tagesmittelwert)
- Für kürzere Phasen (Nachtabsenkung) sollte ein weniger gedämpfter Aussentemperaturwert verwendet werden (z. B. Stundenmittelwert)
- Im reduzierten Betrieb sollte bei einer tieferen Aussentemperatur umgeschaltet werden als bei Normalbetrieb, weil der Wärmeleistungsbedarf der Anlage im reduzierten Betrieb wesentlich tiefer ist
- Um Hin- und Herschalten zu vermeiden, sollte eine Hysterese eingebaut werden (z. B. Freigabe im Normalbetrieb bei 10°C und Sperrung bei 8°C)

Wichtiger Hinweis für Anlagen mit Glutbettunterhalt: Die Betriebsart FÜLLEN/ENTLEEREN ist nur bei Holzkesseln mit automatischer Zündung sinnvoll. Bei Anlagen mit Glutbettunterhalt sollte diese Betriebsart nicht angewendet werden, weil hier alle 1...2 Stunden eine minimale Laufzeit mit Minimalleistung notwendig ist. Sobald diese Forderung nicht mehr erfüllt werden kann, muss der Holzkessel ausgeschaltet und (falls vorhanden) auf den Öl-/Gaskessel umgeschaltet werden.

In den Standardschaltungen wird angenommen, dass Wärmeerzeuger, Speicher und «drucklose» Anschlüssen in einer bestimmten Reihenfolge nahe beieinander liegen. Wenn dies nicht der Fall ist, welche Rolle spielen dann die Reihenfolge der Einbindung und die Entfernung von Wärmeerzeugern, Speicher usw.?

Die grundsätzlichen Probleme, die sich ergeben, wenn ein Wärmeerzeuger (Holzkessel, Wärmepumpe usw.), ein Speicher und ein «druckloser» Anschluss (Verteiler, Vorregulierung Fernleitung usw.) zusammengeschaltet werden, zeigt FAQ 14 Abbildung 1.

Schaltung A: Diese Schaltung ist problemlos, weil der Druckabfall über dem Speicher gering ist. Erzeuger und Verbraucher sind hydraulisch einwandfrei entkoppelt.

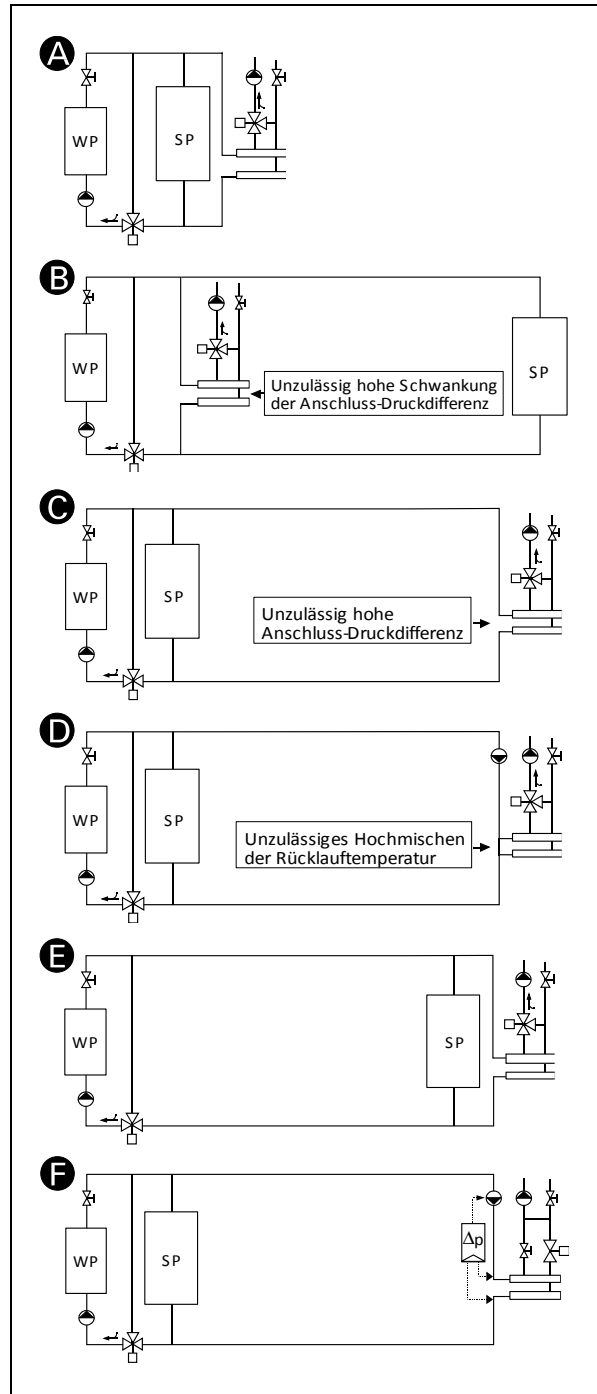
Schaltung B: Der Speicher ist weit vom Wärmeerzeuger und Verteiler entfernt aufgestellt. Der Druckabfall Δp über Fernleitung und Speicher bewirkt bei zu langer Fernleitung eine unzulässig hohe Schwankung der Anschluss-Druckdifferenz des «drucklosen» Verteilers von $+\Delta p$ bei der Ladung und $-\Delta p$ bei der Entladung. Bei sorgfältiger Auslegung der Regelventile kann erfahrungsgemäss eine maximale Druckdifferenzschwankung von etwa ± 3 kPa verkraftet werden.

Schaltung C: Ein weit entfernter Verteiler bietet Schwierigkeiten, weil hier der «drucklose» Verteiler entsprechend dem Druckabfall über Fernleitung und Speicher druckbehaftet ist. Immerhin tritt hier, im Gegensatz zu Schaltung B, die Schwankung der Anschluss-Druckdifferenz nur in einer Richtung auf. Welche maximale Anschluss-Druckdifferenz verkraftet werden kann, ist wie folgt zu beantworten:

- Sicher muss der Druckabfall über jedem Regelventil des Verteilers grösser sein als die Anschluss-Druckdifferenz (Ventilautorität $\geq 0,5$); bei bestehenden Verteilern ist der Druckabfall über den Regelventilen erfahrungsgemäss selten grösser als 3...5 kPa, also darf auch die Anschluss-Druckdifferenz sicher nicht grösser sein.
- Ferner darf der Druckabfall über der Fernleitung nicht grösser sein als 20% der Förderhöhe der kleinsten Gruppenpumpe (Verhinderung der Störung der Gruppen am Verteiler untereinander).

Schaltung D: Eine Fernleitungspumpe und ein Bypass im Verteiler sind leider keine Lösung, weil dadurch ein unzulässiges Hochmischen der Rücklauf-temperatur erfolgt.

Schaltung E: Vielleicht geht aber diese Lösung: Wenn der Speicher möglichst nahe beim Verteiler aufgestellt wird, ist die Anschluss-Druckdifferenz des Verteilers genügend klein.

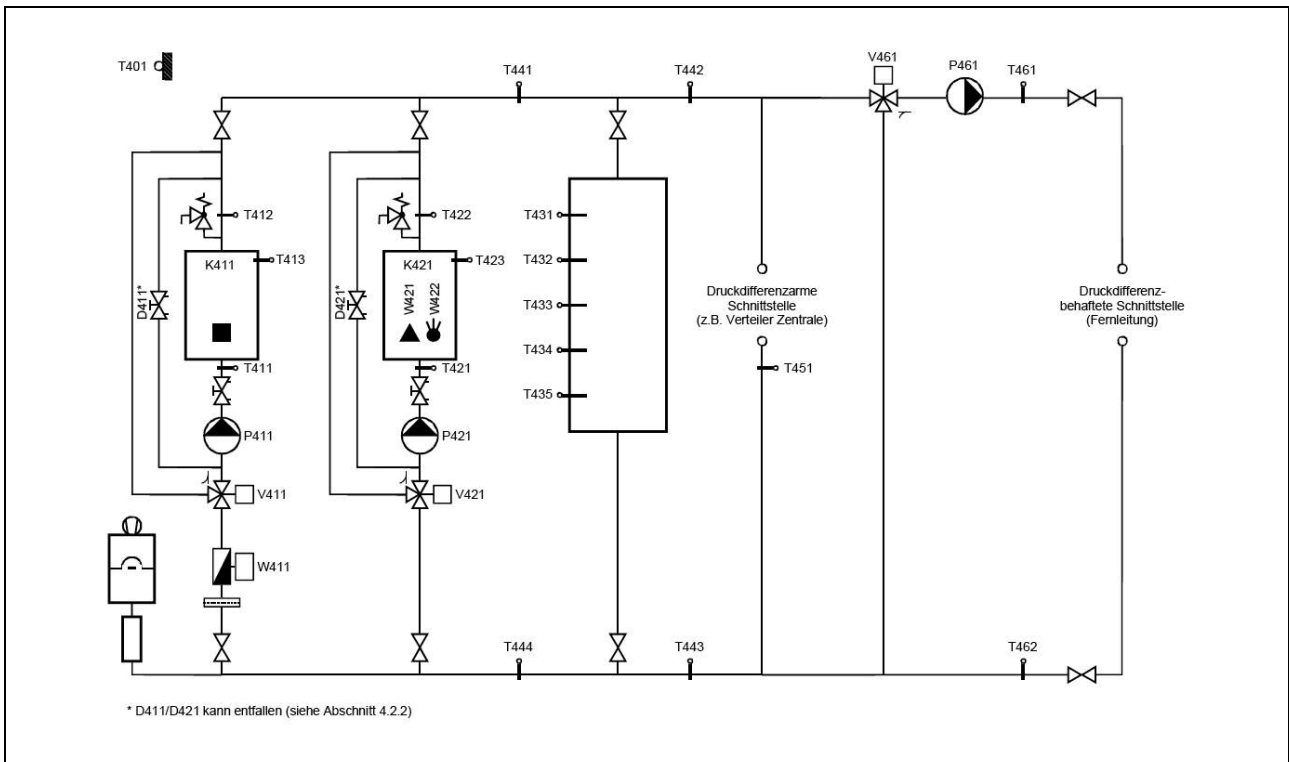


FAQ 14 Abbildung 1: Schaltungsprobleme (aus: RAVEL im Wärmesektor, Heft 1 «Elektrizität und Wärme»)

Es muss jedoch darauf geachtet werden, dass

- das Ladeventil möglichst nahe beim Wärmeerzeuger installiert wird (kleine Totzeit) und
- der Druckabfall über dem Ladeventil mindestens gleich gross ist wie der Druckabfall über Fernleitung und Speicher (Ventilautorität $\geq 0,5$).

Schaltung F: Eine Lösung, die immer geht, ist ein Einspritzverteiler mit Durchgangsventilen verbunden mit einer drehzahlgesteuerten Fernleitungspumpe. Regelungstechnisch am günstigsten ist es dabei, wenn die Druckdifferenzmessung möglichst nahe am Verteiler erfolgt, weil dieser Sollwert die Ventilautorität der Regelventile bestimmt. Ausdrücklich nicht empfohlen wird der Versuch, einen «drucklosen» Verteiler auf $\Delta p = 0$ regeln zu wollen. Eine Regelung auf $\Delta p < 10 \text{ kPa}$ ist kaum machbar, und das ist für einen «drucklosen» Verteiler einfach zuviel.



FAQ 14 Abbildung 2: Standardschaltung WE4

Für den konkreten Fall einer monovalenten Holzheizungsanlage mit Speicher nach Standardschaltung WE4 (FAQ 14 Abbildung 2) ergeben sich folgende Empfehlungen:

- Von der Reihenfolge der Standardschaltung WE4, also Holzessel – Öl-/Gaskessel – Speicher – Verteiler – Vorregulierung Fernleitung, sollte ohne Not nicht abgewichen werden. Ein Vertauschen der Wärmeerzeuger (Öl-/Gaskessel vor Holzessel) auf der einen Seite des Speichers oder eine andere Reihenfolge der druckdifferenzarmen Anschlüsse auf der anderen Seite des Speichers ist jedoch problemlos möglich.
- Bei grösseren Entfernungen zwischen Wärmeerzeugern, Speicher und Wärmeabnehmern gelten sinngemäss die Aussagen, die zuvor zu den Schaltungen A...F gemacht wurden, solange alle Wärmeerzeuger auf der einen Seite des Speichers (hier links) und alle druckdifferenzarmen Schnittstellen auf der anderen Seite des Speichers bleiben (hier rechts).

Doch wie sieht es aus, wenn Erzeuger und Verbraucher auf unterschiedlichen Seiten des Speichers eingebunden werden, also beispielsweise in der Reihenfolge Holzessel – Speicher – Ölkessel – «druckloser» Verteiler?

Da die Summe der Durchflüsse grundsätzlich gleich bleibt, ändert sich bezüglich der Durchflüsse durch die einzelnen Elemente der Schaltung nichts. Hingegen ergeben sich zwei wichtige Punkte, die beachtet werden müssen:

- Die in der Standardschaltung verwendeten Temperaturmessstellen ändern ihre Position oder können gar nicht mehr erfasst werden. Funktionsbeschreibung und Messkonzept für die Betriebsoptimierung müssen also angepasst werden.

- Solange die einzelnen Elementen der Schaltung nahe beieinander liegen, das Ganze also mehr oder weniger «drucklos» betrachtet werden kann, bleibt die Auslegung übersichtlich. Bei grösseren Entfernungen wird die Beurteilung des zukünftigen Verhaltens der Schaltung jedoch kompliziert.

Gerade der letzte Punkt kommt relativ oft vor, wenn die Heizzentrale mit Ölkessel und «drucklosem» Verteiler bestehen bleiben soll, aber Holzkessel, Speicher, Silo usw. dort keinen Platz mehr finden. Wie soll die in einiger Entfernung davon gebaute neue Holzheizzentrale mit der bestehenden verbunden werden? Es gibt folgende Möglichkeiten:

- Speicher möglichst nahe beim «drucklosen» Verteiler einbinden (analog Schaltung E).
- Verbindungsleitung zwischen dem Speicher und dem «drucklosen» Verteiler druckdifferenzarm auslegen (≤ 3 kPa). Die Auslegung der Verbindungsleitungen auf eine Dimension grösser als üblich reduziert den Druckabfall erheblich.
- Umbau des «drucklosen» Verteilers auf druckbehaftete Anschlüsse (Einspritzschaltungen mit Durchgangsventil analog Schaltung F).
- Anschluss des «drucklosen» Verteilers über eine einzige Einspritzschaltung mit Durchgangsventil (siehe dazu [FAQ 15: Wie kann ein druckloser Verteiler an einer Fernleitung angeschlossen werden?](#)).

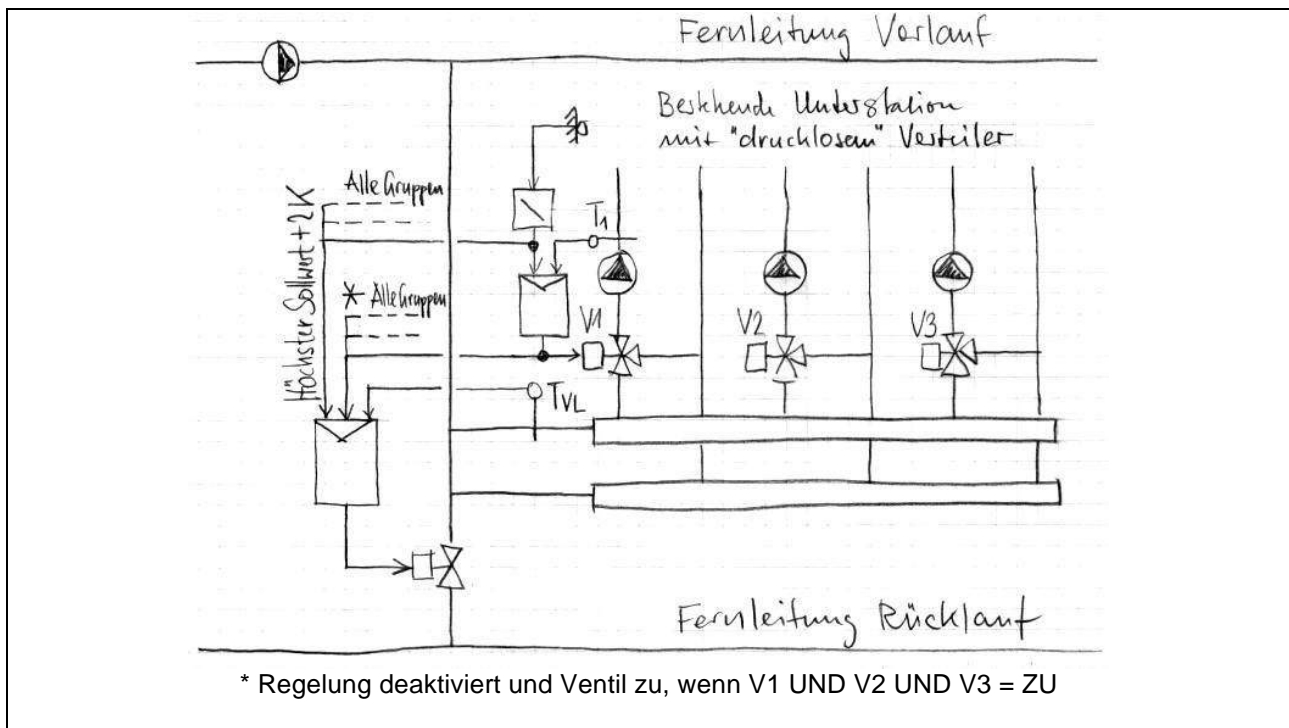
Einbindung entsprechend [FAQ 10: Wie kann ein Öl-/Gaskessel eingebunden werden?](#)

Selbstverständlich kann jeder «drucklose» Verteiler an einer Fernleitung angeschlossen werden, solange der Bypass nicht entfernt wird. Damit fließt aber immer der volle Auslegedurchfluss durch den Anschluss und die Rücklauftemperatur wird angehoben. Dies ist beim Einsatz eines Speichers und bei drehzahlgesteuerten Fernleitungspumpen unzulässig. Welche Lösungen gibt es?

Die hydraulisch und regelungstechnisch sauberste Lösung ist der Umbau der Unterstationen auf Einspritzverteiler mit Durchgangsventilen. Weil dies jedoch sehr teuer ist, taucht immer wieder die Frage auf, ob es nicht eine einfachere Lösung gibt.

Ausdrücklich nicht empfohlen wird der Versuch, den «drucklosen» Verteiler durch eine Drosselschaltung auf $\Delta p = 0$ regeln zu wollen. Eine Regelung auf $\Delta p < 10$ kPa ist kaum machbar, und das ist für einen «drucklosen» Verteiler einfach zuviel.

Die einzig machbare Lösung ist der Anschluss des «drucklosen» Verteilers über eine Einspritzschaltung mit Durchgangsventil zeigt FAQ 15 Abbildung 1.




FAQ 15 Abbildung 1: Anschluss eines «drucklosen» Verteilers über eine Einspritzschaltung mit Durchgangsventil

Durch den Bypass der Einspritzschaltung bleibt der Verteiler druckdifferenzarm, und anstelle der Sekundärpumpe treten die bestehenden Gruppenpumpen. Leider hat die Schaltung aber einen Haken: der Sekundärdurchfluss ist von 0% bis 100% variabel und damit befinden sich Temperaturfühler in diesem Kreis zwangsläufig im «toten Wasser». Deshalb stellt sich die Frage, wie sichergestellt werden kann, dass immer ein Messwert vorhanden ist und die Rücklauftemperatur zur Fernleitung nicht angehoben wird.

Das Problem kann nur vernünftig gelöst werden, wenn alle Regelfunktionen – also Vorregelung und Gruppenregelungen – über das gleiche MSR-System gelöst werden. Dies ist leider bei bestehenden Unterstationen oft nicht der Fall, weil man die bestehenden Gruppenregler weiter verwenden möchte.

Funktionsbeschreibung: Die Vorlauftemperatur T_{VL} wird auf den höchsten von den Heizgruppen angeforderten Sollwert + 2 K vorreguliert. Sobald für den Fühler im «toten Wasser» T_{VL} kein gültiger Messwert mehr vorliegt (alle Gruppenventile geschlossen), wird die Vorregelung deaktiviert und auch deren Ventil geschlossen. Bei Gruppen mit unnötig hoher Rücklauftemperatur (z. B. Wassererwärmer) sollten, wenn möglich, noch zusätzliche Rücklauftemperaturbegrenzungen vorgesehen werden.

	FAQ 17: Wie soll ein Abgaswärmetauscher eingebunden werden?		FAQ 17
	Erste Veröffentlichung: 30. September 2009	Letzte Bearbeitung: 21. Februar 2012	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Abgaswärmetauscher werden sowohl heizwasser- wie abgasseitig oft falsch eingebunden, weil die Randbedingungen zu wenig beachtet werden. Wie soll ein Abgaswärmetauscher bei den gegebenen Randbedingungen eingebunden werden?

Vorbemerkung: Hier wird «Abgaswärmetauscher» als Überbegriff für alle Bauarten verwendet. Nicht kondensierende Abgaswärmetauscher werden oft auch Economizer oder Eco genannt. In der Praxis wird der Begriff «Wärmetauscher» am häufigsten verwendet; aber auch «Wärmeaustauscher» und «Wärmeüberträger» sind übliche Begriffe, die physikalisch zutreffender sind.

Um diese Frage zu beantworten, müssen zunächst einmal die **Randbedingungen** bekannt sein:

- Bauart des/der Partikelabscheider(s)
- Abwärmenutzung ohne oder mit Abgaskondensation?
- Wie hoch ist die minimale Abgas-Eintrittstemperatur am Partikelabscheider? Wie schnell muss diese erreicht werden?
- Wie hoch ist die maximale Abgas-Eintrittstemperatur am Partikelabscheider, die bei Volllast nicht überschritten werden darf?
- Wie hoch ist die Kesseleintrittstemperatur?
- Wie hoch ist die Hauptrücklauftemperatur?
- Wie hoch ist die tiefste Rücklauftemperatur einer einzelnen Gruppe, die genutzt werden kann? Welche Leistung kann dabei genutzt werden?
- Nutzung der Abgase von einem oder von mehreren Kesseln? Nutzung einzeln oder gemeinsam?

Dann muss der für diese Aufgabe am besten geeignete **Abgaswärmetauscher** ausgewählt werden:

- Abgaswärmetauscher für Abgastemperaturen > 90...120°C (muss kein Chromstahl sein); der Abgaswärmetauscher muss trocken bleiben, d. h. ein kondensierender Betrieb muss sicher vermieden werden
- Abgaswärmetauscher aus korrosionsfestem Material (Chromstahl, Glas), d. h. ein kondensierender Betrieb ist möglich, wenn die Abfuhr und Neutralisation des Kondensats gewährleistet ist und Krustenbildung sicher verhindert wird (siehe weiter unten)
- Zweistufiger Abgaswärmetauscher für nicht kondensierenden (Stufe 1) und kondensierenden Betrieb (Stufe 2)

Damit ein **nicht kondensierender Abgaswärmetauscher** sicher trocken bleibt, sind entsprechende Vorkehrungen notwendig:

- Abgasseitiger Bypass
- Hydraulische Einbindung so, dass beim Anfahren heizwasserseitig eine minimale Eintrittstemperatur gewährleistet ist (so ist ein abgasseitiger Bypass nicht notwendig)

Bei einem **kondensierenden Abgaswärmetauscher** müssen die Wärmeaustauschflächen abgasseitig stets nass bleiben (Befeuchtung durch einen sogenannten «Quench»). Nur so können unerwünschte Ablagerungen verhindert werden, welche sich in Zonen aufbauen können, die zwischen nass und trocken wechseln.

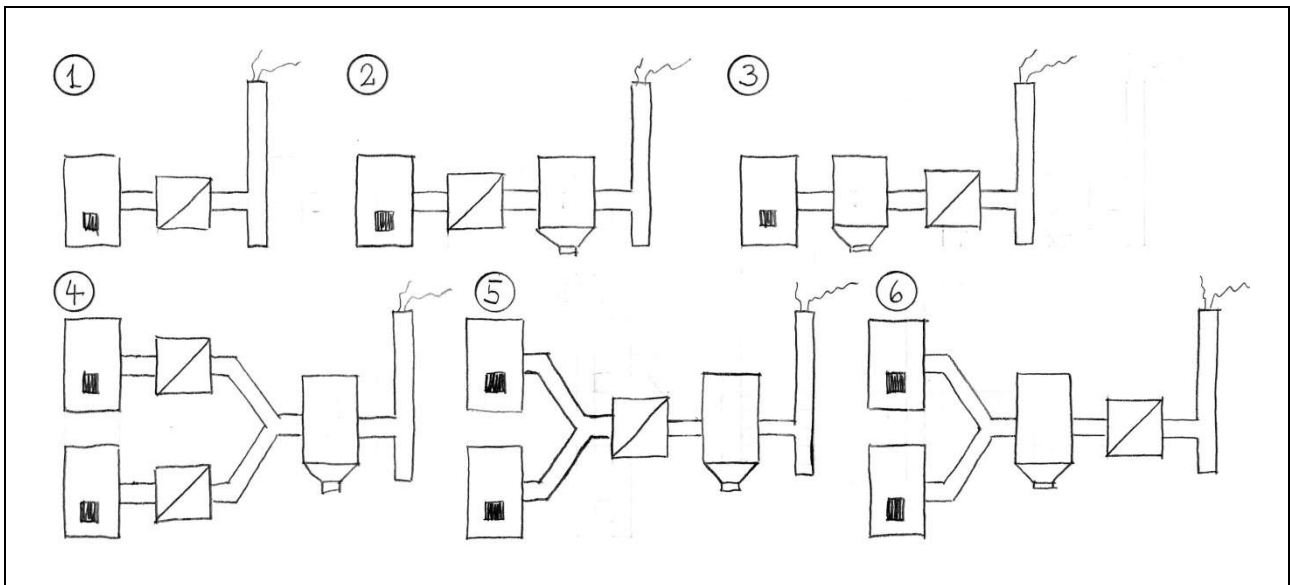
Ausserdem sind möglicherweise noch weitere Massnahmen notwendig, um eine **Überhitzung des Heizwassers bei zu wenig Leistungsabfuhr** zu verhindern:

- Abgasseitiger Bypass
- Hydraulische Einbindung so, dass der Abgaswärmetauscher immer durchflossen ist und die Leistung immer abgeführt werden kann (so ist ein abgasseitiger Bypass nicht notwendig)

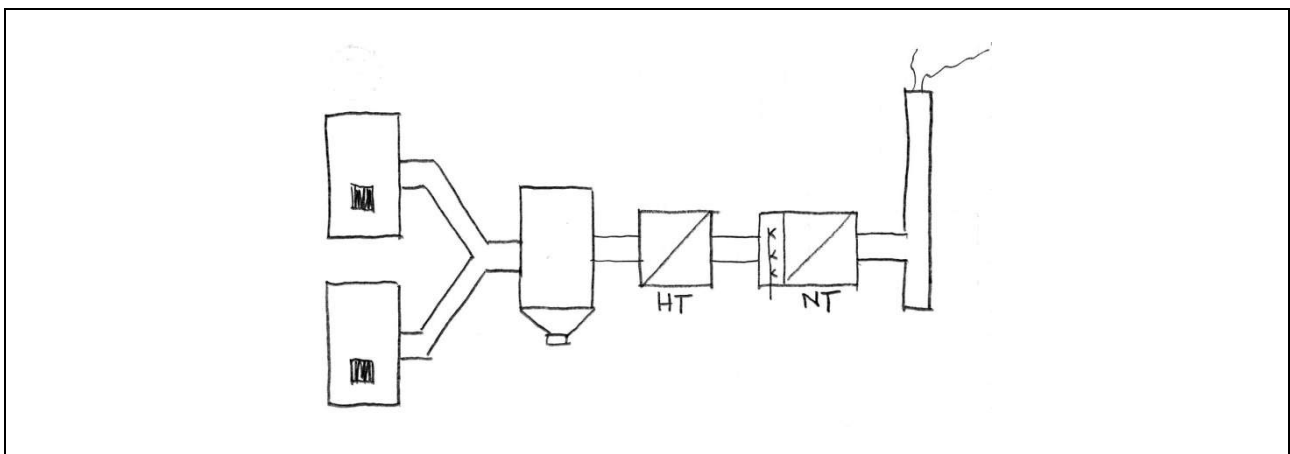
Für die **abgasseitige Einbindung** ergeben sich verschiedene Varianten (FAQ 17 Abbildung 1):

- **Variante 1:** Im Abgasrohr eines kleineren Kessels ohne Partikelabscheider
- **Variante 2:** Im Abgasrohr des Kessels vor dem Partikelabscheider (Bedingung: Abgas-Bypass offen bis Betriebstemperatur erreicht ist)
- **Variante 3:** Im Abgasrohr nach dem Partikelabscheider
- **Variante 4:** In den Abgasrohren mehrerer Kessel vor dem Partikelabscheider (Bedingung: Abgas-Bypass offen bis Betriebstemperatur erreicht ist)
- **Variante 5:** Im gemeinsamen Abgasrohr mehrerer Kessel vor dem Partikelabscheider (nicht empfohlen)
- **Variante 6:** Im gemeinsamen Abgasrohr mehrerer Kessel nach dem Partikelabscheider

Der Abgaswärmetausch kann auch zweistufig erfolgen. FAQ 17 Abbildung 2 zeigt die abgasseitige Einbindung an einem Beispiel.



FAQ 17 Abbildung 1: Varianten zur abgasseitigen Einbindung



FAQ 17 Abbildung 2: Abgasseitige Einbindung eines zweistufigen Abgaswärmetauschers

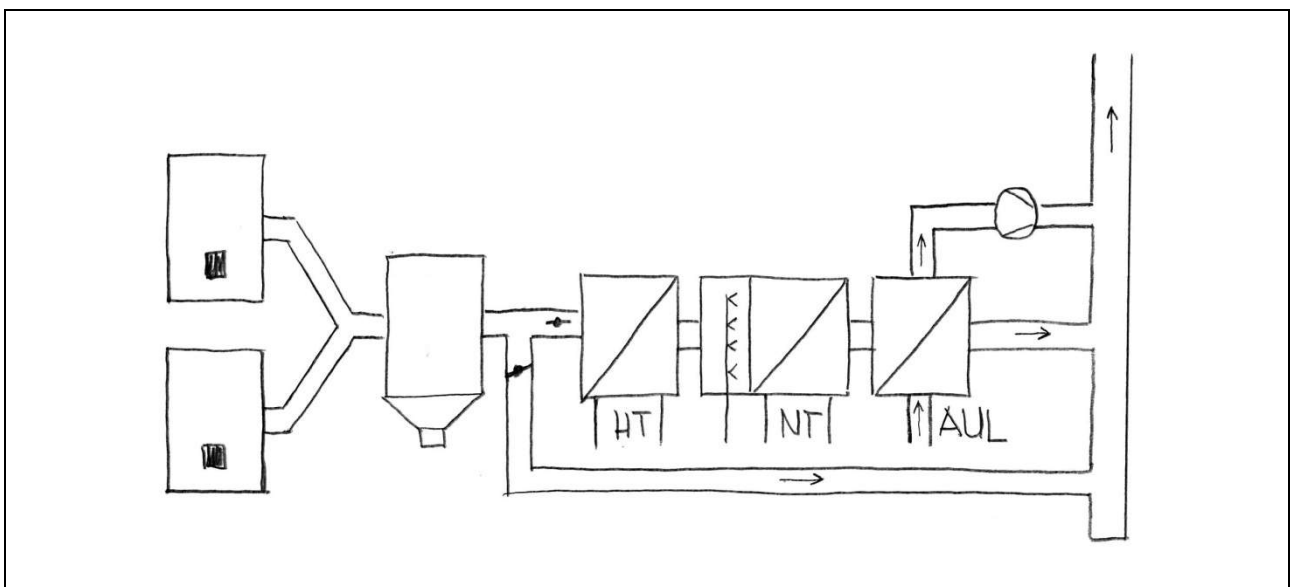
Hydr. Einbindung (FAQ 17 Abbildung 3) → Anlageart, abgasseitige Einbindung (FAQ 17 Abbildung 1) ↓	(A) Hydraulische Einbindung beim Kessel-eintritt	(B1) Hydraulische Einbindung im Hauptrücklauf	(B2) oder (C) Hydraulische Einbindung an einem Ort mit sehr tiefer Rücklauftemperatur < 45°C	Kombination (A) mit (B2) oder (C): Hydraulische Einbindung beim Kesseleintritt und an einem Ort mit sehr tiefer Rücklauftemperatur < 45°C
(1) Einkesselanlage kleinerer Leistung ohne Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im Abgasrohr des Kessels	Abgaswärmetauscher für Betrieb > 90°C (muss nicht aus Chromstahl sein)	Nicht empfohlen, da zu aufwendig	Möglich, wenn genügend Abwärmeleistung vorhanden ist: Einstufiger Abgaswärmetauscher für kondensierenden Betrieb < 45°C	Nicht empfohlen, da zu aufwendig
(2) Einkesselanlage mit Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im Abgasrohr des Kessels	Nur möglich, wenn schnell eine genügend hohe Eintrittstemperatur am Elektroabscheider gewährleistet werden kann (Abgas-Bypass zum Anfahren)	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet
(3) Einkesselanlage mit Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im Abgasrohr nach dem Elektroabscheider	Abgaswärmetauscher für Betrieb > 90°C (muss nicht aus Chromstahl sein)	Abgaswärmetauscher für Betrieb > 90°C (muss nicht aus Chromstahl sein)	Möglich, wenn genügend Abwärmeleistung vorhanden ist: Einstufiger Abgaswärmetauscher für kondensierenden Betrieb < 45°C	Zweistufiger Abgaswärmetauscher für kondensierenden Betrieb < 45°C → FAQ 17 Abbildung 2 mit nur einem Kessel
(4) Mehrkesselanlage mit Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im Abgasrohr jedes Kessels	Nur möglich, wenn schnell eine genügend hohe Eintrittstemperatur am Elektroabscheider gewährleistet werden kann (Abgas-Bypass zum Anfahren)	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet
(5) Mehrkesselanlage mit Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im gemeinsamen Abgasrohr vor dem Elektroabscheider	---	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet	Nicht möglich: Minimale Betriebstemperatur Elektroabscheider nicht gewährleistet
(6) Mehrkesselanlage mit Elektroabscheider, Abgaswärmetauscher im gemeinsamen Abgasrohr nach dem Elektroabscheider	---	Abgaswärmetauscher für Betrieb > 90°C (muss nicht aus Chromstahl sein)	Möglich, wenn genügend Abwärmeleistung vorhanden ist: Einstufiger Abgaswärmetauscher für kondensierenden Betrieb < 45°C	Zweistufiger Abgaswärmetauscher für kondensierenden Betrieb < 45°C → FAQ 17 Abbildung 2

FAQ 17 Tabelle 1: Hydraulische und abgasseitige Einbindung von Abgaswärmetauschern in Verbindung mit Elektroabscheidern

Die im Abgas enthaltenen Reststäube und schädlichen Gase sieht man normalerweise nicht, und diese führen deshalb auch nicht zu Reklamationen. Eine Wasserdampf-Fahne besteht zwar nur aus Wasser, ist aber gut sichtbar und führt deshalb umso mehr zu Reklamationen. Durch eine sogenannte Entschwadung kann der Wassergehalt des Abgases so weit herabgesetzt, dass über dem Kamin nichts mehr zu sehen ist. Dazu wird nach dem Abgaswärmetauscher noch ein zusätzlicher **Entschwadungs-Luftvorwärmer** eingesetzt (FAQ 17 Abbildung 4). Dieser erwärmt einen Aussenluftstrom, der den Abgasen beigemischt wird. Damit wird der Taupunkt des Abgas-Aussenluft-Gemisches so weit herabgesetzt, dass keine Wasserdampffahne mehr zu sehen ist.

Einziges Ziel der Entschwadung ist die Erhöhung der Akzeptanz der Holzheizungsanlage bei den Nachbarn («keine Rauchfahne = saubere Anlage»). Die Entschwadung reduziert keine Schadstoffe und sie bringt auch energetisch nichts, ausser mehr Hilfsenergieverbrauch wegen des zusätzlichen Ventilators. Hinzu kommt noch, dass diese Anlagen bei wechselnder Brennstoffqualität relativ störanfällig sind.

Wenn Entschwadung unumgänglich gefordert wird, sollte wenigstens eine möglichst optimale Methode gewählt werden. Bei hohen Rücklauftemperaturen kann der Einsatz einer Wärmepumpe, welche die Abgase auf unter 45°C abkühlt, geprüft werden.



FAQ 17 Abbildung 4: Kombination von Hochtemperatur-, Niedertemperatur- und Entschwadungs-Wärmetauscher

Als das Qualitätssicherungssystem «QM Holzheizwerke» konzipiert wurde, waren Partikelabscheider noch kaum ein Thema. Hinweise und Forderungen dazu sind deshalb in den bisher erschienenen Publikationen nur wenige zu finden. In Neuauflagen wird die Frage «Was ist beim Einbau von Partikelabscheidern zu beachten?» soweit als möglich ergänzt werden.

Vorbemerkung: Hier wird «Feinstaubabscheider» als Überbegriff für alle Bauarten verwendet und als Unterbegriffe beispielsweise «Gewebefilter» und «Elektroabscheider» (Abscheidung durch Filtration ist nur für den Gewebefilter zutreffend).

Die Luftreinhalteverordnung (LRV) sieht für Neuanlagen folgende **Grenzwerte** vor:

- 70...500 kW: 50 mg/m³ / 13% O₂ (gilt erst ab 2012, bis dahin gilt noch 150 mg/m³ / 13% O₂)
- 500...1'000 kW: 20 mg/m³ / 13% O₂
- 1'000...10'000 kW: 20 mg/m³ / 11% O₂

Bei bestehenden Anlagen beträgt die Sanierungsfrist 10 Jahre, solange der alte Grenzwert eingehalten wird, sonst nur 5 Jahre.

Folgende **Trocken-Partikelabscheider** werden bei Holzheizungsanlagen eingesetzt:

- **Platten-Elektroabscheider**, die mit Klopfleinrichtungen periodisch abgereinigt werden, sind heute als etablierte Technik ab 200 kW verfügbar. Der Raumbedarf ist hoch, die Höhe entspricht etwa dem vorgeschalteten Kessel. Eine Taupunktunterschreitung der Abgase muss sicher verhindert werden, solange die Hochspannung eingeschaltet ist. Zur Verminderung des Risikos von Kurzschlüssen sind die Isolatoren noch zusätzlich aus dem Gasstrom zurückversetzt und oft auch noch elektrisch beheizt. Trotz dieser Massnahmen darf die Hochspannung erst eingeschaltet werden, wenn die Abgastemperatur 120...130°C erreicht hat. Unter diesem vom Hersteller des Elektroabscheiders vorgegebenen Grenzwert ist der Elektroabscheider unwirksam. Beim Anfahren und bei Minimallastbetrieb ist deshalb möglichst schnell ein stationärer Betrieb sicherzustellen.
- **Rohr-Elektroabscheider** sind für Holzheizungsanlagen im Bereich 100...1'000 kW geeignet. Hier erfolgt die Abreinigung durch mechanische Bürsten. Im Vergleich zum Platten-Elektroabscheider ist der Raumbedarf deutlich reduziert, es gelten aber die gleichen Forderungen bezüglich Taupunktunterschreitung wie beim Platten-Elektroabscheider.
- **Gewebefilter** gibt es von 200 kW an aufwärts als Schlauch-Gewebefilter oder als Patronen-Gewebefilter. Nachteilig ist der grosse Druckabfall. Die Abreinigung der Gewebefilterschläuche erfolgt mittels periodischen Druckluftstössen. Damit der Gewebefilter unter keinen Umständen nass wird, ist eine minimale Abgastemperatur von 120...140°C erforderlich. Solange diese Forderung nicht erfüllt ist, müssen die Abgase über einen Bypass umgeleitet werden. Gewebefilter sind nur für sehr trockene Brennstoffe und Bandlastbetrieb geeignet (z. B. Altholzverbrennung oder Holzverarbeitende Betriebe).
- **Metallgewebefilter** gibt es im Bereich 100 bis 540 kW (Stand bei der Markteinführung 2008). Die periodische Abreinigung der Metallgewebefilterpatronen erfolgt mit Druckluftstössen. Nachteilig ist der hohe Druckabfall, es ist aber kein Bypass notwendig und der Filter ist gegen Glutpartikel unempfindlich. Eine elektrische Filterheizung verhindert Kondenswasserbildung (hoher Bedarf an elektrischer Energie bei Schwachlastbetrieb).
- **Zyklone und Multizyklone** erzielen für Partikel über 5 Mikrometer eine Abscheidewirkung von über 50% und ermöglichen in der Regel die Einhaltung des Grenzwertes für kleinere Holzheizungsanlagen von 150 mg/m³. Bei grösseren Anlagen werden Zyklone bzw. Multizyklone vor allem als Vorabscheider zur Verringerung der Staubfracht im Rohgas eingesetzt.

Nass-Partikelabscheider werden sinnvollerweise in Kombination mit Abgaskondensation eingesetzt. Das Benetzen von Feinstaubpartikeln ist aber schwierig. Der Abscheidegrad ist abhängig von der Reinheit des Waschwassers und dem Anteil Wasserdampf, welcher aus dem Abgasstrom auskondensiert wird. Der Abscheidegrad steigt mit tieferer Rücklaufemperatur (höherer Anteil Kondenswasser). Die Dampfschwadenbildung wird reduziert, je tiefer die Abgase abgekühlt und damit getrocknet werden. Damit der Wasserdampf im Abgas auskondensiert ist eine maximale Rücklaufemperatur < 45°C erforderlich (bei trockenem Brennstoff

noch tiefer). Das Waschwasser muss vor dem erneuten Eindüsen gereinigt werden. Dafür sind Filter, Abscheidebecken und Neutralisation erforderlich. Es gibt zwei Bauarten:

- **Wäscher** (Wäscherturm) gibt es im Bereich 70...500 kW. Technisch ausgereifte Lösungen mit Reingasgehalt 50 mg/m³ (bei 13 % O₂) sind bisher nicht Stand der Technik.
- **Nass-Elektroabscheider** sind erst ab etwa 1'500 kW verfügbar. Die Abreinigung erfolgt durch einen Flüssigkeitsfilm.

Aus den unterschiedlichen Eigenschaften und Einsatzbereichen der beschriebenen Bauarten ergeben sich die **Empfehlungen zur Systemwahl** gemäss FAQ 18 Tabelle 1.

Leistungsbereich	70...500 kW	500...1'000 kW	1000...10'000 kW
Grenzwert	50 mg/m ³ / 13% O ₂	20 mg/m ³ / 13% O ₂	20 mg/m ³ / 11% O ₂
Bandlastbetrieb, z. B. Altholzverbrennung oder Holzverarbeitende Betriebe	Rohr-Elektroabscheider ++ Platten-Elektroabscheider ++ Metallgewebefilter ++ Wäscher ++	Rohr-Elektroabscheider ++ Platten-Elektroabscheider ++ Gewebefilter ++ Wäscher ++ (nicht gesichert)	Platten-Elektroabscheider ++ Gewebefilter ++ Nass-Elektroabscheider ++
Geringer Anteil an Schwachlastbetrieb, z. B. bivalente Holzheizungsanlagen	Rohr-Elektroabscheider + Platten-Elektroabscheider + Metallgewebefilter + Wäscher ++	Rohr-Elektroabscheider + Platten-Elektroabscheider + Wäscher ++ (nicht gesichert)	Platten-Elektroabscheider + Nass-Elektroabscheider ++
Hoher Anteil an Schwachlastbetrieb, z. B. monovalente Holzheizungsanlagen	Wäscher +	Wäscher + (nicht gesichert)	Nass-Elektroabscheider +
++ gut geeignet; + geeignet			

FAQ 18 Tabelle 1: Empfehlungen zur Systemwahl der Partikelabscheider

Im Zusammenhang mit der Systemwahl gilt es noch zahlreiche **weitere Punkte** zu beachten:

- Bei Anlagen mit 2 Holzkesseln sollte überlegt werden, ob die preisgünstigere Lösung mit 1 Partikelabscheider und 1 Kamin wirklich sinnvoll ist. Jeder Kessel mit eigenem Partikelabscheider und eigenem Kamin ist zwar teurer, ergibt aber Vorteile durch klare Kessellinien (keine gegenseitige abgasseitige Beeinflussung, optimaler Kaminquerschnitt usw.)
- Vorabscheidung unverbrannter Grobpartikel grösser 5 Mikrometer mit Zyklon oder Multizyklon ist sowohl bei Trocken- wie bei Nass-Feinstaubabschleuderverfahren sinnvoll. Bei Anlagen mit Elektroabscheider ergibt sich eine Verringerung der Staubfracht, weil unverbrannte Grobpartikel grösser 5 Mikrometer nur unzureichend abgeschieden werden, und bei Nass-Feinstaubabschleuderverfahren können die Aufwendungen für die Schlammbewirtschaftung und die Entsorgungskosten reduziert werden.
- Beim Platten- und Rohr-Elektroabscheider sowie beim Gewebefilter geht es vor allem darum, die vom Hersteller vorgeschriebene Minimaltemperatur beim Anfahren möglichst schnell zu erreichen und im Minimallastbetrieb eine Unterschreitung sicher zu vermeiden. Als Erstes ist deshalb immer mit dem Hersteller abzuklären, welche Minimaltemperatur bei welcher Brennstoffqualität eingehalten werden muss.
- Ob Abgaswärmetauscher für Abgastemperaturen > 120°C vor dem Elektroabscheider bzw. Gewebefilter eingebaut werden sollen ist fraglich. Abgaswärmetauscher für tiefere Abgastemperaturen sind in jedem Falle nach dem Elektroabscheider anzuordnen (siehe FAQ 17: Wie soll ein Abgaswärmetauscher eingebunden werden?).
- Auch die maximal zulässige Abgastemperatur am Eintritt zum Partikelabscheider muss beachtet werden: Wenn diese bei Schwachlast mit allen Mitteln hoch gehalten werden muss, kann die Abgastemperatur bei Vollast schnell einmal zu hoch werden.
- Wichtig ist, dass in einem kondensierenden Abgaswärmetauscher abgasseitig die Wärmeaustauschflächen stets nass sein müssen. Nur so können unerwünschte Ablagerungen verhindert werden, welche sich in Zonen aufbauen können, die zwischen nass und trocken wechseln.
- Der sinnvolle Einsatz von Nass-Feinstaubabschleuderverfahren besteht in der Kombination mit Abgaskondensation. Der Abscheidegrad wird durch den Kondenswasseranteil erhöht und der Fremdwasserbedarf auf ein Minimum beschränkt. Damit der Wasserdampf im Abgas auskondensiert, ist eine maximale Rücklaufumtemperatur < 45°C erforderlich (bei trockenem Brennstoff noch tiefer). Der Partikelabschleudegrad einer Abgaskondensationsanlage beträgt bereits ohne Wäscher oder Nass-Elektroabscheider 40...50%.

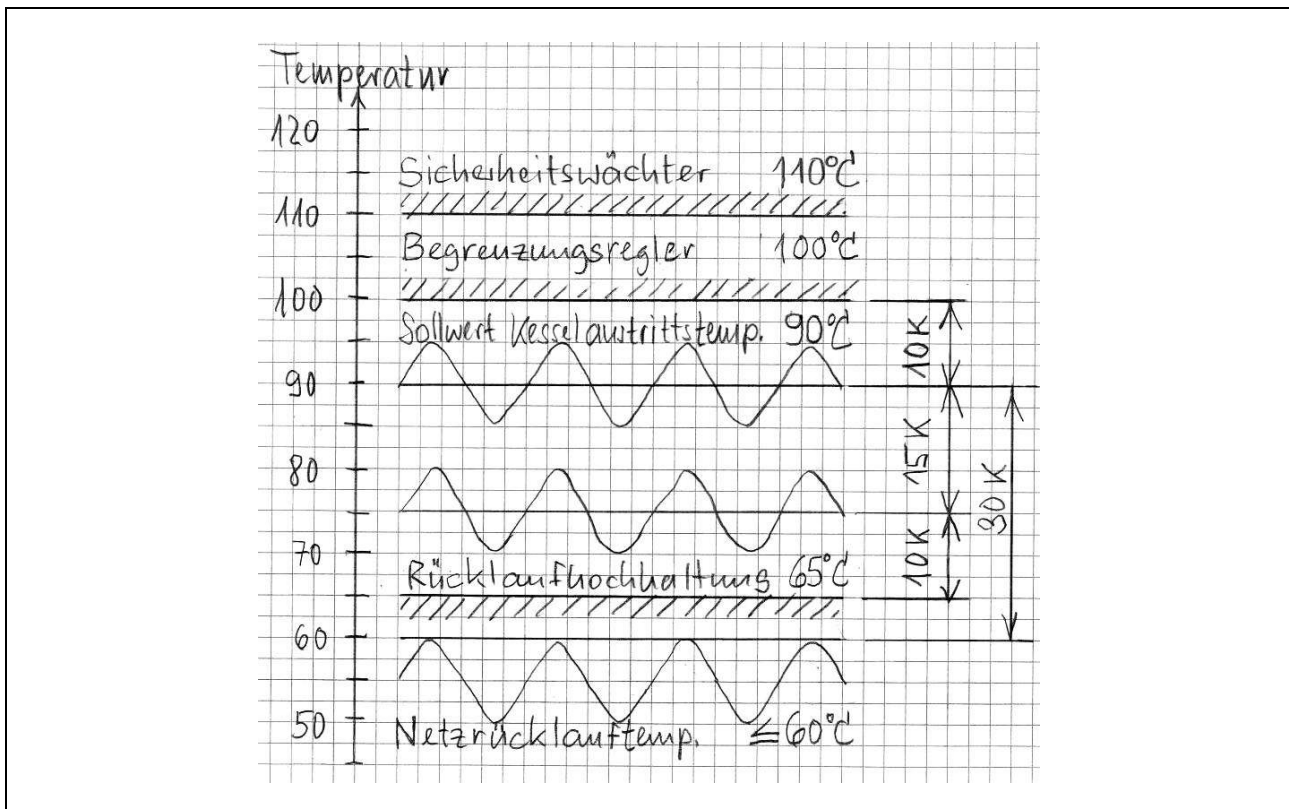
- Im Betriebsoptimierungskonzept muss immer unmissverständlich festgelegt werden, dass bei der automatischen Datenaufzeichnung «Partikelabscheider in Funktion» (d. h. Hochspannung eingeschaltet bzw. Bypass geschlossen bzw. Eindüsung Waschwasser eingeschaltet) aufgezeichnet wird und nicht etwa bloss ein Freigabesignal.
- Im Rahmen von QM Holzheizwerke sollte zusätzlich eine Mindestverfügbarkeit der Feinstaubabscheidung verlangt und bei Meilenstein 5 auch deren Einhaltung kontrolliert werden.
- Bei den zukünftigen offiziellen Emissionsmessungen wird bei Trocken-Feinstaubabscheideverfahren der Abreinigungsintervall mitgemessen.

Ein häufiges Problem ist, dass sich die Regler im Kesselkreis in die Quere kommen. Wie ist der Kesselkreis auszulegen und wie sind die Sollwerte am Kessel zu einstellen, damit dies sicher verhindert wird?

FAQ 19 Abbildung 1 zeigt eine typische Kesselauslegung für **Standardschaltungen mit Speicher (WE2, WE4, WE6)**. Es ergeben sich die folgenden Temperaturen von oben nach unten:

- Sicherheitswächter eingestellt auf 110°C.
- Kesselinterner Begrenzungsregler eingestellt auf 100°C.
- Unter Berücksichtigung einer maximalen Schwankungsbreite von ± 5 K und einem Sicherheitsabstand von 5K zum kesselinternen Begrenzungsregler kann der Speicherladeregler auf einen Sollwert der Kesselaustrittstemperatur von $100^\circ\text{C} - 5\text{ K} - 5\text{ K} = 90^\circ\text{C}$ eingestellt werden.
- Bei Auslegung des Kesseldurchflusses entsprechend einer Temperaturdifferenz von 15 K ergibt sich damit bei Vollast eine Kesseleintrittstemperatur von 75°C. Unter Berücksichtigung einer maximalen Schwankungsbreite von ± 5 K und eines Sicherheitsabstandes von 5 K zur Rücklaufhochhaltung darf letztere auf maximal $75^\circ\text{C} - 5\text{ K} - 5\text{ K} = 65^\circ\text{C}$ eingestellt werden.
- Wenn die Auslegung des Wärmenetzes auf eine Rücklauftemperatur von 55°C erfolgte, sollte auch hier noch mit einer Schwankungsbreite von ± 5 K gerechnet werden. Die maximal vorkommende Rücklauftemperatur sollte damit sicher nie über 60°C liegen. Falls im Kesselkreis Bypässe vorgesehen sind, kann das Regelventil auf einen Durchfluss entsprechend einer Temperaturdifferenz von $90^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C} = 30\text{ K}$ ausgelegt werden (siehe [FAQ 5: Wann sind Bypässe in den Kesselkreisen sinnvoll und wann nicht?](#)).

Mit dieser Einstellung sollten sich sicher keine Probleme ergeben.



FAQ 19 Abbildung 1: Temperaturen im Kesselkreis einer Standardschaltung mit Speicher (WE2, WE4, WE6)

Wenn mit einer Schwankungsbreite von nur $\pm 2,5$ K und einem Sicherheitsabstand von nur 2,5 K gerechnet wird (gesamthaft also 5 K), kann mit entsprechend tieferen Werten gefahren werden:

- Sicherheitswächter 110°C
- Begrenzungsregler 90°C
- Sollwert Kesselaustrittstemperatur 85°C
- Resultierende Kesseleintrittstemperatur 70°C
- Rücklaufhochhaltung 65°C


Bei den **Standardschaltungen ohne Speicher (WE1, WE3, WE5)** sieht die Sache etwas anders aus. Hier erfolgt die Regelung auf die Mischtemperatur beider Kessel. Beim Zuschalten hat Kessel 2 den vollen Volumenstrom bei Minimalleistung und damit eine kleinere Temperaturdifferenz zwischen Eintritt und Austritt als bei Vollast. Diese Abweichung bewirkt ein «Floaten» der Kesselwassertemperaturen: Die Temperatur von Kessel 1 (Vollast) ist höher und diejenige von Kessel 2 (Teillast) tiefer als die Hauptvorlauftemperatur. Dies ist bei der Auslegung zu berücksichtigen, damit die Begrenzung der Kesselwassertemperatur von Kessel 1 genügend hoch eingestellt werden kann:

- Sicherheitswächter 110°C
- Begrenzungsregler 100°C
- Sollwert Kesselaustrittstemperatur 85°C (d. h. 15 K Reserve zum Begrenzungsregler)
- Resultierende Kesseleintrittstemperatur 70°C
- Rücklaufhochhaltung 65°C

In diesem Zusammenhang wird immer wieder die Frage gestellt, wie weit eine **witterungsabhängige Führung der Kesselaustrittstemperatur** Sinn macht. Die drei obigen Beispiele zeigen deutlich, dass der Spielraum dazu sehr eng ist, solange eine Rücklaufhochhaltung von 65°C gefordert wird. Eine Führung über einen größeren Bereich als zwischen 80°C und 95°C ist kaum machbar:

- Sicherheitswächter 110°C
- Begrenzungsregler 100°C
- Sollwert Kesselaustrittstemperatur witterungsgeführt 80...95°C
- Resultierende Kesseleintrittstemperatur 80°C – 10 K = 70°C
- Rücklaufhochhaltung 65°C

Mit dieser Auslegung darf die Kesselleistung bei 80°C Kesselaustrittstemperatur maximal 67% betragen (entsprechend 10 K). Auf 75°C könnte nur herunter gegangen werden, wenn sichergestellt wäre, dass die Kesselleistung in diesem Falle höchstens 33% betragen würde (entsprechend 5 K).

	FAQ 20: Wie kann eine Folgeschaltung für monovalente Dreikesselanlagen realisiert werden?		FAQ 20
	Erste Veröffentlichung: 30. September 2009	Letzte Bearbeitung: 30. September 2009	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Für monovalente Dreikesselanlagen gibt es keine Standardschaltung (weder in Teil I [2] noch in Teil II [5]). In der Schweiz werden monovalente Dreikesselanlagen mit Regelung auf die Feuerungsleistung (entsprechend Teil I) vor allem deshalb gebaut, weil damit mit dem kleinsten Kessel auch im Sommer und in der Übergangszeit mit Holz geheizt werden kann (Einhaltung Minimallast). Wie kann die Folgeschaltung für eine solche monovalente Dreikesselanlage grundsätzlich realisiert werden?

Ausschlaggebend für die Auslegung von **Kessel 1** ist die geforderte Minimallast im Sommerbetrieb gemäss FAQ 12: Wie gross muss die Minimallast eines Holzkessels im Schwachlastbetrieb sein? Kessel 1 wird damit, im Verhältnis zur Gesamtleistung, relativ klein.

In [2] wird für Zweikesselanlagen eine Aufteilung der Gesamtleistung im Verhältnis 1 : 2 empfohlen. Bei Dreikesselanlagen ist dieses Verhältnis für **Kessel 2 und Kessel 3** ebenfalls sinnvoll. Nach Abzug der Leistung von Kessel 1 wird deshalb der Rest der Gesamtleistung im Verhältnis 1 : 2 auf Kessel 2 und Kessel 3 aufgeteilt. Hier ein Beispiel:

- Kessel 1 (mit automatischer Zündung) für Sommerbetrieb und Übergangszeit: 10% der Gesamtleistung
- Kessel 2 (wenn möglich mit automatischer Zündung): 30% der Gesamtleistung
- Kessel 3 (mit Glutbettunterhaltsbetrieb): 60% der Gesamtleistung

Die Umschaltung vom Schwachlastbetrieb bis auf den Betrieb mit automatischer Folgeschaltung und zurück erfolgt manuell (Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtleistung):

- Kessel 1 allein (3...10%) im Sommerbetrieb und in der Übergangszeit
- Manuelle Umschaltung auf Kessel 2 allein (10...30%), wenn Kessel 1 allein (5...10%) den Tagesbedarf nicht mehr decken kann
- Manuelle Umschaltung auf Kessel 3 allein (20...60%), wenn Kessel 2 allein (10...30%) den Tagesbedarf nicht mehr decken kann
- Manuelle Umschaltung auf automatische Folgeschaltung (siehe unten), wenn Kessel 3 allein (20...60%) den Tagesbedarf nicht mehr decken kann
- Manuelle Rückschaltung auf Kessel 3 allein (20...60%), wenn der Tagesbedarf wieder auf absehbare Zeit durch Kessel 3 allein gedeckt werden kann
- Manuelle Rückschaltung auf Kessel 2 allein (10...30%), wenn der Tagesbedarf wieder auf absehbare Zeit durch Kessel 2 allein gedeckt werden kann
- Manuelle Rückschaltung auf Kessel 1 allein (5...10%), wenn der Tagesbedarf wieder auf absehbare Zeit durch Kessel 1 allein gedeckt werden kann (Sommerbetrieb und Übergangszeit)

Die automatische Folgeschaltung kann damit grundsätzlich analog einer Zweikesselanlage (WE5 und WE6 in [2]) realisiert werden (Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtleistung):

- Kessel 3 allein (20...60%)
- Automatische Zuschaltung von Kessel 2 (10...30%) mittels automatischer Zündung (oder Glutbettunterhaltsbetrieb bei grossen Anlagen), wenn Kessel 3 (20...60%) den stündlichen Wärmebedarf nicht mehr decken kann
- Parallelbetrieb Kessel 2 (10...30%) und Kessel 3 (20...60%) ergibt gesamthaft 30...90%
- Automatische Rückschaltung auf Kessel 3 allein (20...60%), wenn der stündliche Wärmebedarf unter die Summe der beiden Minimalleistungen von 30% (= 10% + 20%) fällt

Die Einbindung von Kessel 1 in die automatische Folgeschaltung ist möglich, aber nicht notwendig. Einfacher ist es, sobald die Kessel 2 und 3 den Tagesbedarf nicht mehr decken können (zusammen 90%), Kessel 1 einfach als Bandlastkessel mit Vollast (10%) manuell zuzuschalten.

Fazit: Eine monovalente Dreikesselanlage kann grundsätzlich als monovalente Zweikesselanlage (WE5 und WE6 in [2]) mit einem dritten, wesentlich kleineren Kessel für den Schwachlastbetrieb konzipiert werden.

QM Holzheizwerke empfiehlt, wenn möglich Holzheizungsanlagen mit Speicher zu bauen. Was sind die Vorteile eines Speichers und wie soll er ausgelegt werden?

Im Gegensatz zu einem fossil befeuerten Kessel kann die Leistung eines Holzkessels sehr viel langsamer der erforderlichen Last angepasst werden. Dies gilt sowohl für das Herauf- wie das Herunterfahren. Typischerweise dauert das Herauffahren der Holzkesselleistung von 30% auf 100% etwa 30 bis 45 Minuten. Auf der Wärmeabnehmerseite kann sich die Last jedoch, sowohl nach oben wie nach unten, viel schneller ändern, als der Holzkessel die Leistung anzupassen vermag. Wenn nun ein Speicher als Puffer zwischen Wärmeerzeuger und Wärmeabnehmer geschaltet wird, kann das unterschiedliche Zeitverhalten der beiden Systeme ausgeglichen werden.

Sowohl bei der Wärmeerzeugung wie bei der Wärmeabnahme gibt es flinkere und trägere Systeme. Beispielsweise ist eine Unterschubfeuerung für trockene Hackschnitzel wesentlich schneller regelbar als eine Rostfeuerung für feuchte Rinde, und ein langes Wärmenetz (grosser Wasserinhalt) mit vielen kleinen Abnehmern ist träger als ein kurzes Wärmenetz (kleiner Wasserinhalt) mit wenigen grossen Abnehmern.

Lastspitzen im Wärmenetz entstehen, wenn plötzlich eine tiefe Rücklauftemperatur (kaltes Abgabesystem) mit hohem Durchfluss (infolge voll aufgesteuerter Regelventile und oft noch überdimensionierter Pumpen) zurückkommt.

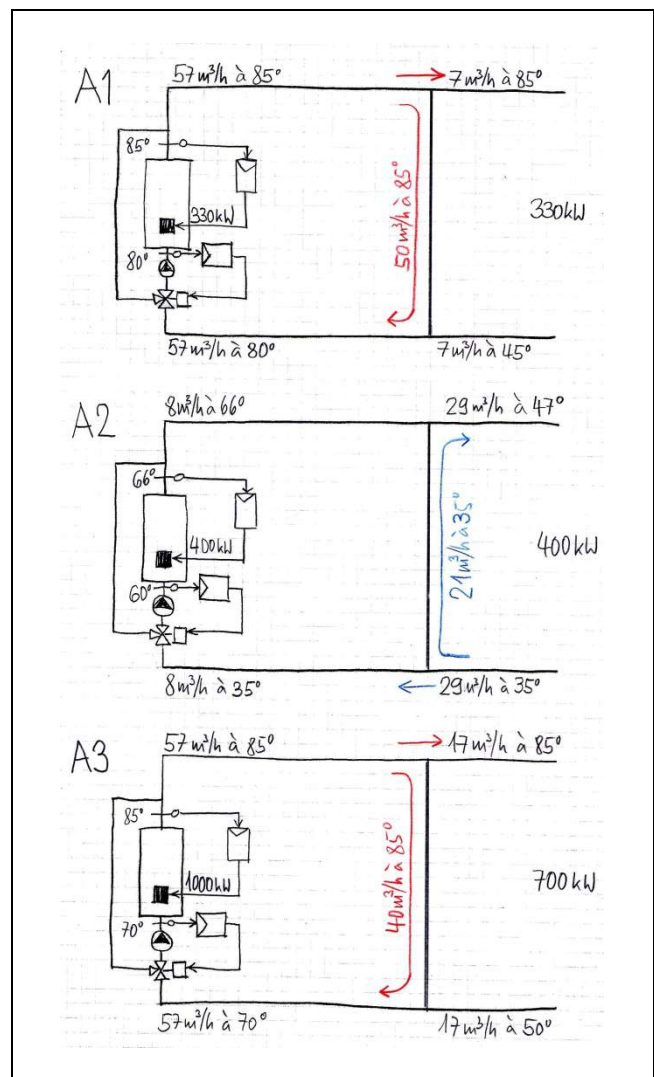
Eine flinke Wärmeerzeugung kombiniert mit einem trägen Abgabesystem kann ohne Speicher auskommen. Hingegen ist ein Speicher umso zwingender je träger die Wärmeerzeugung und je flinker das Abgabesystem ist.

FAQ 21 Abbildung 1 und FAQ 21 Abbildung 2 zeigen das Verhalten einer Anlage mit träger Wärmeerzeugung und flinker Wärmeabgabe bei plötzlicher Laständerung ohne und mit Speicher. Es sind jeweils drei typische Lastzustände angegeben:

1. Ausgeglichener Betrieb bei kleiner Leistung (Holzkessel = 330 kW; Wärmeabnahme = 330 kW).
2. Etwa 10 Minuten nach einer plötzlichen Laständerung, wenn zahlreiche Gruppen plötzlich öffnen. Der Durchfluss auf der Abnehmerseite steigt auf das Maximum und der Rücklauf kommt praktisch kalt zurück.
3. Etwa 45 Minuten nach der Laständerung, unter der Annahme, dass zu diesem Zeitpunkt die Feuerungsleistung annähernd auf die Maximalleistung von 1000 kW hochgefahren ist.

Verhalten ohne Speicher

- A1 Ausgeglichener Betrieb, Bypass zirkuliert von oben nach unten, alle Temperaturen auf Sollwert.
- A2 Der Bypass zirkuliert plötzlich von unten nach oben und die Vorlauftemperatur zu den Wärmeabnehmern bricht zusammen. Folge: Die Gruppen können die Sollwerte nicht halten und öffnen die Regelventile bis auf Anschlag. Der Rücklauf zum Holzkessel kommt infolge des kalten Abgabesystems mit 35°C zurück. Damit



FAQ 21 Abbildung 1: Verhalten einer Anlage ohne Speicher bei plötzlicher Laständerung

kommt die Rücklaufhochhaltung zum Eingriff und die Kesselaustrittstemperatur bricht entsprechend ein.

Infolge der grossen Sollwertabweichung der Austrittstemperatur wird die Feuerungsleistung hochgefahren.

- A3 Erst wenn die Feuerungsleistung genügend hochgefahren ist, zirkuliert der Bypass wieder von oben nach unten, die Wärmeabnehmer werden wieder regulär mit 85-grädigem Heizwasser versorgt, die Gruppen können die Störung ausregeln und die Regelventile erreichen eine mittlere Position.

Der Holzkessel läuft jetzt auf Maximalleistung, aber die Wärmeabnehmer brauchen deutlich weniger. Kann die Feuerungsleistung genügend schnell zurückgeregelt werden?

Verhalten mit Speicher

- B1 Ausgeglichener Betrieb, Speicher ist konstant zu 60% gefüllt, alle Temperaturen auf Sollwert.
- B2 Anstelle des Bypasses zirkuliert hier der Speicher von unten nach oben. Da ein Speicher eine Art «Bypass mit sehr grossem Durchmesser» ist, der zu 60% mit 85-grädigem Wasser gefüllt ist, bricht die Vorlauf-temperatur zu den Wärmeabnehmern nicht zusammen. Folge: Die Gruppen können die Störung ausregeln und die Regelventile sind bald wieder auf einer mittleren Position. Der Rücklauf zum Holzkessel ist auch hier so tief, dass die Rücklaufhochhaltung möglicherweise kurz zum Einsatz kommt, sehr bald wird aber die Austrittstemperaturregulierung dafür sorgen, dass die Kesselaustrittstemperatur wieder auf Sollwert ist. Im Unterschied zu A2 bricht hier die Kesselaustrittstemperatur, wenn überhaupt, nur kurzzeitig ein.

Auffallend ist hier, welche grosse Leistungen kurzzeitig abgegeben werden können. Bei Maximaldurchfluss von 29 m³/h (Auslegung auf 85/55°C) und einer momentanen Rücklauf-temperatur von 35°C (kaltes Abgabesystem) ist kurzzeitig eine Leistungsspitze von 1700 kW möglich!

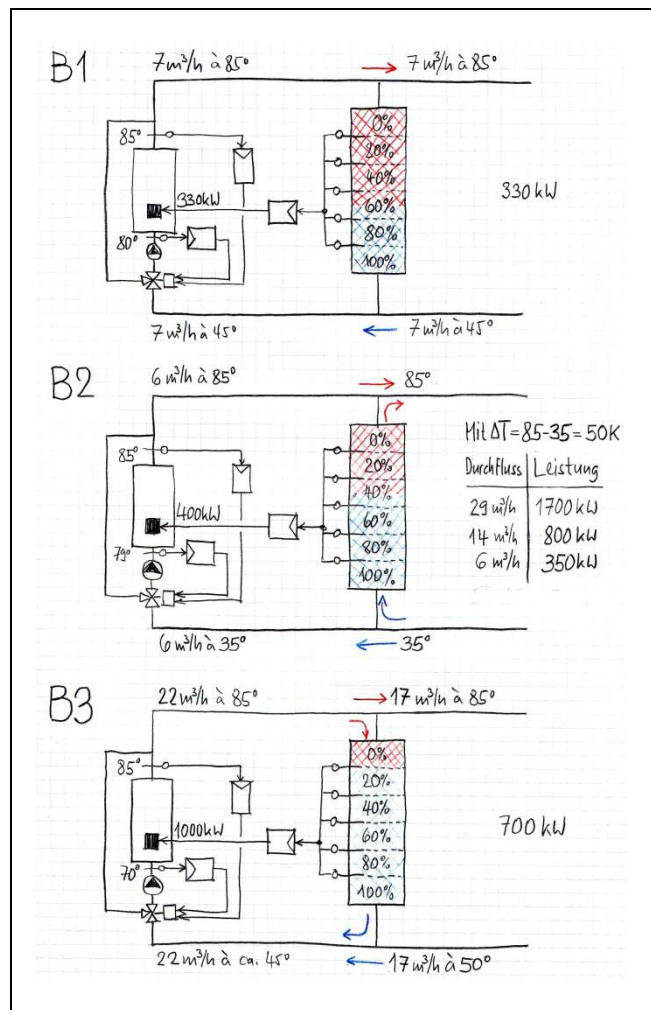
Infolge des sinkenden Speicherladezustandes wird die Feuerungsleistung hochgefahren.

- B3 Da die in A2 beschriebene Störung bei B2 weitgehend ausgeblieben ist, wird hier schneller wieder ein ausgeglichener Betrieb erreicht. Die vom Holzkessel zu viel produzierte Leistung wird wieder in den Speicher gesteckt (dieser zirkuliert jetzt wieder von oben nach unten). Mit steigendem Speicherladezustand wird die Feuerungsleistung kontinuierlich reduziert bis bei 60% wieder ein ausgeglichener Zustand erreicht ist.

Speicherauslegung auf eine Speicherkapazität von 1 Stunde

QM Holzheizwerke empfiehlt die Auslegung des Speichervolumen auf ≥ 1 h Speicherkapazität (bezogen auf die maximale Holzkesselleistung mit Referenzbrennstoff). Für die Anlage gemäss FAQ 21 Abbildung 2 würde sich mit einer maximalen Holzkesselleistung von 1000 kW, einer Kesselaustrittstemperatur von 85°C und einer maximalen Hauptrücklauf-temperatur von 55°C etwa folgende Auslegung ergeben:

$$\text{Speichergrosse} = 0,86 \times 1000 \text{ kW} \times 1 \text{ h} / (85 - 55) \text{ K} = 29 \text{ m}^3$$



FAQ 21 Abbildung 2: Verhalten einer Anlage mit Speicher bei plötzlicher Laständerung

Wieso kann der Holzkessel bei einer Anlage mit Speicher kleiner ausgelegt werden?

Lastzustand B2 in FAQ 21 Abbildung 2 hat gezeigt, dass mit einem Speicher während kurzer Zeit eine sehr grosse Leistungsspitze abgegeben werden kann. Begrenzt wird diese Leistungsspitze nur durch die Hauptrücklauf­temperatur und den Durchfluss (gegeben durch den Druckabfall der Leitungen/Armaturen und die Pumpenleistungen).

Annahme: Obige Speicherauslegung, der Holzkessel läuft bereits mit 1000 kW, der Speicher ist zu 60% gefüllt. Wenn jetzt plötzlich eine grosse Last mit Auslegedurchfluss (29 m³/h) zugeschaltet wird und die Hauptrücklauf­temperatur auf 35°C absinkt (kaltes Abgabesystem), beträgt die maximale Leistungsabgabe

$$29 \text{ m}^3/\text{h} \times 50 \text{ K} / 0,86 = 1700 \text{ kW}$$

und dies (bis der Speicher leer ist) über eine maximale Zeitdauer von

$$(17,4 \text{ m}^3 \times 50 \text{ K}) / (0,86 \times 700 \text{ kW}) = 1,45 \text{ Stunden.}$$

Für 1,45 Stunden kann so die 1,7-fache Holzkesselleistung abgegeben werden. Deshalb kann der Holzkessel bei Anlagen mit Speicher entsprechend kleiner dimensioniert werden. QM Holzheizwerke empfiehlt:

- Bei monovalenten Anlagen ohne Speicher (WE1, WE5) muss der/die Holzkessel auf 100% des Wärmeleistungsbedarfs inklusive Lastspitzen (Situationserfassung [7]: ausgezogene Lastkennlinie) ausgelegt werden.
- Bei monovalenten Anlagen mit Speicher (WE2, WE6) kann der/die Holzkessel auf 100% des Wärmeleistungsbedarfs ohne Lastspitzen (Situationserfassung [7]: gestrichelte Lastkennlinie) ausgelegt werden (gilt nur für Anlagen mit vorwiegend Raumwärme).
- Um 80...90% des Jahreswärmebedarfs mit Holzenergie abdecken zu können, kann der/die Holzkessel bivalenter Anlagen ohne Speicher (WE3, WE7) auf 60...70% des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt werden (Richtwert für Anlagen mit vorwiegend Raumwärme).
- Um 80...90% des Jahreswärmebedarfs mit Holzenergie abdecken zu können, kann der/die Holzkessel bivalenter Anlagen mit Speicher (WE4, WE8) noch tiefer auf 50...60% des Wärmeleistungsbedarfs ausgelegt werden (Richtwert für Anlagen mit vorwiegend Raumwärme).

Wieso wird der Speicher nur auf 60% gefüllt?

Wieso nicht auf 100% füllen? Dann wäre die Speicherkapazität bei einer plötzlichen Lastzunahme entsprechend höher! Die Antwort ist, dass es eben auch den umgekehrten Lastfall gibt, wenn zahlreiche Gruppen plötzlich schliessen und der Durchfluss auf der Abnehmerseite plötzlich gegen null geht. Und auch bei Glutbettunterhalt ist es am einfachsten, wenn man die überschüssige Wärme an den Speicher abgeben kann.

Wieso die Stufung 0% – 20% – 40% – 60% – 80% – 100%?

Diese Stufung ergibt sich, wenn 5 Fühler zur Verfügung stehen und damit der Speicher in 6 gleich grosse Zonen unterteilt wird (entsprechend FAQ 21 Abbildung 2). «Alle Fühler kalt» entspricht dann 0% und «alle Fühler warm» bedeutet 100%. In jedem Fall sollte als Sollwert ein Stufenwert gewählt werden (auch bei Glättung des Signals durch Interpolation oder ein PT1-Glied).

Mehr als 5 Fühler (z. B. 10 Fühler mit 10%-Stufung) sind unbedingt empfehlenswert, weil durch die feinere Stufung das Regelverhalten wesentlich verbessert werden kann.

Wann macht die Speicherauslegung auf eine grössere Speicherkapazität als 1...1,5 Stunden Sinn?

Da ein grösserer Speicher mehr kostet, mehr Platz braucht (und damit höhere Baukosten verursacht) und zudem auch grössere Speicher­verluste hat, macht eine grössere Speicherkapazität nur Sinn, wenn diese auch tatsächlich genutzt werden kann. Bei normalen Anlagen mit vorwiegend Raumheizung ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis in der Regel zu schlecht.

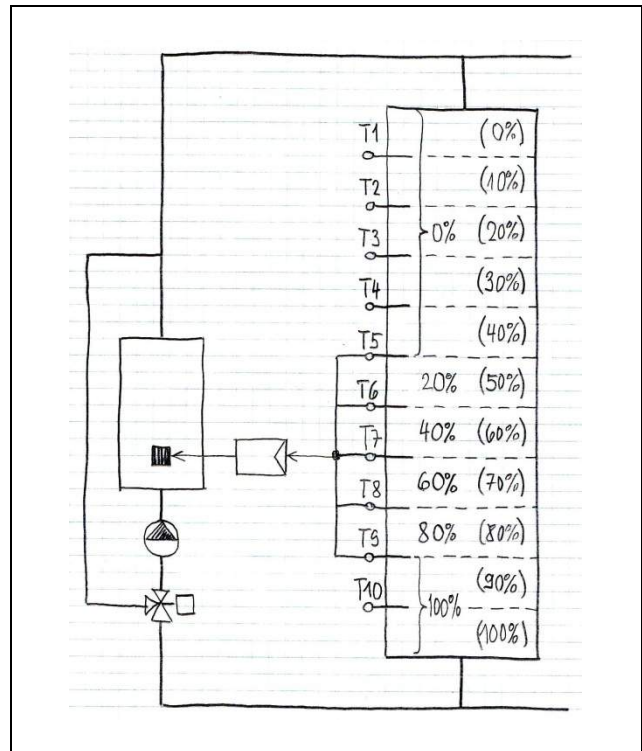
Eine Auslegung auf 1,5 Stunden Speicherkapazität kann sinnvoll sein, wenn vorwiegend feuchter Brennstoff (> 50%) verbrannt wird.

Ein übergrosser Speicher mit deutlich über 1,5 Stunden Speicherkapazität kann bei Verbrauchern mit extremen Lastspitzen (z. B. Gewächshäuser in der Nacht) Sinn machen, um mit einer wesentlich reduzierten Holzkesselnennleistung den täglichen Wärmebedarf abdecken zu können (mit Ausnahme der kältesten Wintertage). Mit der reduzierten Holzkesselnennleistung kann die Auslastung des Holzkessels (bzw. die Vollbe-

triebsstundenzahl) bedeutend erhöht werden. In einer tatsächlich realisierten Anlage konnte so der Holzkessel zur Beheizung von Gewächshäusern um etwa die Hälfte kleiner ausgelegt werden.


Da zu solchen übergrossen Speichern kaum Erfahrungen vorliegen, ist ein Regelkonzept zu realisieren, welches im Laufe der Betriebsoptimierung mit möglichst geringem Aufwand angepasst werden kann. FAQ 21 Abbildung 3 zeigt einen Vorschlag für extrem grosse Lastspitzen:

- Über die Speicherhöhe werden mindestens 10 Messfühler montiert, so dass sich 11 gleich grosse Zonen ergeben. Von den 10 Messfühlern ist nur eine frei wählbare Zahl (z. B. 5 Fühler) für die Leistungsregelung aktiv, aber alle 10 Fühler werden zur Betriebsoptimierung aufgezeichnet und visualisiert.
- Der obere Speicherbereich T1 bis T4 steht nun zusätzlich für extreme Lastspitzen zur Verfügung. Die Fühler T5 bis T9 erfassen den Speicherladezustand 0% – 20% – 40% – 60% – 80% für die Leistungsregelung. Der untere Speicherbereich T10 steht als zusätzliche Wärmeabfuhr zur Verfügung, wenn die Last plötzlich abfällt oder bei Glutbettunterhaltsbetrieb. Die Zonen 0% und 100% sind damit wesentlich grösser als im Standard-Regelkonzept.



FAQ 21 Abbildung 3: Vorschlag für das Regelkonzept mit einen übergrossen Speicher

- Die Zahl und die Zuordnung der aktiven Messfühler zur Erfassung des Speicherladezustandes für die Leistungsregelung soll im Laufe der Betriebsoptimierung beliebig angepasst werden können. Im Extremfall können alle 10 Fühler für die Regelung aktiviert werden; die entspricht dann dem Standardregelkonzept mit 10 Fühlern (die entsprechenden Wertigkeiten der Zonen sind in Klammern angegeben).

	FAQ 22: Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei einem gemeinsamen Elektro-Partikelabscheider?		FAQ 22
	Erste Veröffentlichung: 29. September 2010	Letzte Bearbeitung: 21. Februar 2012	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Bei Anlagen mit zwei Holzkesseln wird heute oft ein gemeinsamer Elektro-Partikelabscheider eingesetzt, weil dieser in der Regel wesentlich preisgünstiger ist als zwei separate Abscheider. Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei einem gemeinsamen Elektro-Partikelabscheider?

Bei gleicher Bauart sind zwei separate Abscheider teurer als ein gemeinsamer. Bei unterschiedlichen Bauarten (z. B. 2 Rohr- im Vergleich zu 1 Platten-Elektroabscheider) kann es aber durchaus sein, dass der Unterschied nur noch gering ist. Es kann aber auch sein, dass man eine Bauart einsetzen will, die es nur in der Grösse eines gemeinsamen Abscheiders gibt, beispielsweise ein Nass-Elektroabscheider, der in Kombination mit Abgaskondensation eingesetzt werden soll.

Dem gegenüber lassen sich Kessel-Linien mit separaten Abscheidern und separaten Kaminanlagen einfacher planen, besser warten und später auch besser ausbauen bzw. Teile davon ersetzen, und bei einer Störung ist jeweils nur ein Kessel betroffen.

Ein gemeinsamer Abscheider muss im Schwachlastbetrieb auf ca. 10% hinunter betrieben werden können, während separate Abscheider nur bis auf ca. 30% hinunter müssen. Dadurch sind Unterschiede im Teillastverhalten bezüglich Abscheiderate, Energieverbrauch und Störanfälligkeit zu erwarten. Verbindliche Antworten auf Fragen in diesem Zusammenhang sind von den Herstellern nur schwer zu erhalten.

Für den heute am häufigsten eingesetzten **Trocken-Elektroabscheider** lässt sich folgendes sagen:

- Es hat sich gezeigt, dass bei geringerem Abgasvolumenstrom der Abscheidegrad durch die längere Verweilzeit erhöht wird. Dies bedeutet, dass gemeinsame Trocken-Elektroabscheider im Schwachlastbetrieb einen höheren Abscheidegrad erreichen als separate Abscheider.
- Wichtig ist beim Betrieb mit einem gemeinsamen Trocken-Elektroabscheider, dass der kleinere Holzkessel über eine genügend hohe Auslastung verfügt, damit die Abgase nirgends im Abscheider unter die Taupunkttemperatur abkühlen können. Das Kondensat führt sonst zu Staubanbackungen und durch Feuchtigkeitsbeschlag der Isolatoren kann es zu Kurzschlüssen kommen.
- Der Stromverbrauch für die Hochspannungserzeugung und für die Beheizung der Elektroden, des Abscheiderfusses und der Ascheaustragung sind erheblich. Es gibt bisher keine Untersuchungen, um wie viel der Stromverbrauch bei einem gemeinsamen Elektroabscheider grösser ist als bei separaten Abscheidern.
- Es fehlen klare Angaben darüber, welche minimale Auslastung des Holzkessel bzw. welche minimale Abgastemperatur notwendig ist, damit die geforderte Abscheiderate erreicht wird.
- Oft werden Elektroabscheider auf zwei Stufen betrieben: zuerst mit reduzierter Spannung und dann mit voller Spannung. Hier fehlen klare Angaben darüber, bei welchen Abgastemperaturen (inkl. Hysterese) die Stufen geschaltet werden und welche Abscheiderate bei reduzierter Spannung bereits erreicht wird.
- Allgemein ist die Verfügbarkeit der Elektroabscheider bei störungsfreiem Betrieb unklar: Wie weit wird die Verfügbarkeit durch das Hochfahren auf Betriebsbedingungen und durch Reinigungsintervalle (v.a. Röhren-Elektroabscheider) beeinträchtigt?
- Allgemein fehlen durchdachte Lösungen, welche die zahlreichen oben aufgeführten Betriebsprobleme sicher vermeiden, und klare Angaben darüber machen, welche Randbedingungen dabei eingehalten werden müssen.

In FAQ 22 Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile separater und gemeinsamer Elektroabscheider zusammengefasst.

Separate Elektroabscheider	Gemeinsamer Elektroabscheider
— Bei gleicher Bauart teurer	+ In der Regel die preisgünstigste Lösung
— Insgesamt grösserer Platzbedarf	+ Vom Platzbedarf her meist günstiger (besonders bei bestehenden Heizzentralen)
— Bei kleineren Anlagen ist die Auswahl an Bauarten eingeschränkt	+ Grössere Leistung erlaubt möglicherweise eine geeignetere Bauart (z. B. Nass-Elektroabscheider mit Abgaskondensation)
— Der Abscheidegrad ist nicht durch eine längere Verweilzeit der Abgase erhöht	+ Infolge des geringeren Abgasvolumenstroms ist der Abscheidegrad durch die längere Verweilzeit erhöht
+ Einfachere Planung	— Kompliziertere Planung (insbesondere hinsichtlich möglicher Ausbaupläne)
+ Einfachere Wartung	— Kompliziertere Wartung (beide Kessel müssen ausser Betrieb gesetzt werden)
+ Späterer Ausbau bzw. Teilersatz einfacher	— Späterer Ausbau bzw. Teilersatz aufwendiger
+ Bei einer Störung ist nur ein Kessel betroffen	— Bei einer Störung sind immer beide Kessel betroffen
+ Angepasste Kaminquerschnitte mit genügend hoher Austrittsgeschwindigkeit bei Schwachlastbetrieb	— Grosser Kaminquerschnitt mit sehr kleiner Austrittsgeschwindigkeit bei Schwachlastbetrieb
+ Der Stromverbrauch ist tiefer, solange nur ein Abscheider in Betrieb ist	— Der Stromverbrauch ist höher, weil von Anfang an der grosse Abscheider in Betrieb ist
+ Infolge höherer Minimallast kleinere Störanfälligkeit (Weniger Kondensatprobleme)	— Infolge tieferer Minimallast höhere Störanfälligkeit (Kondensat verursacht Staubanbackungen und Feuchtigkeitsbeschlag der Isolatoren)

FAQ 22 Tabelle 1: Vor- und Nachteile separater und gemeinsamer Elektroabscheider

QM Holzheizwerke empfiehlt bivalente Anlagen so auszulegen, dass ein Holz-Deckungsgrad von 80...90% erreicht wird, d. h. der jährliche Energiebedarf wird mit 80...90% Holz und 10...20% fossiler Energie (Öl/Gas) erzeugt. Wie wird der Holz-Deckungsgrad berechnet?

Grundsätzlich gibt es drei mögliche Methoden:

1. Faustregel (basierend auf Erfahrungswerten)
2. EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» mit Reduktion der maximalen mittleren Holzkessel-Tagesleistung
3. EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» mit Korrekturfaktor Öl-/Gasverbrauch

Bivalente Anlage mit Speicher (z. B. Standardschaltung WE4 in [2])

Die 3 Methoden werden im Folgenden mit den folgenden Auslegungsdaten besprochen:

Heizwärmebedarf	1600 MWh/a	
Jahreswärmebedarf Warmwasser	400 MWh/a	
Jahreswärmeverlust Fernleitung	200 MWh/a	
Total	2200 MWh/a	
Max. Wärmeleistungsbedarf Raumwärme	800 kW	(2000 h/a)
Max. Wärmeleistungsbedarf Warmwasser	100 kW	(4000 h/a)
Max. Verlustleistung Fernleitung	30 kW	(7000 h/a)
Total	930 kW	

FAQ 23 Tabelle 1: Beispiel

Methode 1: Faustregel

Aufgrund von Erfahrungswerten bei realisierten Anlagen empfiehlt QM Holzheizwerke für einen Holz-Deckungsgrad von 80...90%

- für bivalente Anlagen ohne Speicher: Auslegung des Holzkessels auf 60...70%
- für bivalente Anlagen mit Speicher: Auslegung des Holzkessels auf 50...60%

Dies ergibt für die bivalente Anlage mit Speicher im Beispiel gemäss FAQ 23 Tabelle 1:

Auslegung Holzkessel	470...560 kW	(50...60% gemäss Faustregel)
Auslegung Öl-/Gaskessel	650...930 kW	(70...100% gemäss Q-Leitfaden [1])
Wärmeproduktion mit Holz	1760...1980 MWh/a	(80...90%)
Wärmeproduktion mit Öl-/Gas	220...440 MWh/a	(10...20%)

Methode 2: EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» mit Reduktion der maximalen mittleren Holzkessel-Tagesleistung

Die EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» arbeitet mit einer Summenhäufigkeitskurve, die auf dem mittleren Tages-Leistungsbedarf basiert. Der tatsächliche Verlauf des Leistungsbedarfes über den Tag schwankt jedoch stark. Ein Holzkessel von 1'000 kW kann daher nicht eine mittlere Tagesheizlast von 1'000 kW abdecken, sondern weniger. Wie viel weniger, hängt von verschiedenen Einflussfaktoren ab:

- Die Erfahrung zeigt, dass Anlagen mit Speicher und trägem Wärmenetz (viele kleine Abnehmer) mit gesperrtem Öl-Gaskessel sehr weit bis an die Nennleistung des/der Holzkessel(s) heran betrieben werden können, ohne dass die Temperatur im Netz zusammenbricht. Entsprechend höher darf bei Anlagen mit Speicher die maximale mittlere Holzkessel-Tagesleistung angesetzt werden.
- Bei Anlagen ohne Speicher und flinkem Wärmenetz (wenige grosse Abnehmer) bricht die Temperatur im Netz viel schneller zusammen, und entsprechend früher muss der Öl-/Gaskessel zugeschaltet werden.
- Entscheidend ist die Frage: Wie gut verhindert die automatische Folgeschaltung ein zu frühes Zuschalten des Öl-/Gaskessels, vor allem in der Morgenspitze? Mit einer möglichst späten Freigabe des Öl-/Gaskessels von Hand (erst wenn die Temperatur im Netz wirklich einbricht), kann der Deckungsgrad mit Holz merklich erhöht werden.

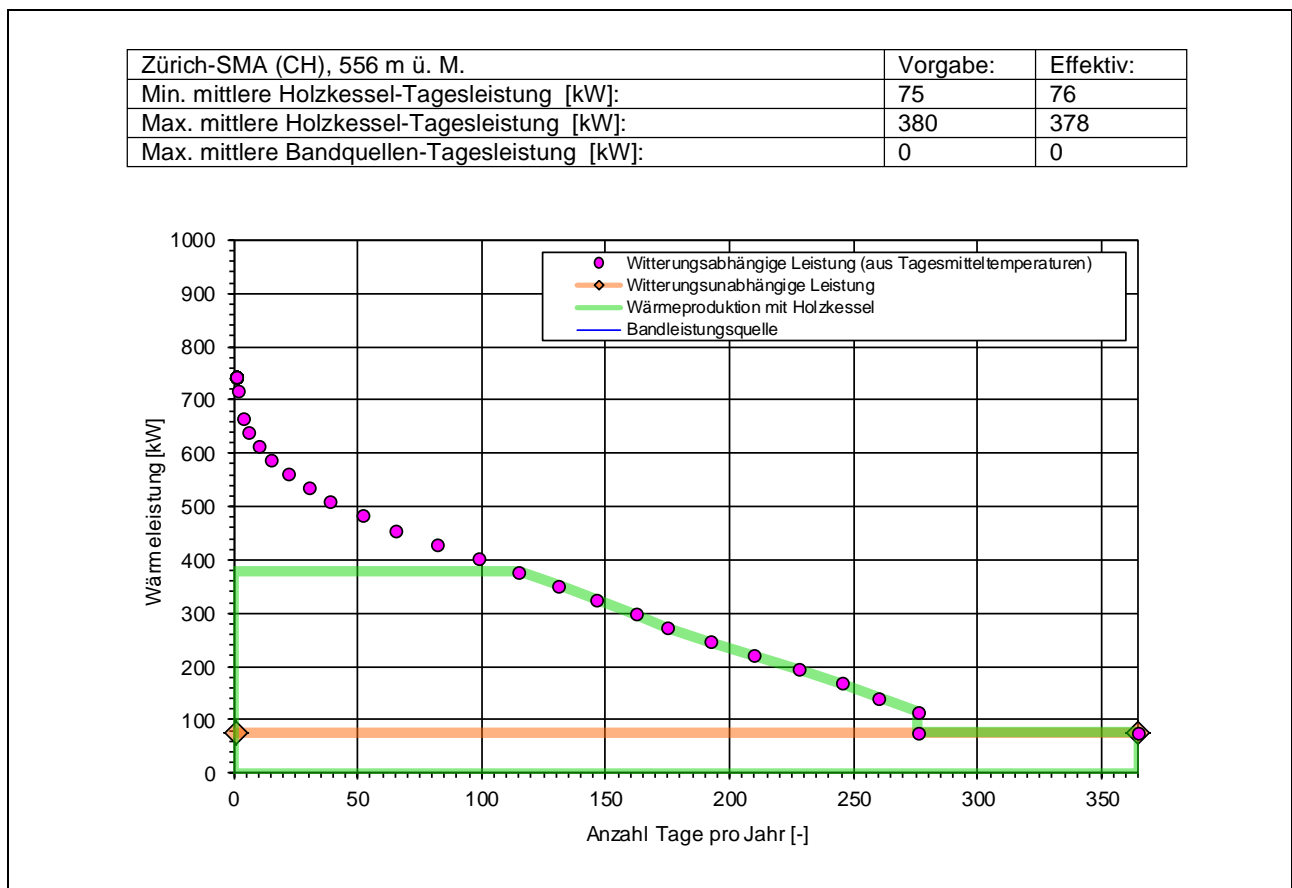
Die EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» rechnet mit Idealbedingungen und berechnet deshalb zwangsläufig einen zu guten Holz-Deckungsgrad. Eine Möglichkeit zur Annäherung an die Wirklichkeit ist die Reduktion der maximalen mittleren Holzkessel-Tagesleistung. Dieses Thema wurde bereits im Manual zur EXCEL-Tabelle [7] diskutiert (dort als FAQ 7).

In der EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» können über dem Diagramm mit der Jahresdauerlinie der benötigten Wärmeleistung (FAQ 23 Abbildung 1) in der Spalte «Vorgabe» Werte für verschiedene mittlere Tagesleistungen eingegeben werden. Da das Programm mit Aussentemperaturklassen arbeitet (Punkte auf der Jahresdauerlinie), werden die eingegebenen Werte auf den nächstliegenden Wert gerundet. Tatsächlich gerechnet wird mit den im Diagramm dargestellten Werten, die in der Spalte «Effektiv» angegeben werden.

Achtung: Speziell im unteren Bereich sind die Sprünge der effektiv möglichen Werte relativ gross. Durch ändern des Vorgabewertes muss getestet werden, welcher Effektivwert am sinnvollsten verwendet wird. Wenn keine Bandleistungsquelle vorhanden ist, muss dieser Wert auf null gesetzt werden. Jede Änderung eines Eingabewertes beeinflusst möglicherweise andere Werte in der Spalte «Effektiv». Dies hat zur Folge, dass die anderen Werte kontrolliert und ggf. nochmals angepasst werden müssen.

Es ist immer zu berücksichtigen, dass es sich bei der Excel-Tabelle «Situationserfassung» um eine Annäherung an die nicht genau bekannte Wirklichkeit handelt. Als maximale mittlere Holzkessel-Tagesleistung können etwa die unverbindliche Richtwerte aus dem Manual zur EXCEL-Tabelle [7] eingegeben werden:

- Anlagen mit Speicher: 80...90% der Nennleistung
- Anlagen ohne Speicher: 70...80% der Nennleistung



FAQ 23 Abbildung 1: Jahresdauerlinie der benötigten Wärmeleistung mit umrahmten Holzkessel-Anteil (grün) für das Beispiel in FAQ 23 Tabelle 1

Das Beispiel gemäss FAQ 23 Tabelle 1 (bivalente Anlage mit Speicher) ergibt das Diagramm in FAQ 23 Abbildung 1 und folgende Resultate:

Auslegung Holzkessel	470 kW	(50%)
Auslegung Öl-/Gaskessel	650...930 kW	(70...100%)
Reduzierte maximale mittlere Holzkessel-Tagesleistung	380 kW	(80%)
Holz-Deckungsgrad gemäss EXCEL-Tabelle	88,6%	
Wärmeproduktion mit Holz	1950 MWh/a	(88,6%)
Wärmeproduktion mit Öl-/Gas	250 MWh/a	(100 – 88,6 = 11,4%)

Methode 3: EXCEL-Tabelle «Situationserfassung» mit Korrekturfaktor Öl-/Gasverbrauch

Methode 2 korrigiert den idealen Holz-Deckungsgrad durch eine Reduktion der maximalen mittleren Holzkessel-Tagesleistung. Eine andere Möglichkeit ist folgende: Man übernimmt grundsätzlich den idealen Holz-Deckungsgrad und korrigiert den dazugehörenden idealen Öl-/Gasverbrauch:

Tatsächlicher Öl-/Gasverbrauch = Korrekturfaktor x idealer Öl-/Gasverbrauch

Diese Methode ist sehr anschaulich. Die Aussage «der tatsächliche Öl-/Gasverbrauch ist doppelt so gross wie der ideale Öl-/Gasverbrauch» ist von jederman leicht zu verstehen. Der Korrekturfaktor Öl-/Gasverbrauch dürfte sich – je nach Einflussfaktoren – im Bereich von 2,0...3,0 bewegen.

Das Beispiel gemäss FAQ 23 Tabelle 1 (bivalente Anlage mit Speicher) liefert folgende Resultate:

Auslegung Holzkessel	470 kW	(50%)
Auslegung Öl-/Gaskessel	650...930 kW	(70...100%)
Maximale mittlere Holzkessel-Tagesleistung	470 kW	(100%)
Idealer Holz-Deckungsgrad gemäss EXCEL-Tabelle	95,1%	
Korrekturfaktor Öl-/Gasverbrauch	2,5	
Tatsächlicher Holz-Deckungsgrad = 100 – 2,5 (100 – 95,1)	87,8%	
Wärmeproduktion mit Holz	1930 MWh/a	(87,8%)
Wärmeproduktion mit Öl-/Gas	270 MWh/a	(100 – 87,8 = 12,2%)

Fazit

Alle drei Methoden beruhen letztendlich auf Erfahrungswerten. Die erste Methode (Faustregel) ist rein empirisch, die zweite (Reduktion der maximalen mittleren Holzkessel-Tagesleistung) setzt am direktesten beim Problem an, und die dritte Methode (Korrekturfaktor Öl-/Gasverbrauch) vergleicht den realen mit dem idealen Öl-/Gasverbrauch. Die Aussage der dritten Methode «die Anlage verbraucht 2,0 mal soviel Öl-/Gas wie dies unter idealen Verhältnissen möglich wäre» ist sehr anschaulich, insbesondere auch als Bewertungskriterium:

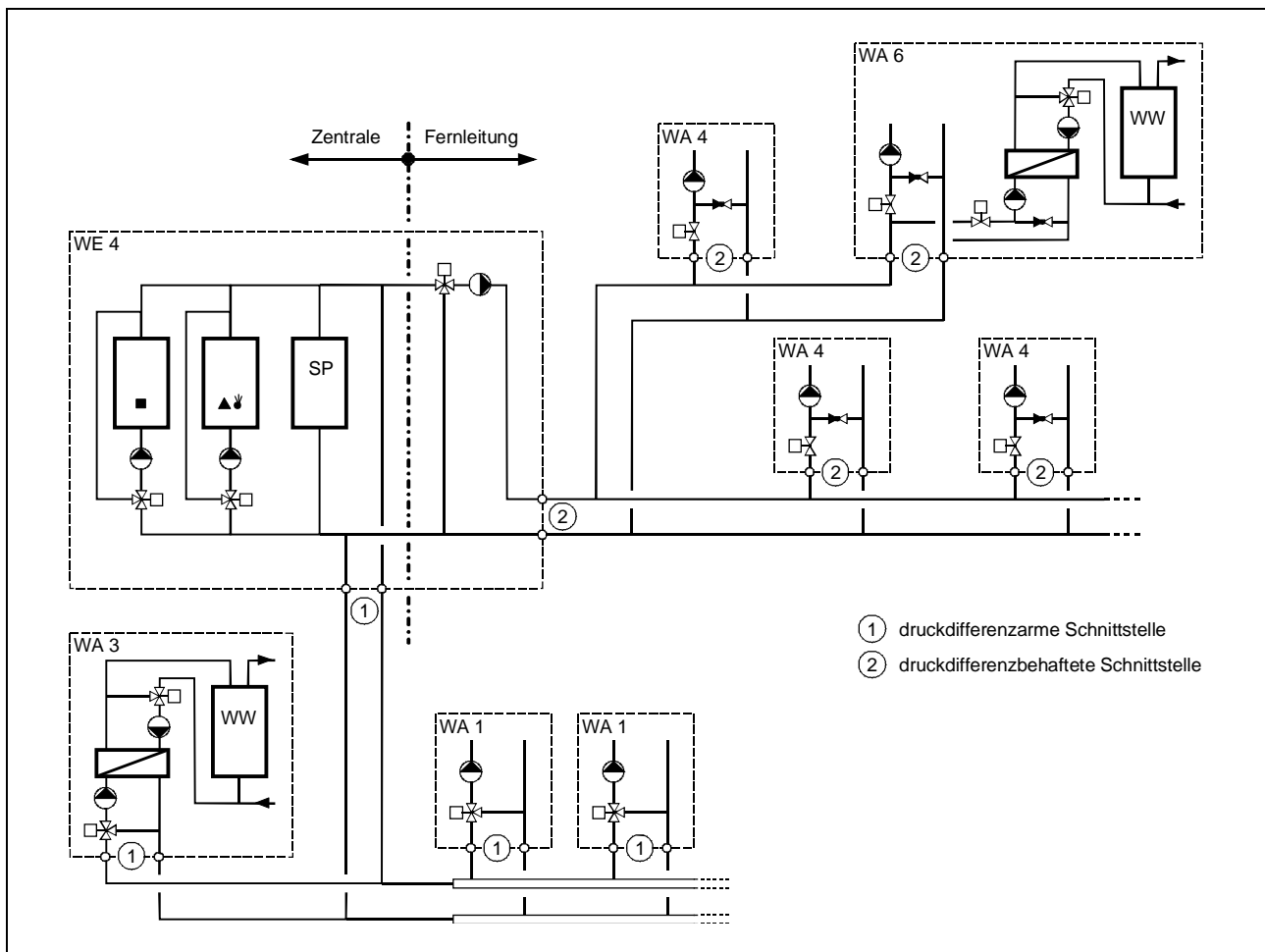
- sehr gut < 1,5
- gut 1,5...2,5
- schlecht > 2,5

Die hier angegebenen Bereiche beruhen auf Erfahrungswerten in ausgeführten Anlagen, die durch QM Holzheizwerke begleitet wurden. Im Zusammenhang mit Vorhersagen zur Wirtschaftlichkeit sollten eher Werte auf der sicheren Seite der angegebenen Bereiche verwendet werden.

Anlagen mit Fernleitungen verlangen eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur. Bei Anlagen mit Speicher ist dies für eine korrekte Funktionsweise absolut zwingend, weil die Speicherkapazität direkt von der Temperaturspreizung zwischen Vorlauf und Rücklauf abhängt. Für Anlagen mit oder ohne Speicher bedeutet eine grosse Spreizung weniger Durchfluss und damit weniger Pumpenstromverbrauch. Welche Massnahmen gibt es für eine tiefe Rücklauftemperatur?

Für **Neuanlagen** ist die Antwort einfach: Anschluss ausschliesslich nach den Wärmeabnehmer-Standard-schaltungen in «Standard-Schaltungen – Teil I» [2]:

- Kapiteln 11 für druckdifferenzarme Anschlüsse direkt am Speicher (Schnittstellen ① in FAQ 24 Abbildung 1)
- Kapiteln 12 für druckdifferenzbehaftete Anschlüsse an der Fernleitung (Schnittstellen ② in FAQ 24 Abbildung 1)



FAQ 24 Abbildung 1: Beispiel einer kompletten Standard-Schaltung bestehend aus WE4 (bivalente Holzheizungsanlage mit Speicher) mit druckdifferenzarmen Anschlüssen in der Zentrale WA1 (Heizgruppen) und WA3 (Warmwasserbereiter) sowie druckdifferenzbehafteten Anschlüssen an der Fernleitung WA 4 (Heizgruppen) und WA6 (Heizgruppe mit Warmwasserbereiter)

Bei **bestehenden Wärmeabnehmer-Anschlüssen** ist die Antwort sehr viel schwieriger. Hier sind zahlreiche Ursachen für eine zu hohe Rücklauftemperatur zu finden:

- Überflüssige Bypässe und Überströmventile
- Druckdifferenzarme Unterverteiler
- Einspritz-Unterverteiler mit Dreiwegventilen oder -hähnen
- Wassererwärmer mit innenliegendem Wärmetauscher
- Mangelhafter hydraulischer Abgleich und mangelhafte regelungstechnische Einregulierung

Bypässe und Überströmventile

Früher wurden oft Bypässe eingebaut, um einen Minimaldurchfluss zu gewährleisten, etwa gegen Überhitzung der Pumpe, als Frostschutz usw., und zur Druckbegrenzung bot sich als einfachste Lösung der Einsatz von Überströmventilen an. Beide leiten heisses Vorlaufwasser direkt in den Rücklauf und erhöhen damit verbotenerweise die Rücklauftemperatur.

→ Die Anlage muss systematisch nach Bypässen und Überströmventilen abgesucht werden. Bei den heute in variablen Kreisen eingesetzten drehzahlgesteuerten Pumpen können Bypässe und Überströmventile meist ohne Nachteil eliminiert werden. Wenn eine Druckbegrenzung trotzdem notwendig ist, sind Überströmventile gegen «echte» Druckdifferenzregler auszutauschen.

Druckdifferenzarme Unterverteiler

Auch noch heute ist der druckdifferenzarme Verteiler die beste Lösung zum Anschluss der einzelnen Gruppen ohne Hauptpumpe am Speicher oder direkt am Kessel. Dies trifft für die Zentrale zu, aber leider nicht für den Anschluss an der Fernleitung, weil hier die Fernleitungspumpe das heisse Vorlaufwasser direkt in den Rücklauf pumpen würde.

→ Eine regelungstechnisch anspruchsvolle und wenig erprobte Lösung zeigt FAQ 15: Wie kann ein druckloser Verteiler an einer Fernleitung angeschlossen werden?

→ Wesentlich sicherer ist der **Umbau in einen Einspritzverteiler mit Durchgangsventilen**. Hier muss aber folgendes beachtet werden:

- Abblinden des Bypassanschlusses am bestehenden Dreiwegventil und Einschweissen eines Bypasses (vergleiche WA1 mit WA4 in FAQ 24 Abbildung 1) geht nur selten, weil das Dreiwegventil dafür in der Regel zu gross dimensioniert ist (ergibt zu schlechte Ventilautorität).
- Wenn der bestehende Verteiler weiterverwendet werden soll, muss der Bypass am oder im (!) Verteiler zugeschweisst werden.
- Achtung bei Vierkantverteilern: Zusammengeschweisste Vierkantverteiler sind Wärmetauscher und erhöhen damit die Rücklauftemperatur «indirekt». Ausserdem sind die Rohre in den unteren Vierkantbalken oft nur durchgesteckt und nicht verschweisst. Die Folge ist, trotz Entfernung des Bypasses, ein «Kurzschluss» mit Umlenkung des heissen Vorlaufwassers direkt in den Rücklauf!

Einspritz-Unterverteiler mit Dreiwegventilen oder -hähnen

In den 70er und 80er Jahren waren Einspritzverteiler mit Dreiwegventilen oder -hähnen die Lösung für Unterstationen an Fernleitungen (FAQ 24 Abbildung 2). Die Vorteile lagen auf der Hand: konstanter Durchfluss (drehzahlgesteuerte Pumpen gab es damals noch kaum), funktioniert auch ohne hydraulischen Abgleich (im Bild sind alle Drosselklappen voll geöffnet!).

→ Auch hier gilt: **Umbau in einen Einspritzverteiler mit Durchgangsventilen**. Das zum druckdifferenzarmen Verteiler Gesagte gilt sinngemäss auch hier:

- Abblinden des Bypassanschlusses am bestehenden Dreiwegventil geht nur selten, weil das Dreiwegventil dafür in der Regel zu gross dimensioniert ist (ergibt zu schlechte Ventilautorität).
- Achtung bei Vierkantverteilern: Zusammengeschweisste Vierkantverteiler sind Wärmetauscher und erhöhen damit die Rücklauftemperatur «indirekt». Ausserdem sind die Rohre in den unteren Vierkantbalken oft nur durchgesteckt und nicht verschweisst. Der «Kurzschluss» störte bei der Einspritzung über Dreiwegventile nur unwesentlich, heute bezüglich der Umlenkung des heissen Vorlaufwassers direkt in den Rücklauf hingegen umso mehr!



FAQ 24 Abbildung 2: Einspritzverteiler mit Dreiweghähnen

Wassererwärmer mit innenliegendem Wärmetauscher

Viele bestehende Wärmeabnehmer haben Wassererwärmer mit innenliegendem Wärmetauscher und relativ kleiner Tauscherfläche. Mit fortschreitender Ladung wird dadurch die Temperaturdifferenz über dem Wärmetauscher immer kleiner und gegen das Ende der Ladung wird praktisch heisses Vorlaufwasser in den Rücklauf geleitet. Theoretisch gilt diese Aussage auch für aussenliegende Wärmetauscher. Doch diese sind meist jüngeren Datums und deshalb bereits grosszügiger dimensioniert und besser geregelt.

→ Folgende Massnahmen sind möglich:

- Den Durchfluss so weit drosseln, dass die Temperaturdifferenz auch am Ende der Ladung noch genügend gross ist; die Frage ist dann nur, ob die Übertragungsleistung noch genügt
- Vergrösserung der Tauscherfläche durch einen grosszügig dimensionierten aussenliegenden Wärmetauscher, so dass die Temperaturdifferenz bis zum Ende der Ladung genügend gross bleibt; die Frage ist hier, ob überhaupt entsprechende Anschlüsse am bestehenden Wassererwärmer vorhanden sind, oder ob die ganze Wassererwärmungsanlage saniert werden muss
- Regelungstechnische Begrenzung der Rücklauftemperatur durch Reduktion des Durchflusses gegen das Ende der Ladung (Drosselventil, ggf. drehzahlgesteuerte Pumpe)
- Rechtzeitige Beendigung des Ladevorganges durch sicher Drosselung des Durchflusses auf null (Motor-klappe, ggf. Abschaltung der Pumpe)

Mangelhafter hydraulischer Abgleich und mangelhafte regelungstechnische Einregulierung

Mit dem hydraulischen Abgleich wird jeder Verbraucher auf exakt den Durchfluss abgeglichen, der bei einer definierten Temperaturdifferenz die geforderte maximale Leistung erbringt. Dies gilt für Vollast (Auslegung). Bei Teillast ergibt sich bei gleichem Durchfluss eine kleinere Temperaturdifferenz. Durch regelungstechnische Massnahmen (witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung, Rücklauftemperaturbegrenzung usw.) wird dafür gesorgt, dass die Rücklauftemperatur – trotz kleinerer Temperaturdifferenz – möglichst tief bleibt.

Bei älteren Anlagen fehlt ein hydraulischer Abgleich meist ganz und bei der regelungstechnischen Einregulierung weiss oft niemand mehr, warum die Anlage so eingestellt ist, wie sie aktuell läuft. Bei Neuanlagen ist es leider oft auch nicht viel besser, und Massnahmen dagegen sind teuer!

→ Für **neu zu erstellende Anlageteile** sind folgende Forderungen unabdingbar:

- Planung und Einbau entsprechender Mess- und Einstellorgane, die einen seriösen hydraulischen Abgleich mit anschliessender Betriebsoptimierung möglich machen
- Durchführung eines seriösen hydraulischen Abgleichs unter der Leitung des Hauptplaners
- Betriebsoptimierung während mindestens eines Jahres

→ Für **bestehende Anlageteile** sollten mindestens folgende Massnahmen gefordert werden:

- Kontrolle und Einregulierung wichtiger Durchflüsse (auch über Billig-Wärmezähler möglich, evtl. temporäre Messung mittels Ultraschall-Anlegedurchflussmesser)
- Kontrolle der Temperaturen und Temperaturdifferenzen bei möglichst tiefer Aussentemperatur (zu kleine Temperaturdifferenzen deuten auf zu grosse Durchflüsse hin, die gedrosselt werden können)
- Kontrolle und Einstellung der Reglereinstellungen (Heizkurven bei witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelungen, Rücklauftemperaturbegrenzungen usw.)

Bonus/Malus für tiefe/hohe Rücklauftemperaturen?

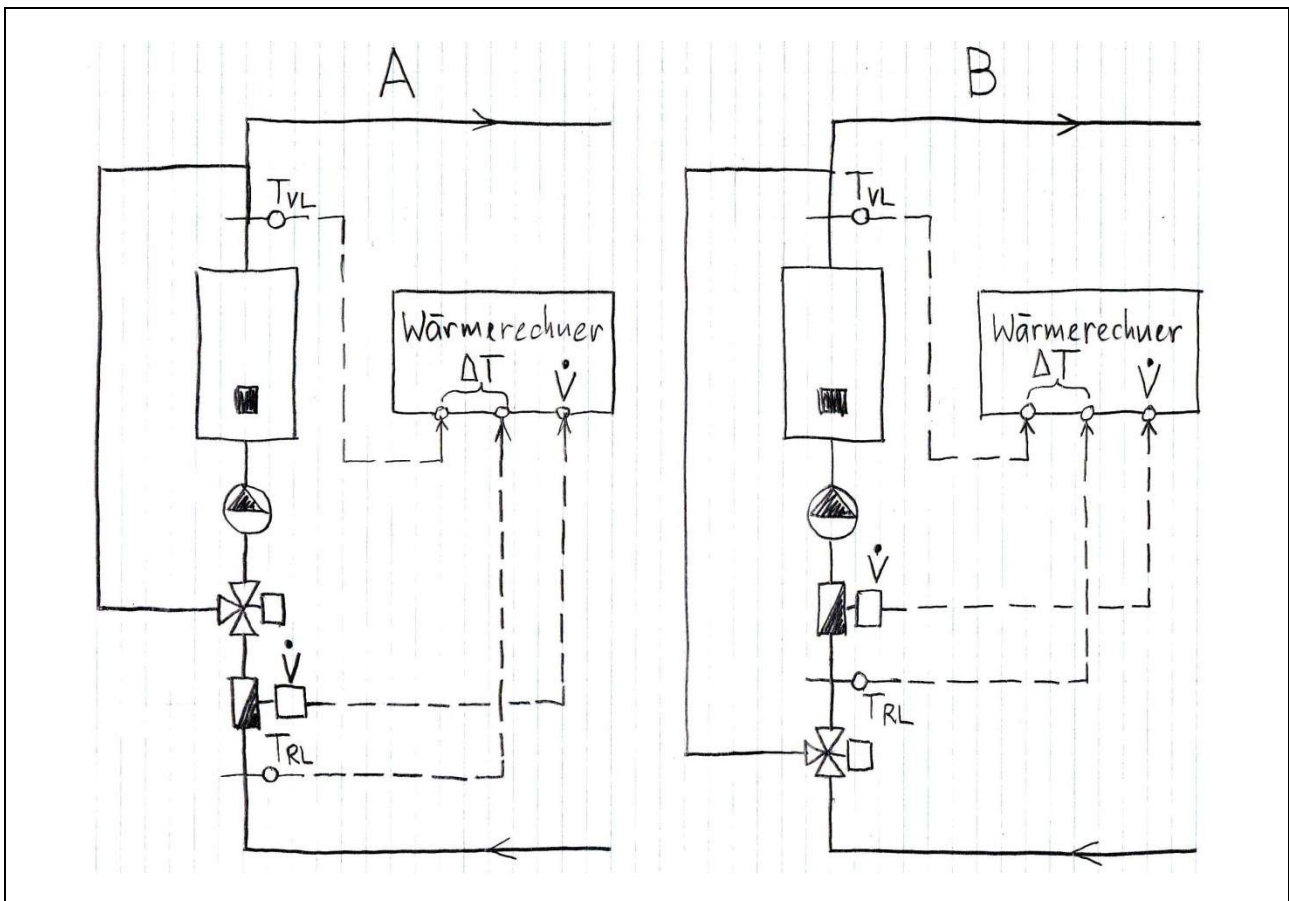
Ideal wäre es, wenn die Wärmeabnehmer für möglichst tiefe bzw. zu hohe Rücklauftemperaturen durch einen Bonus-Malus beim Wärmetarif «belohnt» bzw. «bestraft» werden könnten. Dazu müssten allerdings die Rücklauftemperaturen der einzelnen Wärmeabnehmer zentral erfasst werden können, was bei modernen Wärmenetzen heute eigentlich möglich sein sollte.

Neben der Wärmezählung im Holzkesselkreis gemäss den Standardschaltungen [2] [5] kann auch eine vereinfachte Wärmezählung über die SPS des Holzkessels oder das Leitsystem erfolgen. Welche Möglichkeiten gibt es zur Wärmezählung im Holzkesselkreis?

In den Standardschaltungen [2] [5] von QM Holzheizwerke sind die Durchflusszähler im variablen Volumenstrom eingebaut (Variante A in FAQ 25 Abbildung 1). Dies in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der meisten Wärmezählerfabrikanten. Vorteil gegenüber einem Einbau im konstanten Volumenstrom ist die grössere Temperaturdifferenz und damit die höhere Genauigkeit der Temperaturdifferenzmessung. Dabei sollte allerdings auch berücksichtigt werden, dass die Genauigkeit des Durchflussmessers bei kleinen Durchflüssen stark abfällt und den Vorteil der genaueren Temperaturdifferenzmessung möglicherweise wieder zunichte macht.

Der Einbau des Durchflussmessers im konstanten Volumenstrom (Variante B in FAQ 25 Abbildung 1) hat zwar den Nachteil der ungenaueren Temperaturdifferenzmessung, aber es ergeben sich auch einige Vorteile in der praktischen Anwendung:

- Das Wärmezählersignal ist viel ruhiger (eine schnelle Stellsignal-Änderung des Kesselkreisventils beeinflusst den Volumenstrom im Kesselkreis nur wenig und die Temperaturdifferenz reagiert relativ träge)
- Möglichkeit einer vereinfachten Wärmezählung über die SPS des Holzkessels oder das Leitsystem, die allerdings nicht eichfähig ist



FAQ 25 Abbildung 1: Wärmezählung im Holzkesselkreis. Variante A mit Durchflussmesser im variablen Volumenstrom gemäss Standardschaltung und Wärmezählerfabrikanten. Variante B mit Durchflussmesser im konstanten Volumenstrom.

Multiplikation von Mittelwerten

Oft wird die mittlere Wärmeleistung durch Multiplikation der Mittelwerte von Volumenstrom und Temperaturdifferenz berechnet. Dies ist falsch, weil dabei die Regel «Multiplikation vor Addition» missachtet wird. Allgemein gilt:

$$\frac{A_1 \cdot B_1 + A_2 \cdot B_2 + \dots + A_n \cdot B_n}{n} \neq \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \cdot \frac{B_1 + B_2 + \dots + B_n}{n}$$

Nur, wenn eine der beiden Grössen konstant ist, wird die Regel nicht verletzt:

$$\frac{A_{konst} \cdot B_1 + A_{konst} \cdot B_2 + \dots + A_{konst} \cdot B_n}{n} = A_{konst} \frac{B_1 + B_2 + \dots + B_n}{n}$$

Vereinfachte Wärmezählung über die SPS des Holzkessels oder das Leitsystem

Die mathematisch und physikalisch korrekten Berechnung der Wärmeleistung aus dem Volumenstrom und der Temperaturdifferenz ergibt sich aus:

$$\dot{Q} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_W \cdot \Delta T$$

mit:

$$\dot{Q} = \text{Wärmeleistung [W]}$$

$$\dot{V} = \text{Volumenstrom [m}^3/\text{s]}$$

$$\rho = \text{Dichte des Wärmeträgers [kg/m}^3\text{]}$$

$$c_W = \text{Spezifische Wärmekapazität des Wärmeträgers [Ws/(kg}\cdot\text{K)]}$$

$$\Delta T = T_{VL} - T_{RL} = \text{Temperaturdifferenz [K]}$$

Ein Wärmezähler berechnet durch Integration der Wärmeleistung die erzeugte Wärmemenge Q im Zeitraum von t_1 bis t_2 wie folgt:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt = \int_{t_1}^{t_2} \dot{V} \cdot \rho \cdot c_W \cdot \Delta T(t) dt$$

Ein Wärmezähler kann dabei alle Grössen im Integral als Variablen berücksichtigen. Die Genauigkeit der Wärmezählung ist also nur von der Genauigkeit der Messung des Volumenstromes und der Temperaturen sowie des Messintervalls (je kürzer desto besser) abhängig.

Im Hinblick auf eine Vereinfachung der Wärmezählung stellt sich nun folgende Frage: Dürfen Grössen innerhalb des Integrals möglicherweise als Konstanten angenommen werden? Die Antwort lautet: Streng genommen sind alles Variablen, aber unter bestimmten Bedingungen können einige als annähernd konstant angenommen werden:

- Der Volumenstrom ist bei Variante A in FAQ 25 Abbildung 1 stark variabel, im Gegensatz dazu ist er in Variante B relativ konstant
- Die Dichte und die spezifische Wärmekapazität sind vom Wärmeträger und von dessen Temperatur an der Messstelle abhängig; da die Temperaturabhängigkeit relativ schwach ist, können diese Stoffwerte für einen bestimmten Wärmeträger und eine mittlere Wärmeträgertemperatur als einigermaßen konstant angenommen werden
- Die Temperaturdifferenz ist sowohl bei Variante A wie bei Variante B in FAQ 25 Abbildung 1 stark variabel

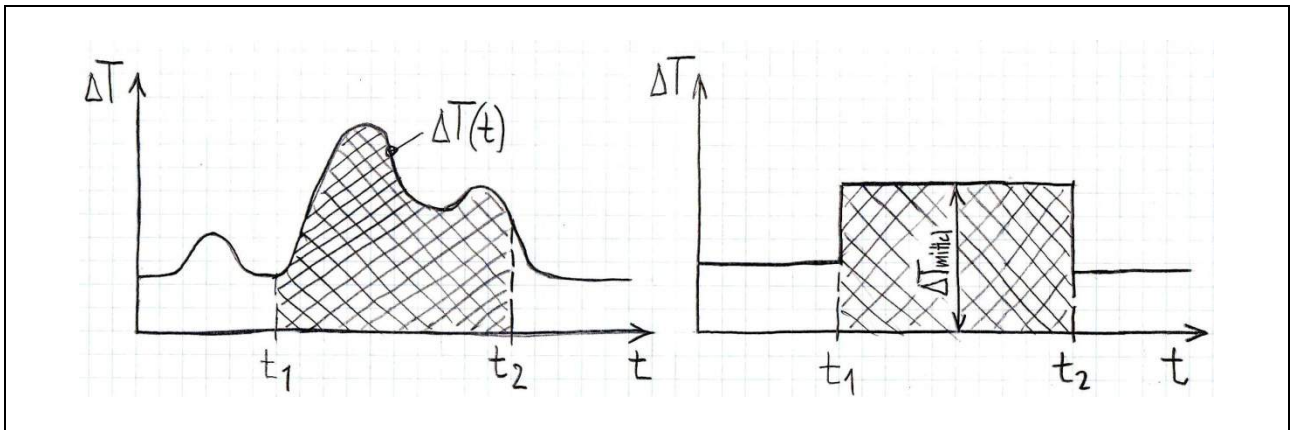
Konstanten dürfen vor das Integral gestellt werden. Damit kann die Berechnung der Wärmemenge wie folgt vereinfacht werden:

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_W \int_{t_1}^{t_2} \Delta T(t) dt$$

Das Integral ist sehr viel kürzer geworden. Es stellt die Fläche zwischen t_1 und t_2 unter der ΔT -Kurve dar (FAQ 25 Abbildung 2 links). Diese Fläche lässt sich auch durch Multiplikation der Zeitdauer ($t_2 - t_1$) mit dem Mittelwert der Temperaturdifferenz ΔT_{mittel} berechnen (FAQ 25 Abbildung 2 rechts). Damit wird die Berechnung der Wärmemenge sehr einfach:

$$Q = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_W \cdot \Delta T_{\text{mittel}} \cdot (t_2 - t_1)$$

Selbstverständlich ist diese Art der Wärmezählung nicht eichfähig, aber für viele Fälle genügend genau, um die korrekte Funktion der Anlage zu überprüfen.



FAQ 25 Abbildung 2: Die beiden Flächen zwischen t_1 und t_2 sind gleich gross.

Beispiel

In der Praxis kann mit dieser Vereinfachung eine preisgünstige Wärmezählung realisiert werden. Dazu ist nur ein Durchflusszähler (oder Billigst-Wärmezähler ohne Impulsausgang oder BUS-Anschluss) notwendig, der entsprechend Variante B in FAQ 25 Abbildung 1 eingebaut wird. Alternativ kann auch nur eine temporäre Messung mittels Ultraschall-Anlegedurchflussmesser vorgenommen werden. Dabei muss getestet werden, wie weit sich der Volumenstrom bei verschiedenen Ventilstellungen ändert, also das Kriterium eines konstanten Volumenstroms nicht erfüllt ist.

Beispiel: Ventil auf Durchgang = 19,0 m³/h; Ventil auf Umlenkung = 19,8 m³/h; in die Rechnung eingesetzt = 19,4 m³/h = 5,39 dm³/s

Die laufende Berechnung des Mittelwertes der Temperaturdifferenz erfolgt über die SPS des Holzkessels oder das Leitsystem. Der Messintervall soll möglichst kurz und immer gleich sein. Der berechnete Mittelwert wird in einem vorgegeben Aufzeichnungsintervall gespeichert.

Beispiel: Messintervall = 10 s; Aufzeichnungsintervall = 5 min = 300 s; 5-Minuten-Mittelwert 12,8 K

Die Stoffdaten des Wassers sind von der Temperatur des Wassers an der Messstelle abhängig.

Beispiel: Der Durchflussmesser ist im Rücklauf gemäss Variante B in FAQ 25 Abbildung 1 eingebaut. Bei 70°C betragen die Stoffwerte des Wassers: Dichte = 0,978 kg/dm³; Spezifische Wärmekapazität 4187 Ws/(kg·K)

Somit ergeben sich für das Beispiel folgende Berechnungen:

In den letzten 5 Minuten produzierte Wärmemenge:

$$Q_{5 \text{ min}} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_w \cdot \Delta T_{\text{mittel}} \cdot (t_2 - t_1) = 5,39 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot 0,978 \text{ kg/dm}^3 \cdot 4187 \text{ Ws}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \cdot 12,8 \text{ K} \cdot 300 \text{ s} = 84'754'000 \text{ Ws} = 23,54 \text{ kWh}$$

Mittlere Wärmeleistung in den letzten 5 Minuten:

$$\dot{Q}_{\text{mittel}} = Q_{5 \text{ min}} \cdot \frac{3600 \text{ s/h}}{300 \text{ s}} = 23,54 \text{ kWh} \cdot \frac{3600 \text{ s/h}}{300 \text{ s}} = 282,5 \text{ kW}$$

Mischung von Methode A und Methode B

Methode A und Methode B in FAQ 25 Abbildung 1 können auch gemischt werden: Messung des Durchflusses im Kesselkreis mit einem gemäss Methode A im variablen Durchfluss eingebauten Durchflussmesser (Ventil auf Durchgang gestellt), aber Berechnung der Wärmemenge gemäss Methode B mit dem mittels Methode A gemessenen konstanten Durchfluss.

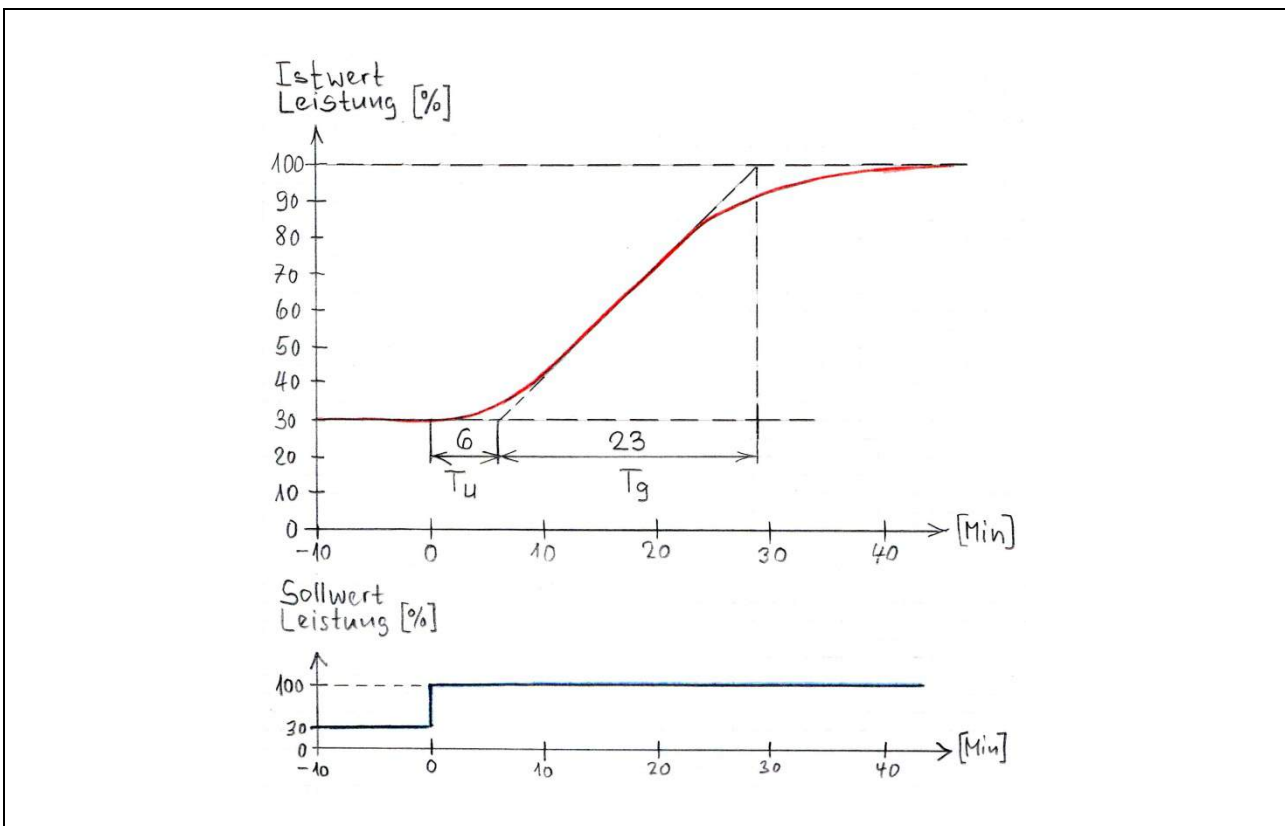
QM Holzheizwerke gibt mit den Standardschaltungen [2] das prinzipielle Regelkonzept vor, aber keine Anforderungen an die einzelnen Regler und schon gar nicht an die Regelparameter. Die Erfahrung zeigt nun aber, dass erfahrene Holzkessel- und Regelgerätehersteller zwar durchaus in der Lage sind, eine stabile Regelung zu realisieren, dies aber oft erst erreichen, nachdem zuvor mühsam (im Rahmen der Betriebsoptimierung) nachgewiesen wurde, dass die Regelung zu wenig stabil arbeitet. Welche Anforderungen bestehen an Regler und Regelparameter für die Leistungsregelung über den Speicherladezustand?

Wenn sich die Last eines Wärmeabgabesystems plötzlich stark ändert (beispielsweise nach oben, wenn viele Gruppen von Nachtabsenkung auf Normalbetrieb gehen und nach unten im umgekehrten Fall am Abend), kann die Leistung eines fossilen Kessels innert Minutenfrist angepasst werden. Bei einem Holzkessel dauert dies jedoch sehr viel länger.

FAQ 26 Abbildung 1 zeigt die typische **Sprungantwort** eines Holzkessels. Der Kessel läuft mit konstantem Sollwert von 30% auf Minimallast und plötzlich wird der Sollwert von 30% auf 100% erhöht. Die Kurve zeigt nun, wie die Leistung in Abhängigkeit der Zeit von 30% auf 100% ansteigt. Durch Anlegen einer Geraden im Wendebereich der Kurve können nun die beiden Zeitkonstanten T_u und T_g sowie deren Verhältnis T_u/T_g bestimmt werden. Im Beispiel von FAQ 26 Abbildung 1 ergibt sich:

$T_u = 6$ Minuten; $T_g = 23$ Minuten; $T_u/T_g = 6/23 = 0,26$

T_u/T_g ist ein Mass für den **Schwierigkeitsgrad** einer Regelstrecke. $< 0,15$ gilt als einfach, $0,15...0,25$ als mittelschwerig und $> 0,25$ als schwierig. Die vorliegende Regelstrecke ist also als «eher schwierig» einzustufen.



FAQ 26 Abbildung 1: Beispiel einer typischen Sprungantwort eines Holzkessels

Zur Optimierung der Regelparameter mit Hilfe der Sprungantwort gibt es **Optimierungsverfahren**. Die bekanntesten sind Chien/Hrones/Reswick und Ziegler/Nichols. Dazu wird aber (neben T_u und T_g) auch noch

die Streckenverstärkung benötigt, deren Bestimmung hier zu weit führen würde. Im Falle der Sprungantwort von FAQ 26 Abbildung 1 und der Streckenverstärkung der realen Anlage würden sich für den PI-Regler folgende Regelparameter ergeben:

- Träge Einstellung nach Chien/Hrones/Reswick: Nachstellzeit = 28 Minuten, P-Band = 76%
- Flinke Einstellung nach Ziegler/Nichols: Nachstellzeit = 20 Minuten, P-Band = 29%

Rein qualitativ kann folgendes gesagt werden:


- Es ergeben sich sehr lange Nachstellzeiten im Bereich der grossen Zeitkonstante der Regelstrecke. (Vergleich: ein üblicher Vorlauftemperaturregler hat eine Nachstellzeit von etwa 2 Minuten.)
- Ein grosser P-Anteil (kleines P-Band) darf nur eingestellt werden, wenn das Istwertsignal des Speicherladezustandes gut geglättet ist. Sobald ein stark stufiges Signal vorliegt, ist nur ein kleiner P-Anteil zulässig (grosses P-Band), weil sonst die Sollwertsprünge Unruhe in den Regelkreis bringen würden, d. h. Regler wirkt fast wie ein reiner I-Regler.

Da ein Regler für hinauf und hinunter die gleichen Regelparameter hat und es bei kleinem P-Anteil (d. h. Wirkung wie ein I-Regler) vorkommen kann, dass der Regler in Notsituationen zu wenig schnell reagiert, werden oft Hilfsregler eingesetzt um das Regelverhalten zu verbessern.

Solche Hilfsregler können durchaus sinnvoll sein. Die Erfahrung zeigt aber leider, dass sie auch unangenehm sein können. Dies beispielsweise dann, wenn der Regler plötzlich «panisch» reagiert und den Holzkessel viel zu schnell hinunterfährt, mit der Folge, dass der Holzkessel kurz darauf wieder mühsam (allein mit dem I-Anteil) hinaufgefahren werden muss.

Die Hauptursachen instabiler Regelung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Zu grobes Istwertsignal für den Speicherladezustand (zu wenig Fühler, fehlende Glättung durch Interpolation oder PT1-Glied)
- Zu flinke Reglereinstellungen (zu kurze Nachstellzeit, zu grosser P-Anteil)
- «Panikartiges» Herunterfahren, obwohl noch genügend Speicherkapazität vorhanden gewesen wäre, um die Störung aufzufangen. Dieses Verhalten wird oft durch Hilfsregler verursacht, die für Anlagen ohne Speicher konzipiert und eingestellt wurden.
- Generell sind undurchsichtige und oft unzweckmässige Hilfsregler ein Problem, von denen das Servicepersonal oft nicht weiss, was die einzustellenden Regelparameter bedeuten und was sie bewirken.

	FAQ 27: Was ist zur Brandvermeidung in Schnitzel-Silos und -Aussenlagern zu tun?		FAQ 27
	Erste Veröffentlichung: 21. Februar 2012	Letzte Bearbeitung: 21. Februar 2012	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Bei der Lagerung grosser Mengen von Hackschnitzeln besteht die Gefahr der Selbstentzündung. Was ist zur Brandvermeidung in Schnitzel-Silos und -Aussenlagern zu tun?

Antworten darauf gibt das Merkblatt «Richtiges Lagern von Holzhackschnitzeln für Heizwerke: Vermeidung von Bränden durch Selbstentzündung» von C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, Deutschland, 2007, welches wir hier mit freundlicher Genehmigung wiedergeben.

Beim Zusammentreffen besonders ungünstiger Umstände kann es bei unsachgemässer Lagerung grösserer Mengen von Holzhackschnitzeln zu Bränden durch Selbstentzündung des Lagerguts kommen. Aufgrund von entsprechenden Vorfällen in jüngster Vergangenheit ist vor ungeeigneten Lagerungsbedingungen zu warnen. Zwar sind die Ursachen für eine Selbstentzündung bislang noch nicht hinreichend aufgeklärt worden, jedoch sind die Umstände einer Selbstentzündung einigermassen bekannt.

Risikofaktoren

Ein erhöhtes besteht Risiko immer dann, wenn mehrere der folgenden Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- Besonders lange Lagerdauer (z. B. mehr als 3 Monate in Vorratslagern)
- Einlagerung bei wärmerer Witterung (Sommermonate)
- Der Brennstoff ist bei der Einlagerung feucht und evtl. noch grün
- Der Brennstoff enthält grössere Anteile Nadeln oder Blätter
- Der Brennstoff ist zum Teil sehr fein gehackt
- Der Brennstoff enthält hohe Anteile an frischer Rinde oder feinen Ästen (z. B. nährstoffreiches Kronenmaterial)
- Die Zerkleinerung erfolgt mit Schreddern oder es werden Hacker mit stumpfen Messern eingesetzt
- Unterschiedliche Qualitäten (z. B. grob/fein, feucht/trocken, Wipfelholz/Stammholz) werden im gleichen Lager nacheinander eingelagert
- Der Brennstoff ist inhomogen und wird bei der Einlagerung (z. B. Haufenbildung) in verschiedenen Schichten abgelagert; es bilden sich Grenzschichten zwischen den einzelnen Brennstoffen mit unterschiedlicher Qualität oder Herkunft
- Der Brennstoff wird relativ hoch aufgeschüttet (z. B. über 4 Meter)
- Das Lagergut wird bei der Einlagerung durch Befahren mit Ladefahrzeugen verdichtet
- Bei längeren Einlagerungsphasen wird das zuerst eingelagerte Material nicht auch zuerst wieder entnommen (d. h. uneinheitliche Lagerdauer im Gutstock)

Neben dem Selbstentzündungsrisiko führen solche Lagerbedingungen auch zu erheblichen – zum Teil aber äusserlich nicht wahrnehmbaren – Energieverlusten durch biologischen Abbau. Bei feucht eingelagertem feinem Hackgut liegen diese Verluste bei ca. 2 bis 3 Prozent pro Monat. Daher ist auch aus wirtschaftlichen Gründen von einer Langzeitlagerung von problematischen Hackschnitzeln abzuraten.

Empfohlene Massnahmen

Folgende Massnahmen zur Vermeidung von Selbstentzündungsbränden sollten (möglichst kombiniert) ergriffen werden:

- Getrennte Lagerung unterschiedlicher Hackgutqualitäten (eigene Haufen)
- Vermeidung hoher Wassergehalte im Lagergut, indem man z. B. das Holz vor dem Hacken antrocknen lässt
- Vermeidung von stumpfen Schneidwerkzeugen oder Schreddern beim Zerkleinern

- Durchgehend möglichst grobe Hackschnitzelstruktur
- Vermeidung von grösseren Anteilen von Nadeln oder Blättern als leicht mikrobiell angreifbare Substanzen
- Kurze Lagerdauer (vor allem bei warmen Aussentemperaturen bei der Einlagerung)
- Guter Luftzutritt (Wärme- und Feuchteabfuhr)
- Schütthöhe unter 4 m (möglichst als Spitzkegel oder -haufen ausgeformt)
- Geringer Lagerquerschnitt bei Außenlagern (z. B. Mietenbreite bis 6 m)
- Langzeitlagerung vermeiden (auch wegen Brennstoffverlusten)
- Ggf. aktive Trocknung oder Belüftungskühlung
- Verwendung von Temperatursonden zur Überwachung (geeignet sind z. B. Sonden, die zur Überwachung von Heustöcken eingesetzt werden)

Warnung: Wenn das Lager zur Brandbekämpfung geöffnet oder abgetragen wird, kann der Sauerstoffzutritt zu einem offenen Brand führen (FAQ 27 Abbildung 1). Die Brandbekämpfung ist von der zuständigen Feuerwehr zu koordinieren.

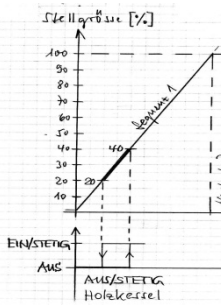
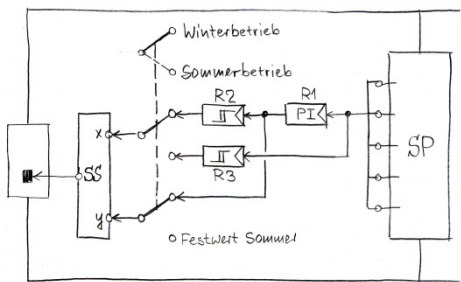
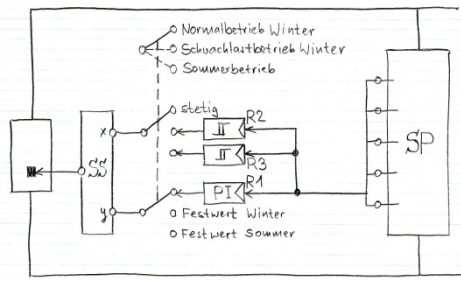
Für Deutschland gilt: Bei der Lagerung von Hackschnitzeln im Freien sind die Bestimmungen der Verordnung über die Verhütung von Bränden (VVB) zu beachten: Gemäß §14 «Lagerung brennbarer fester Stoffe im Freien» dürfen maximal 3000 m³ Lagergut in einem Lager gelagert werden und es muss ein Mindestabstand von 10 m zu Gebäuden oder anderen Lagern eingehalten werden.



FAQ 27 Abbildung 1: Links beginnender Schwelbrand in einem Aussenlager, rechts Glutherd

Beschrieben wurde bisher der Sommerbetrieb durch FÜLLEN/ENTLEEREN (u. a. in FAQ 13). Der Schwachlastbetrieb im Winter wurde zwar auch beschrieben (u. a. in FAQ 7), führt aber oft zu Problemen, weshalb er hier noch einmal unter die Lupe genommen werden soll.

Prinzipiell sind zwei Methoden möglich. Diese sind in FAQ 28 Tabelle 1 vergleichend beschrieben.


Beschreibung	Methode A	Methode B
Betriebsarten	<p>Gemäss Standard-Schaltungen Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.</p> <p>Winterbetrieb:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Normalbetrieb STETIG – Schwachlastbetrieb AUS*/STETIG <p>Sommerbetrieb:</p> <p>FÜLLEN/ENTLEEREN (Feuerungsleistung = Festwert Sommer)</p>	<p>Winterbetrieb:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Normalbetrieb STETIG – Schwachlastbetrieb AUS*/FESTWERT (Feuerungsleistung = Festwert Winter) <p>Sommerbetrieb:</p> <p>FÜLLEN/ENTLEEREN (Feuerungsleistung = Festwert Sommer)</p>
Umschaltung Winterbetrieb auf Sommerbetrieb	Mit Handschalter oder automatische Sommer-Winter-Umschaltung über den 24-Stunden-Mittelwert der Aussentemperatur	
Kriterium zur Umschaltung von Normalbetrieb auf Schwachlastbetrieb	 <p>Umschaltung und Rückschaltung erfolgen über die Leistungsanforderung des PI-Reglers (siehe auch FAQ 7).</p>	Wenn die Leistungsanforderung für den Holzkessel für eine bestimmte Zeit unter einen bestimmten Wert fällt.
Kriterium zur Rückschaltung vom Schwachlastbetrieb auf Normalbetrieb		Wenn der Holzkessel für eine bestimmte Zeit ununterbrochen auf «Festwert Winter» läuft ODER der Speicherladezustand unter einen bestimmten Wert sinkt.
Vereinfachte Regelschemata		
Standard-Schnittstelle (in den Regelschemata als «SS» bezeichnet)	<p>x = Betriebsarten-Code: 0 = AUS oder Glutbettunterhalt 1 = stetige Regelung</p>	<p>y = Sollwert Feuerungsleistung: Normsignal 0...10 V = 0...100% Leistungsanforderung</p>
Beschreibung der Regler	<p>R1 PI-Regler zur stetigen Regelung der Feuerungsleistung im Winterbetrieb in Abhängigkeit des Speicherladezustandes</p> <p>R2 Zweipunktregler für die Umschaltung AUS*/STETIG im Schwachlastbetrieb Winter in Abhängigkeit der Leistungsanforderung des PI-Reglers R1</p> <p>R3 Zweipunktregler für den Sommerbetrieb durch FÜLLEN/ENTLEEREN (Feuerungsleistung = Festwert Sommer)</p>	<p>R1 PI-Regler zur stetigen Regelung der Feuerungsleistung im Winterbetrieb in Abhängigkeit des Speicherladezustandes</p> <p>R2 Zweipunktregler für die Regelung des Speicherladezustandes im Schwachlastbetrieb Winter (Feuerungsleistung = Festwert Winter)</p> <p>R3 Zweipunktregler für den Sommerbetrieb durch FÜLLEN/ENTLEEREN (Feuerungsleistung = Festwert Sommer)</p>
* oder Glutbettunterhalt		

FAQ 28 Tabelle 1: Vergleichende Beschreibung der Methoden A und B

Die Vor- und Nachteile der Methoden A und B zeigt FAQ 28 Tabelle 2.

Beschreibung	Methode A Gemäss Standard-Schaltungen Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.	Methode B
Vorteile	Einfaches Regelkonzept mit wenigen Parametern, die eingestellt werden müssen.	Möglichst lange Laufzeiten im Schwachlastbetrieb Winter mit reduzierter Feuerungsleistung (Festwert Winter).
Nachteile	Schlecht eingestellte Regler gehen zu früh auf AUS (bzw. Glutbettunterhalt) und/oder sie fahren zu schnell wieder im stetigen Betrieb hoch.	Komplizierte Kriterien für die Umschaltung und die Rückschaltung von Normalbetrieb auf Schwachlastbetrieb. Gefahr, dass nicht genügend schnell auf Normalbetrieb zurückgeschaltet wird.

FAQ 28 Tabelle 2: Vor- und Nachteile der Methoden A und B

	FAQ 29: Welche Fernleitungs-Vorlauftemperaturen und -Volumenströme sollen gefahren werden?		FAQ 29
	Erste Veröffentlichung: 26. März 2013	Letzte Bearbeitung: 26. März 2013	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

In FAQ 24 wurden Kriterien für eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur aufgestellt. Gibt es auch Kriterien bezüglich Vorlauftemperaturen und Volumenströmen? Insbesondere: Welche Fernleitungs-Vorlauftemperaturen und -Volumenströme sollen gefahren werden?

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass jeder Verbraucher eines Wärmenetzes einen bestimmten zeit- und witterungsabhängigen Leistungsbedarf hat, der durch Vorlauftemperatur und Volumenstrom definiert ist. Somit ergibt sich die Frage, wie Temperatur und Volumenstrom der Fernleitung am besten in der Zentrale vorreguliert und zeitgesteuert werden, um den geforderten Bedarf mit möglichst geringen Sicherheitszuschlägen bereitzustellen und welche Kriterien dazu herangezogen werden können. Messtechnisch einfach erfassbare Kriterien sind:

- Witterung (Aussentemperatur, evtl. auch Sonneneinstrahlung und Wind)
- Ventilstellungen bei den Verbrauchern als Ersatzgrösse für deren Temperatur- und Leistungsbedarf
- Druckdifferenzmessungen im Netz
- Erfassung von zeitlich regelmässig wiederkehrendem Bedarf

Witterungsgeführte Vorregulierung der Fernleitungs-Vorlauftemperatur

Auf Seite der Wärmeerzeugung gibt es bei Holzheizkesseln und fossilen Heizkesseln nach oben keine einschneidenden Beschränkungen: Mit üblichen Kesseln sind maximale Vorlauftemperaturen von 90...100°C kein Problem, und für Prozesswärme und zur Stromproduktion können bei Bedarf mit Heisswasser-, Heissöl- und Dampfkesseln auch Temperaturen bis 300°C erzeugt werden. Hingegen sind mit üblichen Wärmepumpen nur maximale Vorlauftemperaturen von 55...65°C möglich, und bei Solar- oder Geothermieanlagen (Direktnutzung) ergeben sich noch tiefere Temperaturen.

Bei den hier besprochenen Fernleitungen von Holzheizwerken, wo in der Regel keine der genannten Niedertemperatur-Wärmeerzeuger eingesetzt werden, liegen die Temperaturen meist über der tatsächlich benötigten Vorlauftemperatur. Aufgrund der erheblichen Fernleitungsverluste von 10...25% besteht deshalb ein Interesse – mindestens zeitweise –, mit einer tieferen Vorlauftemperatur zu fahren. Dazu wird durch eine Beimischschaltung die Fernleitungs-Vorlauftemperatur auf den gewünschten Sollwert in Abhängigkeit einer Heizkurve (FAQ 29 Abbildung 1) heruntergemischt.

Beispiel: Durch die zeitweise Absenkung der Vorlauftemperatur von 90°C auf 50°C können die Fernleitungsverluste während dieser Zeit auf etwa die Hälfte reduziert werden.

Allein die Wärmeabnehmer-Seite bestimmt dabei, welche maximalen Vorlauftemperaturen benötigt werden. Typische Werte sind beispielsweise:

- Neue Fussbodenheizung 22...35°C (witterungsabhängig)
- Neue Niedertemperaturheizkörper 25...45°C (witterungsabhängig)
- Ältere Heizkörper nach Sanierung der Gebäudehülle 25...55°C (witterungsabhängig)
- Ältere Heizkörper ohne Sanierung der Gebäudehülle 30...75°C (witterungsabhängig)
- Warmwasserbereitung 65...75°C (zeitabhängig)

Unangenehm ist die Tatsache, dass sich der Sollwert der Fernleitungs-Vorlauftemperatur immer nach demjenigen Verbraucher zu richten hat, der zu diesem Zeitpunkt gerade den höchsten Temperaturbedarf hat. Solange keine Prozesswärme oder eine «Uraltheizung» (die möglichst rasch saniert werden sollte) eine höhere als die genannten Temperaturen benötigt, ist meistens die Warmwasserbereitung entscheidend.

Selbstverständlich wären viele Nutzer mit einer Warmwassertemperatur von maximal 40...45°C zufrieden. Dagegen spricht aber leider die Legionellen-Gefahr. Die Empfehlungen des Schweizerischen Bundesamtes für Gesundheit (siehe dazu FAQ 30) können erfüllt werden, wenn einmal täglich die Hauptvorlauftemperatur für genügend lange Zeit auf mindestens 65...70°C erhöht wird, damit der Speicher vollständig auf mindestens 60°C erwärmt werden kann. In der restlichen Zeit, in der Wassererwärmung stattfindet, ist eine Fernleitungs-Vorlauftemperatur von 60°C erforderlich.

Bei kalkhaltigem Trinkwasser besteht noch zusätzlich die Notwendigkeit, die Fernleitungs-Vorlauftemperatur zur Warmwasserbereitung auch nach oben zu begrenzen: Temperaturen über 60° führen nämlich zur örtlichen Verkalkung der Wärmetauscher. Eine Begrenzung auf 70°C ist ein guter Kompromiss.

Anpassung des Volumenstroms durch drehzahlgesteuerte Fernleitungspumpe(n)

Eine Möglichkeit ist die Überwachung der Ventilstellungen bei den Wärmeabnehmern, mit dem Ziel, dass immer nur wenige Abnehmer voll geöffnet sind. Voraussetzung dazu ist allerdings, dass alle Ventilstellungen der Wärmeabnehmer zentral erfasst sind, was oft nicht der Fall ist.

Hier wird oft übersehen, dass es zwei Gründe für voll geöffnete Ventile gibt:

- Die Heizkurve der witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung der Gruppe kann nicht befriedigt werden; hier ist die Erhöhung des Durchflusses die falsche Reaktion, hier ist nämlich die Hauptvorlauftemperatur zu tief und das Regelventil der Vorregulierung müsste mehr geöffnet werden
- Die Gruppe ist bezüglich Durchfluss am Anschlag; nur hier ist die Erhöhung des Durchflusses die richtige Reaktion

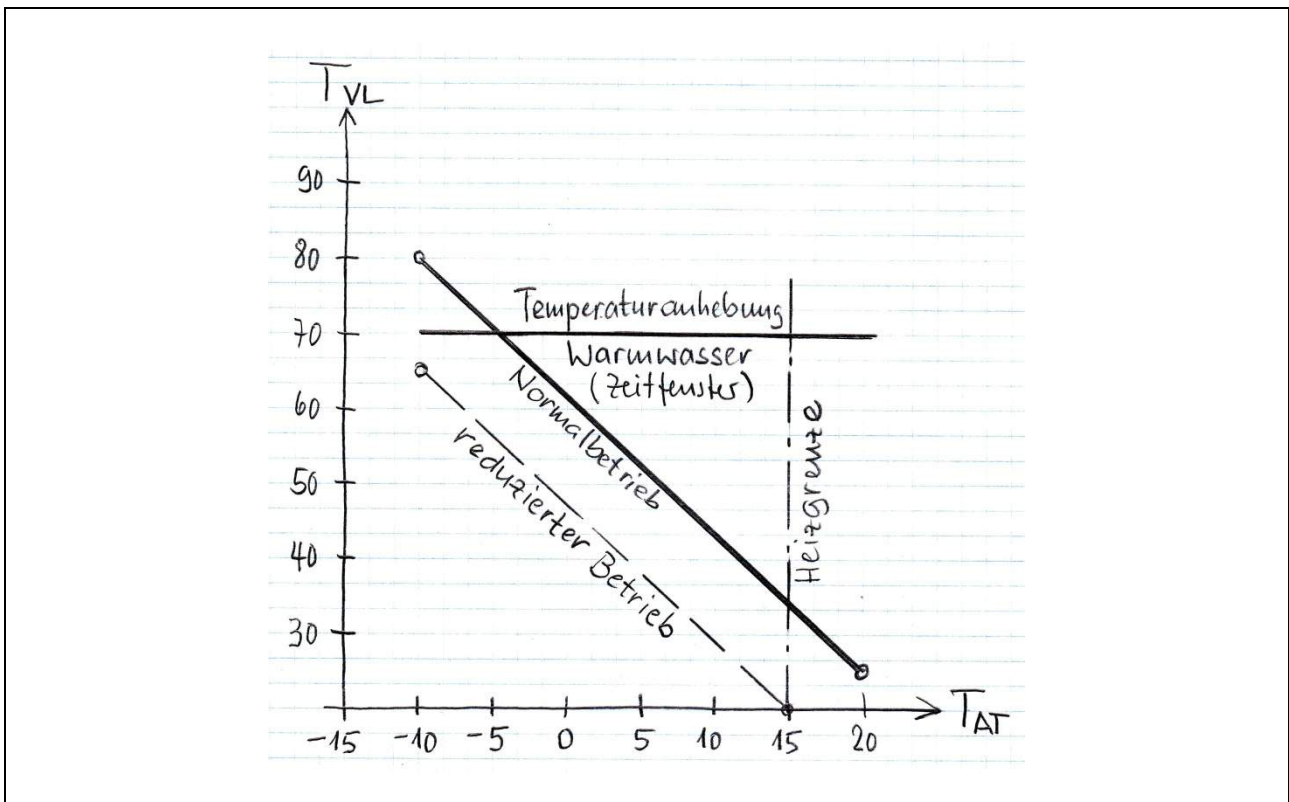
Eine bewährte Möglichkeit ist die Druckdifferenzmessung im Netz, um den Volumenstrom so anzupassen, dass immer eine minimale Druckdifferenz im Netz garantiert ist. Dabei kann es sich um mehrere im Netz verteilte Druckdifferenz-Messstellen handeln, die prioritätsabhängig berücksichtigt werden.

Zeitprogrammsteuerung

Viele Verbraucher haben einen zeitabhängigen Temperatur- und Leistungsbedarf:

- Tageszeitabhängig im Wohnungsbau (Nachtabsenkung)
- Wochentagabhängig im Nichtwohnungsbau (Wochenendabsenkung)

Dazu wird in der Regel einfach die Heizkurve (FAQ 29 Abbildung 1) parallel abgesenkt.



FAQ 29 Abbildung 1: Beispiel einer Heizkurve mit Normalbetrieb, reduziertem Betrieb und Temperaturanhebung für die Warmwasserbereitung während vorgegebener Zeitfenster

Zeitfenster zur Wassererwärmung

Bei Wärmenetzen mit vorwiegend Neubauten und sanierten Altbauten ist oft die Hauptvorlauftemperatur zur Warmwasserbereitung die meiste Zeit bestimmend. Im Sommerbetrieb ist bei Anlagen ohne Prozesswärme die Warmwasserbereitung allein entscheidend. In beiden Fällen lohnt es sich, die Warmwasserbereitung nur während bestimmter Zeitfenster freizugeben. Wieviele Zeitfenster pro Tag und wie lange die Zeitfenster sein sollen ist vom ungünstigsten Verbraucher abhängig. Es lohnt sich also, dafür zu sorgen, dass schlechte Warmwasseranlagen rasch saniert werden müssen.

Für den optimalen Betrieb einer Fernleitung wäre selbstverständlich die Auslegung auf mindestens einen Tagesbedarf wünschenswert. Dies ist jedoch nur bei Anlagen ohne Zirkulation sinnvoll möglich. Falls der Speicher nur einmal pro Tag durchgeladen wird, muss er auf den folgenden nutzbaren Speicherinhalt ausgelegt werden (η = Speichernutzungsgrad zur Berücksichtigung der Speicher- und Zirkulationsverluste):

- Wenn der Speicher am Ende des Tages leer sein darf: nutzbarer Speicherinhalt \geq Tagesbedarf $\times 1/\eta$
- Wenn am Ende des Tages noch ein minimaler Spitzenbedarf (z. B. 1/3 des Speicherinhalts) zur Verfügung stehen soll: nutzbarer Speicherinhalt \geq (Tagesbedarf + Spitzenbedarf) $\times 1/\eta$

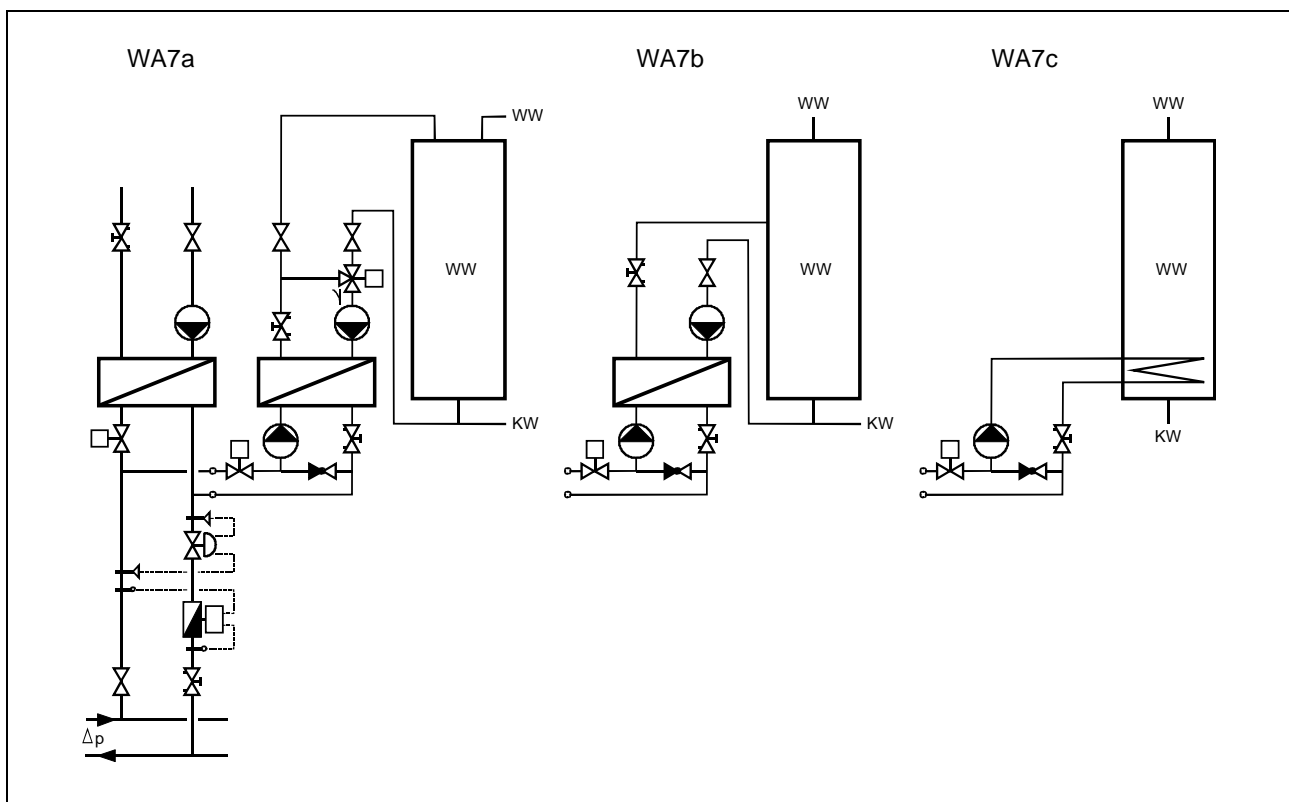
Ein grosses Problem sind die Speicher- und Zirkulationsverluste. Diese sind oft viel grösser als erwartet. Zusammen betragen sie oft über 50% bezogen auf den Energieverbrauch zur reinen Wassererwärmung. Hinzu kommt noch, dass die Zirkulation die Schichtung im Speicher stört und damit die tiefen Temperaturen im unteren Teil des Speichers, die möglicherweise der Berechnung zugrunde gelegt wurden, illusorisch werden.

Die Anzahl Ladungen sollte pro Tag sollte in jedem Falle auf 2, höchstens 3, beschränkt werden können (vor allem im Sommerbetrieb).

In Fernwärmenetzen bereitet die Trinkwassererwärmung oft Probleme: Es müssen Sicherheitsvorschriften gegen Legionellen eingehalten werden, der Rücklauf zum Netz sollte möglichst tief sein und die Vorlauftemperatur nicht zu hoch, um eine Verkalkung des Wärmetauschers zu vermeiden (vergleiche dazu auch FAQ 29). Welche Schaltungen zur Trinkwassererwärmung sind für Fernwärmenetze geeignet?

In «Standard-Schaltungen – Teil I» [2] sind zahlreiche geeignete Schaltungen beschrieben. Die wichtigsten drei Schaltungen zeigt FAQ 30 Abbildung 1:

- Standardschaltung WA7a – Anschluss eines Warmwasserspeichers mit externem Wärmetauscher und Laderegelung: Der Speicher wird mit konstanter Warmwassertemperatur geladen (z. B. 60°C); die Wärmetauscher-Eintrittstemperatur kann zur Reduktion der Verkalkung begrenzt werden (z. B. auf 70°C)
- Standardschaltung WA7b – Anschluss eines Warmwasserspeichers mit externem Wärmetauscher ohne Laderegelung: Mittels Stufenladung (eine treffendere Bezeichnung wäre «Rampenladung») wird der untere Teil des Speichers so lange umgewälzt, bis die geforderte Warmwassertemperatur (z. B. 60°C) erreicht ist (der obere Teil des Speichers bleibt vom Ladevorgang unberührt); die Wärmetauscher-Eintrittstemperatur kann zur Reduktion der Verkalkung begrenzt werden (z. B. auf 70°C)
- Standardschaltung WA7c – Anschluss eines Warmwasserspeichers mit innenliegendem Wärmetauscher: Einfache Ladung des Speichers durch natürliche Schichtung, nachteilig gegenüber dem aussenliegenden Wärmetauscher ist die begrenzte Tauscherfläche und der kleinere Wärmeaustauschkoefizient; die Wärmetauscher-Eintrittstemperatur kann zur Reduktion der Verkalkung begrenzt werden (z. B. auf 70°C)



FAQ 30 Abbildung 1: Standardschaltungen WA7 für Fernwärmeanschlüsse gemäss Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Die nachfolgenden Empfehlungen gelten für Warmwasserbereitungsanlagen jeder Grösse, also Anlagen in Einfamilienhäusern, Mehrfamilienhäusern, Schulhäusern, Schwimmbädern, Hotels usw. Die Empfehlungen

gelten grundsätzlich auch für Pflegeheime und Spitäler. Hier ist jedoch im Einzelfall mit den Hygiene-Verantwortlichen abzuklären, welche zusätzlichen Massnahmen notwendig sind.

Interner Wärmetauscher (Schaltung WA7c)

Wenn bei bestehenden Anlagen Probleme auftreten, handelt es sich meistens um innenliegende Wärmetauscher, also um Varianten ähnlich Schaltung WA7c. Innenliegende Wärmetauscher sind aber deswegen nicht grundsätzlich ungeeignet. Es geht vielmehr darum, einige Forderungen einzuhalten:

- Möglichst grosse Tauscherfläche
- Speicher-Bauarten mit extrem tief liegenden Wärmetauschern verwenden. Bei üblichen Wärmetauschern kann der Speicher nur etwa bis Mitte Rohrbündel gefüllt werden, also deutlich weniger als der effektive Speicherinhalt; dies kann zu Problemen mit der Legionellen-Vermeidung führen (siehe unten).
- Sorgfältiger hydraulischer Abgleich (auch bei bestehenden Anlagen)
- Regelungstechnische Begrenzung der Rücklauftemperatur

Bestehende Anlagen, die diese Forderungen nicht erfüllen, sollten rasch optimiert und ggf. saniert werden.

Externer Wärmetauscher ohne Laderegelung (Schaltung WA7b)

Externe Plattenwärmetauscher haben gegenüber internen Rohrbündelwärmetauschern (Schaltung WA7c) den grossen Vorteil, dass die Wärmetauscherfläche praktisch beliebig gross ausgelegt werden kann. Im einfachsten Fall wird der Wärmetauscher direkt am Speicher angeschlossen und der Speicher durch Stufenladung im unteren Teil des Speichers geladen. Der Speicher kann dabei nicht vollständig durchgeladen werden (Problem bei der Legionellen-Vermeidung, siehe unten).

Die Konfiguration Einschaltfühler auf 2/3 Speicherhöhe und Sprührohr für die Stufenladung auf 1/2 Speicherhöhe hat sich bewährt. Der Sekundäreintritt des Wärmetauschers kann direkt an der Kaltwasserleitung angeschlossen.

Externer Wärmetauscher mit Laderegelung (Schaltung WA7a)

Nur mit einer Laderegelung kann der Speicher praktisch vollständig auf eine definierte Temperatur durchgeladen werden. Der Laderegler sollte nicht direkt an der Kaltwasserleitung angeschlossen werden, sondern möglichst tief an einem separaten Speicheranschluss, weil sonst jeder Warmwasserbezug den Laderegler stört.

Der Laderegler muss PID-Charakteristik haben. Regelungstechnisch ist es von Vorteil, wenn die Zeitkonstante des Regelfühlers und die Laufzeit des Regelventils möglichst kurz sind. Grundsätzlich ist die Einstellung des PID-Reglers anspruchsvoll. Für die Betriebsoptimierung und die Einstellung der Sollwerte und Reglerparameter (P-Band, Nachstellzeit, Vorhaltezeit) ist genügend Sorgfalt und Aufwand einzuplanen. Zu beachten ist, dass die Stellwirkung des Regelventils bei kaltem Wasser unten im Speicher grösser ist als bei warmem. Die optimalen Regelparameter sind immer ein Kompromiss zwischen allen auf der Anlage tatsächlich vorkommenden Betriebsverhältnissen.

Die Schichtladung mittels Laderegler hat gegenüber der Stufenladung (Schaltung WA7b) Vorteile:

- Der gewünschte Sollwert steht mit Beginn der Ladung sofort zur Verfügung (bei der Stufenladung erst am Ende der Ladung)
- Der Speicher kann wirklich vollständig durchgeladen werden (wichtig für die Vermeidung von Legionellen)
- Abhängig von der Lage des Ausschaltfühlers kann gezielt auch nur ein Teil des Speichers geladen werden (bei der Stufenladung muss immer der ganze Speicher durchgeladen werden)
- Die Schichtladung ist ideal um Zirkulationsverluste auszugleichen (siehe unten)

Zirkulation

Schlimmster Feind des Schichtspeichers ist die Zirkulationspumpe. Diese stört die Schichtung unweigerlich und führt früher oder später zu einer Durchmischung des Speichers. Diesem Thema ist eine eigene FAQ gewidmet (FAQ 33).

Vermeidung von Legionellen

In der Schweiz gibt das Bundesamt für Gesundheit (BAG) in «Legionellen und Legionellose» für «mittleres Risiko» folgende Empfehlungen:

1. *Das genutzte Warmwasser muss in der Regel innerhalb 24 Stunden mindestens einmal während einer Stunde auf mindestens 60°C aufgeheizt werden.*
2. *Die Auslegung der Sanitäranlage erfolgt so, dass die Temperatur im warm gehaltenen Teil des Verteilnetzes (also ohne die Anschlussleitungen) immer über 55 °C liegt. Damit wird in der Praxis gewährleistet, dass sie an der Wasserentnahmestelle nicht unter 50°C fällt.*

Quelle: Legionellen und Legionellose. Modul 12 Sanitäre Installationen. Bern: Bundesamt für Gesundheit, März 2009.
Download: <http://www.bag.admin.ch>

Empfehlung 1 des BAG kann erfüllt werden, wenn einmal täglich die Hauptvorlauftemperatur für genügend lange Zeit auf mindestens 65...70°C erhöht wird, damit der Speicher vollständig auf mindestens 60°C erwärmt werden kann. Voraussetzung dazu ist eine genügend grosse Tauscherfläche und wenn möglich eine Laderegelung.

Für die Einhaltung von Empfehlung 2 des BAG ist neben der Warmwassertemperatur auch das Zirkulationssystem zu berücksichtigen. Unter der Annahme einer Temperaturdifferenz über der Zirkulation von 5 K und weiteren 5K über dem Wärmetauscher wäre in der restlichen Zeit, in der Wassererwärmung stattfindet, eine Fernleitungs-Vorlauftemperatur von 60°C erforderlich.

Auch wenn die Empfehlungen des BAG nur teilweise erfüllt werden, ist eine Stufenladung (im Wohnungsbau mit normalem Warmwasserverbrauch) oder eine Schichtladung (in Bürogebäuden mit vorwiegend Zirkulationsverlusten) kombiniert mit einem Antilegionellen-Ladebetrieb einmal pro Woche eine Lösung, die in vielen Anwendungsfällen mit geringerem Legionellen-Risiko genügen dürfte.

Vermeidung von Verkalkung

Bei kalkhaltigem Trinkwasser muss die Wärmetauscher-Eintrittstemperatur auf der Primärseite nach oben begrenzt werden, da Temperaturen über 60° zur örtlichen Verkalkung der Wärmetauscher führen (ein vernünftiger Kompromiss liegt bei etwa 70°C).

Plattenwärmetauscher sind empfindlicher gegenüber Verkalkung als Rohrbündel-Wärmetauscher.

In der Praxis trifft man oft auf Wärmetauscher die unbefriedigend arbeiten, weil sie unzweckmässig dimensioniert und nicht richtig abgeglichen wurden. Wie sollen Wärmetauscher dimensioniert und abgeglichen werden?

Wärmetauscher werden beim Hersteller bestellt, indem diesem die gewünschten Temperaturen und Durchflüsse sowie die (Wunsch-)Übertragungsleistung angegeben werden. Nur, ob die Auslegungsdaten optimal gewählt wurden und ob der Wärmetauscher später tatsächlich im gewünschten Bereich arbeitet, darum kümmert sich kaum jemand. Deshalb lohnt es sich, einmal grundsätzliche Überlegungen zur Auslegung von Wärmetauschern und zu deren Abgleich zu machen.

Die **Übertragungsleistung** eines Wärmetauschers ergibt sich wie folgt:

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \Delta T_{log}$$

$$\dot{Q} = \text{Übertragungsleistung [W]}$$

$$k = \text{Wärmedurchgangskoeffizient [W/m}^2\text{K]}$$

$$A = \text{Wärmeübertragungsfläche [m}^2\text{]}$$

$$\Delta T_{log} = \text{mittlere logarithmische Temperaturdifferenz [K]}$$

Der **Wärmedurchgangskoeffizient** ist von einer Vielzahl von Faktoren abhängig:

- Aggregatzustand der Wärmeträger (Gas, Dampf, Flüssigkeit)
- Stoffeigenschaften der Wärmeträgers (Dichte, spezifische Wärmekapazität, Zähigkeit)
- Thermodynamische Zustandsgrössen der Wärmeträger (Druck, Temperatur)
- Strömungsgeschwindigkeiten der Wärmeträger
- Geometrische Form des Wärmetauschers

Diese Faktoren werden nur in Wärmetauscher-Berechnungsprogrammen korrekt berücksichtigt, weshalb immer die Berechnung des Wärmetauscherherstellers massgebend ist. Als Grössenordnung ergeben sich bei den hier besprochenen Anwendungen etwa folgende Werte:

- Interner Rohrbündelwärmetauscher: 400...600 W/m²K
- Externer Plattenwärmetauscher im Gegenstrom: 800...1'200 W/m²K

Die **mittlere logarithmische Temperaturdifferenz** beschreibt die effektiv treibende Temperaturdifferenz im Wärmetauscher. Sie berechnet sich aus den beiden Temperaturdifferenzen im Wärmetauscher-Diagramm (FAQ 31 Abbildung 1):

$$\Delta T_{log} = \frac{\Delta T_{gr} - \Delta T_{kl}}{\ln(\Delta T_{gr} / \Delta T_{kl})}$$

$$\Delta T_{gr} = \text{grosse Temperaturdifferenz [K]}$$

$$\Delta T_{kl} = \text{kleine Temperaturdifferenz [K]}$$

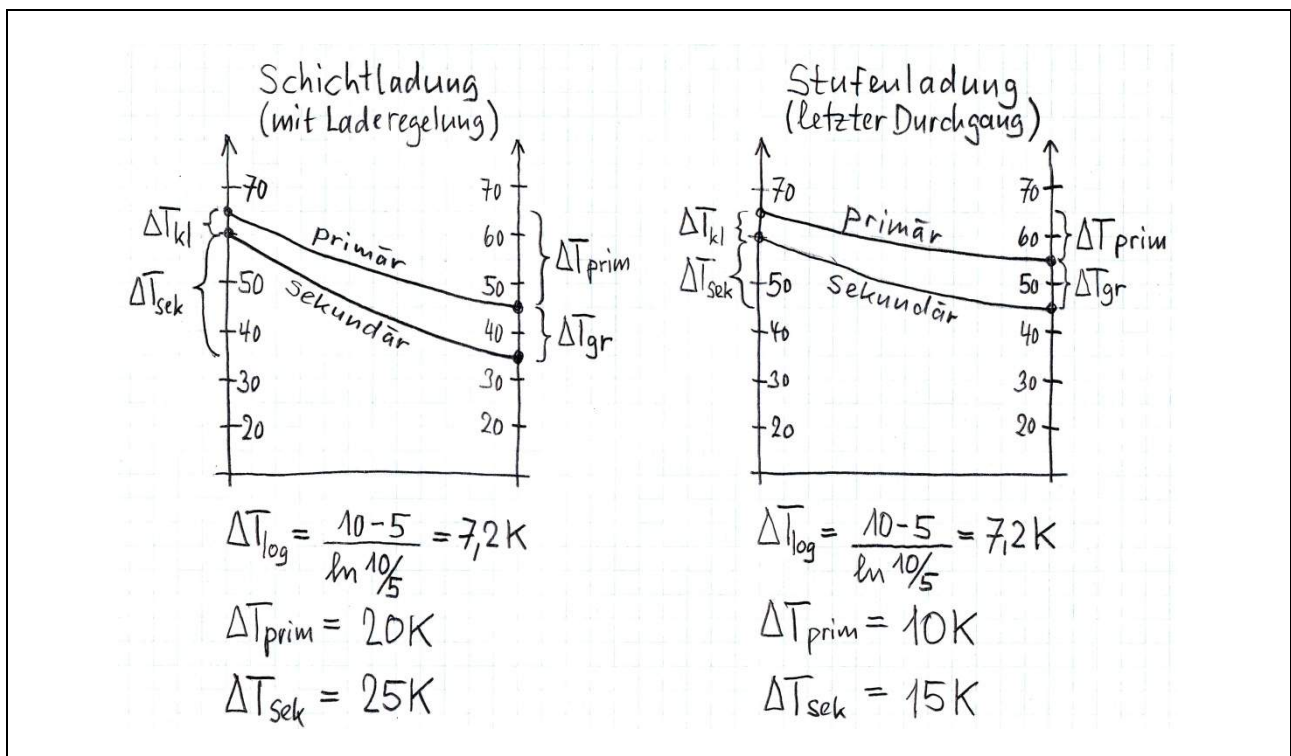
Bei gleichen Temperaturdifferenzen (Division durch null) gilt: $\Delta T_{log} = \Delta T_{kl} = \Delta T_{gr}$

Grundsätzlich sind möglichst tiefe Vorlauftemperaturen (geringere Verluste, Vermeidung von Verkalkung bei der Warmwasserbereitung) und möglichst tiefe Rücklauftemperaturen (kleinere Förderleistung, bessere Nutzung des Speichers) erwünscht. Damit lassen sich aus den obigen Formeln und aus FAQ 31 Abbildung 1 einige grundsätzliche Erkenntnisse herleiten:

- Die Rücklauftemperatur wird möglichst tief, wenn die Differenz der Primärtemperatur und Sekundärtemperatur am kalten Ende des Wärmetauschers möglichst klein ist.

- Die Vorlauftemperatur wird möglichst tief (Vermeidung Verkalkung bei BWW), wenn die Differenz der Primärtemperatur und Sekundärtemperatur am warmen Ende des Wärmetauschers möglichst klein ist.
- Auf beiden Seiten des Wärmetauschers wird also eine kleine Temperaturdifferenz angestrebt. Dies ergibt eine kleine logarithmische Temperaturdifferenz, und je kleiner diese ist, desto grösser muss die Wärmetauscherfläche sein. Eine möglichst grosse Wärmetauscherfläche ist also bezüglich Auslegung immer von Vorteil.
- Die Wärmetauscherfläche wird allein durch den Preis des Wärmetauschers begrenzt. Dem erhöhten Druckabfall kann mit vielen kleinen anstatt wenigen grossen Platten begegnet werden, was aber natürlich noch teurere Wärmetauscher ergibt.
- Die gewünschten Auslegewerte stellen sich nur ein, wenn Primär- und Sekundärdurchfluss des Wärmetauschers sorgfältig abgeglichen werden.

Im Folgenden wird bei internen Wärmetauschern von Rohrbündel-Wärmetauschern ausgegangen und bei externen Wärmetauschern von Plattenwärmetauschern, die im Gegenstrom betrieben werden.



FAQ 31 Abbildung 1: Wärmetauscher-Diagramme für Schichtladung und Stufenladung (Plattenwärmetauscher im Gegenstrom betrieben)

Wie sollen interne Wärmetauscher ausgelegt werden?

Interne (innenliegende) Wärmetauscher sollten normalerweise nur eingesetzt werden, wenn die Wärmeaustauschfläche auf wenigstens 0,30 m²/kW ausgelegt werden kann. Dies ist vor allem in Einfamilienhäusern der Fall.

Bei Anlagen mit Solarenergienutzung sind zwei interne Wärmetauscher üblich, einer für die Sonnenkollektoren und einer für die Heizungsanlage. Hier kann es der Fall sein, dass heizungsseitig eine Auslegung auf 0,30 m²/kW nicht möglich ist. Ein störungsfreier Betrieb ist auch mit kleinerer Wärmeaustauschfläche möglich, allerdings auf Kosten einer optimalen Warmwassertemperatur.

Alle anderen Fälle sind viel zweckmässiger mit einem externen Wärmetauscher zu lösen.

Wie sollen externe Wärmetauscher ohne Laderegulierung ausgelegt werden (Stufenladung)?

Messungen an externen (ausserliegenden) Wärmetauschern ohne Laderegulierung haben gezeigt, dass keine deutliche Stufung der Speichertemperatur erkennbar ist, wie man aufgrund theoretischer Überlegungen erwarten würde. Vielmehr steigt die Speichertemperatur mehr oder weniger kontinuierlich an. Dies bedeutet:

Zufälligkeiten beim letzten Ladedurchgang spielen kaum eine Rolle, und grössere Spreizungen führen nicht so schnell zu Problemen.

Auf der anderen Seite muss aber auch beachtet werden, dass der Speicher durch eine ungünstige Zirkulation in Verbindung mit geringem Warmwasserverbrauch auf eine relativ hohe Temperatur hochgemischt werden kann. Dies wiederum verbietet eine allzu grosse Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite.

Empfehlungen (die Zahlen beziehen sich auf FAQ 31 Abbildung 1):

- Wärmeaustauschfläche mindestens $0,15 \text{ m}^2/\text{kW}$.
- Die Einschaltung über einen Fühler im Speicher auf 2/3 Speicherhöhe und die Ausschaltung über die Wärmetauscher-Austrittstemperatur auf der Primärseite ergibt eine höchstmögliche Warmwassertemperatur (60°C) bei begrenzter heizungsseitiger Rücklaufstemperatur (55°C).
- Auf der Sekundärseite sind tendenziell grössere Temperaturdifferenzen möglich, wenn die Speichertemperatur nicht zu hoch wird wegen ungünstiger Zirkulation in Verbindung mit geringem Warmwasserverbrauch. Eine Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite von 15 K ergibt kaum Probleme.
- In jedem Falle sollte die Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite (15 K) grösser sein als auf der Primärseite (10 K). Damit ist gewährleistet, dass die Austrittstemperatur auf der Sekundärseite (60°C) möglichst nahe an die Eintrittstemperatur auf der Primärseite (65°C) herankommt.

Wie sollen externe Wärmetauscher mit Laderegulung ausgelegt werden (Schichtladung)?

Der grosse Vorteil einer sekundärseitigen Laderegulung ist, dass nahezu der ganze Speicher auf die höchstmögliche Temperatur geladen werden kann. Mit einer Laderegulung lassen sich problemlos Warmwassertemperaturen erreichen, die die Forderungen zur Vermeidung von Problemen mit Legionellen im Trinkwasser erfüllen.

Empfehlungen (die Zahlen beziehen sich auf FAQ 31 Abbildung 1):

- Wärmeaustauschfläche mindestens $0,15 \text{ m}^2/\text{kW}$.
- Die Einschaltung über einen Fühler im Speicher auf 2/3 Speicherhöhe und die Ausschaltung über die Wärmetauscher-Austrittstemperatur auf der Primärseite ergibt eine höchstmögliche Warmwassertemperatur (60°C) bei begrenzter heizungsseitiger Rücklaufstemperatur (mit 45°C noch 10 K tiefer als bei der Stufenladung).
- Auf der Sekundärseite sind grössere Temperaturdifferenzen möglich als bei der Stufenladung. Eine Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite von 25 K ergibt kaum Probleme.
- In jedem Falle sollte die Temperaturdifferenz auf der Sekundärseite (25 K) grösser sein als auf der Primärseite (20 K). Damit ist gewährleistet, dass die Austrittstemperatur auf der Sekundärseite (60°C) möglichst nahe an die Eintrittstemperatur auf der Primärseite (65°C) herankommt.

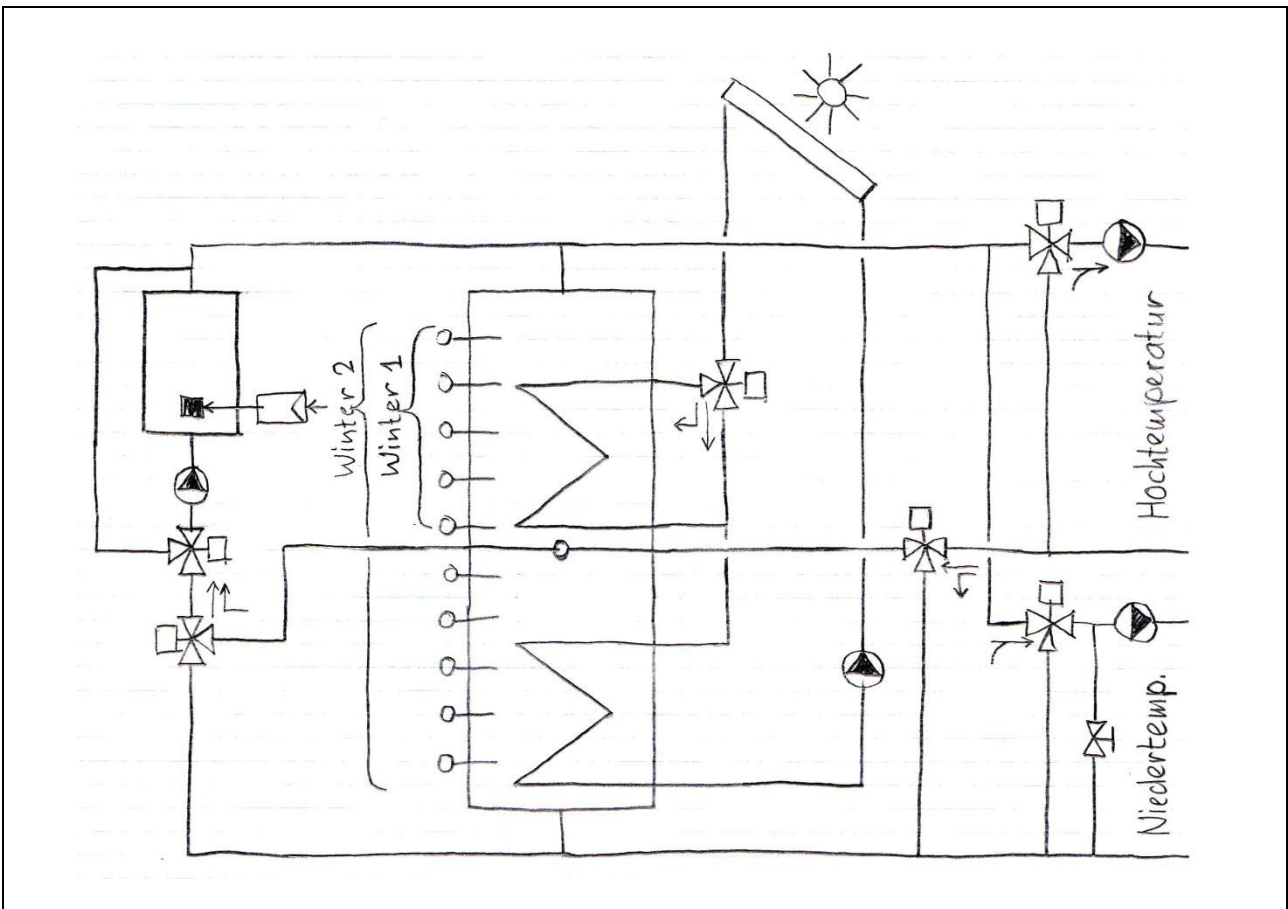
In der Praxis besteht oft der Wunsch für die Nutzung thermischer Solarenergie. Auf Erzeugerseite handelt es sich dabei in der Regel um eine einzige, grosse Solarfläche und auf Verbraucherseite eher um zahlreiche, kleinere Solarflächen. Wie sollen Sonnenkollektoren eingebunden werden?

Thermische Solarenergienutzung auf der Erzeugerseite

Auf der Erzeugerseite handelt es sich in der Regel um eine einzige, grosse Solarfläche, die in der Heizzentrale eingebunden werden soll. Dazu ist das Speicherkonzept gemäss Standardschaltungen [2] zunächst einmal nicht geeignet. Dieses nutzt ja im Normalbetrieb den Speicherladezustand als Regelgrösse für die Feuerungsleistung des Holzessels, und dabei schwankt der Speicherladezustand kurzzeitig im Bereich von vielleicht 20% und 80%. Für eine Solarnutzung bleibt da nur wenig bis kein Spielraum.

Deshalb muss die thermische Solarenergienutzung wie ein zusätzlicher Wärmeerzeuger behandelt werden, der passend auf die Temperaturniveaus des Speichers eingebunden wird. Insbesondere die Speicherauslegung muss dazu sehr sorgfältig erfolgen. Siehe dazu auch [FAQ 21: Was sind die Vorteile eines Speicher und wie soll er ausgelegt werden?](#)

FAQ 32 Abbildung 1 zeigt einen Vorschlag mit einem übergrossen Speicher, dessen obere Hälfte gemäss Standardschaltung funktioniert, während die untere Hälfte der Solarenergienutzung angepasst wird. Um den unteren Speicherteil überhaupt betreiben zu können, müssen genügend Niedertemperaturverbraucher mit tiefer Rücklauftemperatur zur Verfügung stehen.



FAQ 32 Abbildung 1: Vorschlag zur thermischen Solarenergienutzung mit einem übergrossen Speicher

Für das Anlagekonzept gemäss FAQ 32 Abbildung 1 sind zwei bis drei an die jeweilige jahreszeitliche Situation angepasste Regelkonzepte notwendig:

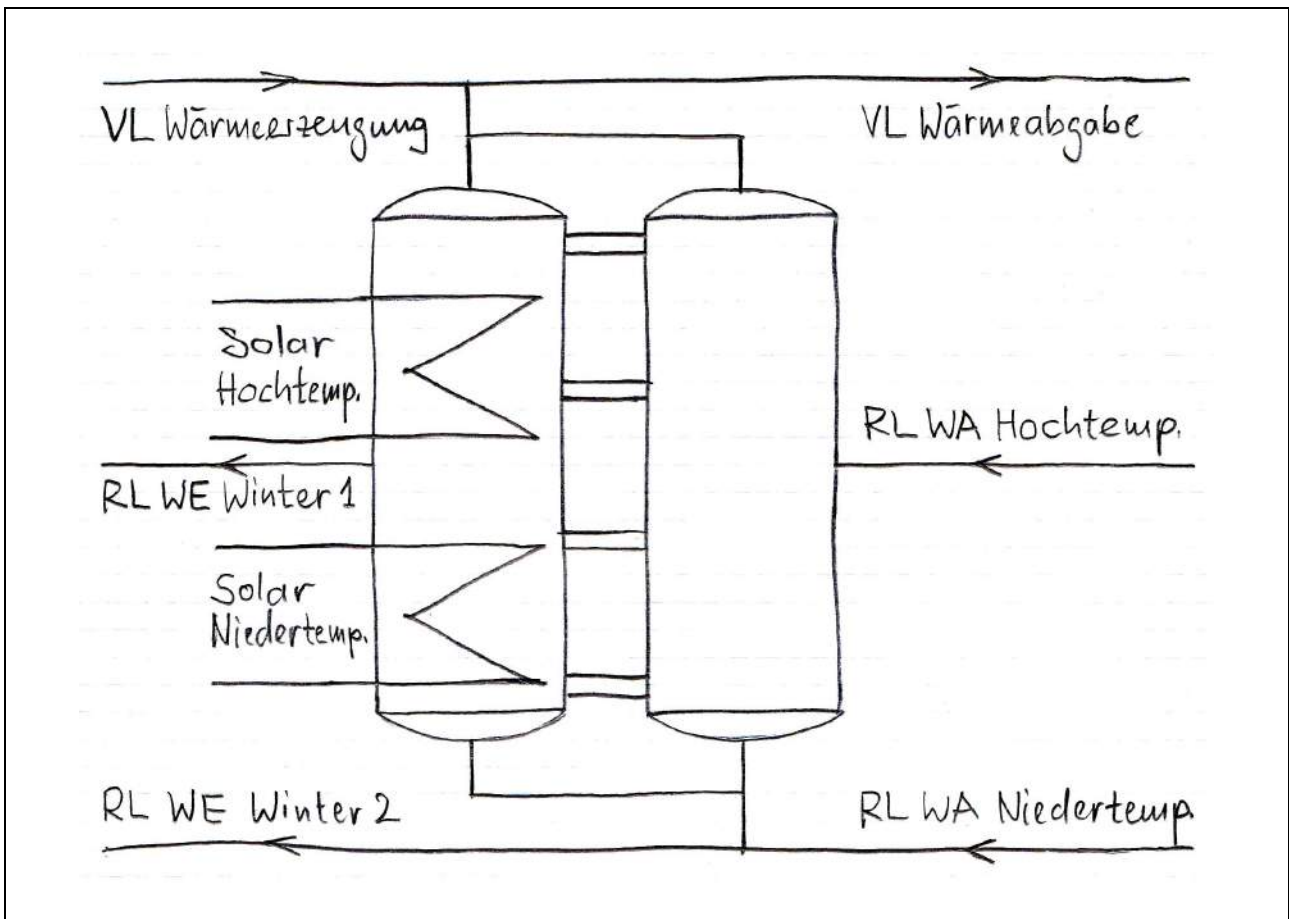
Sommerbetrieb: Solarbetrieb über die ganze Speicherhöhe. Aufheizung der Speicherspitze mit Holzkessel oder Öl-/Gaskessel im Notfall möglich.

Winterbetrieb 1: Obere Speicherhälfte gemäss Standardschaltung mit Holzkessel betrieben, untere Speicherhälfte über die Sonnenkollektoren.

Winterbetrieb 2: Ganzer Speicher gemäss Standardschaltung mit Holzkessel (und ggf. Öl-/Gaskessel) betrieben. Sonnenkollektoren ausgeschaltet, weil die Kollektortemperatur für eine Nutzung zu tief ist.

Grundsätzlich sind in den Standardschaltungen nur Anschlüsse oben und unten im Speicher zugelassen. Anschlüsse dazwischen sind verboten. Hier musste von diesem Grundsatz abgewichen werden, weil nur mit Zwischenanschlüssen der untere Teil des Speichers gezielt für die Solarnutzung «gekühlt» werden kann. Damit das Konzept funktioniert, muss aber unbedingt vorausgesetzt werden, dass alles in einem einzigen Speicher realisiert werden kann.

Der Speicher wird jedoch zwangsläufig sehr gross. Da stellt sich natürlich die Frage, ob es eine Möglichkeit gibt, den übergrossen Speicher auf mehrere Behälter aufzuteilen. Serienspeicher würden grosse Probleme ergeben, weil der kältere Speicher oben schnell einmal viel heisser würde als der wärmere unten (z. B. durch Solar-WT im kälteren Speicher!). Die einzige brauchbare Lösung sind Parallelspeicher.



FAQ 32 Abbildung 2: Vorschlag zur thermischen Solarenergienutzung mit zwei parallel geschalteten Speichern

Ein Beispiel mit 2 Parallelspeichern zeigt FAQ 32 Abbildung 2. Dabei müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Zur hydraulischen Verbindung der Behälter durch Schwerkraftzirkulation sind 4...5 möglichst kurze und möglichst gross dimensionierte Verbindungsrohre notwendig, die gleichmässig auf die gesamte Speicherhöhe verteilt werden
- Die Hauptanschlussleitungen werden am besten im Tichelmann-System ausgeführt, weil dadurch alle Behälter gleichen Druckabfall aufweisen und damit auch gleichmässig durchflossen werden

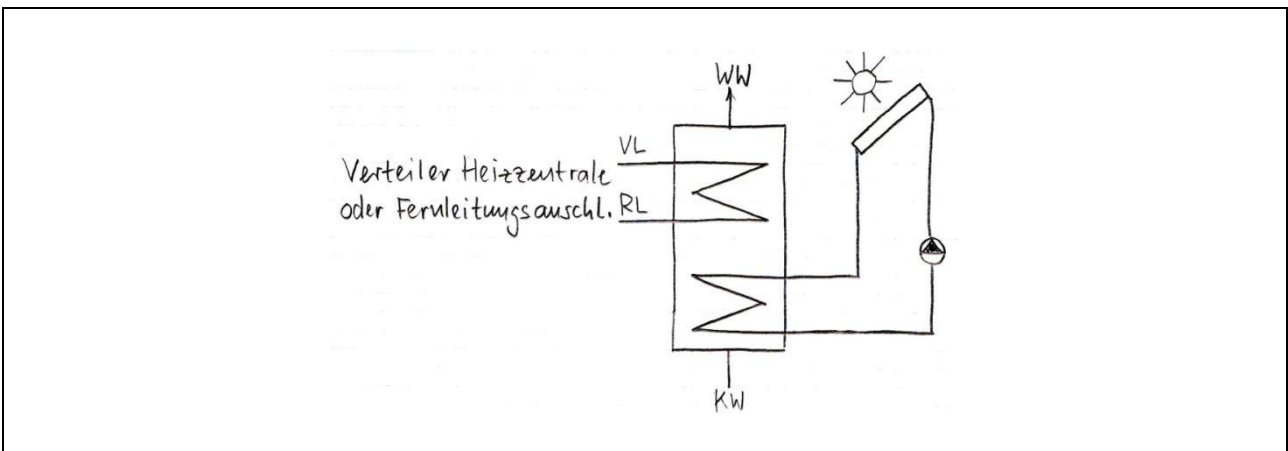
- An welchen Behälter die Zwischenanschlüsse angeschlossen werden, spielt wahrscheinlich keine Rolle, ebenso sollte es eigentlich keine Rolle spielen, in welchem Speicher die Wärmetauscher platziert werden, weil ja ein Temperatenausgleich über Schwerkraft stattfindet. So oder so kommt aber Unruhe in die Schichtung; ein einziger schlanker und hoher Speicher ist deshalb sicher immer die bessere Lösung als die Parallelschaltung, die eher einem dicken und kurzen Speicher entspricht.

FAQ 32 Abbildung 1 und FAQ 32 Abbildung 2 sind nur als mögliche Vorschläge zu verstehen. Ob und wie weit diese oder angepasste Konzepte realisierbar sind, muss von Fall zu Fall sehr genau abgeklärt werden.

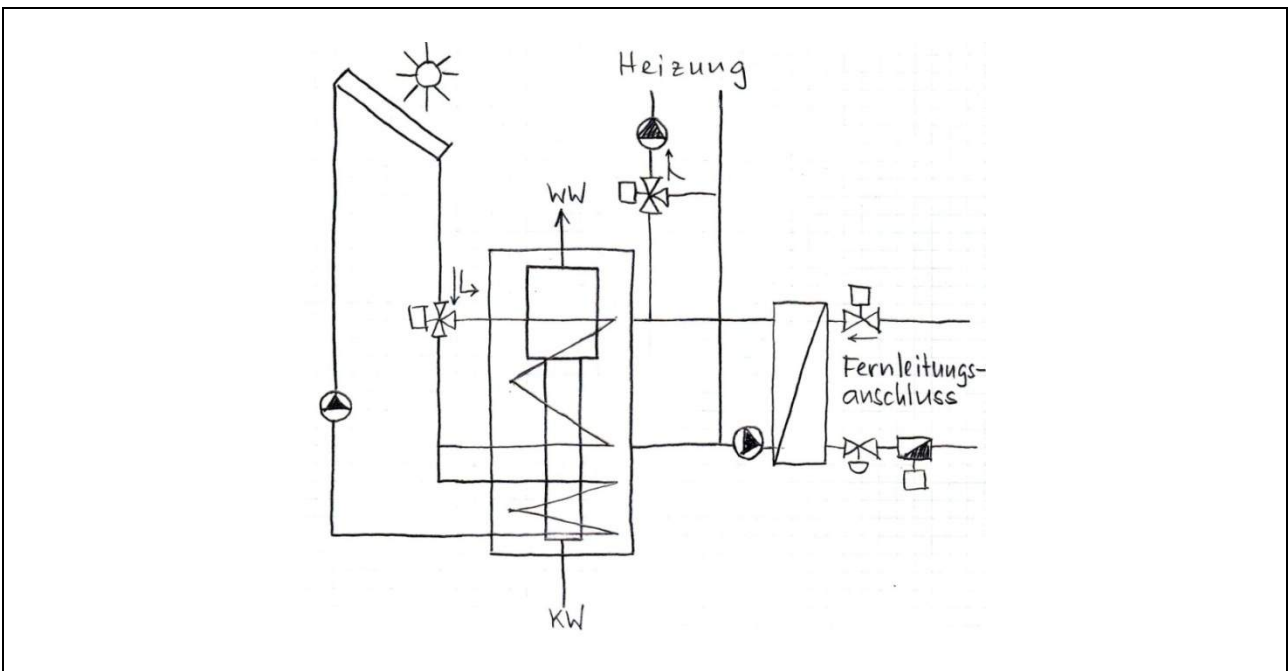
Thermische Solarenergienutzung auf der Verbraucherseite

Im einfacheren Fall werden die Sonnenkollektoren, die allein zur Warmwasserbereitung dienen, direkt am Warmwasserspeicher angeschlossen (FAQ 32 Abbildung 3). Diese Lösung ist längst Stand der Technik und es muss hier nicht weiter darauf eingegangen werden.

Etwas schwieriger ist es, eine Lösung zur Warmwasserbereitung und Raumheizung mit Solarenergie zu finden. Bewährt hat sich hier der Heizwasserspeicher mit innenliegendem Warmwasserspeicher gemäss FAQ 32 Abbildung 4.



FAQ 32 Abbildung 3: Warmwasserbereitung mit Solarenergie (geeignet zum Anschluss am druckdifferenzarmen Verteiler in der Heizzentrale und für Fernleitungsanschlüsse)




FAQ 32 Abbildung 4: Warmwasserbereitung und Raumheizung mit Solarenergie

Was bringt Solarenergienutzung dem Betreiber des Holzheizwerkes?

Besonders bei Wärmenetzen mit Sommerbetrieb ist thermische Solarenergienutzung für den Betreiber des Holzheizwerkes eher hinderlich. Auf Erzeugerseite, weil damit oft nicht mehr genügend Last für einen minimalen Schwachlastbetrieb im Sommer vorhanden ist, und auf Verbraucherseite, weil Wärmeabnehmer für den Sommerbetrieb entfallen und ganz generell weniger Wärme verkauft werden kann.

Trotzdem sollten Anstrengungen zur Solarenergienutzung nicht behindert werden. Eine gute Lösung ist beispielsweise, wenn es dank Solarenergienutzung gelingt, im Sommerbetrieb ganz auf den Holzkessel verzichten zu können (Notfallbetrieb mit Öl-/Gaskessel).

	FAQ 33: Was ist beim Trinkwarmwasser-Zirkulationssystem zu beachten?		FAQ 33	
	Erste Veröffentlichung: 25. Februar 2015	Letzte Bearbeitung: 2. Dezember 2015		
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.			

Zur Gewährleistung einer bestimmten Temperatur im Trinkwarmwasser-Verteilssystem ist in grösseren Anlagen ein Zirkulationssystem mit Zirkulationspumpe notwendig. Leider stört aber die Zirkulationspumpe die Schichtung des Schichtspeichers in erheblichem Masse. Was ist beim Trinkwarmwasser-Zirkulationssystem zu beachten?

Die nachfolgenden Empfehlungen gelten für Warmwasserbereitungsanlagen jeder Grösse, also Anlagen in Einfamilienhäusern, Mehrfamilienhäusern, Schulhäusern, Schwimmbädern, Hotels usw. Die Empfehlungen gelten grundsätzlich auch für Pflegeheime und Spitäler. Hier ist jedoch im Einzelfall mit den Hygiene-Verantwortlichen abzuklären, welche zusätzlichen Massnahmen notwendig sind.

Welche Warmwassertemperaturen müssen mindestens eingehalten werden?

Zur Vermeidung einer Kontaminierung mit Legionellen ist die Einhaltung bestimmter Warmwassertemperaturen gefordert. Die diesbezüglichen Empfehlungen lassen sich auf zwei wesentliche Punkte zusammenfassen (siehe FAQ 30):

1. *Es wird empfohlen, das genutzte Warmwasser täglich während einer Stunde auf 60°C aufzuheizen.*
2. *In der Praxis sollte gewährleistet sein, dass die Warmwassertemperatur an der Entnahmestelle nicht unter 50°C fällt.*

Für die Einhaltung von Forderung 2 ist neben der Warmwassertemperatur auch das Zirkulationssystem von entscheidender Bedeutung.

Kann auf die Zirkulationspumpe ganz verzichtet werden?

Schlimmster Feind des Schichtspeichers ist die Zirkulationspumpe. Diese stört die Schichtung unweigerlich und führt früher oder später zu einer Durchmischung des Speichers. Deshalb sollte immer zuerst geprüft werden, ob auf eine Zirkulationspumpe ganz verzichtet werden kann:

- Kleinere Anlagen mit Einzelzapfstellen planen
- Bei kleineren Anlagen, die nicht ohne Zirkulation auskommen, eine geregelte elektrische Begleitheizung prüfen (Nachteil: Deckung der Zirkulationsverluste mittels Elektroheizung)
- Bei sehr grossen, ausgedehnten Anlagen prüfen, ob ein separater Zirkulations-Wärmeerzeuger (z. B. eine Zirkulationswärmepumpe) eingesetzt werden kann (Nachteil: hohe Investitionskosten)

Zirkulationsverluste minimieren

Wenn auf eine Zirkulationspumpe nicht verzichtet werden kann, sollten wenigstens die Zirkulationsverluste minimiert werden. Rohr-an-Rohr-Systeme haben beispielsweise wesentlich geringere Wärmeverluste als konventionelle 2-Rohr-Systeme. Auch die pro Tag umgewälzte Zirkulations-Fördermenge sollte minimiert werden:

- Geringere Zirkulationsverluste (siehe oben) verringern die notwendige Zirkulations-Fördermenge
- Möglichst grosse Temperaturspreizung; dies steht im Widerspruch zu einer möglichst hohen Temperatur an der entferntesten Steigleitung (Legionellen)
- Zeitprogrammgesteuerte Zirkulationspumpe (Schaltuhr)
- Geregelte Zirkulationspumpe (Regelgrösse = Temperatur an der entferntesten Steigleitung)

Optimale Positionierung des Zirkulationsanschlusses

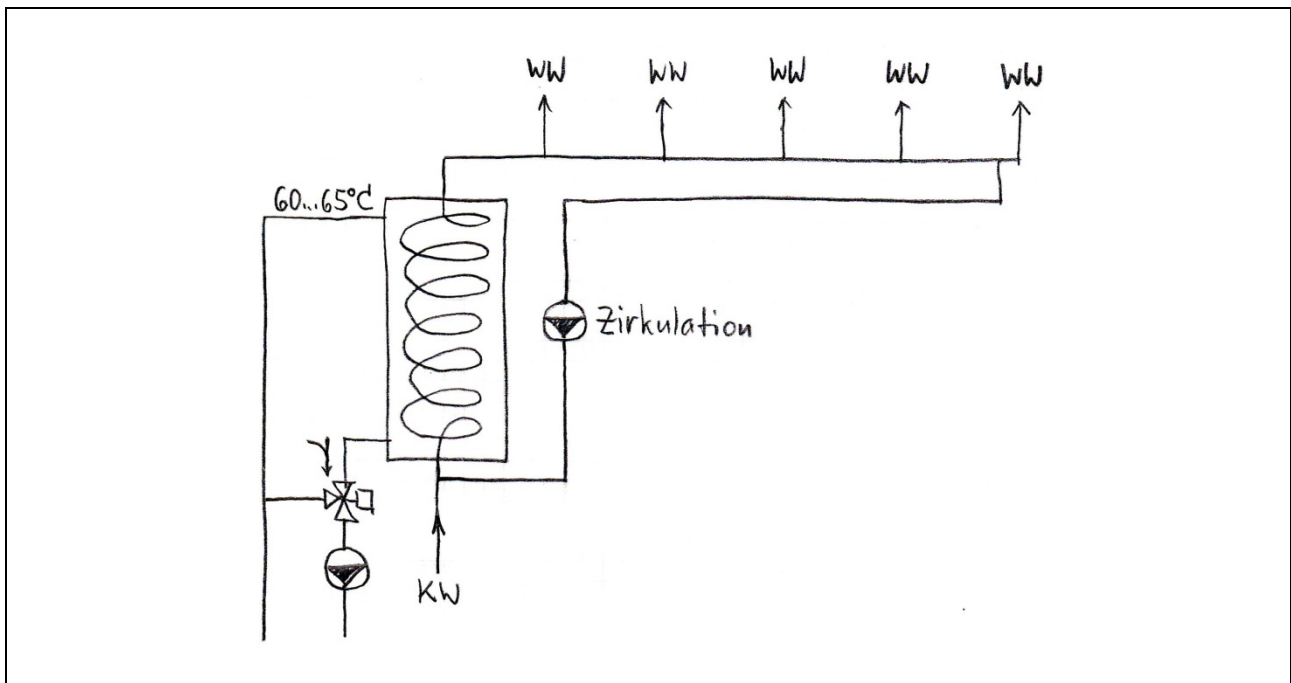
Der Anschluss der Zirkulation ist ein grosses Problem, weil die Warmwassertemperatur ganz entscheidend durch die Zirkulation hinuntergemischt wird. Im Idealfall müsste der Zirkulationseintritt immer genau auf der Höhe erfolgen, bei der die Speichertemperatur im Innern den gleichen Wert wie der Zirkulationsrücklauf aufweist. Dieser Idealfall lässt sich nicht realisieren. Ein Zirkulationseintritt auf halber Speicherhöhe dürfte kein allzu schlechter Kompromiss sein.

Spezialfall «Spiroboiler»

Unter dem Begriff «Spiroboiler» (auch «Spiralboiler» oder «Integralboiler» usw.) wird ein System zur Trinkwassererwärmung verstanden, bei dem in einem Heizwasserspeicher eine sehr grosszügig dimensionierte Spirale eingebaut ist, die vom Trinkwarmwasser durchflossen wird. Da nur der Inhalt der Spirale als Warmwasserspeicher zur Verfügung steht und anschliessend das Ganze nur noch als Durchlauferhitzer funktioniert, ist das System für Anlagen mit grösseren Warmwasser-Spitzenlasten nicht geeignet.

Der Spiroboiler wird aber in Bezug auf Legionellensicherheit hoch gelobt, da sich in der Spirale kaum Gelegenheit zur Entwicklung von Legionellen ergibt. Voraussetzung dazu ist allerdings, dass auch die übrigen Teile der Trinkwarmwasserversorgung die gleiche Legionellensicherheit aufweisen wie der Spiroboiler. Auch bezüglich Zirkulation ist der Spiroboiler besonders problemarm, da naturgemäss keine Schichtung gestört werden kann (FAQ 33 Abbildung 1).

Wenn aber der Speicherinhalt durch einen nachgeschalteten Trinkwarmwasserspeicher vergrössert wird (z. B. zwecks Sonnenkollektoreinbindung), wird die Sache sowohl bezüglich Legionellensicherheit wie bezüglich Zirkulation wieder sehr viel komplizierter.



FAQ 33 Abbildung 1: Spiroboiler

Generelle Bemerkungen zu Durchlauf-Trinkwarmwasserbereitungsanlagen

In Skandinavien werden reine Durchlauf-Trinkwarmwasserbereitungsanlagen häufig eingesetzt, in der Schweiz geschieht dies eher selten. Diese Systeme sind zwar bezüglich Legionellen sicherer als Speichersysteme, aber sie haben den grossen Nachteil, dass die Warmwasserleistung (Liter pro Minute) bei Verkalkung und Verschmutzung sehr schnell massiv einbrechen kann. Folgende Empfehlungen sollten hier beachtet werden:

- Die von der Bauart und von der örtlichen Wasserhärte abhängige Verkalkungs- und Verschmutzungsanfälligkeit beachten: bei Plattenwärmetauscher gross, bei Rohrbündel-Wärmetauscher mit grossem Rohrdurchmesser und ohne Lamellen (z. B. «Spiroboiler») klein
- Grosszügige Auslegung mit einem der Bauart und der örtlichen Wasserhärte angepassten Verkalkungs- und Verschmutzungsfaktor
- Regelmässige Kontrolle und rechtzeitige Reinigung
- Bei hoher Wasserhärte eine Entkalkungsanlage vorsehen

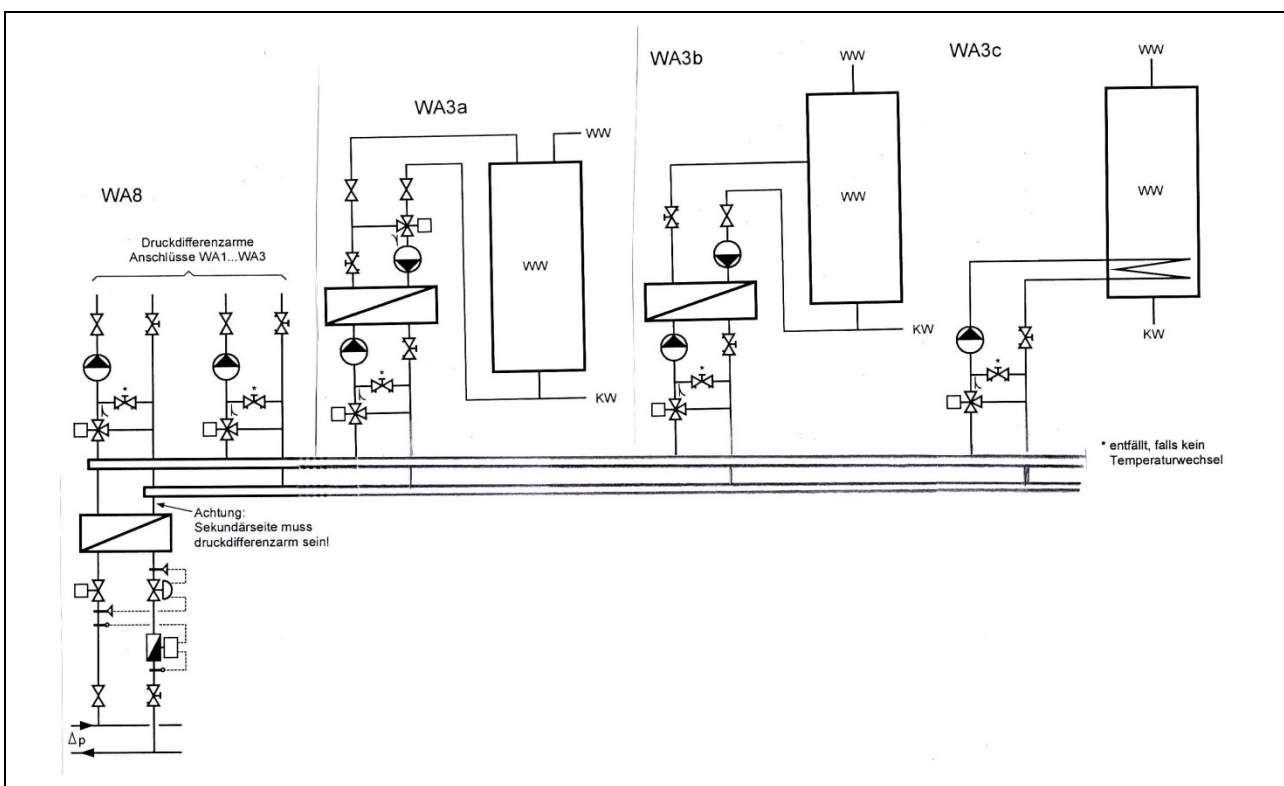
In FAQ 29 (Fernleitungs-Vorlauftemperatur) und vor allem in FAQ 30 (Schaltungen zur Trinkwassererwärmung) wurde bereits mehrfach darauf hingewiesen, dass zur Vermeidung von Legionellen mit genügend hohen Temperaturen gefahren werden muss und Bereiche mit stehendem warmem Trinkwasser vermieden werden sollen. Eine weitere Gefahr stellt die Kontamination des Trinkwassers durch Heizungswasser dar. Durch welche konstruktiven Massnahmen kann die Verschmutzung des Trinkwassers durch Heizungswasser verhindert werden?

In letzter Zeit werden immer öfter durch Behörden und Betreiber von risikobehafteten Anlagen (Spitäler, Altersheime usw.), neben den Massnahmen gegen Legionellen, auch konstruktive Massnahmen zur Verhinderung der Kontamination von Trinkwasser durch Heizungswasser gefordert, dies insbesondere dann, wenn der Druck im Heizungssystem in bestimmten Betriebsfällen grösser ist als im Trinkwassersystem.

In Gebäuden mit eigener Wärmeversorgung (Ein- und Mehrfamilienhäuser) liegt der Betriebsdruck des Trinkwassers üblicherweise bei etwa 4 bar und der maximale Betriebsdruck im Heizungssystem bei 3 bar. Hier kann davon ausgegangen werden, dass bei einem Defekt (z. B. undichter Wärmetauscher) «nur» Trinkwasser ins Heizsystem gelangt (und nicht umgekehrt!), was dann durch den «unerklärlichen» Druckanstieg im Heizungssystem meist sehr schnell als Mangel erkannt wird.

Eine akute Gefahr besteht vor allem in grösseren Fernwärmenetzen, weil hier der Druck der Fernleitung (statischer Druck + Förderhöhe der Pumpe) oft über dem sanitärseitigen Druck der einzelnen Wärmeabnehmer (meist um die 4 bar) liegt. Hier kann es deshalb zu einer gefährlichen Kontaminierung des Trinkwassers beim Wärmeabnehmer kommen. Zwar geht dabei Heizungswasser «verloren», was man bei einem kleinen Netz vielleicht bemerken würde, bei einem grösseren Fernwärmenetz aber mit grosser Wahrscheinlichkeit unbemerkt bleibt.

Das Problem lässt sich am einfachsten dadurch entschärfen, wenn die Wassererwärmung auf der Sekundärseite des Hauptwärmetauschers angeschlossen wird. Diese Möglichkeit ist bei den Standardschaltungen [2] als Kombination von WA8 mit WA1...WA3 vorgesehen. Da diese Kombination oft nicht erkannt wird, ist sie explizit in FAQ 34 Abbildung 1 dargestellt.



FAQ 34 Abbildung 1: Kombination der Standardschaltung WA8 mit WA1...WA3

Der Vorteil der Schaltungen in FAQ 34 Abbildung 1 liegt darin, dass nach dem Hauptwärmetauscher der Betriebsdruck des Trinkwassers üblicherweise über dem maximalen Betriebsdruck des Heizungssystems liegt und somit bei einem undichten Wärmetauscher «nur» Trinkwasser in Heizungswasser gelangt (und nicht umgekehrt!), was durch den Druckanstieg im Heizungssystem durch das Betriebspersonal als Mangel erkannt werden kann.

Einzelne Wärmeabnehmer haben oft negative Rückwirkungen auf das Fernwärmenetz. Wenn diese mangelhaft ausgelegt und nicht sorgfältig abgeglichen sind, muss mit einer höheren Hauptvorlauf-temperatur als notwendig gefahren werden, und die Hauptrücklauf-temperatur wird durch zu hohe Rücklauf-temperaturen unnötig hochgemischt. Es ist deshalb im Interesse des Netzbetreibers sowohl eigene wie durch andere betriebene Wärmeabnehmer genauer unter die Lupe zu nehmen. Was ist bei der sekundärseitigen Optimierung der Wärmeabnehmer zu beachten?

Vorgehen

1. Erhebung der wichtigsten Daten für jeden Wärmeabnehmer (falls vorhanden über das Leitsystem, sonst mit Klein-Dataloggern oder «von Hand»):

- Vorlauf-temperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur
- Rücklauf-temperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur
- Durchfluss im Wärmeabnehmerkreis
- Resultierende Leistung in Abhängigkeit der Aussentemperatur

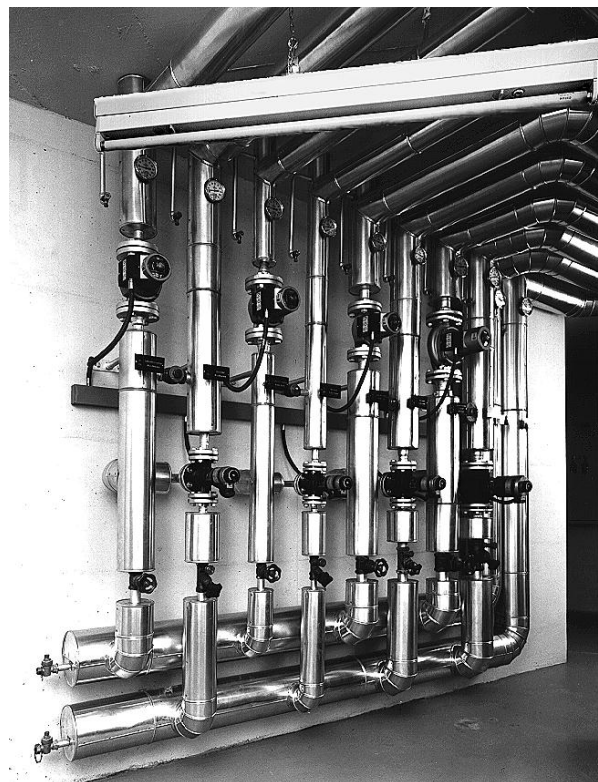
2. Analyse der Daten und Besichtigung der Wärmeabnehmer. Erstellen eines Massnahmenkatalogs für jeden Wärmeabnehmer und Abschätzung des daraus resultierenden Verbesserungspotentials:

- Tatsächlich notwendige Vorlauf-temperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur
- Tatsächlich notwendige Leistung in Abhängigkeit der Aussentemperatur
- Tatsächlich notwendiger Durchfluss im Wärmeabnehmerkreis (Pumpe anpassen, hydraulischer Abgleich)
- Resultierende Rücklauf-temperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur

3. Erstellen einer Prioritätenliste für eigene und fremde Wärmeabnehmer. Bei den fremden Wärmeabnehmern ist der Handlungsspielraum natürlich eingeschränkt, aber es kann immerhin überlegt werden, wie weit uneinsichtige Betreiber durch geeignete Tarifmodelle zu Verbesserungsmassnahmen animiert werden können.

4. Laufende Qualitätssicherung und Erfolgskontrolle bei den durchgeführten Massnahmen.

Je komplexer der Wärmeabnehmer, desto grösser sind die Anforderungen an den Planer. Die Situation hat sich in den letzten Jahren insofern verschärft, als immer mehr Anlagen mit variablem Durchfluss betrieben werden, was die Anlage-Komplexität entscheidend vergrössert hat. Die grössten Probleme treten dann auf, wenn bestehende Anlagen mit hoher Rücklauf-temperatur eingebunden werden müssen (FAQ 35 Abbildung 1).



FAQ 35 Abbildung 1: Die Einbindung bestehender Anlageteile ist oft schwierig. Beispielsweise sind Einspritzverteiler mit Dreiwegventilen vorhanden, welche die Rücklauf-temperatur in unzulässiger Weise hochmischen. Hier gibt es in der Regel nur eine Lösung: Umbau auf Durchgangsventile!

Häufigste Mängel

An bestehenden Wärmeabnehmern werden immer wieder die gleichen Mängel beobachtet:

- Viel zu hoher Durchfluss infolge überdimensionierter Umwälzpumpen; Folge: hoher Hilfsenergieverbrauch und die geforderte Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf wird nicht erreicht
- Unnötig hohe Vorlauftemperaturen; Ursache: falsche Einstellung der Heizkurve der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung (Steilheit und Parallelverschiebung)
- Einzelne Räume erreichen trotz zu hoch eingestellter Vorlauftemperaturregelung die geforderte Raumtemperatur nicht; Ursache: zu kleine Heizkörper und/oder zu wenig Durchfluss infolge hydraulischer «Kurzschlüsse»
- Zu hohe Raumtemperaturen werden durch die Thermostatventile «abgeklemmt»; Folge: Geräuschprobleme mit den Thermostatventilen (Thermostatventile sollen nur Wärmegewinne durch Personen, Sonne, Kochen usw. kompensieren)

Massnahmen

Diese Mängel sind zwar ein generelles Problem der Haustechnik, aber bei Fernwärmeanschlüssen sind die negativen Rückwirkungen auf das Wärmenetz besonders gravierend. Deshalb sind folgende Massnahmen erforderlich:

- Austausch überdimensionierter Umwälzpumpen: Auslegung der neuen Umwälzpumpe aufgrund der tatsächlich notwendigen Leistung (Berechnung aufgrund der Messdatenerhebung) bei möglichst grosser Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf.
- Hydraulischer Abgleich: Der rechnerische Abgleich (Berechnung der Voreinstellungen und deren Kontrolle) sollte heute eine Selbstverständlichkeit sein, die nicht weiter diskutiert werden muss. Unter dem Begriff «hydraulischer Abgleich» wird hier hauptsächlich ein (zusätzlicher) messtechnischer Abgleich verstanden.
- Einstellung der Heizkurve in der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung: Steilheit und Parallelverschiebung werden so lange angepasst bis alle Räume eine gleichmässige Raumtemperatur haben. Alle Thermostatventile müssen während dieser Zeit vollständig geöffnet sein; Thermostatventile sollen nur Wärmegewinne durch Personen, Sonne, Kochen usw. kompensieren!

Strangweiser hydraulischer Abgleich

Für den strangweisen Abgleich müssen alle Stränge mit Drosselorganen und – falls ein Abgleich mit Durchflussmessung erfolgen soll – mit entsprechenden Messstrecken ausgerüstet sein. Der Abgleich der Stränge erfolgt hierarchisch: erst die Steigstränge, dann die Nebenstränge und schliesslich der Hauptstrang. Innerhalb der einzelnen Steigstränge erfolgt der Abgleich rein rechnerisch über die berechneten Voreinstellungen der Heizkörperventile oder Rücklaufverschraubungen. FAQ 35 Abbildung 2 zeigt die Anordnung der Drosselorgane für einen strangweisen Abgleich.

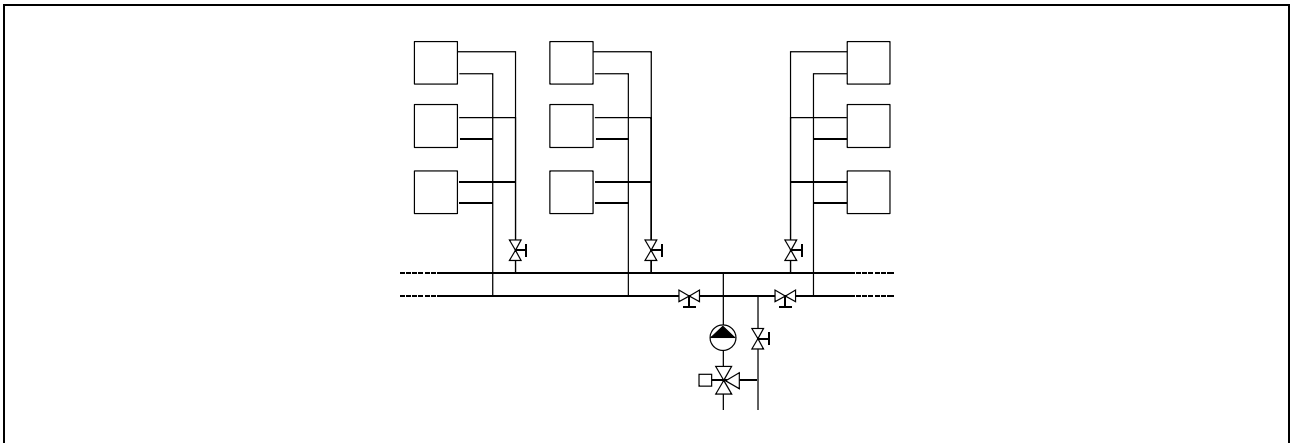
Vorteile des strangweisen Abgleichs:

- Die hierarchische Anordnung der Drosselorgane entspricht weitgehend dem heute in der Praxis Üblichen.
- Da Drosselorgane, welche für einen strangweisen Abgleich geeignet sind, nur relativ wenig teurer sind als gewöhnliche, kann ein strangweiser Abgleich heute ohne wesentliche finanzielle Konsequenzen bei jeder Planung vorgesehen werden, unabhängig davon, ob dieser später auch tatsächlich durchgeführt wird.
- Der strangweise Abgleich ist für praktisch beliebig grosse Netze mit beliebigen Pumpendrücken geeignet.
- Die Abgleicharbeiten erfolgen weitgehend in den Kellerräumen, es müssen also keine bewohnten Räume betreten werden.

Nachteile des strangweisen Abgleichs:

- Der strangweise Abgleich ist nur dann sinnvoll anwendbar, wenn eine zufriedenstellende Voreinstellung gemäss Rohrnetzrechnung innerhalb der einzelnen Steigstränge vorausgesetzt werden kann.
- Bei Netzen mit Thermostatventilen müssen in der Regel dezentrale Druckdifferenzregler in den einzelnen Steigsträngen eingebaut werden.

- Wenn nach dem korrekt durchgeführten Abgleich trotzdem noch grössere Raumtemperatur-Abweichungen auftreten (z.B. infolge Ungenauigkeiten bei der Wärmebedarfsrechnung) ist eine Korrektur relativ aufwendig.
- Einstellfehler und Störungen an einem Drosselorgan beeinflussen alle nachfolgenden Verbraucher.



FAQ 35 Abbildung 2: Strangweiser Abgleich eines Wärmeabnehmers

Hydraulischer Abgleich an den Verbrauchern

Bei dieser zweiten Abgleichstrategie wird der Druck erst bei den Verbrauchern reduziert. Es muss also jeder Verbraucher mit einer entsprechenden Drosselmöglichkeit und – falls ein Abgleich mit Durchflussmessung erfolgen soll – mit entsprechenden Messstrecken ausgerüstet sein. FAQ 35 Abbildung 3 zeigt die Anordnung der Drosselorgane für einen Abgleich an den Verbrauchern.

Es ist zu berücksichtigen, dass bei jeder Einregulierung eines Heizkörpers auch die Durchflüsse der bereits eingestellten Heizkörper – aufgrund der wechselnden Druckverhältnisse in den Rohren – verändert werden. Deshalb ist es bei dieser Abgleichstrategie wichtig, dass Pumpe und Netz möglichst weitgehend einer Druckquelle entsprechen, die nur wenig auf Veränderungen des Durchflusses reagiert.

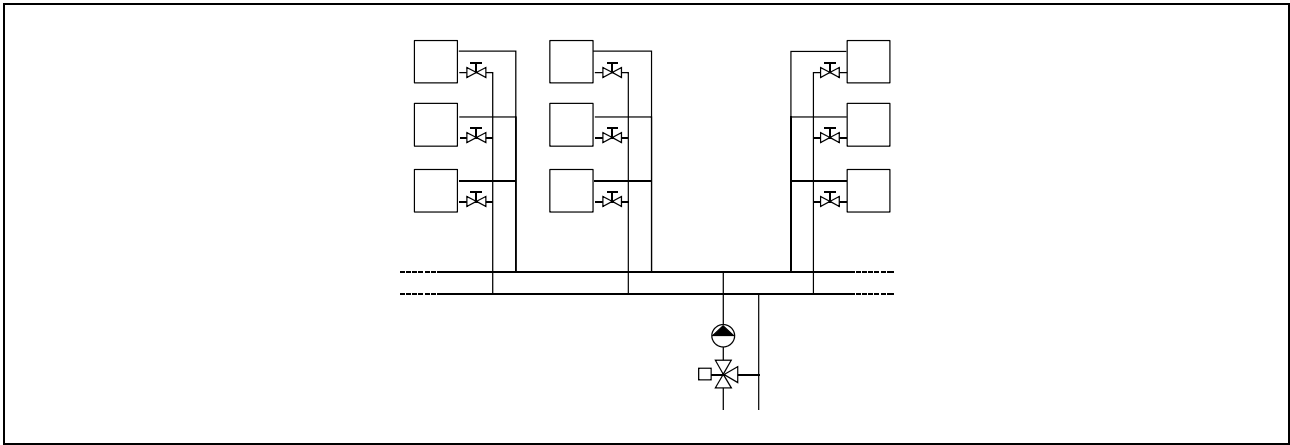
Durch konsequente Anwendung der Strategie «Abgleich an den Verbrauchern» können mit einer 20-kPa-Pumpe recht grosse Netze realisiert werden. Dies insbesondere dann, wenn die Anlage mit durchschnittlichen R-Werten (Druckabfall im geraden Rohr) von weniger als 70 Pa/m ausgelegt wird.

Vorteile des Abgleich an den Verbrauchern:

- Der Abgleich wird direkt dort vorgenommen, wo eine bestimmte Behaglichkeit gewährleistet sein muss.
- Eine Voreinstellung der Verbraucher gemäss Rohrnetzrechnung ist zwar sinnvoll, aber nicht zwingend.
- Wenn nach dem korrekt durchgeführten Abgleich trotzdem noch grössere Raumtemperatur-Abweichungen auftreten (z.B. infolge Ungenauigkeiten bei der Wärmebedarfsrechnung) ist eine Korrektur relativ einfach durchführbar.
- Die gegenseitige Beeinflussung zwischen den Verbrauchern bei nachträglichen Korrekturen, Einstellfehlern und Störungen kann praktisch vernachlässigt werden.

Nachteile des Abgleichs an den Verbrauchern:

- Unter Umständen müssen bereits bewohnte Räume betreten werden.
- Bei Netzen mit Thermostatventilen muss (damit keine Geräuschbelästigungen auftreten) eine maximale Druckdifferenz von 20 kPa eingehalten werden (Nichtwohnbauten: 30 kPa). Sehr grosse Netze mit Thermostatventilen, welche eine Umwälzpumpe mit mehr als 20 kPa Förderhöhe erfordern, müssen deshalb in Druckzonen mit maximal 20 kPa Druckdifferenz aufgeteilt werden.



FAQ 35 Abbildung 3: Abgleich eines Wärmeabnehmers an den Verbrauchern

Allgemeine Auslegungsrichtlinien


In den letzten Jahren konnten zahlreiche Erfahrungen mit Netzen mit variablen Durchflüssen gesammelt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass sich dann keine nennenswerten Probleme ergeben, wenn die nachfolgenden Auslegungsrichtlinien eingehalten werden.

Da sich einige der geforderten Zielwerte in der Praxis oft nur schwer erreichen lassen, wurden teilweise auch Grenzwerte festgelegt. Letztere sollten aber nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen!

- Nur Schaltungen verwenden, die sich eindeutig auf die vier hydraulischen Grundschaltungen zurückführen lassen.
- Nie mehr als eine Pumpe auf einen hydraulischen Kreis wirken lassen.
- Auf einwandfreie Entkoppelung der hydraulischen Kreise achten, d.h. Bypässe und Speicherzuleitungen grosszügig dimensionieren. Insbesondere «drucklose» Gruppen- und Verteileranschlüsse müssen wenigstens druckdifferenzarm erfolgen.
- Druckdifferenzschwankungen über den Verbrauchern von 1:2 bis maximal 1:3 führen in der Regel zu keinen nennenswerten Störungen.
- Bei Regelventilen ist eine Ventilautorität von 0,5 anzustreben. Die Praxis zeigt jedoch, dass Werte bis zu 0,3 hinunter meist noch tolerierbar sind. Diese Werte gelten im Prinzip auch für Thermostatventile. Da aber ein nur im Auf-Zu-Betrieb arbeitendes Thermostatventil kein allzu grosses Unglück darstellt, können für Thermostatventile etwas tiefere Werte festgelegt werden:
 - Regelventile Zielwert = 0,5 (Grenzwert = 0,3)
 - Thermostatventile Zielwert = 0,3 (Grenzwert = 0,1)
- Um Geräuschbelästigungen in Thermostatventilen zu vermeiden, muss eine maximal zulässige Druckdifferenz über den Thermostatventilen eingehalten werden:
 - Wohnhäuser 20 kPa
 - Nichtwohnbauten 30 kPa
- Netze mit Thermostatventilen sollen – wenn immer möglich – so ausgelegt werden, dass eine Umwälzpumpe mit flacher Kennlinie oder eine drehzahlgesteuerte Pumpe eingesetzt werden kann, deren Förderhöhe bei Nulldurchfluss maximal 20 kPa (Nichtwohnbauten: maximal 30 kPa) beträgt. Unter dieser Voraussetzung treten in der Regel keine störenden Geräuschbelästigungen auf.
- Wenn eine 20-kPa-Pumpe (Nichtwohnbauten: 30-kPa-Pumpe) nicht ausreicht, sind dezentrale Druckdifferenzregler einzubauen (z.B. Überströmventile in den Steigsträngen).
- Nie eine Pumpe drosseln, sondern Drehzahl zurückschalten, Laufrad wechseln oder die Pumpe austauschen.
- In der Fachliteratur werden durchschnittliche Druckabfälle im geraden Rohr (R-Werte) von 100...200 Pa/m für übliche Verteilungen und 200...400 Pa/m für Einrohrsysteme, Fernleitungen usw. empfohlen. Diese Werte sollten nur bei konventionellen Netzen mit konstantem Durchfluss verwendet werden. Bei

Netzen mit variablem Durchfluss werden folgende maximalen R-Werte (inkl. Einzelwiderständen) empfohlen:

- Zielwert 70 Pa/m (Grenzwert 100 Pa/m)
- In der Praxis werden heute kaum höhere Temperaturdifferenzen zwischen Vorlauf und Rücklauf als 5 K angetroffen. Wenn ein sorgfältiger hydraulischer Abgleich durchgeführt wird, können aber problemlos die üblichen Planungswerte von 10...30 K erreicht werden. Höher als 30 K zu gehen ist nicht empfehlenswert, da hier neue Probleme auftreten, die zum Teil nur schwer zu lösen sind. So lassen sich unter Umständen die geforderten kleinen k_v -Werte gar nicht einstellen oder das Risiko einer Verschmutzung ist bei extrem kleinen Durchflüssen sehr hoch (Schmutzpartikel werden nicht weggeschwemmt). Es werden deshalb folgende Auslege-Temperaturdifferenzen empfohlen:
 - 10...15 K für Vorlauftemperaturen bis 50°C
 - 15...30 K für Vorlauftemperaturen 50...90°C

	FAQ 36: Neue Klassifizierung von Brennstoffen und Partikelgrößen basierend auf der EN ISO 17225-1:2014 und der EN ISO 17225-4:2013		FAQ 36
	Erste Veröffentlichung: 10. Februar 2016	Letzte Bearbeitung: 17. Februar 2016	
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.		

Die neue EN ISO 17225 „Feste Biobrennstoffe - Brennstoffspezifikationen und -klassen“ hat die alte EN 14961-4:2011 abgelöst. Die Klassifizierung von Brennstoffen und Partikelgrößen muss der EN ISO 17225-1:2014 „Teil 1: Allgemeine Anforderungen“ und der EN ISO 17225-4:2013 „Teil 4: Einteilung von Holzhackschnitzeln“ angepasst werden.

2004 hat QM Holzheizwerke (QMH) eine Klassifizierung von Brennstoff basierend auf der damaligen CEN/TS 14961 erstellt und im Q-Leitfaden und in der Muster-Ausschreibung Holzkessel festgehalten. Mit der Einführung der neuen EN ISO 17225 muss QMH die Klassifizierung der neuen Norm EN ISO 17225(-1/-4) anpassen.

Mit der neuen Norm wurden neue Begriffe der Klassifizierung der Brennstoffe gemäss FAQ 36 Tabelle 1 und neue Begriffe der Klassifizierung der Partikelgrößen gemäss FAQ 36 Tabelle 2 eingeführt.

Neu		Bisher	
Kurzbezeichnung	Begriff	Kurzbezeichnung	Begriff
P	Partikelgrösse P16S bis P300 Bemerkung: S-Klassen (P16S, P31S, P45S) der EN ISO 17225-4:2013 erfüllen strengere Anforderungen an den zulässigen Feingutanteil und die zulässige Maximallänge. Einsatzbereich siehe Tabelle 4 .	P	Stückigkeit P45 bis P100
M	Wassergehalt M10 bis M55+	W	Wassergehalt W20 bis W60
F	Feingutanteil (< 3.15 mm) F05 bis F30+	na	Feinanteil < 1mm Nadel-, Laubanteil

FAQ 36 Tabelle 1: Neue Begriffe und Wertebereiche der Klassifizierung der Brennstoffe.

Neu		Bisher	
Begriff	Wertebereich	Begriff	Wertebereich
Hauptanteil	Min. 60% Pxx: 3.15 mm bis Pxx Bemerkung: Es wird ein deutlich höherer Anteil ausserhalb des Hauptanteils zugelassen.	Hauptanteil	Min. 80% P45/P63: 8.0 mm bis 45/63 mm P100: 11.2 bis P100
Feingutanteil	< 3.15 mm je nach Partikelgrösse max. 5% bis max. 25% Bemerkung: Für die Brennstoffsportimente PWK, LH, DH wird ein deutlich höherer Feingutanteil bei gleicher Partikelgrösse zugelassen.	Feinanteil	< 1 mm max. 5%
Grobanteil (Länge eines Partikels)	P16 und P31: Max. 6% der nächsten Partikelgrösse P45 bis P100: Max. 10% der nächsten Partikelgrösse Bemerkung: Es werden deutlich mehr Überlängen zugelassen.	Überlängen	Max. 1% der nächsten Partikelgrösse
Maximallänge der Partikel	P45: ≤ 350 mm P63: ≤ 350 mm P100: ≤ 350 mm Bemerkung: Es werden deutlich längere Einzelpartikel zugelassen.	Maximale Länge	P45: ≤ 125 mm P63: ≤ 200 mm P100: ≤ 250 mm
Maximale Querschnittsfläche des Grobanteils	P31S: < 4 cm ² (für 20mm x 20mm: Diagonale 28mm) P45S: < 6 cm ² (für 24mm x 24mm: Diagonale 34mm) Bemerkung: Für Partikelgrößen ohne S-Klassen sind keine Einschränkungen definiert, also gilt P31 Diagonale ≤ 31 mm P45 Diagonale ≤ 45 mm P63 Diagonale ≤ 63 mm P100 Diagonale ≤ 100 mm	Maximale Diagonale im Querschnitt	P45: ≤ 25 mm P63: ≤ 30 mm P100: ≤ 35 mm

FAQ 36 Tabelle 2: Neue Begriffe und Wertebereiche der Klassifizierung der Partikelgrößen.

Auf Grund der neuen Klassifizierung der Partikelgrößen können die bisherigen Klassen der Stückigkeit P100/P63/P45 nicht eins zu eins auf die neuen Partikelgrößen P100/P63/P45 übertragen werden. Um sicher zu stellen, dass die neuen Brennstoffklassen und Partikelgrößen auf den gängigen Systemen für Silobeschickung, für Siloaustragung, für Brennstofftransport, für Brennstoffbeschickung und für die gängigen Feuerungssysteme weiterhin einen störungsfreien Betrieb ermöglichen, empfiehlt QM Holzheizwerke eine Zuordnung zwischen der neuen Partikelgröße und der bisherigen Stückigkeit gemäss FAQ 36 Tabelle 3.

Neu	Bisher
Partikelgrösse	Stückigkeit
P16S	
P31S	P45
P31	
P45S	P63
P45	
P63	P100
P100	

FAQ 36 Tabelle 3: Zuordnung zwischen der neuen Partikelgröße und der bisherigen Stückigkeit .

Als Orientierungshilfe empfiehlt QM Holzheizwerke den Einsatz der neuen Klassifizierung für Feuerungssysteme und Leistungsbereiche gemäss FAQ 36 Tabelle 4.

Brennstoffklassifizierung	Feuerungssystem	Leistungsbereich	Bemerkungen
WS-und IS - P16S - M20	Kleinfeuerungen, Standard-Seriengeräte Unterschub-, Festrostfeuerung *	20 kW bis 200 kW	Qualitäts-Hackschnitzel fein gesiebt mit F05
WS- und IS- P31S - M20	Standard-Seriengeräte Unterschub-, Festrostfeuerung*	> 100 kW	Qualitäts-Hackschnitzel grob gesiebt mit F05
WS- und IS-P31S – M35	Unterschub- und Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	
WS- und IS-P31S – M50	Unterschub- und Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	
WS- und IS-P31S – M55+	Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	
P31 – M35	Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	PWK, LH, DH
P31 – M50	Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	PWK, LH, DH
P31 – M55+	Vorschubrostfeuerung	> 200 kW	PWK, LH, DH
WS- und IS-P45S – M35	Vorschubrostfeuerung	> 500 kW	
WS- und IS-P45S – M50	Vorschubrostfeuerung	> 500 kW	
WS- und IS-P45S – M55+	Vorschubrostfeuerung	> 500 kW	
P45 – M35	Vorschubrostfeuerung	> 1'000 kW	PWK, LH, DH, AH
P45 – M50	Vorschubrostfeuerung	> 1'000 kW	PWK, LH, DH, RZ
P45 – M55+	Vorschubrostfeuerung	> 1'000 kW	PWK, LH, DH, RZ
P63 – M35	Vorschubrostfeuerung	> 3'000 kW	PWK, LH, DH, AH
P63 – M50	Vorschubrostfeuerung	> 3'000 kW	WS, IS, PWW, PWK, LH, DH, RZ
P63 – M55+	Vorschubrostfeuerung	> 3'000 kW	WS, IS, PWW, PWK, LH, DH, RZ

Es wird vorausgesetzt, dass die Forderungen für die Speicherkapazität (Q-Leitfaden; Tabelle 19) und für die minimale mittlere Tagesheizlast bei Schwachlastbetrieb (Q-Leitfaden; Tabelle 20) erfüllt sind.

* Festrostfeuerung: Rostfeuerung ohne aktive Bewegung/Förderung des Brennstoffs auf dem Rost (z.B. Planrost, Schrägrost). Der Brennstoff wird mit der Beschickungsschnecke über den Rost gefördert, Asche kann z.B. durch Kippen entfernt werden.

FAQ 36 Tabelle 4 Empfohlener Einsatzbereich der neuen Klassifizierung für Feuerungssysteme und Leistungsgrößen.

FAQ 36 Tabelle 5 zeigt die Klassifizierung von Brennstoffen und Partikelgrößen basierend auf der neuen EN ISO 17225.

FAQ 36 Tabelle 6 zeigt zum Vergleich die bisherige Klassifizierung von Brennstoffen.

Klassifizierung von Brennstoffen und deren Energiegehalten							
Brennstoffe	Kurzbezeichnung	P Partikelgrösse mm (siehe unten)	M Wassergehalt ¹⁾ Masse-%, m-% im Anlieferungszustand	N Stickstoffgehalt Masse-%, m-% auf wasserfreier Bezugsbasis	F Feingutanteil < 3.15 mm Masse-%, m-% im Anlieferungszustand	A Aschegehalt mit Fremdanteil Masse-%, m-% auf wasserfreier Bezugsbasis	Energieinhalt bezüglich H _{h,secht} Schwankungsbereich ⁶⁾ kWh/S _{sm}
Qualitäts-Hackschnitzel aus Waldrest(fund)holz (WS) ^{1) 9)} und Industrierestholz (IS) ^{1) 9)}	fein WS-P16S-M20 / IS-P16S-M20	16S	15-20	N0.5	F05	A1.0	WH: 700-900 HH: 1000-1200
	grob WS-P31S-M20 / IS-P31S-M20	31S	15-20	N0.5	F05	A1.0	WH: 630-850 HH: 950-1150
Hackschnitzel aus Waldrestholz (WS) ¹⁾ und Industrierestholz (IS) ^{1) 2)}	WS-P31S-M35 / IS-P31S-M35	31S	20-35	N0.5	F10	A3.0	WH: 600-800 HH: 900-1100
	WS-P31S-M50 / IS-P31S-M50	31S	30-50	N0.5	F10	A3.0	WH: 550-750 HH: 850-1050
	WS-P31S-M55+ / IS-P31S-M55+	31S	30-60	N0.5	F10	A3.0	WH: 500-700 HH: 800-1000
	WS-P45S-M35 / IS-P45S-M35	45S	20-35	N0.5	F10	A3.0	WH: 550-750 HH: 850-1050
	WS-P45S-M50 / IS-P45S-M50	45S	30-50	N0.5	F10	A3.0	WH: 500-700 HH: 800-1000
	WS-P45S-M55+ / IS-P45S-M55+	45S	30-60	N0.5	F10	A3.0	WH: 450-650 HH: 750-950
	WS-P63-M50 / IS-P63-M50	63	30-50	N0.5	F10	A3.0	WH: 450-650 HH: 750-950
	WS-P63-M55+ / IS-P63-M55+	63	30-60	N0.5	F10	A3.0	WH: 400-600 HH: 700-900
Pappeln und Weiden aus Wald und Landschaft	PWW	31S			F10		450-700
		45S	30-60	N0.5	F10	A5.0	400-650
Pappeln und Weiden aus Kurzumtriebsflächen	PWK	63			F10		350-600
		31	30-60	N3.0	F25 ⁷⁾	A10.0	400-650
Holz aus Landschaftspflege	LH ¹⁾	45	30-60	N3.0	F25 ⁷⁾	A10.0	350-750
		63					300-700
Durchforstungsrestholz von Nadel- und Laubbäumen \varnothing <math><80\text{ mm}</math> und Kronenholz	DH	31					WH: 400-650
		31					HH: 650-900
		45	30-60	N3.0	F25 ⁷⁾	A10.0	WH: 350-600
		45					HH: 600-850
		63					WH: 300-550
Sägespäne	SP	<math><4</math>	35-50	N0.5	-	A3.0	WH: 450-550 HH: 650-750
		45			F05		WH: 700-850
Rinde zerkleinert ⁸⁾ max. Grobanteil 5%	Rz	45			F05		HH: 950-1150
		63	30-65+	N3.0	F05	A10.0	WH: 650-800
		63			F05		HH: 900-1100
		n.v.			F05		-
Rinde unzerkleinert ⁸⁾	Ruz	n.v.	30-65+	N3.0	F05	A10.0	-
Restholz aus der Holzverarbeitung ¹⁰⁾	RHH	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	n.v.	-
Altholz ^{4) 10)}	AH	45	<math><30</math>	N3.0	F10	A10.0	550-750
Pellets ⁵⁾	PEL	n.v.	-	-	-	-	500-700

Die Klassifizierung basiert soweit als möglich auf der Brennstoffnorm ISO 17225, Abweichungen sind erwähnt.

¹⁾ Darf, soweit nicht vertraglich vereinbart, keine Pappeln und Weiden enthalten; Rindenanteil anhaftend an den Hackschnitzeln maximal 20 Gewichts-% wasserfrei

²⁾ Gemäss CEN/TS 14588. Holz hackschnitzel, die als Nebenprodukt der Holz verarbeitenden Industrie hergestellt werden, mit oder ohne Rinde. Als Hackschnitzel aus Industrierestholz (IS) gelten in der Schweiz nur naturbelassene Hackschnitzel aus Sägereiestholz.

³⁾ Wassergehaltklassifizierung entspricht nicht der Brennstoffnorm ISO 17225.

⁴⁾ DE: Altholzkategorie A I und A II
AT: Altholz Branchenkonzept Holz Q3 und Q4
CH: Altholz gilt nicht als Holzbrennstoff (Luftreinhalte-Verordnung: Anhang 5, Ziffer 3, Absatz 2, Buchstabe a)

⁵⁾ Pelletsnormen nach ISO 17225-2 beachten

⁶⁾ Schwankungsbereich wird durch unterschiedliche Schüttdichte bestimmt:

- Hacken von Stammholz ab Polter ergibt eine höhere Schüttdichte als das Hacken von ganzen Bäumen mit Ästen
- Die Grössenverteilung der Hackschnitzel im Hauptanteil von 60% beeinflusst die Schüttdichte (ein höherer Anteil an feinen Hackschnitzel erhöht die Schüttdichte)
- Das Brennstoffaufbereitungsverfahren Hacken oder Schreddern hat einen grossen Einfluss auf die Schüttdichte (geschredderter Brennstoff weist eine niedrigere Schüttdichte auf als gehackter Brennstoff)

⁷⁾ mit Nadeln, Blättern und Zweigen

⁸⁾ - Die numerischen Werte (P-Klasse) der Masse beziehen sich auf die Partikelgrössen (Massenanteil mindestens 95%), die durch die angegebenen Sieböffnungsgrösse von runden Öffnungen (ISO 17827-1) passen. Wenn eine Probe die Kriterien von mehr als einer Klasse erfüllt, ist sie der niedrigsten möglichen Klasse zuzuordnen.
- Der Grobanteil beträgt ≤ 5 m-% im Anlieferungszustand.

⁹⁾ Für Qualitäts-Hackschnitzel (grob und fein) müssen zusätzlich verschärfte Anforderungen von länderspezifischen Normen beachtet werden.

¹⁰⁾ Bei Restholz aus der Holzverarbeitung RHH und Altholz AH ist die chemische Zusammensetzung auf Basis von Brennstoffanalysen festzulegen gemäss EN ISO 17225-1 Tabelle 5b, Seite 24 und Anhang B, Tabelle B.1, Seite 43. Bei Altholz ist der maximale Fremdanteil (m-% auf wasserfreier Basis) aus Sand, Steine und Glas festzuhalten zum maximalen Aschegehalt n.v. Nach Vereinbarung, wird fallweise festgelegt

Weichholz WH Nadelholz: Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Lärche
Weichlaubholz: Ahorn, Kirsche, Erle
Hartholz HH Hartlaubholz: Eiche, Buche, Ulme, Edelkastanie, Esche, Robinie,
Hainbuche (Hagebuche), Hasel, Birke, Nuss, Obstbäume (ausser Kirsche)

Für alle Brennstoffe gilt: $H_u > 1.5 \text{ kWh/kg}_{\text{feucht}}$

Klassifizierung der Partikelgrössen von Holz hackschnitzel und grobem Schredderholz					
Partikelgrösse	Hauptanteil: * min. 60% / 95% ¹⁾	Feingutanteil *: <math><3.15\text{ mm}</math>	Grobanteil *: > 3.15 mm, $\leq 6\%$	Maximallänge der Partikel:	Querschnitt der übergrossen Partikel:
P16S	3.15 mm bis 16 mm	F15	> 3.15 mm, $\leq 6\%$	≤ 45 mm	<math><2\text{ cm}^2</math>
P31S	3.15 mm bis 31.5 mm	F10	> 45 mm, $\leq 6\%$	≤ 150 mm	<math><4\text{ cm}^2</math>
P31	3.15 mm bis 31.5 mm	F25 ²⁾	> 45 mm, $\leq 6\%$	≤ 200 mm	<math><4\text{ cm}^2</math> ⁴⁾
P45S	3.15 mm bis 45 mm	F10	> 63 mm, $\leq 10\%$	≤ 200 mm	<math><6\text{ cm}^2</math>
P45	3.15 mm bis 45 mm	F25 ²⁾	> 63 mm, $\leq 10\%$	≤ 350 mm	<math><6\text{ cm}^2</math> ⁴⁾
P63	3.15 mm bis 63 mm	³⁾	> 100 mm, $\leq 10\%$	≤ 350 mm	<math><8\text{ cm}^2</math> ⁴⁾
P100	3.15 mm bis 100 mm	³⁾	> 150 mm, $\leq 10\%$	≤ 350 mm	<math><12\text{ cm}^2</math> ⁴⁾

¹⁾ Die numerischen Werte der Masse sind auf die Partikelgrössen (Massenanteil mindestens 60%) bezogen, die durch die angegebene Sieböffnungsgrösse von runden Öffnungen (ISO 17827-1) passen. Bei Rinde und Rinde zerkleinert hat der Hauptanteil inklusive Feingutanteil einen Massenanteil von 95% aufzuweisen. Für Holz hackschnitzel und grobes Schredderholz für die Verwendung in häuslichen und kleinen gewerblichen Feuerstätten sind S-Klassen zu verwenden. Die niedrigste mögliche Eigenschaftsklasse ist anzugeben.

²⁾ mit Nadeln, Blättern und Zweigen

³⁾ Feingutanteil unterschiedlich je nach Brennstoff

⁴⁾ Empfehlung in Abweichung zur Norm: Für Brennstofftransport- und Brennstoffbeschickungssystem mit Förderschnecken

* Partikelgrösse in Masse-%, m-% im Anlieferungszustand

FAQ 36 Tabelle 5: Neue Klassifizierung von Brennstoffen und Partikelgrössen von QM Holzheizwerke basierend auf den Spezifikationen gemäss EN ISO 17225-1, die Klassifizierung von Partikelgrössen wurden ergänzt mit den S-Klassen von EN ISO 17225-4.

Klassifizierung von Brennstoffen und deren Energieinhalte									
Brennstoffe	Kurzbezeichnung	P Stückigkeit mm (siehe unten)	W Wassergehalt ³⁾ Gew.-% feuchter Brennstoff	N Stickstoffgehalt Gew.-% absolut trockener Brennstoff	na Nadel-, Laubanteil Gew.-% feuchter Brennstoff	A Aschegehalt mit Fremdanteil Gew.-% absolut trockener Brennstoff	gehackt schneidendes Werkzeug	geschreddert brechendes Werkzeug	Energieinhalt bezüglich H_u feucht Schwankungs- bereich ⁴⁾ kWh/Srm
Hackschnitzel aus Waldrestholz (WS) ¹⁾ und Industrierest- holz (IS) ^{1) 2)}	WS-P45-W35 IS-P45-W35	45	20-35	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 600-800 HH: 900-1100
	WS-P45-W50 IS-P45-W50	45	30-50	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 550-750 HH: 850-1050
	WS-P45-W60 IS-P45-W60	45	30-60	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 500-700 HH: 800-1000
	WS-P63-W35 IS-P63-W35	63	20-35	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 550-750 HH: 850-1050
	WS-P63-W50 IS-P63-W50	63	30-50	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 500-700 HH: 800-1000
	WS-P63-W60 IS-P63-W60	63	30-60	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 450-650 HH: 750-950
	WS-P100-W50 IS-P100-W50	100	30-50	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 450-650 HH: 750-950
	WS-P100-W60 IS-P100-W60	100	30-60	< N0.5	< 10	< A3.0	X	-	WH: 400-600 HH: 700-900
Pappeln und Weiden aus Wald und Landschaft	PWW	45 100	30-60	< N0.5	< 10	< A6.0	X	-	450-700 350-600
Pappeln und Weiden aus Kurzum- triebsflächen	PWK	45 ⁵⁾ 100 ⁵⁾	30-60	< N3.0	< 20	< A10.0	X	-	400-650 300-500
Holz aus Landschaftspflege	LH ¹⁾	45 100	30-60	< N3.0	< 20	< A10.0	n.V.	n.V.	400-800 300-700
Durchforstungsrestholz von Nadel- und Laubbäumen $\varnothing < 80$ mm und Kronenholz	DH	45 45 100 100	30-60	< N3.0	< 20	< A10.0	X	-	WH: 400-650 HH: 650-900 WH: 300-550 HH: 550-800
Sägespäne	SP	< 4	35-50	< N0.5	-	< A3.0	X	-	WH: 450-550 HH: 650-750
Rinde zerkleinert	Rz	100	30-60	< N3.0	-	< A10.0	-	X	WH: 650-800 HH: 900-1100
Rinde unzerkleinert	Ruz	n.V.	30-60	< N3.0	-	< A10.0	-	-	
Restholz aus der Holzverarbeitung	RHH	n.V.	n.V.	n.V.	-	n.V.	n.V.	n.V.	
Altholz ⁶⁾	AH	100	< 30	< N3.0	-	< A10.0	-	X	500-700
Pellets ⁷⁾	PEL	n.V.	-	-	-	-	-	-	

Die Klassifizierung basiert soweit als möglich auf der Brennstoffnorm CEN/TS 14961 [43]. Abweichungen sind erwähnt

¹⁾ Darf, soweit nicht vertraglich vereinbart, keine Pappeln und Weiden enthalten; Rindenanteil anhaftend an den Hackschnitzeln maximal 20 Gewichts-% wasserfrei

²⁾ Gemäss CEN/TS 14588 [44] Holz hackschnitzel, die als Nebenprodukt der Holz verarbeitenden Industrie hergestellt werden, mit oder ohne Rinde

³⁾ Wassergehaltklassifizierung entspricht nicht der Brennstoffnorm CEN/TS 14961 [43]

⁴⁾ Schwankungsbereich wird durch unterschiedliche Schüttdichte bestimmt:

- Hacken von Stammholz ab Polter ergibt eine höhere Schüttdichte als das Hacken von ganzen Bäumen mit Ästen
- Die Grössenverteilung der Hackschnitzel im Hauptanteil von 80% beeinflusst die Schüttdichte (ein höherer Anteil an feinen Hackschnitzel erhöht die Schüttdichte)
- Das Brennstoffaufbereitungsverfahren Hacken oder Schreddern hat einen grossen Einfluss auf die Schüttdichte (geschredderter Brennstoff weist eine niedrigere Schüttdichte auf als gehackter Brennstoff)

⁵⁾ Feinanteil kleiner 1 mm < 10%

⁶⁾ DE: Altholzkategorie A I und A II
AT: Altholz Branchenkonzept Holz Q3 und Q4
CH: Altholz gilt nicht als Holzbrennstoff (Luftreinhalte-Verordnung: Anhang 5, Ziffer 3, Absatz 2, Buchstabe a)

⁷⁾ Länderspezifische Pelletsnormen beachten

n.V. Nach Vereinbarung, wird fallweise festgelegt


Weichholz WH Nadelholz: Fichte, Tanne, Kiefer, Douglasie, Lärche
Weichlaubholz: Ahorn, Kirsche, Erle

Hartholz HH Hartlaubholz: Eiche, Buche, Ulme, Edelkastanie, Esche, Robinie,
Hainbuche (Hagebuche), Hasel, Birke, Nuss, Obstbäume (ausser Kirsche)

Für alle Brennstoffe gilt: $H_u > 1.5 \text{ kWh/kg}_{\text{feucht}}$

Brennstoff- Stückigkeit	Anforderungen an die Stückigkeit in Gew.-%, feucht; Maschenweiten [mm] für Gittersiebe und Lochbleche gemäss DIN ISO 3310
	Hauptanteil: min. 80% Feinanteil: max. 5% Überlängen: max. 1% Maximale Länge Maximale Diagonale im Querschnitt
P45	8.0 mm bis 45mm kleiner 1 mm grösser 63 mm 125 mm 25 mm
P63	8.0 mm bis 63mm kleiner 1 mm grösser 100 mm 200 mm 30 mm
P100	11.2 mm bis 100mm kleiner 1 mm grösser 200 mm 250 mm 35 mm

FAQ 36 Tabelle 6: Alte Klassifizierung von Brennstoffen aus Q-Leitfaden: 2011 (Dritte, erweiterte Auflage).

	FAQ 37: Wann sind 1/3-2/3-Ventile sinnvoll?		FAQ 37	
	Erste Veröffentlichung: 1. August 2008	Letzte Bearbeitung: 10. Juni 2015		
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.			

Verbesserung der minimal regelbaren Wärmeleistung einer Gruppenschaltung mit konstantem Durchfluss (FAQ 37 Abbildung 1 a)

Schaltung 1a bezieht sich auf eine Gruppenschaltung (Heizgruppe, Kältegruppe oder Fernleitungsgruppe mit Dreiwegeinspritzventilen in den Unterstationen), die mit einem konstanten Volumenstrom betrieben wird (unregelte Pumpe bei Nenndrehzahl). Schaltung 1a ist bei modernen Fernwärmern mit variablem Volumenstrom nicht relevant.

Im untersten Hubbereich eines Regelventils kann die Wärmeleistung nur noch im Auf-Zu-Betrieb geregelt werden. Wie gross diese minimal regelbare Wärmeleistung ist, hängt neben der Ventilautorität noch vom Stellverhältnis des Ventils und vom a -Wert (siehe S. 181 im Planungshandbuch [4]) eines allenfalls im Regelkreis befindlichen Wärmeübertragers ab. Für eine Ventilautorität von 0,5 und ein Stellverhältnis von 50 ergibt sich beispielsweise folgende minimal regelbare Wärmeleistung:

- Regelkreis ohne Wärmeübertrager ($a = 1$) 3%
- Regelkreis mit Wärmeübertrager ($a = 0,7$) 4%

Durch die Aufteilung auf zwei parallel geschaltete Dreiwegeventile mit 33% und 67 % des Gesamtdurchflusses kann die minimal regelbare Wärmeleistung auf etwa ein Drittel reduziert werden. Die beiden Dreiwegeventile werden ohne irgendwelche Absperrungen parallel geschaltet und vom Regler in Sequenz angesteuert. Das bedeutet, dass der Regler bei anhaltender Regelabweichung das kleinere Ventil bis 100% öffnet und dann das grössere Ventil zu öffnen beginnt, wobei das kleinere Ventil auf 100% stehen bleibt. Damit ergibt sich eine kontinuierliche stetige Regelung in einem wesentlich grösseren Regelbereich, als dies mit einem einzigen Dreiwegeventil möglich wäre. Bei kleiner Wärmeleistung regelt nur das kleine Dreiwegeventil, das grosse Dreiwegeventil überströmt zu 100% über den Bypasspfad.

Wärmenetze mit stark variablem Durchfluss und hoher Vorlauftemperatur (FAQ 37 Abbildung 1 b)

Der Durchfluss in grossen Wärmenetzen mit mehreren Fernleitungspumpen ist oft sehr stark variabel, während die Vorlauftemperatur nur geringfügig in Abhängigkeit der Aussentemperatur geführt werden kann. In diesem Falle ist es interessant, wenn die beiden Dreiwegeventile zu- und wegschaltbar sind.

Im Gegensatz zur FAQ 37 Abbildung 1 a ergibt sich hier beim Zu- und Wegschalten eines Dreiwegeventils ein Durchfluss-Sprung.

Die beiden parallel geschalteten Dreiwegeventile werden auch hier über einen Sequenz-Regler mit zwei Ausgängen 0...100% angesteuert. Die Sequenz und die Zu- und Wegschaltung der beiden Dreiwegeventile geschieht dabei wie folgt:

- Regelung des kleineren Dreiwegeventils über Reglerausgang 1
- Zuschaltung des grösseren Dreiwegeventils und Wegschalten des kleineren Dreiwegeventils, wenn Durchfluss Fernleitung (Signal Durchfluss-Messung Wärmezähler Fernleitung) > Durchfluss bei maximal vorgegebenen Druckabfall über kleinerem Dreiwegeventil.
- Regelung des grösseren Dreiwegeventils über Reglerausgang 2
- Zuschaltung des kleineren Dreiwegeventils, wenn Durchfluss Fernleitung (Signal Durchfluss-Messung Wärmezähler Fernleitung) > Durchfluss bei maximal vorgegebenen Druckabfall über grösserem Dreiwegeventil.
- Regelung beider Dreiwegeventile gemeinsam über Reglerausgang 2

- Wegschaltung des kleineren Dreiwegeventils, wenn Durchfluss Fernleitung (Signal Durchfluss-Messung Wärmezähler Fernleitung) < Durchfluss bei minimal vorgegebenen Druckabfall über beide Dreiwegeventile.
- Regelung des grösseren Dreiwegeventils über Reglerausgang 2
- Wegschaltung des grösseren Dreiwegeventils, und Zuschalten des kleineren Dreiwegventils, wenn Durchfluss Fernleitung (Signal Durchfluss-Messung Wärmezähler Fernleitung) < Durchfluss bei minimal vorgegebenen Druckabfall über grösserem Dreiwegeventil.
- Regelung des kleineren Dreiwegeventils wieder über Reglerausgang 1

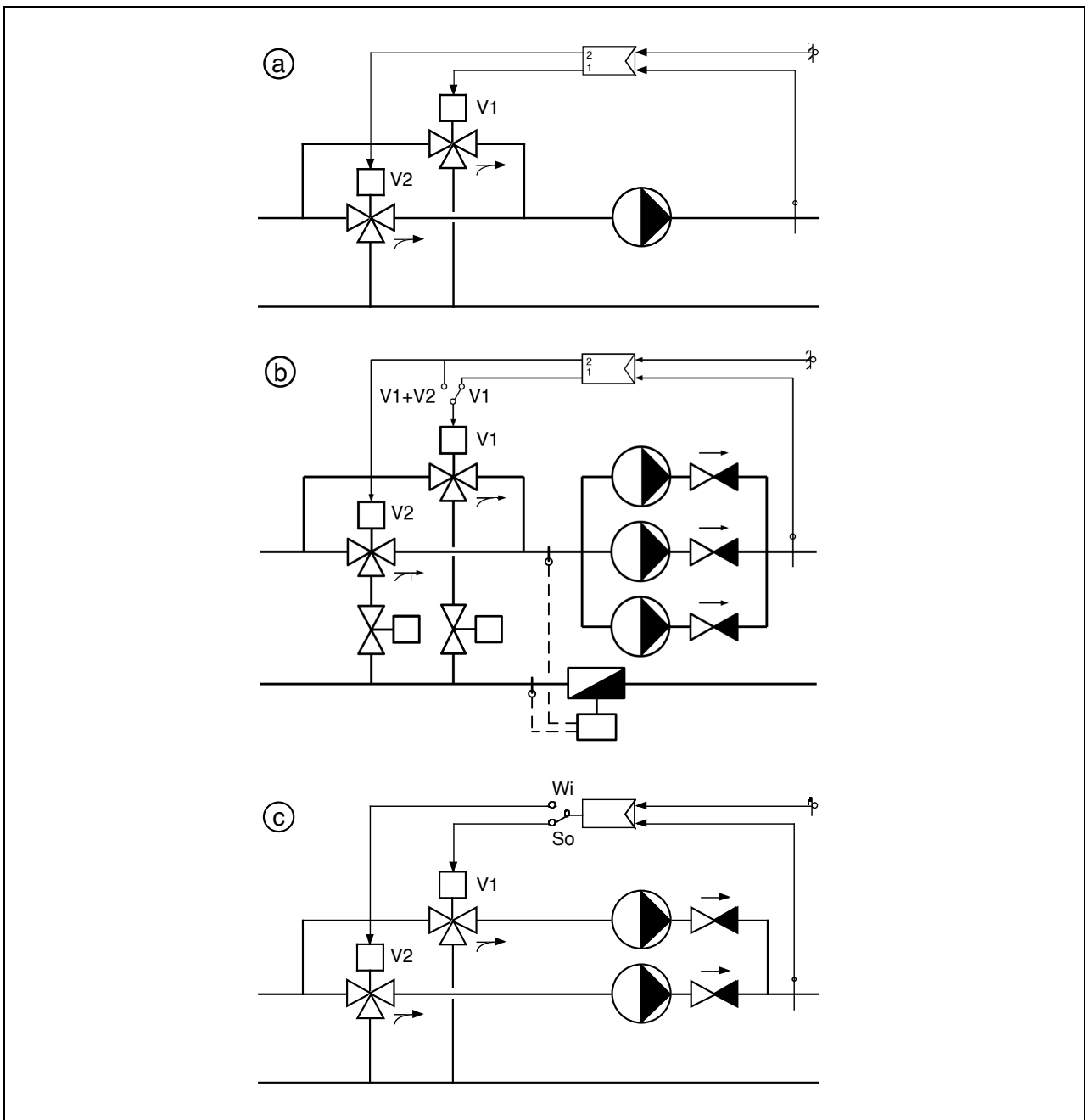
Das Zu- und Wegschalten der Dreiwegventile kann alternativ über das Erfassen der Druckdifferenz über die Dreiwegventile erfolgen mit der gleichen Logik wie oben beschrieben.

Getrennte Fernleitungsgruppen für Winter- und Sommerbetrieb (FAQ 37 Abbildung 1 c)


Für Wärmenetze ist es oft von Vorteil, getrennte Fernleitungsgruppen für Winter- und Sommerbetrieb zu installieren:

- Der regelungstechnische Aufwand kann einfacher gestaltet werden (keine Sequenz, sondern Umschaltung Sommer-/Winterbetrieb von Hand)
- Die Fernleitungspumpe für den Winterbetrieb sollte beim Auslegepunkt den Wärmeverbund zu 100% mit Wärme versorgen können (keine Parallelschaltung von zwei Fernleitungspumpen, evtl. Ersatzpumpe installieren)
- Das Dreiwegeventil und die Fernleitungspumpe für den Sommerbetrieb können entsprechend klein dimensioniert werden.

* Bei der Vorregulierung einer Fernleitung mit Sommerbetrieb wird der Einbau von zwei Ventilen empfohlen, wenn gilt: Maximaler Sommer-Wärmeleistungsbedarf \leq 10% des maximalen Winter-Wärmeleistungsbedarfs.



FAQ 37 Abbildung 1: Parallel geschaltete Regelventile zur Verbesserung der minimal regelbaren Wärmeleistung. (Kann auch mit zwei Durchgangs-Regelventilen realisiert werden; Schaltung a und b sind dann identisch und das Problem des Durchfluss-Sprungs kann umgangen werden.)

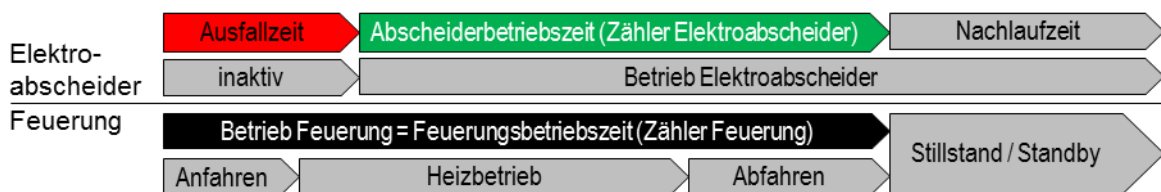
	FAQ 38: Wie wird die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern bestimmt?		FAQ 38	
	Erste Veröffentlichung: 10. Februar 2016	Letzte Bearbeitung: 28. Juni 2016		
	Die Literatur- und Download-Hinweise sind in einem separaten Dokument erhältlich. Unter www.qmholzheizwerke.ch , www.qmholzheizwerke.de oder www.qmholzheizwerke.at können die Dokumente teilweise kostenlos heruntergeladen werden.			

Wie ist die Verfügbarkeit von Elektroabscheidern (Elektrofiltern) definiert und wie wird sie bestimmt?

Einleitung

Ein Elektroabscheider soll in Phasen mit relevanten Staubemissionen der Feuerung grundsätzlich aktiv sein. Dies ist der Fall wenn in der Feuerung Holz in Gas umgewandelt wird. Dabei ist die momentane Verbrennungsleistung signifikant grösser als Null und ein relevanter Massenstrom an Schadstoffen wird über die Abgasanlage an die Umgebungsluft abgegeben. FAQ 38 Abbildung 1 zeigt einen typischen Zyklus von Anfahren, Heizbetrieb und Abfahren einer Feuerung mit einem Elektroabscheider. In diesen drei Betriebsphasen der Feuerung entstehen relevante Staubemissionen, weshalb sie als Betrieb Feuerung zusammengefasst werden (schwarz) und somit der Feuerungsbetriebszeit entsprechen.

Die Abscheiderbetriebszeit darf nur gezählt werden, wenn der Elektroabscheider gleichzeitig mit der Feuerung in Betrieb ist (grün). Wenn der Elektroabscheider eine Einschaltverzögerung aufweist oder eine Störung hat, dann entsteht eine Ausfallzeit (rot). Wird der Elektroabscheider länger als die Feuerung betrieben, dann ist das eine Nachlaufzeit welche vom Betriebsstundenzähler nicht gezählt werden darf. Denn während dem Stillstand / Standby der Feuerung sind die Staubemissionen signifikant tiefer als während dem Betrieb der Feuerung. Mit der Nachlaufzeit des Elektroabscheiders können die Staubemissionen trotzdem weiter reduziert werden.



FAQ 38 Abbildung 1: Typischer Betriebszyklus einer Feuerung und eines Elektroabscheiders.

Die Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt und ist definiert als das Verhältnis der aufsummierten Abscheiderbetriebszeit (grün) zur aufsummierten Feuerungsbetriebszeit (schwarz).

$$\text{Verfügbarkeit } V = \frac{\text{Abscheiderbetriebszeit}}{\text{Feuerungsbetriebszeit}} \cdot 100 \text{ [\%]}$$

Die zu erreichende Mindestverfügbarkeit wird durch die zuständige Behörde festgelegt. Damit die Verfügbarkeit eine aussagekräftige und vergleichbare Kontrollgrösse für die Überwachung von Elektroabscheidern darstellt, muss sie bei allen Anlagen einheitlich bestimmt werden. Dies soll mit der FAQ 38 sichergestellt werden. Die nachfolgenden Ausführungen basieren auf einer umfassenden Untersuchung zum Betriebsverhalten von Elektroabscheidern an automatischen Holzfeuerungen¹. Tiefergehende Erläuterungen können diesem Bericht entnommen werden.

Die nachfolgenden Ausführungen und Definitionen können im Grundsatz auch auf andere Feinstaubabscheider angewendet werden. Bei Schlauch- und Metallgewebefiltern kann der Betrieb des Filters zum Beispiel mithilfe eines minimalen Schwellenwerts für den über dem Filter gemessenen Differenzdruck überwacht werden.

¹ Lauber, A.; Nussbaumer, T.: Praxiseinsatz und Überwachung von automatischen Holzfeuerungen mit Elektroabscheider, Bundesamt für Energie, Bern 2014, ISBN 3-908705-29-0

Vorgehen

Aufgrund von unterschiedlichen Feuerungskonzepten müssen grundsätzlich zwei Varianten zur Ausführung der Anlageüberwachung unterschieden und fallweise angewendet werden. Die Wahl der Variante hängt von der Nachlaufzeit des Abgasventilators nach einem Ausschalten des Primärluftventilators ab. Bei Feuerungen ohne Primärluftventilator wird das Signal der Primärluftklappe verknüpft mit dem Signal des Abgasventilators als Indikator für die Primärluft verwendet, was nachfolgend als Zustand des „Primärluftventilators“ bezeichnet wird. Gewählt wird:

- Variante A ab Seite 4 bei einer Nachlaufzeit von maximal 15 Minuten.
- Variante B ab Seite 6 bei einer Nachlaufzeit von mehr als 15 Minuten.

Die für beide Varianten notwendigen Zustandsdefinitionen für Betrieb Elektroabscheider und Betrieb Feuerung sind auf Seite 3 zu finden.

Die Vorgehensweise bei Spezialfällen ist auf Seite 9 beschrieben.

Ausführung und Verantwortlichkeit

Die Aufzeichnung der Feuerungs- und Abscheiderbetriebszeit mit Betriebsstundenzählern muss im gleichen Gerät erfolgen. Ob die Betriebsstundenzähler in der Steuerung der Feuerung, in der Steuerung des Elektroabscheiders oder im Leitsystem integriert werden ist frei wählbar. Die Verantwortlichkeit für die korrekte Bereitstellung und die Dokumentation der entsprechenden Signale liegt beim Hersteller des jeweiligen Geräts bzw. beim Anbieter des Gesamtsystems. Die entsprechenden Zähler dürfen NICHT rücksetzbar sein und dürfen weder durch Stromausfall noch durch Austausch oder Softwareupdate der Steuerung beeinträchtigt werden.

Dokumentation zur Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Umsetzung der Aufzeichnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders muss umfassend dokumentiert sein und beinhaltet mindestens:

- Angabe ob Variante A / Variante B / Spezialfall
- Ausführung inkl. Signalflussschema und Wahrheitstabelle
- Verantwortlichkeiten und Zuständigkeiten für die Signale und die Betriebsstundenzähler
- Referenzwerte des Elektroabscheiders für Spannung U_{ref} und Strom I_{ref} bei Nennleistung der Feuerung (belegt durch den Messbericht der Abnahmemessung).
- Eingestellte Schwellenwerte des Elektroabscheiders für Spannung und Strom U_{min} und I_{min} und Kontrollmöglichkeit für die Behörde.
- Abweichungen von FAQ 38
- Der Anlagebetreiber dokumentiert mindestens jährlich die Zählerstände der Betriebsstundenzähler und die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders.

Nachweis gegenüber der Behörde

Das Intervall für den Nachweis der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird durch die Behörde festgelegt. Die Verfügbarkeit muss mindestens jeweils bei einer behördlich verlangten Emissionsmessung zum Beispiel mit FAQ 38 Formular 1 oder 2 gegenüber der Behörde ausgewiesen werden.

Zustandsdefinition für Betrieb Elektroabscheider und Betrieb Feuerung

Betrieb Elektroabscheider

Die Definition für Betrieb Elektroabscheider ($EA1 = 1$) basiert auf der Spannung $U1$ und dem Strom $I1$ des Hochspannungsaggregats im Elektroabscheider sowie auf der Position der Bypassklappe $K1$ im oder vor dem Elektroabscheider (FAQ 38 Tabelle 1). Der Elektroabscheider gilt dann als in Betrieb, wenn die Spannung $U1$ und der Strom $I1$ einen minimalen Schwellenwert im Vergleich zu einem Referenzwert überschreiten und wenn die Bypassklappe geschlossen ist.

Die Referenzwerte für Spannung U_{ref} und Strom I_{ref} werden bei der Abnahmemessung der Feuerung unter Nennlast erhoben. Die für die Abnahmemessung beauftragte Messfirma muss dazu in ihrem Messbericht zusätzlich zu den üblichen Emissionswerten auch die Referenzwerte für Spannung U_{Ref} und für Strom I_{Ref} des Hochspannungsaggregats während der Nennlast-Messung an der Steuerung des Elektroabscheiders ablesen und festhalten. Die Spannungs- und Stromwerte dürfen vor der Abnahmemessung nicht verändert werden sondern müssen dem Normalbetrieb der Anlage entsprechen. Die Referenzwerte sollen auch bei den periodischen Kontrollmessungen protokolliert werden. Die Schwellenwerte U_{min} und I_{min} muss der Hersteller in der Steuerung des Elektroabscheiders einstellen und sie dürfen die Mindestanforderungen in FAQ 38 Tabelle 1 nicht unterschreiten. Hersteller können auch höhere Standardwerte für ihre Geräte festlegen.

Zustands-signal	Einschaltbedingung für Betrieb Elektroabscheider: $EA1 = 1$	Ausschaltbedingung für Betrieb Elektroabscheider: $EA1 = 0$	Hilfs-signale
EA1	<ul style="list-style-type: none"> • Spannung $U1 \geq U_{min} = 60\% \text{ von } U_{Ref}$ UND • Strom $I1 \geq I_{min} = 30\% \text{ von } I_{Ref}$ UND • Bypassklappe geschlossen 	<ul style="list-style-type: none"> • Spannung $U1 \leq 50\% \text{ von } U_{Ref}$ ODER • Strom $I1 \leq 20\% \text{ von } I_{Ref}$ ODER • Bypassklappe offen / bewegt 	<p style="text-align: center;">U1</p> <p style="text-align: center;">I1</p> <p style="text-align: center;">K1</p>

FAQ 38 Tabelle 1: Zustandsdefinitionen für das Signal Betrieb Elektroabscheider EA1. Dieses Zustandssignal liegt in der Regel in der Verantwortung des Elektroabscheider-Herstellers. Die angegebenen Schwellenwerte für die Spannung U_{min} und Strom I_{min} sind Mindestanforderungen. Für alle Signale ist eine maximale Dämpfung von 10 Sekunden zulässig. Bei Signalausfall ($U1$ oder $I1$ oder $K1$) gilt der der Elektroabscheider als Ausgeschaltet.

Betrieb Feuerung

Die Definition für Betrieb Feuerung ($F1 = 1$) kann für die Variante A sehr einfach an Hand des Betriebs des Primärluftventilators bestimmt werden (FAQ 38 Tabelle 2). Bei Feuerungen ohne Primärluftventilator wird das Signal der Primärluftklappe mit dem Signal des Abgasventilators verknüpft. Bei der Variante B muss die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders aufwendiger bestimmt werden. Dies ist notwendig, weil während der langen Nachlaufzeit des Abgasventilators trotz ausgeschaltetem Primärluftventilator weiterhin eine erhebliche Partikelfracht auftreten kann. Mit dem Signal $F2$ werden diese Emissionen mit dem Betriebszustand des Abgasventilators und dem Signal der Lambdasonde (O_2 in Vol.-%) zusätzlich erfasst. Dazu muss eine Breitband-Lambdasonde eingesetzt werden, welche auch bei hohem Sauerstoffgehalt korrekte Messwerte liefert. Ausserdem muss die korrekte Betriebsweise der Lambdasonde sichergestellt werden und bei der Wartung der Holzfeuerung kontrolliert werden.

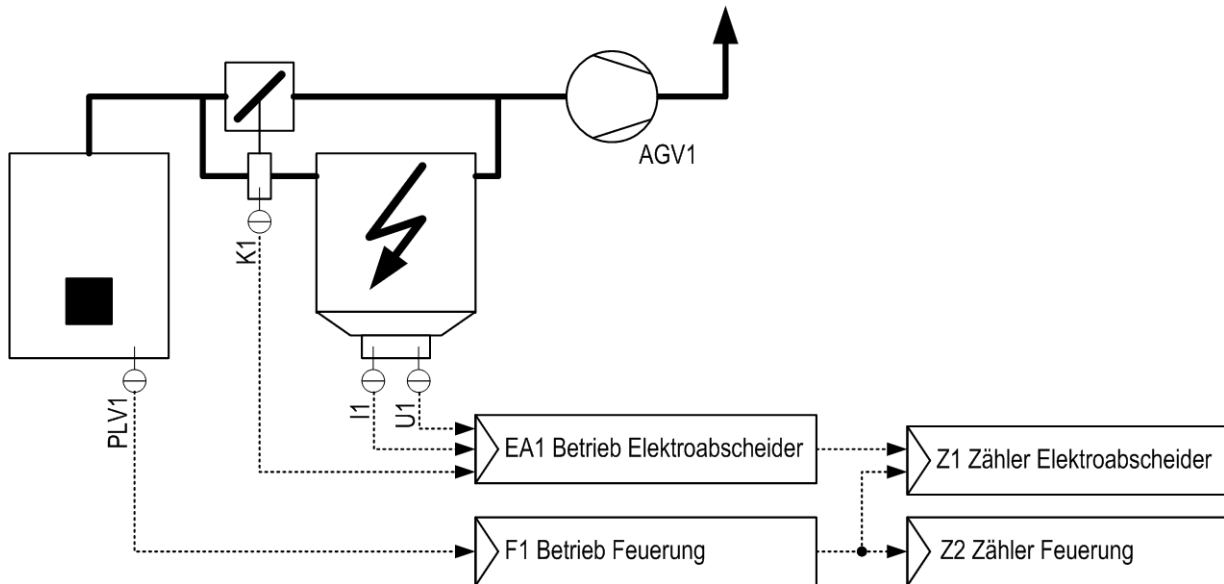
Zustands-signal	Einschaltbedingung für Betrieb Feuerung: $F1 = 1$ ODER $F2 = 1$	Ausschaltbedingung für Betrieb Feuerung: $F1 = 0$ ODER $F2 = 0$	Hilfs-signal
F1	<ul style="list-style-type: none"> • Primärluftventilator Ein 	<ul style="list-style-type: none"> • Primärluftventilator Aus 	PLV1
F2	<ul style="list-style-type: none"> • Abgasventilator Ein UND • $O_2 \leq 18 \text{ Vol.-%}$ 	<ul style="list-style-type: none"> • Abgasventilator Aus ODER • $O_2 \geq 19 \text{ Vol.-%}$ 	<p style="text-align: center;">AGV1</p> <p style="text-align: center;">O21</p>

FAQ 38 Tabelle 2: Zustandsdefinition für die Signale Betrieb Feuerung $F1$ & $F2$. Diese Signale liegen in der Regel in der Verantwortung des Feuerungsherstellers. Das Signal $F2$ wird für die Variante A nicht benötigt. Für alle Signale ist eine maximale Dämpfung von 10 Sekunden zulässig. Bei Signalausfall gilt die Feuerung als Eingeschaltet.

Variante A: Kurze Nachlaufzeit des Abgasventilators

Zähler des Elektroabscheiders und der Feuerung

Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1) und der Feuerung (Z2) dürfen nicht unabhängig voneinander zählen, sie müssen mit dem Betriebszustand des Elektroabscheiders (EA1) und der Feuerung (F1) verknüpft werden. FAQ 38 Abbildung 2 zeigt das Signalflussschema der notwendigen Signale und Verknüpfungen. FAQ 38 Tabelle 3 zeigt die notwendigen logischen Verknüpfungen in einer Wahrheitstabelle.



FAQ 38 Abbildung 2: Signalflusschema für die Überwachung der Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders an einer Feuerung für die Variante A.

		Verknüpfung	Zustand
EA1	Betrieb Elektroabscheider		0 1 0 1 x
F1	Betrieb Feuerung		0 0 1 1 x
Z1	Zähler Elektroabscheider	EA1 UND F1	0 0 0 1 0
Z2	Zähler Feuerung	F1	0 0 1 1 1

FAQ 38 Tabelle 3: Wahrheitstabelle für das Aufsummieren der Betriebszeit von Abscheider und Feuerung mit den Betriebsstundenzählern Z1 und Z2 für die Variante A. Die Zähler dürfen nur dann weiter aufsummieren, wenn ihr logischer Zustand gleich 1 ist. Bei Signalausfall (x) darf der Zähler Elektroabscheider nicht zählen und der Zähler Feuerung muss zählen.

Berechnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1) und der Feuerung (Z2) müssen deshalb mindestens einmal pro Jahr abgelesen werden, so dass die Zählerstände zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraums bekannt sind. Die Differenz der Zählerstände ergibt die Betriebszeit des Elektroabscheiders (Δt_{EA} (Z1)) und der Feuerung (Δt_F (Z2)) im Beobachtungszeitraum. Daraus kann die Verfügbarkeit V berechnet und mit der behördlich verlangten Mindestverfügbarkeit verglichen werden. Die Verfügbarkeit ergibt sich aus:

$$\text{Verfügbarkeit } V = \frac{\Delta t_{EA} (Z1)}{\Delta t_F (Z2)} \cdot 100 \text{ [%]}$$

Gegenüber der Behörde kann die berechnete Verfügbarkeit des Elektroabscheiders mit FAQ 38 Formular 1 ausgewiesen werden.

FAQ 38 Formular 1 Verfügbarkeit des Elektroabscheiders nach Variante A

Nachlaufzeit des Abgasventilators gegenüber dem Primärluftventilator ≤ 15 Minuten

Eingestellte Schwellenwerte Elektroabscheider und Abnahmemessung bei Nennlast als Referenz

	Symbol	Einheit	Referenzwert	Schwellenwert	
Festlegungsdatum					
Spannung	U	[kV]			
Spannung	$U_{\text{Schwelle}} / U_{\text{Ref}}$	[%]	(= 100 %)	¹⁾	¹⁾ min. 60 %
Strom	I	[mA]			
Strom	$I_{\text{Schwelle}} / I_{\text{Ref}}$	[%]	(= 100 %)	²⁾	²⁾ min. 30 %

Betriebsstundenzähler

⁴⁾ (Aktuell–letzte Ablesung)

	Symbol	Einheit	letzte Ablesung	Aktuell	Betriebszeit $\Delta t^{4)}$
Ableседatum					
Elektroabscheider	$t_{\text{EA}} (Z1)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_{\text{F}} (Z2)$	[Stunden]			

Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

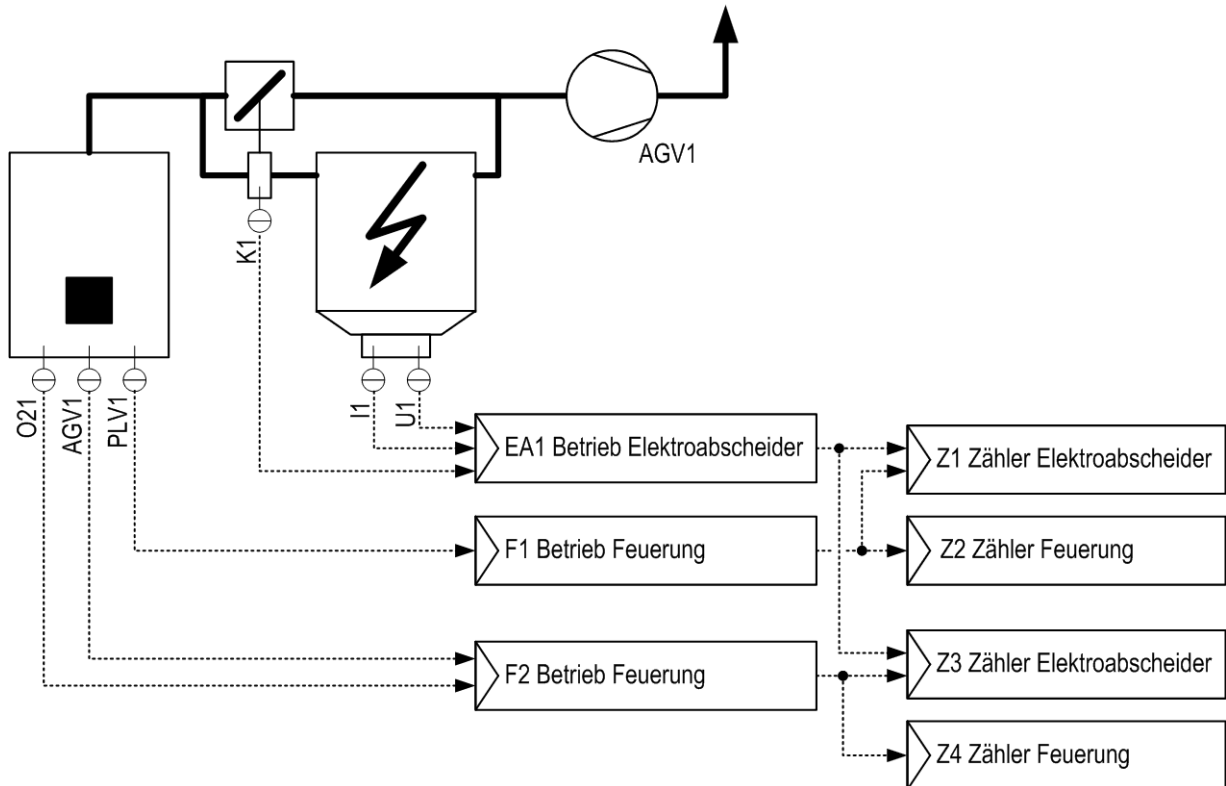
Verfügbarkeit	$V = \frac{\Delta t_{\text{EA}} (Z1)}{\Delta t_{\text{F}} (Z2)} \cdot 100$	[%]	
---------------	--	-----	--

Ort und Datum:	Vorname, Name:
	Funktion, Firma:
Unterschrift:	

Variante B: Lange Nachlaufzeit des Abgasventilators

Zähler des Elektroabscheiders und der Feuerung

Weil es bei Variante B zwei Definitionen für den Betrieb der Feuerung braucht, müssen auch je zwei Zähler verwendet werden. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1 und Z3) und der Feuerung (Z2 und Z4) dürfen nicht unabhängig voneinander zählen, sie müssen mit dem Betriebszustand des Elektroabscheiders (EA1) und der Feuerung (F1) verknüpft werden. FAQ 38 Abbildung 3 zeigt das Signalflussschema der notwendigen Signale und Verknüpfungen. FAQ 38 Tabelle 4 zeigt die notwendigen logischen Verknüpfungen in einer Wahrheitstabelle.



FAQ 38 Abbildung 3: Signalflusschema für die Überwachung der Verfügbarkeit eines Elektroabscheiders an einer Feuerung für die Variante B.

		Verknüpfung	Zustand
EA1	Betrieb Elektroabscheider		0 1 0 1 0 1 0 1 x
F1	Betrieb Feuerung		0 0 0 0 1 1 1 1 x
F2	Betrieb Feuerung		0 0 1 1 0 0 1 1 x
Z1	Zähler Elektroabscheider	F1 & EA1	0 0 0 0 0 1 0 1 0
Z2	Zähler Feuerung	F1	0 0 0 0 1 1 1 1 1
Z3	Zähler Elektroabscheider	F2 & EA1	0 0 0 1 0 0 0 1 0
Z4	Zähler Feuerung	F2	0 0 1 1 0 0 1 1 1

FAQ 38 Tabelle 4: Wahrheitstabelle für das Aufsummieren der Betriebszeit von Abscheider und Feuerung mit den Betriebsstundenzählern Z1 bis Z4 für die Variante B. Bei Signalausfall (x) dürfen die Zähler Elektroabscheider nicht zählen und die Zähler Feuerung müssen zählen.

Berechnung der Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Die Verfügbarkeit des Elektroabscheiders wird in der Regel über ein Jahr bestimmt. Die Betriebsstundenzähler des Elektroabscheiders (Z1, Z3) und der Feuerung (Z2, Z4) müssen deshalb mindestens einmal pro Jahr abgelesen werden, so dass die Zählerstände zu Beginn und am Ende des Beobachtungszeitraums bekannt sind. Die Differenz der Zählerstände ergibt die Betriebszeit der Feuerung und des Elektroabscheiders im Beobachtungszeitraum. Daraus kann die Verfügbarkeiten V1 und V2 berechnet und mit der behördlich verlangten Mindestverfügbarkeit verglichen werden. Da bei der Variante B zwei Verfügbarkeiten bestimmt werden müssen, müssen beide Verfügbarkeiten die verlangte Mindestverfügbarkeit erfüllen. Die beiden Verfügbarkeiten ergeben sich aus:

$$\text{Verfügbarkeit V1} = \frac{\Delta t_{EA}(Z1)}{\Delta t_F(Z2)} \cdot 100 [\%] \quad \text{UND} \quad \text{Verfügbarkeit V2} = \frac{\Delta t_{EA}(Z3)}{\Delta t_F(Z4)} \cdot 100 [\%]$$

Gegenüber der Behörde kann die Verfügbarkeit zum Beispiel mit FAQ 38 Formular 2 ausgewiesen werden.

FAQ 38 Formular 2 Verfügbarkeit des Elektroabscheiders nach Variante B

Nachlaufzeit des Abgasventilators gegenüber dem Primärluftventilator > 15 Minuten

Eingestellte Schwellenwerte Elektroabscheider und Abnahmemessung bei Nennlast als Referenz

	Symbol	Einheit	Referenzwert	Schwellenwert
Festlegungsdatum				
Spannung	U	[kV]		
Spannung	$U_{Schwelle} / U_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	¹⁾ min. 60 %
Strom	I	[mA]		
Strom	$I_{Schwelle} / I_{Ref}$	[%]	(= 100 %)	²⁾ min. 30 %

Kontrolle Lambdasonde Kessel (Sauerstoffmessung)

	Symbol	Einheit	Referenzwert ³⁾	Lambdasonde
Ableседatum				
O ₂ in Luft	O ₂	[Vol.-%]		
O ₂ in Abgas	O ₂	[Vol.-%]		

³⁾ Abgasanalyse

Betriebsstundenzähler

⁴⁾ (Aktuell–letzte Ablesung)

	Symbol	Einheit	letzte Ablesung	Aktuell	Betriebszeit
Ableседatum					$\Delta t^{4)}$
Elektroabscheider	$t_{EA} (Z1)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_F (Z2)$	[Stunden]			
Elektroabscheider	$t_{EA} (Z3)$	[Stunden]			
Feuerung	$t_F (Z4)$	[Stunden]			

Verfügbarkeit des Elektroabscheiders

Verfügbarkeit 1	$V1 = \frac{\Delta t_{EA} (Z1)}{\Delta t_F (Z2)} \cdot 10$	[%]	
Verfügbarkeit 2	$V2 = \frac{\Delta t_{EA} (Z3)}{\Delta t_F (Z4)} \cdot 10$	[%]	

Ort und Datum:	Vorname, Name:
	Funktion, Firma:
Unterschrift:	

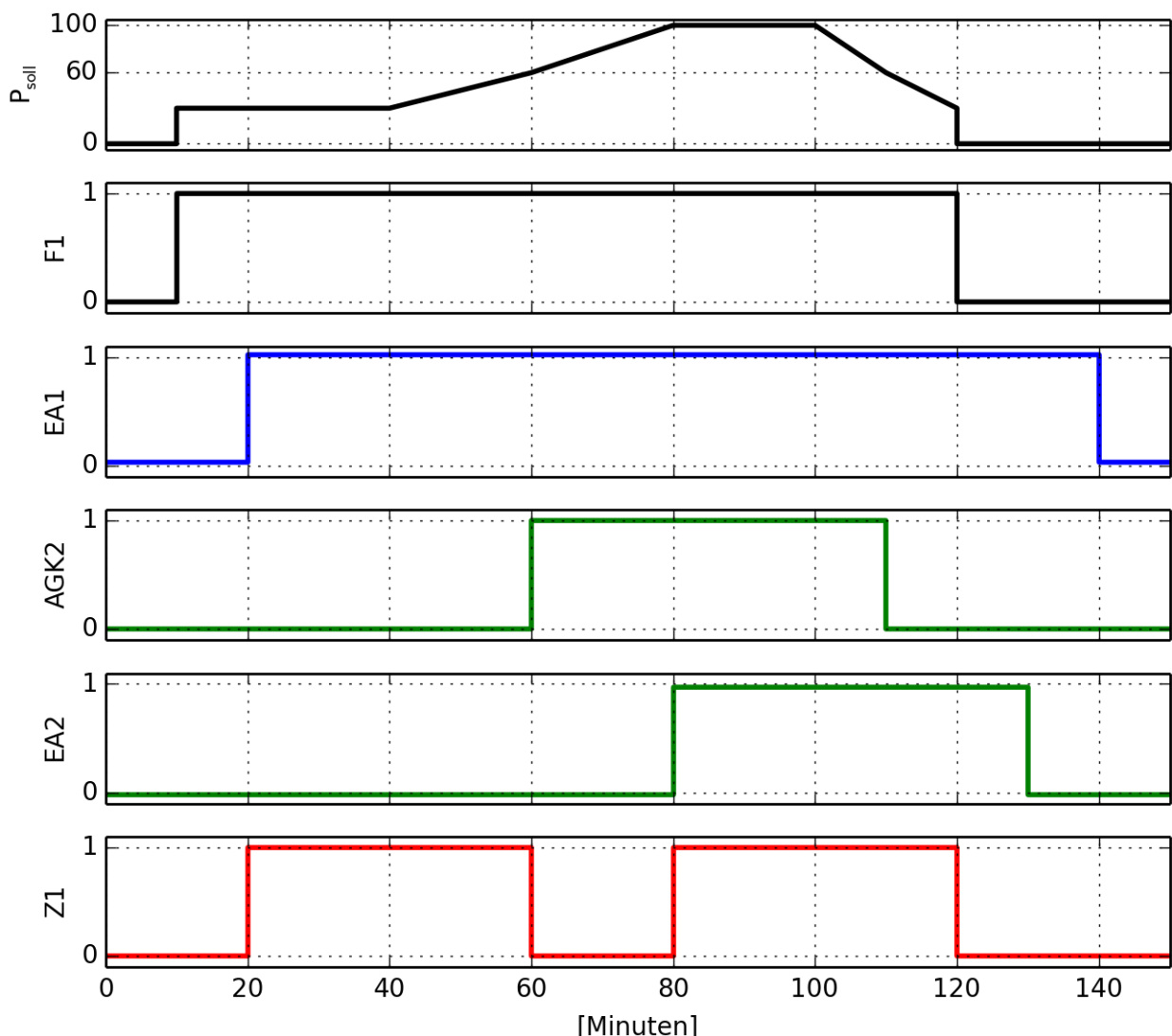
Spezialfälle

In der Praxis können folgende Spezialfälle in der Konfiguration der Anlage auftreten:


- Mehrere Feuerungen an einem Elektroabscheider.
- Mehrere Elektroabscheider an einer Feuerung mit zusätzlichen Klappen für die Verteilung des Abgases auf die verschiedenen Elektroabscheider.

Für die Anlageüberwachung müssen immer alle vorhandenen Komponenten einbezogen werden. Die Logik für den Zähler der Abscheiderbetriebszeit in FAQ 38 Tabelle 3 oder FAQ 38 Tabelle 4 muss dazu mit den zusätzlichen Komponenten erweitert werden. Ein mögliches Beispiel für eine Feuerung mit zwei Elektroabscheidern zeigt FAQ 38 Abbildung 4. Zusätzlich ist der Emissionsnachweis zu erbringen, dass der Staubgrenzwert in allen Betriebssituationen, insbesondere bei Voll- und Teillast, eingehalten werden kann.

Bei Anlagen mit mehreren Hochspannungsaggregaten werden die Werte von Spannung und Strom zusammengefasst. Bei der Spannung wird ein Mittelwert und beim Strom die Summe aus den Werten der einzelnen Aggregate gebildet. Dabei werden alle Aggregate von Elektroabscheider-Feldern einbezogen, welche mit Gas durchströmt sind. Dazu muss eine Verknüpfung mit den vorhandenen Abgasklappen bestehen.



FAQ 38 Abbildung 4: Beispiel für das Aufsummieren der Abscheiderbetriebszeit Z1 bei einer Anlage mit zwei Elektroabscheidern EA1 und EA2 an einer Feuerung F1. Der zweite Elektroabscheider EA2 wird bei Sollleistungen der Feuerung P_{soll} von über 60 % mit einer Abgasverteilkappe AGK2 zugeschaltet. Beide Elektroabscheider haben eine Einschaltverzögerung und eine Nachlaufzeit. Ab einer Sollleistung von 60 % wird während der Einschaltverzögerung des EA2 ein Teil des Abgases durch den inaktiven EA2 geleitet. Während dieser Zeit kann der Staubgrenzwert nicht eingehalten werden. In dieser Phase darf die Abscheiderbetriebszeit Z1 deshalb nicht aufsummiert werden.

	FAQ Literatur, Downloads und Impressum	FAQ
	Letzte Bearbeitung: 20 März 2015	

Schriftenreihe QM Holzheizwerke

- [1] Ruedi Bühler, Hans Rudolf Gabathuler, Andres Jenni: Q-Leitfaden. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 3., erweiterte Auflage 2011. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 1)
- [2] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer: Standard-Schaltungen – Teil I. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2., erweiterte Auflage 2010. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 2)
- [3] Andres Jenni, Hans Peter Schaffner, Bernhard Pex: Muster-Ausschreibung Holzkessel. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 3)
- [4] Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke: Planungshandbuch. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2., leicht überarbeitete Auflage 2008. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 4)
- [5] Alfred Hammerschmid, Anton Stallinger: Standard-Schaltungen – Teil II. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2006. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 5)
- [6] Bernhard Enzesberger, Johann Reinalter: Ratgeber zur Biomassekesselausschreibung (Version Österreich). Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2010. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 6)

Bestellung über www.qmholzheizwerke.ch

Downloads

- [7] Situationserfassung mit EXCEL-Tabelle. Sowohl die EXCEL-Tabelle wie das Manual stehen als kostenlose Downloads zur Verfügung.
- [8] Kurzversionen der Standardschaltungen WE1 bis WE8 und WE11 bis WE16 stehen als kostenlose Downloads zur Verfügung.
- [9] Merkblätter zu den Standardschaltungen WE1 bis WE6 stehen als kostenlose Downloads zur Verfügung.

Download über www.qmholzheizwerke.ch

Alle im Inhaltsverzeichnis aufgeführten FAQ's, die Literatur mit dem Impressum und das Gesamtdokument können in der jeweils aktuellsten Version unter www.qmholzheizwerke.ch als PDF-Dokumente gratis heruntergeladen werden.

Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke

Schweiz: Holzenergie Schweiz mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie www.qmholzheizwerke.ch oder www.holzenergie.ch

Deutschland: Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg a.N., Baden-Württemberg; C.A.R.M.E.N. e.V., Straubing, Bayern; www.qmholzheizwerke.de

Österreich: AEE Intec – Institut für Nachhaltige Technologien www.qmholzheizwerke.at

QM Holzheizwerke® ist ein eingetragenes Markenzeichen.

© Arbeitsgemeinschaft QM Holzheizwerke 2006-2015. Auszugsweiser Nachdruck unter Quellenangabe gestattet.