



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

REGELKONZEPTE FÜR BIVALENTE HOLZHEIZUNGSANLAGEN OHNE SPEICHER

MESSUNGEN AN EINER ANLAGE IN KAISTEN AG

SCHLUSSBERICHT

Ausgearbeitet durch

Hans Rudolf Gabathuler und Hans Mayer
Gabathuler AG, Beratende Ingenieure
Kirchgasse 23, 8253 Diessenhofen

Unter Mitarbeit von

Ruedi Bühler
Umwelt und Energie
Sagiweg 4, 8933 Maschwanden

Michael Oser und David Köchli
Müller AG Holzfeuerungen
Bechburgerstrasse 21, CH-4710 Balsthal

Autoren:

Hans Rudolf Gabathuler
Hans Mayer
Gabathuler AG
Beratende Ingenieure
Kirchgasse 23
CH-8253 Diessenhofen
gabathuler.ag@bluewin.ch

Mitarbeit:

Ruedi Bühler
Umwelt und Energie
Sagiweg 4
CH-8933 Maschwanden
rbuehler@mus.ch

Michael Oser
David Köchli
Müller AG Holzfeuerungen
Bechburgerstrasse 21
CH-4710 Balsthal
michael.oser@mueller-holzfeuerungen.ch
david.koechli@mueller-holzfeuerungen.ch

Begleitgruppe:

Peter Hofmann
AEW Energie AG
Obere Vorstadt 40
CH-5001 Aarau
Andres Jenni
ardens GmbH
Rufsteinweg 1
CH-4410 Liestal

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie
Mühlestrasse 4
CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch
Bereichsleiter Holzenergie:
Daniel Binggeli
daniel.binggeli@bfe.admin.ch

BEF-Projektnummer: 101385

Bezugsort der Publikation:
www.energieforschung.ch

Datum: 30. September 2007

Zusammenfassung

Mit dem Messprojekt «Kaisten» (Kanton Aargau) wurde eine bivalente Holzheizungsanlage ohne Speicher untersucht. Die Standard-Schaltungen von QM-Holzheizwerke beschreiben vier unterschiedliche Regelkonzepte für Anlagen ohne Speicher, und von den Holzkesselherstellern wird oft noch ein fünftes Regelkonzept angewandt. Mit dem Messprojekt sollte durch vergleichende Untersuchungen geklärt werden, welche Resultate die unterschiedlichen Regelkonzepte bringen. Untersucht wurden vier der fünf obgenannten Regelkonzepte:

- Hauptvariante mit Regelung auf die Feuerungsleistungen
- Hauptvariante mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Ölkessel
- Regelung auf die Ventilhübe der Kesselkreisventile
- Original-Regelkonzept des Holzkesselherstellers

Obwohl die Implementation der Regelkonzepte in die SPS und die periodische Datenübertragung problemlos abliefen, ergaben sich leider trotzdem Probleme: Die Datenaufzeichnung über das Leitsystem lieferte über längere Zeit keine brauchbaren Daten und der viel zu milde Winter 2006/2007 hatte zur Folge, dass kaum je ein Dauerbetrieb mit 100% Holzkesselleistung und stetiger Teillast des Ölkessels stattfand. Somit ergibt sich folgende Situation für die unterschiedlichen Betriebsarten:

■ Dauerbetrieb des Holzkessels auf 100% Maximallast und Folgeschaltung auf stetige Teillast des Ölkessels: Aus den obgenannten Gründen keine Daten vorhanden.

■ Stetiger Betrieb des Holzkessels zwischen 30% Minimallast und 100% Maximallast und kurzzeitige Spitzenlastabdeckung durch den Ölkessel: 3 der 6 untersuchten Beispiele wurden mit bestmöglicher Datengrundlage in dieser Betriebsart untersucht.

■ Holzkessel zeitweise auf Zweipunktbetrieb 0%/30%: Die Hauptvariante und die Variante mit Regelung auf die Ventilhübe wurde noch zusätzlich in dieser Betriebsart untersucht. Das Original-Regelkonzept des Holzkesselherstellers liegt nur für diesen Lastfall vor.

Bei allen untersuchten Beispielen wird deutlich, dass nicht Aussentemperaturänderungen Probleme bieten, sondern plötzliche Durchflussänderungen auf der Verbraucherseite: Der Verbraucherdurchfluss liegt während eines grossen Teil des Tages beispielsweise bei 1...2 m³/h, um dann um 03:00, 07:00, 17:00 und 21:00 Uhr auf bis zu 10 m³/h anzusteigen. Diese Verfünffachung des Durchflusses reisst die Temperatur des Holzkessels zusammen und lässt diesen für kurze Zeit in Rücklaufhochhaltung gehen. Wenn dann der Holzkessel auch noch für eine minimale Zeit auf 100% Feuerungssollwert kommt, wird auch noch der Ölkessel hinzugeschaltet.

Dass der Holzkessel kurzzeitig auf Rücklaufhochhaltung läuft, ist für den Schutz des Kessels notwendig und kann nicht vermieden werden. Hingegen kann das Zuschalten des Ölkessels bis zu einem gewissen Grade durch grössere Verzögerungsglieder und ein zusätzliches Aussentemperaturkriterium optimiert werden. Ein wirklich ruhiger Betrieb kann bei solchen Anlagen mit grossen Durchflussänderungen jedoch nur erreicht werden, wenn ein Speicher vorhanden ist.

Starke Durchflussänderungen bei den Wärmeabnehmern haben zur Folge, dass im Bypass eine Durchflussumkehr stattfindet. Dadurch sinkt die Hauptvorlauftemperatur – also die Hauptregelgrösse – bei der Regelung auf die Ventilhübe (Messung nach dem Bypass) viel stärker ab als bei der Hauptvariante (Messung vor dem Bypass). Die Folge sind stärkere Schwankungen des Reglers bei der Regelung auf die Ventilhübe. Ob durch eine Optimierung der Einstellungen bei der Regelung auf die Ventilhübe noch ein ähnlich gutes Reglerverhalten wie bei der Hauptvariante erreicht werden kann, konnte leider nicht mehr festgestellt werden.

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1. Ziel der Arbeit	5
2. Versuchsanlage	5
2.1 Allgemeine Beschreibung	5
2.2 Implementation der Regelkonzepte in der SPS	8
2.3 Implementation Datenaufzeichnung	8
3. Beschreibung der Regelkonzepte	9
3.1 Hydraulische Schaltung	9
3.2 Regelkonzept WE3.1: Hauptvariante	10
3.3 Regelkonzepte WE3.2 und WE3.3: Weitere zulässige Varianten	10
3.4 Regelkonzept WE3.4: Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile	12
3.5 Regelkonzept WE3.5: Vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System	12
4. Resultate der Messungen	14
4.1 Übersicht	14
4.2 Hauptvariante WE3.1 bei mittlerer Last	18
4.3 Hauptvariante WE3.1 bei kleiner Last	22
4.4 Hauptvariante mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel (WE3.2) bei mittlerer Last	26
4.5 Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (WE3.4) bei mittlerer Last	30
4.6 Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (WE3.4) bei kleiner Last	34
4.7 Vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System (WE3.5) bei kleiner Last	38
5. Schlussfolgerungen	42
5.1 Mit oder ohne Speicher?	42
5.2 Unterschiede zwischen WE3.1 und WE3.4	42
5.3 Welches Regelkonzept bei welcher bivalenten Anlage?	44
5.4 Bemerkungen zu Planung und Betriebsoptimierung	45
6. Literaturverzeichnis	45

1. Ziel der Arbeit

In einem erstem Messprojekt [6] wurden Messungen an einer bivalenten Holzheizungsanlage mit Speicher in Azmoos durchgeführt. Erfahrungen mit diesem Projekt in Azmoos und vor allem auch Erfahrungen bei der inzwischen fortgeschrittenen Umsetzung von «QM Holzheizwerke» haben gezeigt, dass immer noch wichtige Fragen offen sind, die durch ein weiteres Messprojekt geklärt werden sollen. Nachdem es sich beim Messprojekt «Azmoos» um eine bivalente Holzheizungsanlage mit Speicher gehandelt hatte, wurde im neuen Messprojekt «Kaisten» eine Anlage ohne Speicher untersucht.

Hydraulisch und regelungstechnisch ist die Schaltung ohne Speicher anspruchsvoller als die Schaltung mit Speicher. Die Standard-Schaltungen von QM-Holzheizwerke [2] beschreiben vier unterschiedliche Regelkonzepte für Anlagen ohne Speicher, und von den Holzkesselherstellern wird oft noch ein fünftes Regelkonzept angewandt. Im vorliegenden Messprojekt soll durch vergleichende Untersuchungen geklärt werden, welche Resultate die unterschiedlichen Regelkonzepte bringen.

2. Versuchsanlage

2.1 Allgemeine Beschreibung

Mit der Holzheizungsanlage zur Nahwärmeversorgung der Schulanlage in Kaisten (Kanton Aargau) wurde eine Versuchsanlage gefunden, welche die notwendigen Voraussetzungen erfüllt. Die Hydraulik entspricht der Standard-Schaltung WE3 (Abbildung 1), wobei lediglich die druckdifferenzlose Schnittstelle benutzt wird (keine Fernleitung). Das jeweils aktive Regelkonzept kann den gewünschten Regelkonzepten angepasst werden. Die Messdatenaufzeichnung zur Betriebsoptimierung entspricht den Vorgaben der Standard-Schaltung WE3.

Das Projekt wurde durch folgende Firmen ausgeführt:

Contractor:	Aargauische Elektrizitätswerke AEW, Aarau	
Planer:	Durena AG, Lenzburg	
Holzkesselhersteller:	Müller AG, Balsthal	
Hersteller MSR-System:	Wärmeerzeugung durch Müller AG, Rest Siemens (inkl. Datenaufzeichnung)	

Leistungsdaten der Anlage (gemäss Planer):

Wärmeleistungsbedarf der Anlage	260 kW	100%
Wärmeleistung Holzkessel (mit automatischer Zündung)	160 kW	62%
Wärmeleistung Ölkessel	190 kW	73%

Zwar handelt es sich um eine relativ kleine Holzheizungsanlage (Abbildung 2 bis Abbildung 5), aber die Anlage erfüllte dafür andere wichtige Voraussetzungen: Der Holzkessel ist knapp dimensioniert und der Ölkessel ist grösser als der Holzkessel.

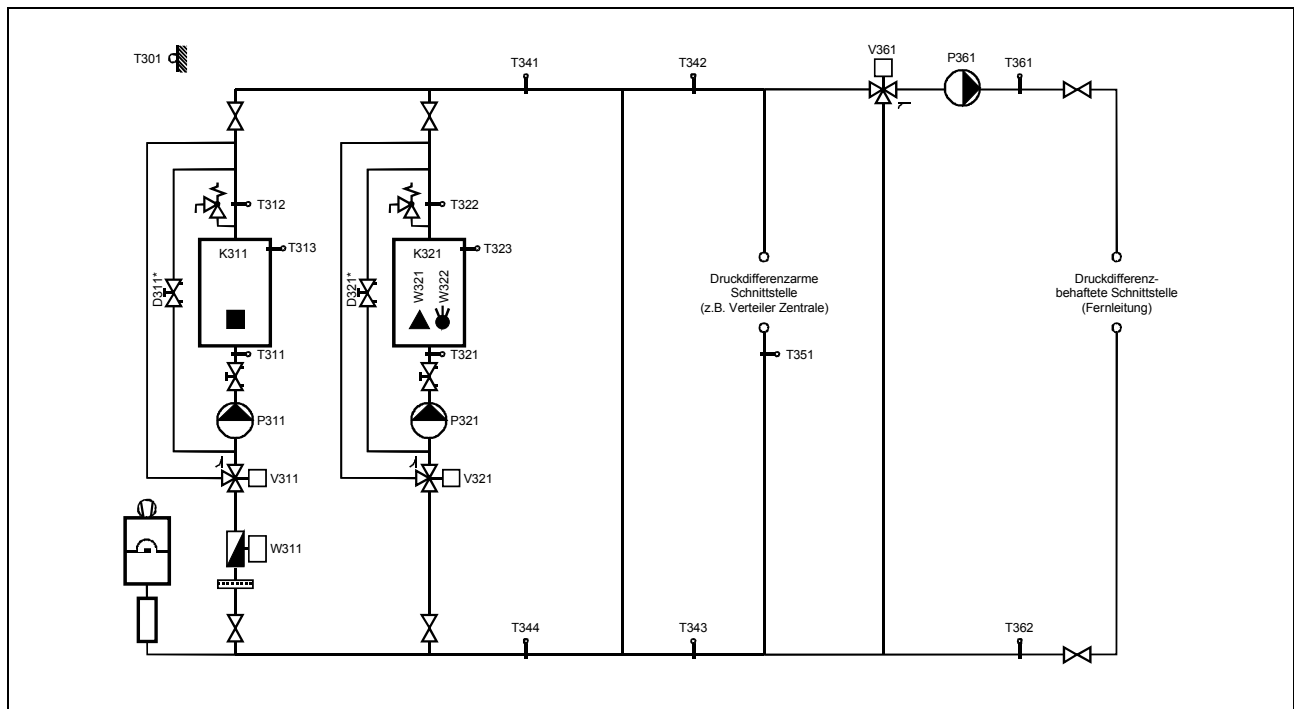


Abbildung 1: Bivalente Holzheizungsanlage ohne Speicher WE3 [2]



Abbildung 2: In diesem Schulhaus befindet sich die Heizzentrale, die beiden Kamine sind hinter dem Gebäude sichtbar



Abbildung 3: Kamine und Silodeckel



Abbildung 4: Holzkessel



Abbildung 5: Heizzentrale, der Holzkessel (blau) befindet sich in der unteren Ebene der Zentrale

2.2 Implementation der Regelkonzepte in der SPS

Die folgenden Regelkonzepte sollen untersucht werden (eine detaillierte Beschreibung folgt in Kapitel 3):

Regelkonzept WE3.1: Sequenz gemäss Standard-Schaltung WE3, Hauptvariante in [2] (Dreiwegventile nur zur Rücklaufhochhaltung).

Regelkonzept WE3.2: Sequenz gemäss Standard-Schaltung WE3, entspricht Hauptvariante in [2] mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel.

Regelkonzept WE3.3: Sequenz gemäss Standard-Schaltung WE3, entspricht Hauptvariante in [2] mit Stellgrösse Öl-/Gaskessel = Hub Dreiwegventil im Kesselkreis.

Regelkonzept WE3.4: WE3 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (Anhang 2 in [2]).

Regelkonzept WE3.5: Vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System (Original-Regelkonzept der Müller AG).

Regelkonzept WE3.3 wird zwar der Vollständigkeit halber beschrieben, es wurde aber – wie in der Offerte vorgesehen – messtechnisch nicht weiter untersucht, weil es sich lediglich um eine Mischung von WE3.1 mit WE3.4 handelt.

Der Holzkesselhersteller hat die Regelkonzepte WE3.1, WE3.2, WE3.4 und WE3.5 exakt gemäss den Beschreibungen in die SPS implementiert.

2.3 Implementation Datenaufzeichnung

Die Messdatenerfassung erfolgt durch den Contractor über «Siemens Unigr-Insight». Die Daten wurden im 5-Minuten-Takt erfasst und periodisch an die Projektleitung zur Auswertung gesandt.

Grundsätzlich wurden alle in [2] mit «Standard» bezeichneten Daten der Messstellenliste der Standardschaltung WE3 aufgezeichnet. Zusätzlich erfasst wurden noch die Ventilhubes V311 und V321 (bei Regelkonzept WE3.4 von Bedeutung).

Messgrösse	Messort	Standard WE3	Bezeichnung WE3
Temperatur	Fassade Nord	Standard	T301
Temperatur	Holzkessel: Eintritt	Standard	T311
Temperatur	Holzkessel: Austritt	Standard	T312
Temperatur	Ölkessel: Eintritt	Standard	T321
Temperatur	Ölkessel: Austritt	Standard	T322
Temperatur	Hauptvorlauf: vor Bypass	Standard	T341
Temperatur	Hauptvorlauf: nach Bypass	Standard	T342
Temperatur	Hauptrücklauf: vor Bypass	Standard	T343
Temperatur	Hauptrücklauf: nach Bypass		T344
Temperatur	Holzkessel: Abgasrohr	Standard	
Temperatur	Ölkessel: Abgasrohr		
Restsauerstoff	Holzkessel: Abgasrohr	Standard	
Leistung	Holzkessel: Wärmezähler	Standard	W311
Volumenstrom	Holzkessel: Wärmezähler		W311
Leistung	Verbraucher: Wärmezähler		
Volumenstrom	Verbraucher: Wärmezähler		
Volumenstrom	Ölkessel: Ölzähler		W322
Feuerungsleistung	Übergeordnetes MSR-System: Sollwert Holz	Standard	
Betrieb	Holzkessel		
Betrieb	Wärmeabfuhr (Überhitzung Holzkessel)		
Betrieb	Ölkessel: Stufe 1	Standard	
Betrieb	Ölkessel: Stufe 2	Standard	

Abbildung 6: Messstellenliste

3. Beschreibung der Regelkonzepte

3.1 Hydraulische Schaltung

Hydraulisch entspricht die Standard-Schaltung ohne Speicher WE3 (Abbildung 1) der Standard-Schaltung mit Speicher WE4. Einziger Unterschied: der Speicher ist bei WE3 nur als Bypass mit Wasserinhalt gegen null vorhanden. Damit ist WE3 regelungstechnisch anspruchsvoller als WE4.

Hauptregelgrösse kann bei WE3 nur die Hauptvorlauftemperatur sein. Diese kann jedoch an zwei Messorten erfasst werden: vor dem Bypass bei T341 oder nach dem Bypass bei T342.

Solange der Bypass von oben nach unten durchflossen wird, liefern beide Messorte den gleichen Messwert. Sobald jedoch der Durchfluss auf der Kesselseite kleiner wird als derjenige auf der Verbraucherseite, wird der Bypass von unten nach oben durchflossen und T342 ist dann tiefer als T341. Dieser Betrieb entspricht im Prinzip dem Betrieb eines Speichers mit Wasserinhalt gegen null. Damit sind unterschiedliche Regelkonzepte möglich, die nachfolgend beschrieben werden.

In allen Standardschaltungen gemäss [2] sind in den Kesselkreisen Bypässe vorgesehen (beispielsweise D311 und D321 in Abbildung 1). Diese können realisiert oder weggelassen werden. Doch 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 $65 + 30 = 95^{\circ}\text{C}$

3.2 Regelkonzept WE3.1: Hauptvariante

Die Hauptvariante gemäss [2] WE3 sieht wie folgt aus:

- Hauptregelgrösse ist die Hauptvorlauftemperatur, Messort vor dem Bypass bei T341
- Stellgrösse ist eine Sequenz der Sollwerte für die Feuerungsleistungen der beiden Kessel
- Verzicht auf die Regelung der Kesselaustrittstemperaturen (die Regelventile in den Kesselkreisen werden nur zur Rücklaufhochhaltung gebraucht)
- Die Kesselwassertemperaturen der beiden Kessel werden durch die internen Regler nur nach oben begrenzt

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. Falls die Hauptvorlauftemperatur bei T341 gemessen wird, muss 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).

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 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.

Da die Regelventile in den Kesselkreisen nur zur Rücklaufhochhaltung benötigt werden, kann beim Folgekessel auf das Regelventil verzichtet werden, wenn keine Rücklaufhochhaltung erforderlich ist.

Nachteil:

«Floaten» der Kesselwassertemperaturen. d. h. beim Holzkessel muss nach oben eine Temperaturreserve bestehen (z. B. Sollwert Hauptvorlauftemperatur 85°C, Begrenzung Kesselwassertemperatur Holzkessel 100°C, Sicherheitswächter 115°C)

3.3 Regelkonzepte WE3.2 und WE3.3: Weitere zulässige Varianten

In der Standard-Schaltung WE3 werden noch zwei weitere zulässige Varianten beschrieben, die angewendet werden können,

- wenn das Floaten minimiert werden soll, weil nach oben keine Temperaturreserve besteht,
- wenn ein bestehender, überdimensionierter Kessel 2 eingebunden werden muss, dessen Steuerung/Regelung möglichst wenig verändert werden soll.

Diese zwei Varianten entsprechen grundsätzlich der zuvor beschriebenen Hauptvariante, wobei jedoch Kessel 2 anders geregelt wird:

- Variante 1: Zusätzliche Austrittstemperaturregelung beim Kessel 2 (Sollwert etwas tiefer als der Sollwert der Hauptvorlauftemperatur)
- Variante 2: Stellgrösse für Kessel 2 ist der Hub des Dreiwegventils im Kesselkreis

Es muss angegeben werden, ob der Messort bei T341 oder bei T342 gewählt wird. Solange der Bypass im Normalbetrieb immer von oben nach unten durchflossen wird, liefert T341 den sichereren Messwert, weil hier der Fühler sicher immer gut umströmt ist. Wenn die Messung bei T342 erfolgen soll, um auch eine Zirkulation des Bypasses von unten nach oben zu berücksichtigen, muss beachtet werden, dass hier die Messung im «toten Wasser» erfolgt. In diesem Falle sollte für T342 zusammen mit T344 ein Maximalvorrang vorgesehen werden (sobald T342 keinen gültigen Wert liefert, wird auf T344 umgeschaltet).

Die Austrittstemperaturregelung (Variante 1) muss deaktiviert sein, wenn Kessel 2 allein läuft (z. B. wenn Kessel 1 auf Störung).

Nachteile:

- Für den Folgekessel ist zwingend ein Regelventil im Kesselkreis notwendig, auch dann, wenn dieser keine Rücklaufhochhaltung benötigen würde
- Falls der Messort der Hauptregelgrösse bei T342 gewählt wird, ist eine Fühlerumschaltung T342/T344 mit Maximalvorrang notwendig

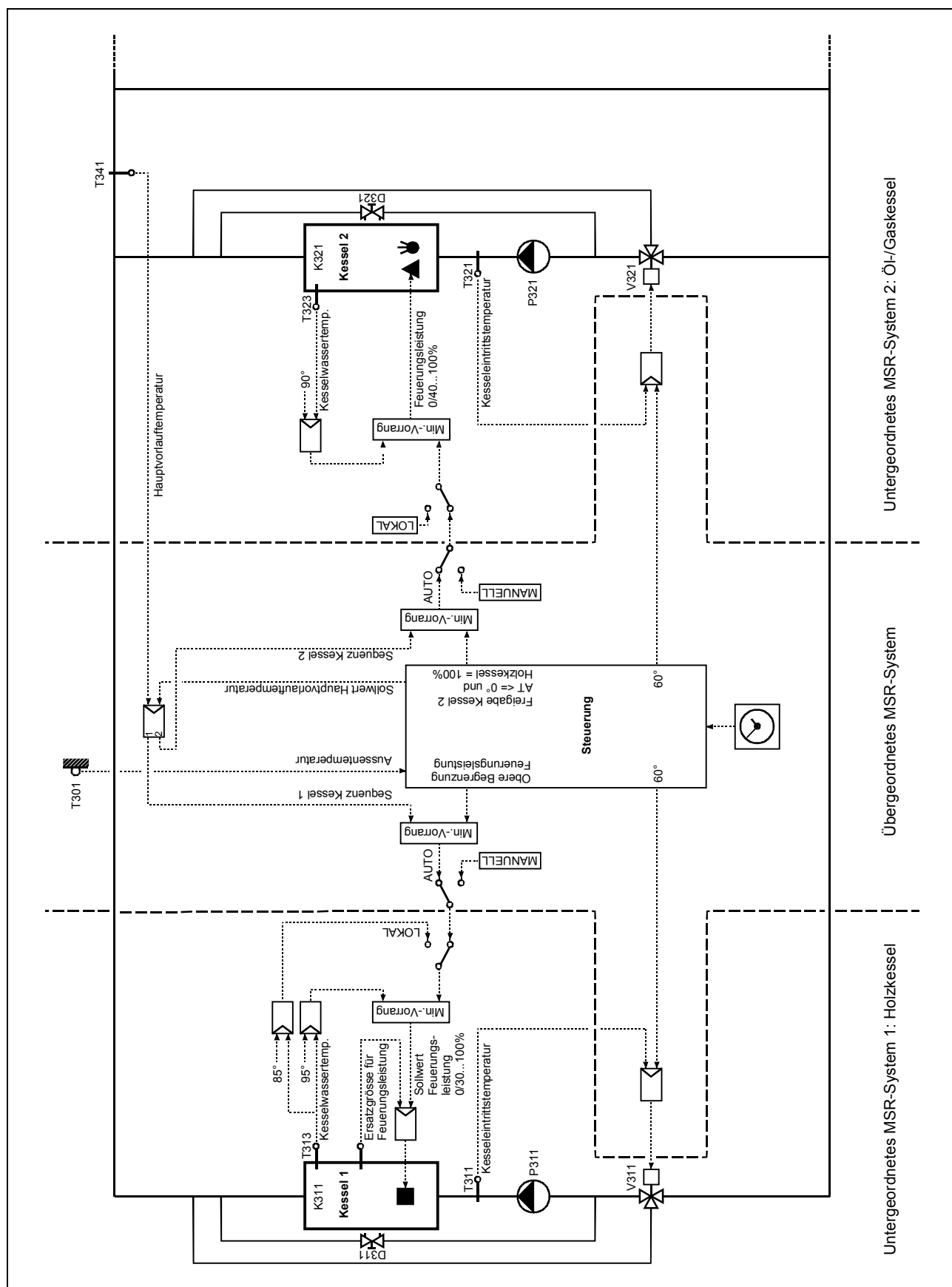


Abbildung 7: Regelschema WE3.1 (die eingezeichneten Sollwerte sind Beispielwerte, massgebend sind die Werte in Tabelle 10 und Tabelle 11)

3.4 Regelkonzept WE3.4: Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile

Das Hydraulikschema von Anhang 2 in [2] ist identisch mit demjenigen der Standard-Schaltung WE3. Im Gegensatz zu WE3 arbeitet die Schaltung aber ohne externes Sollwertsignal für die Feuerungsleistung:

- Hauptregelgrösse ist die Hauptvorlauftemperatur, Messort nach dem Bypass bei T342
- Stellgrössen sind die Hübe der Regelventile in den Kesselkreisen als Sequenz Holzkessel – Öl-/Gaskessel (mit Minimalbegrenzung der Kesseleintrittstemperatur zur Rücklaufhochhaltung)
- Die Kesselwassertemperaturen der beiden Kessel werden durch die internen Regler geregelt; die Sollwerte werden durch das übergeordnete MSR-System vorgegeben

Wenn die von den Kesseln produzierte Leistung mit der von den Verbrauchern geforderten Leistung übereinstimmt, ist der Durchfluss im Bypass null (der Miniaturspeicher «Bypass» wird weder gefüllt noch entleert).

Dieses Regelkonzept bedingt zwingend, dass die Hauptvorlauftemperatur nach dem Bypass bei T342 gemessen wird. Dieser Fühler befindet sich im «toten Wasser», solange keine Leistung angefordert wird. Dieses Problem kann durch eine Fühlerumschaltung mit Maximalvorrang auf einen zweiten Fühler im Rücklauf bei T344 gelöst werden (sobald T342 keinen gültigen Wert liefert, wird auf T344 umgeschaltet).

Die Reglerparameter des Hauptreglers sind praktisch die gleichen wie bei WE3. Zusätzlich ist das I-Glied in der Regelstrecke, bedingt durch die Laufzeit des Regelventils (im Vergleich zu den übrigen Zeitkonstanten jedoch relativ klein).

Nachteile:

- Für den Folgekessel ist zwingend ein Regelventil im Kesselkreis notwendig, auch dann, wenn dieser keine Rücklaufhochhaltung benötigen würde
- Fühlerumschaltung T342/T344 mit Maximalvorrang zwingend notwendig

3.5 Regelkonzept WE3.5: Vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System

Diese Lösung wird oft als kostengünstige Variante eingesetzt, da kein übergeordnetes MSR-System erforderlich ist.

Das Hydraulikschema ist identisch mit demjenigen der Standard-Schaltung WE3. Im Gegensatz zu WE3 arbeitet die Schaltung jedoch ohne ein übergeordnetes MSR-System. Regelgrösse ist die Kesselwassertemperatur T313, und Stellgrösse ist die Feuerungsleistung des Holzkessels. Der Ölkessel wird freigegeben, wenn der Sollwert der Feuerungsleistung des Holzkessels während einer bestimmten Zeit auf 100% bleibt und die Solltemperatur nicht mehr gehalten werden kann; die Sperrung des Ölkessels erfolgt, wenn der Sollwert der Feuerungsleistung während einer bestimmten Zeit wieder unter einen vorgegebenen Wert sinkt und die Solltemperatur wieder erreicht ist. Der Öl-/Gaskessel wird über sein eigenes internes MSR-System betrieben.

Nachteil:

Der Öl-/Gaskessel wird nur freigegeben und gesperrt, aber nicht wirklich geregelt. Deshalb besteht die Gefahr, dass der Öl-/Gaskessel zuviel Leistung bringt und damit den Holzkessel zum Zurückregeln zwingt und es so zu einem Hin- und Herschalten der beiden Kessel kommt.

Bemerkung:

Bei den Regelkonzepten WE3.1 bis WE3.4 wird der Holzkessel durch die Sequenz-Regelung zwingend auf 100% gehalten und die fehlende Leistung wird allein mit dem Öl-/Gaskessel durch Zweipunktregelung (bzw. durch Modulation) hinzugefügt. Erst wenn die Sequenz-Regelung den Öl-Gaskessel während einer bestimmten Zeit nicht mehr gebraucht hat, wird dieser wieder gesperrt.

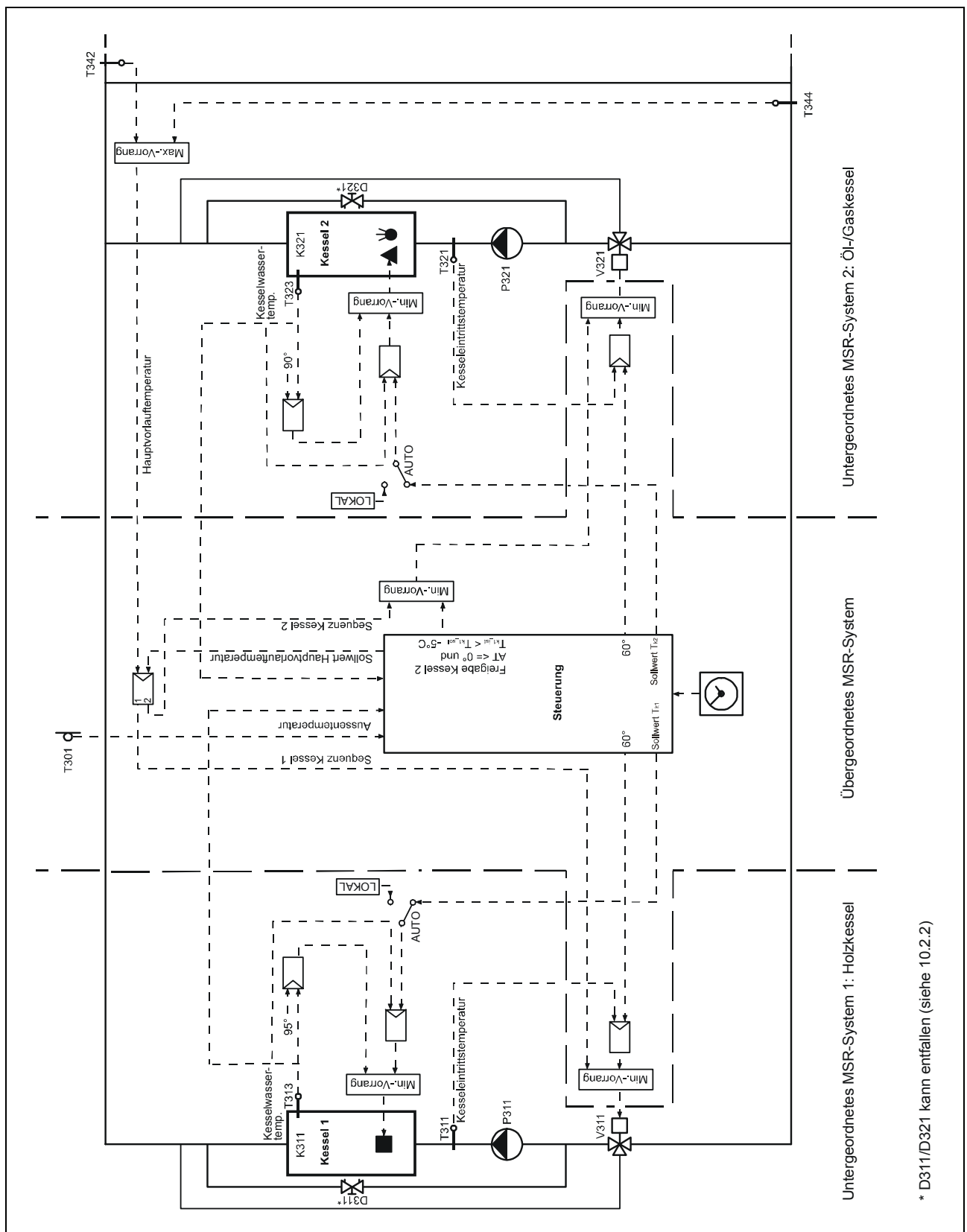


Abbildung 8: Regelschema WE3.4 (die eingezeichneten Sollwerte sind Beispielwerte, massgebend sind die Werte in Tabelle 10 und Tabelle 11)

4. Resultate der Messungen

4.1 Übersicht

Während die Implementation der Regelkonzepte in die SPS durch die Müller AG und periodische Datenübertragung an die Projektleitung durch AEW problemlos ablief, ergaben sich leider trotzdem Probleme:

1. Die Datenaufzeichnung über das Leitsystem machte Probleme. Dies bedeutete, dass für 2006 praktisch keine brauchbaren Daten vorhanden sind; erst ab Anfang 2007 sind die Daten brauchbar, aber leider immer noch mit einigen Unterbrüchen.
2. Der viel zu milde Winter 2006/2007 hatte zur Folge, dass kaum je ein Dauerbetrieb mit 100% Holzkesselleistung und stetiger Teillast des Ölkessels stattfand. Somit sind zwar Messdaten mit Teillast des Holzkessels und kurzer Spitzenlastabdeckung durch den Ölkessel vorhanden, aber keine wirklich brauchbaren Messdaten mit Dauerbetrieb des Holzkessels auf 100% und Folgeschaltung auf stetige Teillast des Ölkessels.
3. Die eingestellten Regelparameter, Sollwerte, Zeitverzögerungen usw. waren selbstverständlich nicht gleich von Beginn weg optimal. Das Finden brauchbarer Werte für alle vier getesteten Regelkonzepte brauchte eine gewisse Zeit.
4. Die genannten Probleme hatten zur Folge, dass die vorgestellten Messdaten alle aus der Zeit von März bis Mai 2007 stammen.

Somit ergibt sich folgende Situation für die unterschiedlichen Betriebsarten:

Dauerbetrieb des Holzkessels auf 100% Maximallast und Folgeschaltung auf stetige Teillast des Ölkessels: Aus den obgenannten Gründen keine Daten vorhanden.

Stetiger Betrieb des Holzkessels zwischen 30% Minimallast und 100% Maximallast und kurzzeitige Spitzenlastabdeckung durch den Ölkessel: Die Regelkonzepte WE3.1, WE3.2 und WE3.4 wurden als bestmögliche Beispiele in dieser Betriebsart untersucht.

Holzkessel zeitweise auf Zweipunktbetrieb 0%/30%: WE3.1 (Hauptvariante) und WE 3.4 (Regelung auf die Ventile) wurden noch zusätzlich in dieser Betriebsart untersucht. WE 3.5 wurde der Vollständigkeit halber angefügt, weil gar keine anderen Daten des Original-Regelkonzeptes der Müller AG vorhanden waren.

Jedes Regelkonzept wurde also wenigstens einmal im bestmöglichen vorhandenen Lastfall ausgewertet. Eine Zusammenstellung zeigt Tabelle 9.

Die bei den Messungen eingestellten Sollwerte und Regelparameter sind in Tabelle 10 und Tabelle 11 zusammengestellt.

Wichtige Bemerkung zu den Diagrammen in Abbildung 12 bis Abbildung 35

Das M-Bus-Protokoll zur Übertragung der Wärmezählerdaten stürzte öfters ab. Die Ursache dieses Problems konnte nicht gefunden werden, weshalb ein automatischer Reset programmiert wurde. Dies hat aber leider zur Folge, dass die Diagramme mit Wärmeleistung und Durchfluss manchmal ohne erkennbare Ursache kurzzeitig auf null gehen.

Wenn der Durchfluss bzw. die Wärmeleistung infolge der Rücklaufhochhaltung zurück geht, ist dies korrekt und an der tiefen Rücklauftemperatur problemlos erkennbar. Alle übrigen Fälle ohne erkennbare Ursache sind Fehler und können ignoriert werden.

Einige Temperaturmesswerte sind offenbar auf 100°C begrenzt. Damit wird die Hauptvorlauftemperatur vor und nach dem Bypass, die Hauptrücklauftemperatur nach dem Bypass und auch die Holzkesseleintrittstemperatur vereinzelt mit 100°C angegeben, obwohl diese kurzzeitig über 100°C betragen.

Die Holzkessel-Austrittstemperatur ist nicht begrenzt und wird korrekt angezeigt, auch wenn sie über 100°C steigt. Die obgenannten auf 100°C begrenzten Messwerte können daraus problemlos abgeschätzt werden.

Lastfall	WE3.1	WE3.2	WE3.4	WE3.5
Grosse Last Dauerbetrieb des Holzkessels auf 100% Maximallast und Folgeschaltung auf stetige Teillast des Ölkessels	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten	Keine Daten
Mittlere Last Stetiger Betrieb des Holzkessels zwischen 30% Minimallast und 100% Maximallast und kurzzeitiger Spitzenlastabdeckung durch den Ölkessel	2.3.07 Abbildung 12 Abbildung 13 Abbildung 14 Abbildung 15	4.4.07 Abbildung 20 Abbildung 21 Abbildung 22 Abbildung 23	23.3.07 Abbildung 24 Abbildung 25 Abbildung 26 Abbildung 27	Keine Daten
Kleine Last Holzkessel zeitweise auf Zweipunktbetrieb 0%/30%	1.4.07 Abbildung 16 Abbildung 17 Abbildung 18 Abbildung 19	Daten vorhanden, aber nicht interessant für Regelkonzept WE3.2	16.3.07 Abbildung 28 Abbildung 29 Abbildung 30 Abbildung 31	23.5.07 Abbildung 32 Abbildung 33 Abbildung 34 Abbildung 35

Tabelle 9: Übersicht der untersuchten Regelkonzepte und Lastfälle

Regelkonzept → Ausgewertete Tage – bei grosser Last – bei mittlerer Last – bei kleiner Last	Einheit	WE3.1 – 2.3.07 1.4.07	WE3.2 – 4.4.07 –	WE3.4 – 23.3.07 16.3.07	WE3.5 – – 23.5.07
Rücklaufhochhaltung Holzkessel (auf Kesselkreisventil)					
Unterer Grenzwert Kesseleintrittstemperatur	°C	65	65	65	65
P-Verstärkung	–	*	*	*	*
Nachstellzeit	s	*	*	*	*
Rücklaufhochhaltung Ölkessel (auf Kesselkreisventil)					
Unterer Grenzwert Kesseleintrittstemperatur	°C	50	50	50	50
P-Verstärkung	–	*	*	*	*
Nachstellzeit	s	*	*	*	*
Internregler Holzkessel					
Sollwert Kesselaustrittstemperatur	°C	100	100	85	85
P-Verstärkung	–	*	*	*	*
Nachstellzeit	s	*	*	*	*
Sicherheitswächter Holzkessel					
Oberer Grenzwert Kesselaustrittstemperatur	°C	115	115	115	115
Internregler Ölkessel					
Ölkessel Stufe 1 EIN bei Istwert Kesselaustrittstemperatur	°C	90	90	80	80
Ölkessel Stufe 1 AUS bei Istwert Kesselaustrittstemperatur	°C	95	95	85	85
Ölkessel Stufe 2 EIN bei Istwert Kesselaustrittstemperatur	°C	90	90	75	75
Ölkessel Stufe 2 AUS bei Istwert Kesselaustrittstemperatur	°C	95	95	80	80
Sicherheitswächter Ölkessel					
Oberer Grenzwert Kesselaustrittstemperatur	°C	115	115	115	115
Kesselaustrittstemperaturregelung Ölkessel (auf Kesselkreisventil)					
Sollwert Kesselaustrittstemperatur	°C		82		
P-Verstärkung	–		*		
Nachstellzeit	s		*		
* Die Regelparameter sind bekannt, werden aber auf Wunsch des Holzkesselherstellers nicht veröffentlicht					

Tabelle 10: Für die Versuche verwendete Sollwerte und Regelparameter

Regelkonzept →	Einheit	WE3.1	WE3.2	WE3.4	WE3.5
Ausgewertete Tage – bei grosser Last		–	–	–	–
– bei mittlerer Last		2.3.07	4.4.07	23.3.07	–
– bei kleiner Last		1.4.07	–	16.3.07	23.5.07
Sequenzregler auf die Feuerungsleistung: Holzkessel AUS – Holzkessel 30...100% – Ölkessel Stufe 1 – Ölkessel Stufe 2					
Sollwert Hauptvorlauftemperatur	°C	85	85		
P-Verstärkung Sequenz 1 Holzkessel	–	*	*		
Nachstellzeit Sequenz 1 Holzkessel	min	*	*		
Holzkessel EIN bei Sollwert Feuerungsleistung	%	35	35		
Holzkessel AUS bei Sollwert Feuerungsleistung	%	25	25		
P-Verstärkung Sequenz 2 Ölkessel	–	*	*		
Nachstellzeit Sequenz 2 Ölkessel	min	*	*		
Ölkessel Stufe 1 EIN bei Sollwert Feuerungsleistung	%	45	45		
Ölkessel Stufe 1 AUS bei Sollwert Feuerungsleistung	%	35	35		
Ölkessel Stufe 2 EIN bei Sollwert Feuerungsleistung	%	75	75		
Ölkessel Stufe 2 AUS bei Sollwert Feuerungsleistung	%	65	65		
Sequenzregler auf die Ventilhübe: Holzkessel AUS – Kesselkreis-ventil Holz 0...100% – Kesselkreisventil Öl 0...100%					
Sollwert Hauptvorlauftemperatur	°C			85	
P-Verstärkung Sequenz 1 Holzkessel	–			*	
Nachstellzeit Sequenz 1 Holzkessel	min			*	
P-Verstärkung Sequenz 2 Ölkessel	–			*	
Nachstellzeit Sequenz 2 Ölkessel	min			*	
Freigabe Ölkessel					
Sollwert Feuerungsleistung Holzkessel	%	>99	>99	>99	>99
UND Verzögerungszeit	min	30	30	30	30
Sperrung Ölkessel					
Sollwert Feuerungsleistung Holzkessel	%	<90	<90	<90	<90
UND Verzögerungszeit	min	15	15	15	15
Heizleistung Holzkessel					
Minimale Heizleistung mit Referenzbrennstoff 30%	kW	48	48	48	48
Maximale Heizleistung mit Referenzbrennstoff 100%	kW	160	160	160	160
Temporäre Begrenzung zur Erzwingung der Folgeschaltung 80%	kW	128	–	128	–
Heizleistung Ölkessel					
Heizleistung Stufe 1	kW	130	130	130	130
Heizleistung Stufe 2	kW	190	190	190	190
* Die Regelparameter sind bekannt, werden aber auf Wunsch des Holzkesselherstellers nicht veröffentlicht					

Tabelle 11: Für die Versuche verwendete Sollwerte und Regelparameter (Fortsetzung)

4.2 Hauptvariante WE3.1 bei mittlerer Last

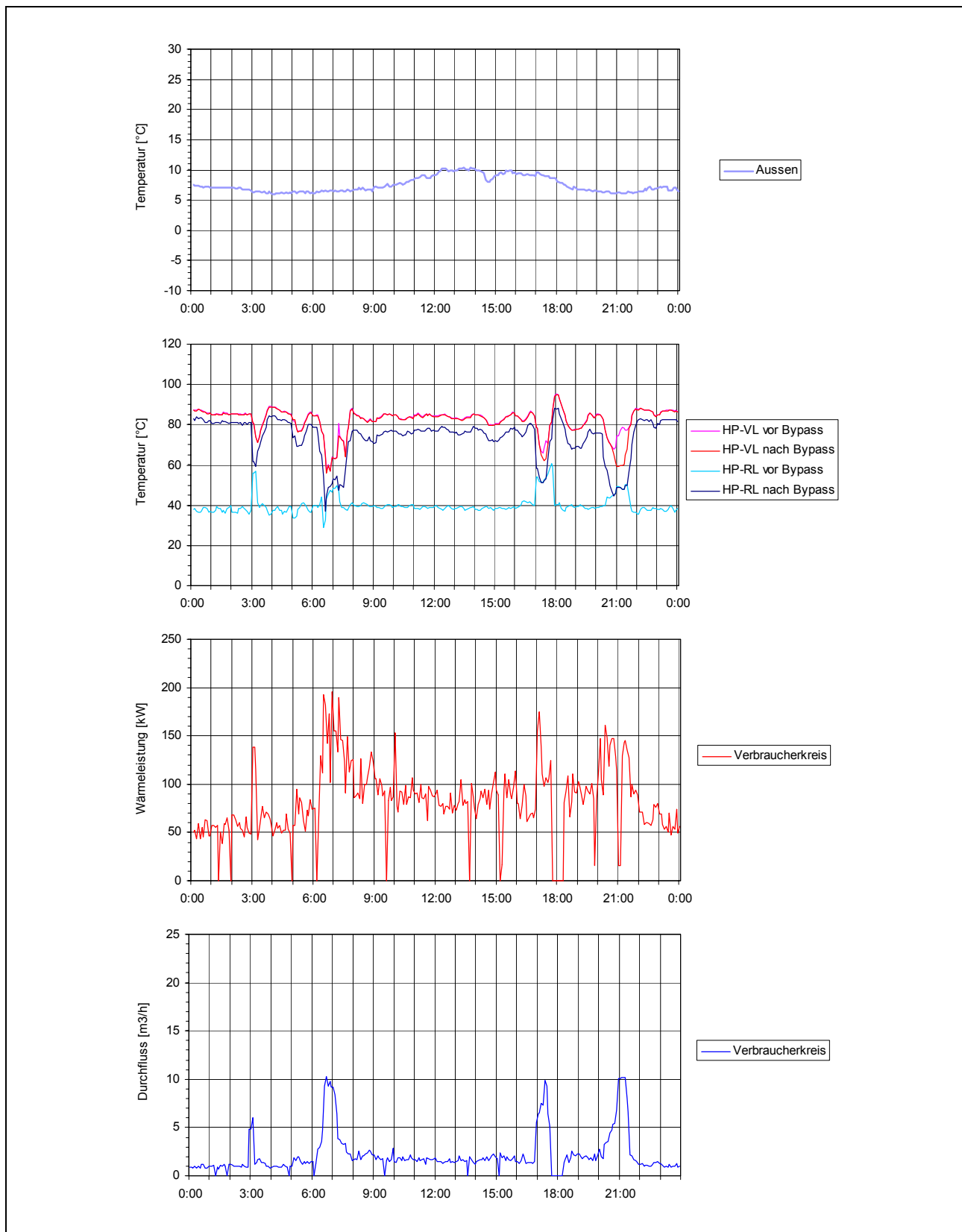


Abbildung 12: Regelkonzept WE3.1 bei mittlerer Last, Freitag, 2.3.07, Woche 9

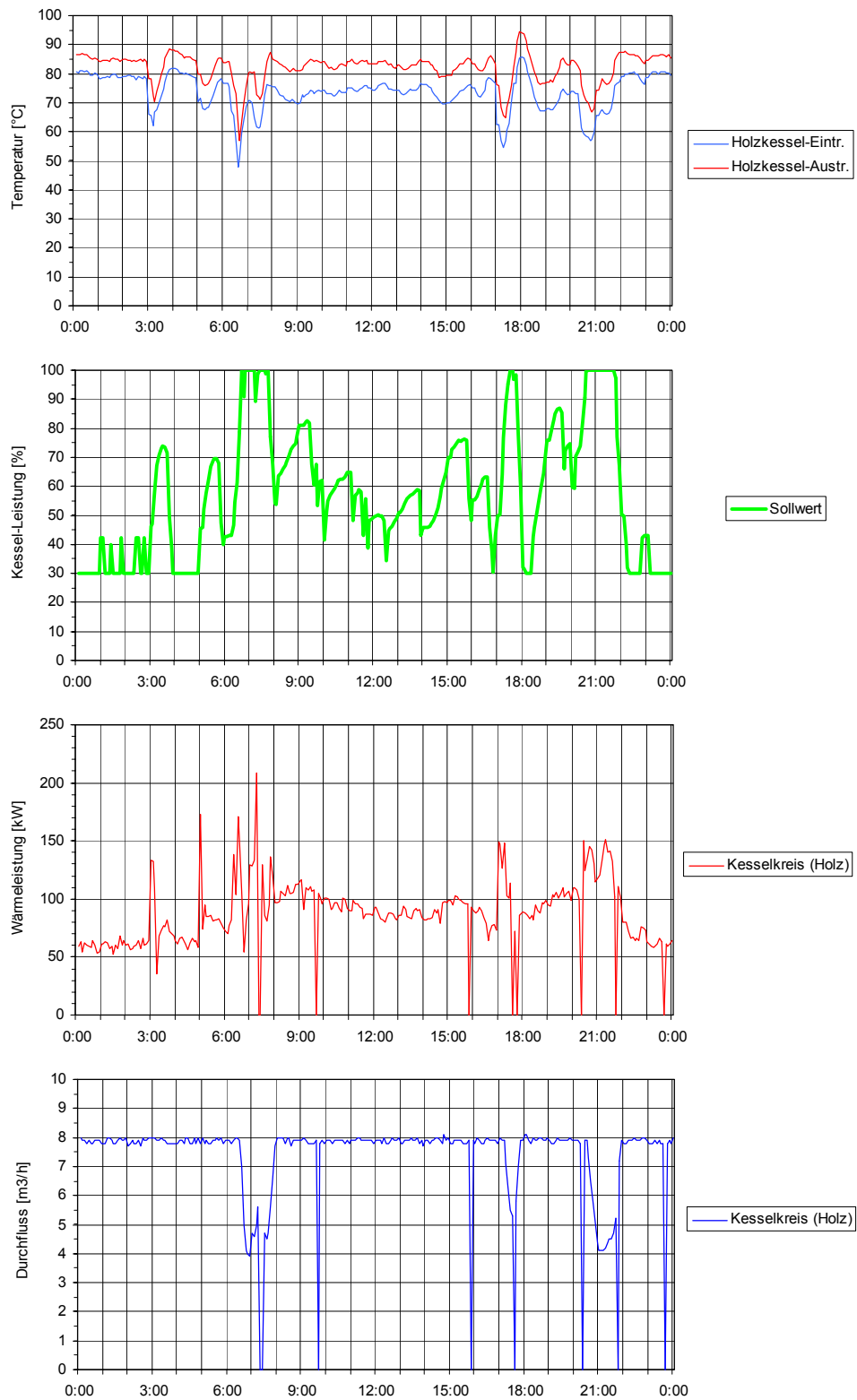


Abbildung 13: Regelkonzept WE3.1 bei mittlerer Last, Freitag, 2.3.07, Woche 9 (Fortsetzung)

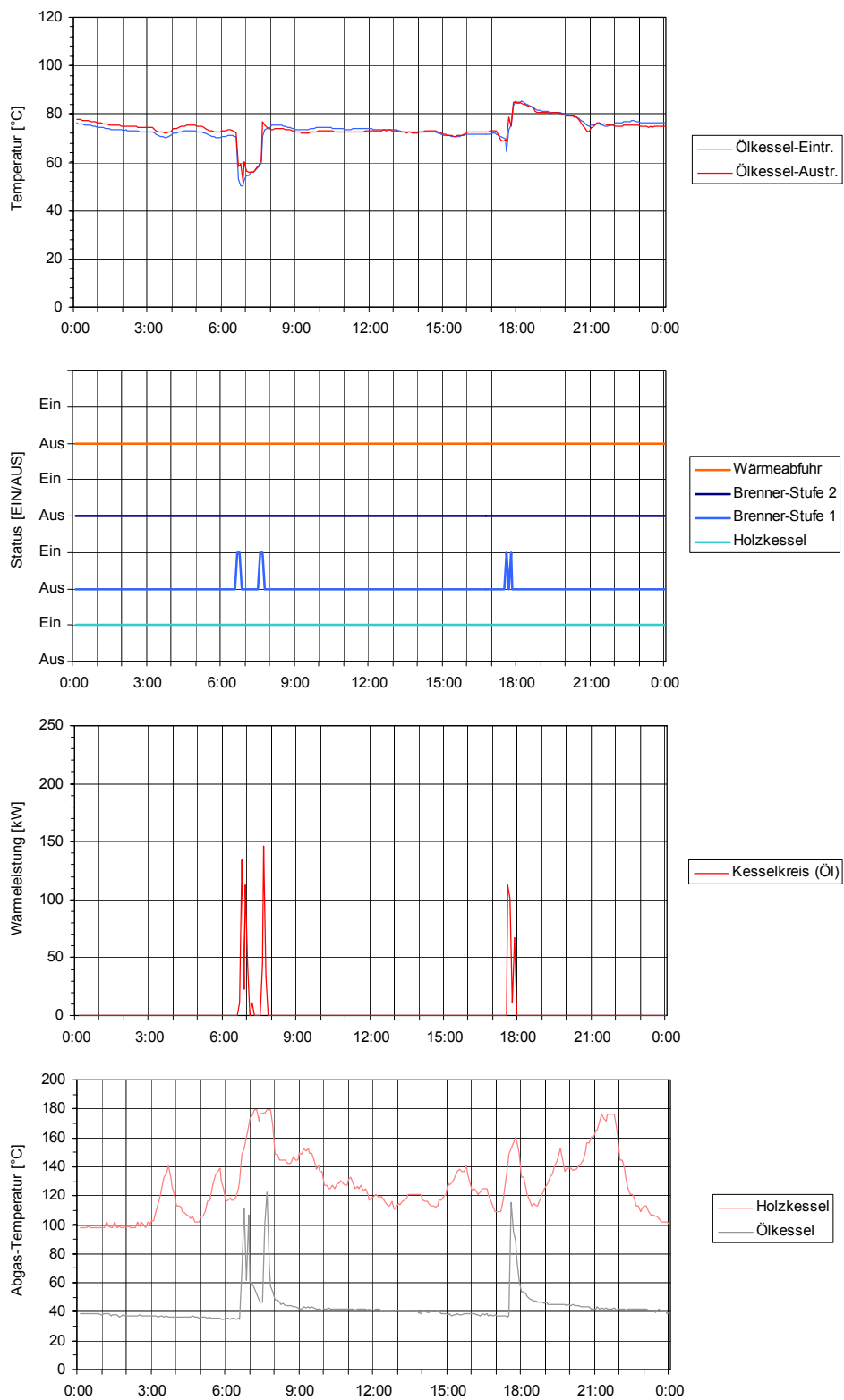


Abbildung 14: Regelkonzept WE3.1 bei mittlerer Last, Freitag, 2.3.07, Woche 9 (Fortsetzung)

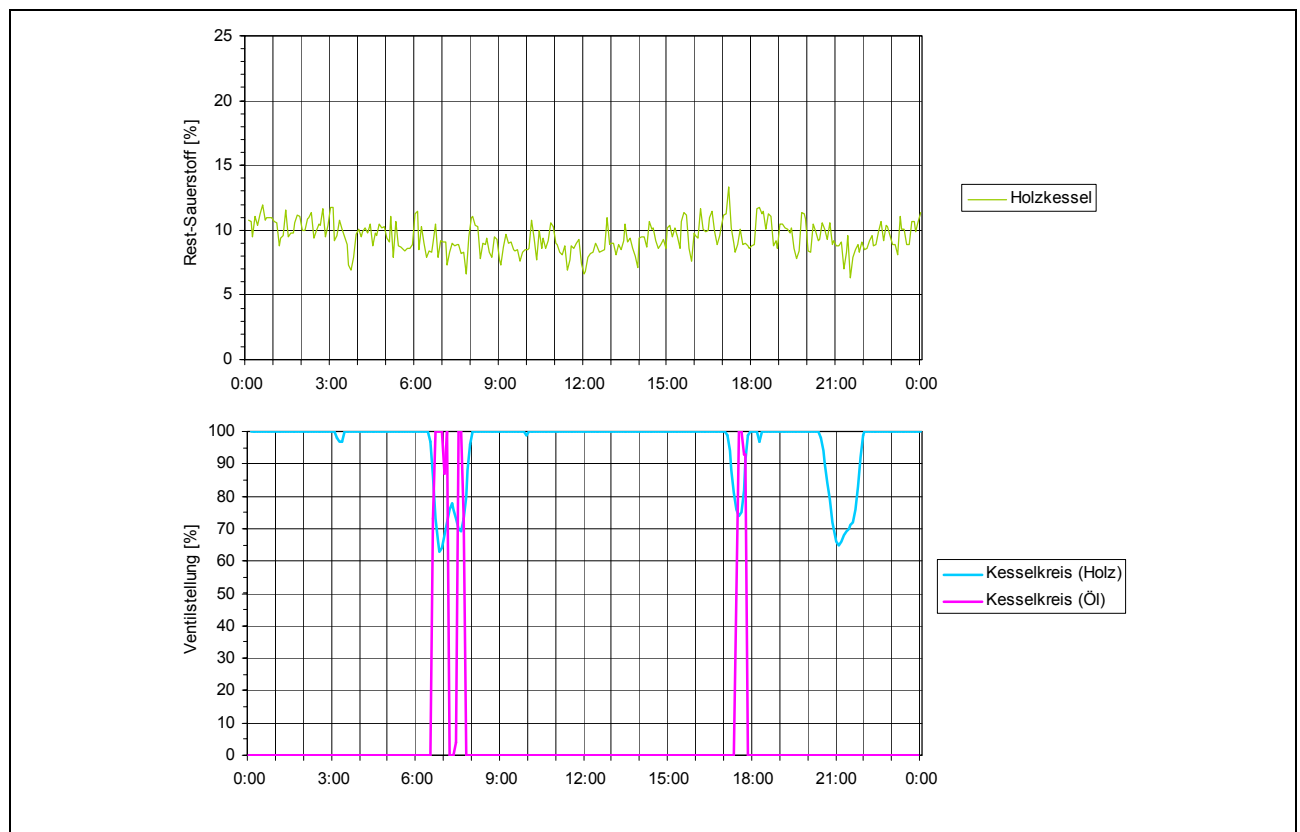


Abbildung 15: Regelkonzept WE3.1 bei mittlerer Last, Freitag, 2.3.07, Woche 9 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 12 bis Abbildung 15

Der Verbraucherdurchfluss liegt während eines grossen Teil des Tages bei 1...2 m³/h. Um etwa 03:00, 07:00, 17:00 und 21:00 Uhr erfolgt dann jeweils ein plötzlicher Anstieg des Durchflusses auf bis zu 10 m³/h. Diese Verfünffachung des Durchflusses reisst die Temperatur des Holzkessels zusammen und lässt diesen für kurze Zeit in Rücklaufhochhaltung gehen. Wenn dann der Holzkessel auch noch für eine minimale Zeit auf 100% Feuerungssollwert kommt, wird auch noch der Ölkessel hinzugeschaltet. Daran ändert sich auch nichts, wenn der Rücklauf relativ schnell wärmer zurückkommt.

4.3 Hauptvariante WE3.1 bei kleiner Last

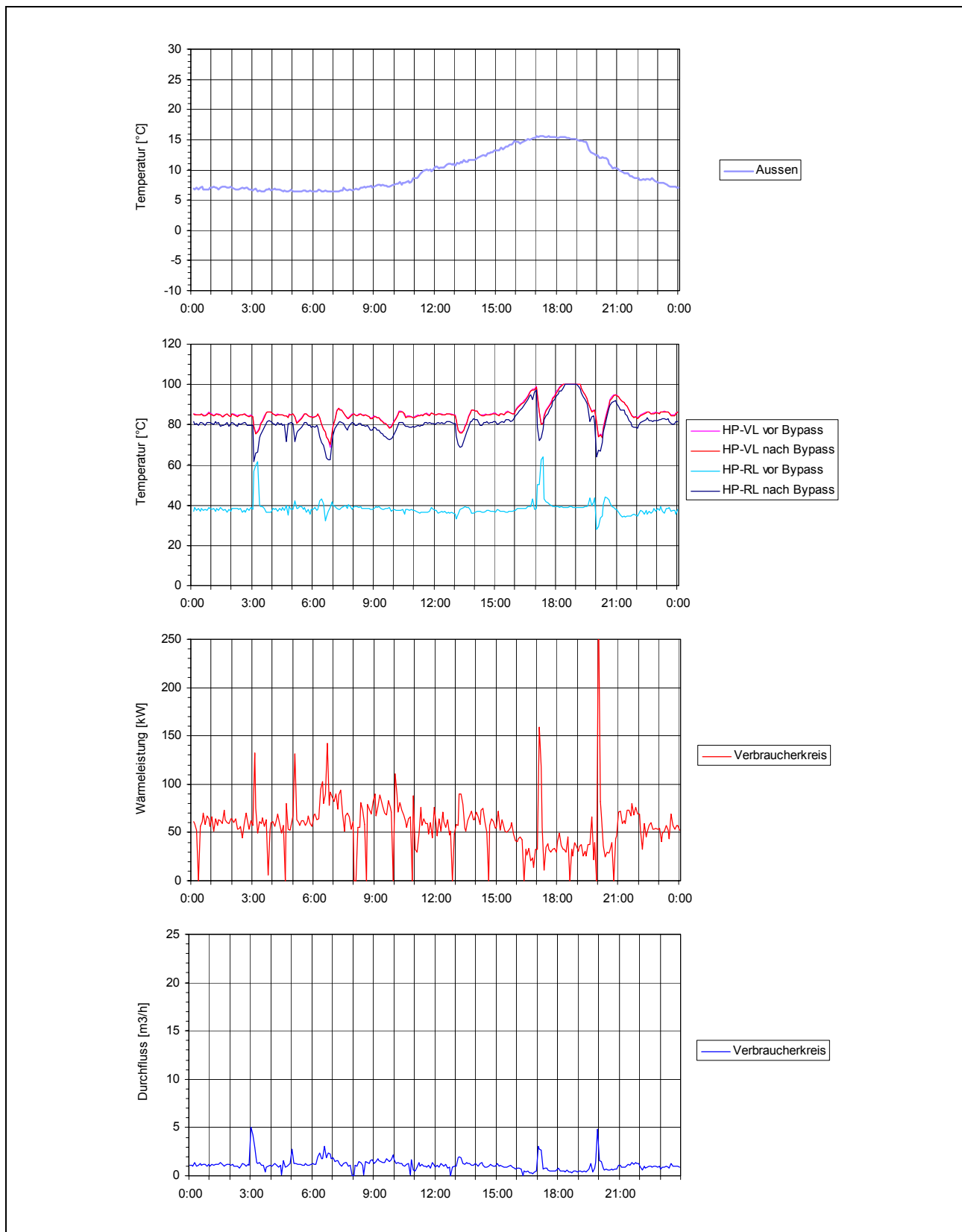


Abbildung 16: Regelkonzept WE3.1 bei kleiner Last, Sonntag, 1.4.07, Woche 13

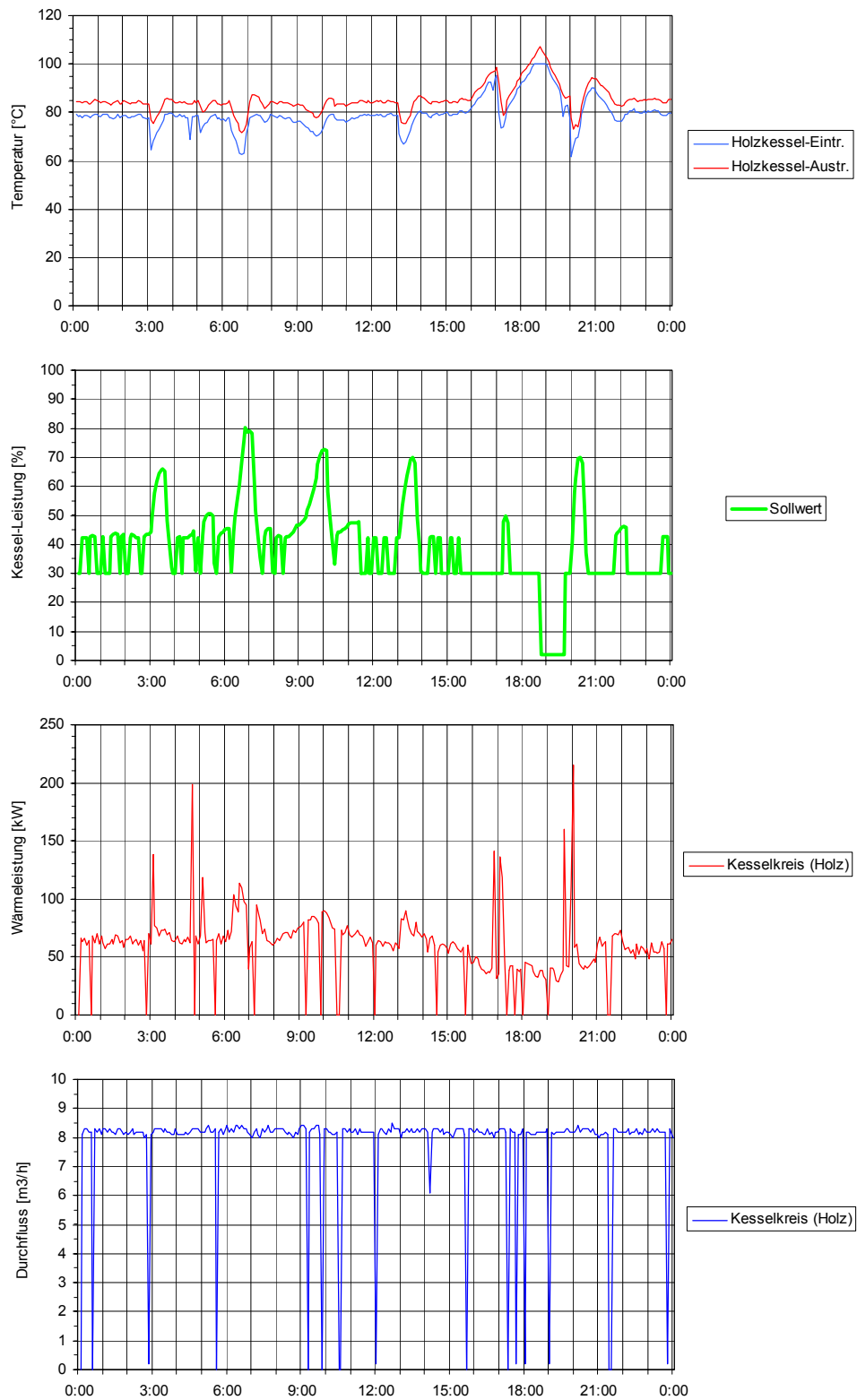


Abbildung 17: Regelkonzept WE3.1 bei kleiner Last, Sonntag, 1.4.07, Woche 13 (Fortsetzung)

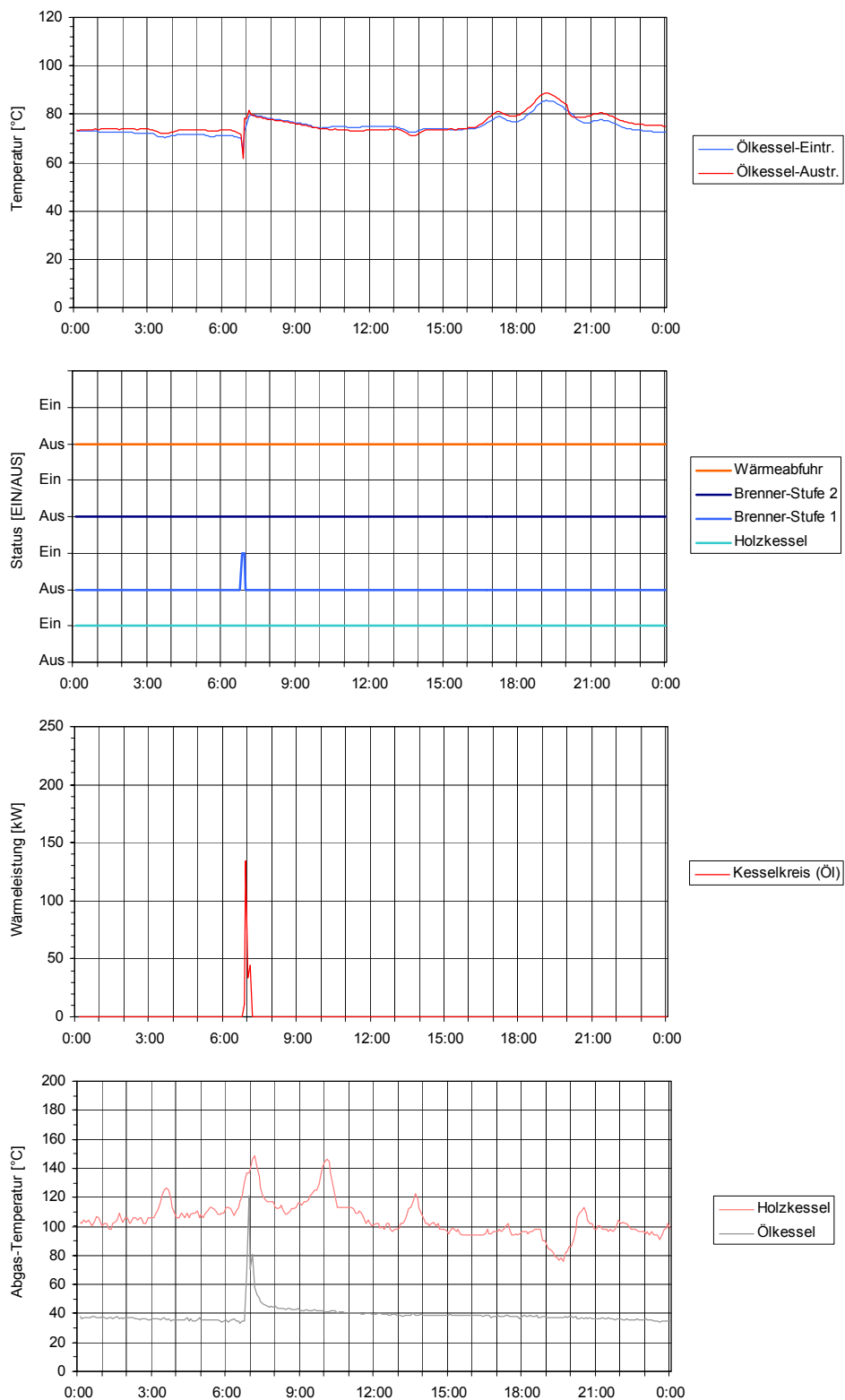


Abbildung 18: Regelkonzept WE3.1 bei kleiner Last, Sonntag, 1.4.07, Woche 13 (Fortsetzung)

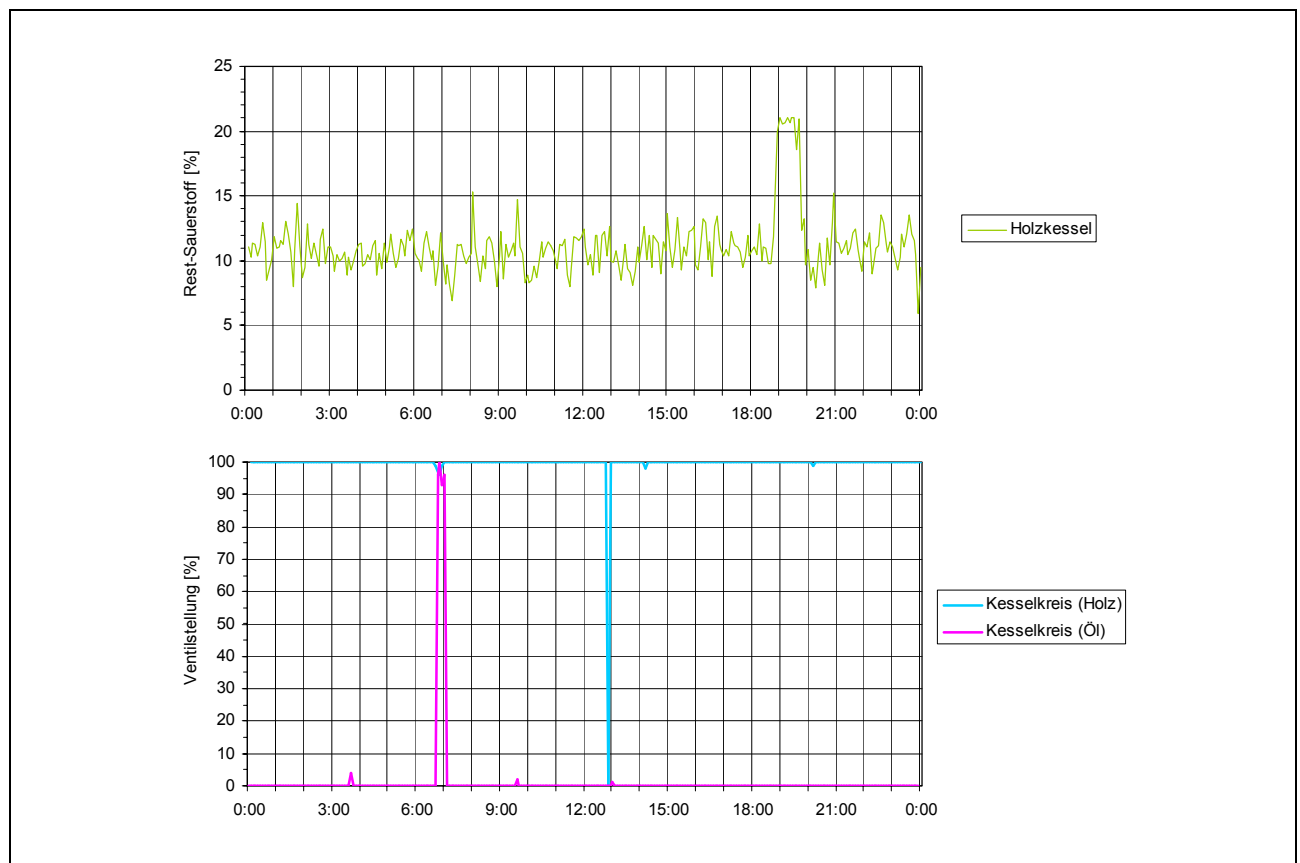


Abbildung 19: Regelkonzept WE3.1 bei kleiner Last, Sonntag, 1.4.07, Woche 13 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 16 bis Abbildung 19

Wichtige Bemerkung: Bei diesem Versuch war die Holzkesselleistung auf 80% begrenzt. Deshalb kommt bei der Morgenspitze kurz der Ölkessel. Ansonsten spielt diese Begrenzung hier jedoch keine Rolle.

Schön ist am Abend zu erkennen, wie der Regler zwischen 17:30 und 18:45 versucht, die Temperatur bei Minimalleistung zu halten. Kurz vor 19:00 steigt die Temperatur aber auf über 100°C an und der Holzkessel wird für etwa eine Stunde ausgeschaltet. Kurz vor 20:00 kommt dann der Holzkessel wieder mit Minimalleistung und regelt von da an wieder zwischen Minimalleistung und darüber.

4.4 Hauptvariante mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel (WE3.2) bei mittlerer Last

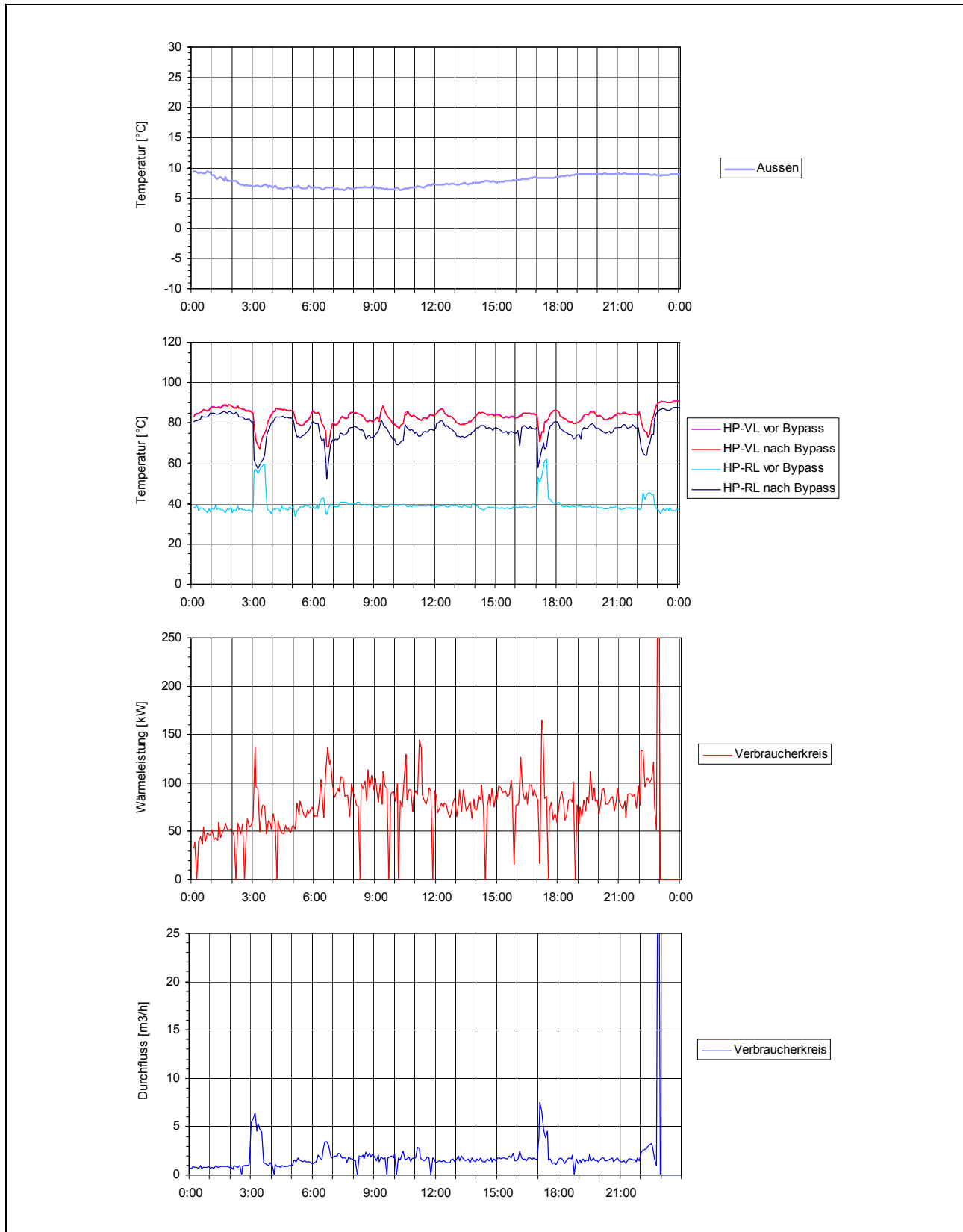


Abbildung 20: Regelkonzept WE3.2 mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel bei mittlerer Last, Mittwoch, 4.4.07, Woche 14

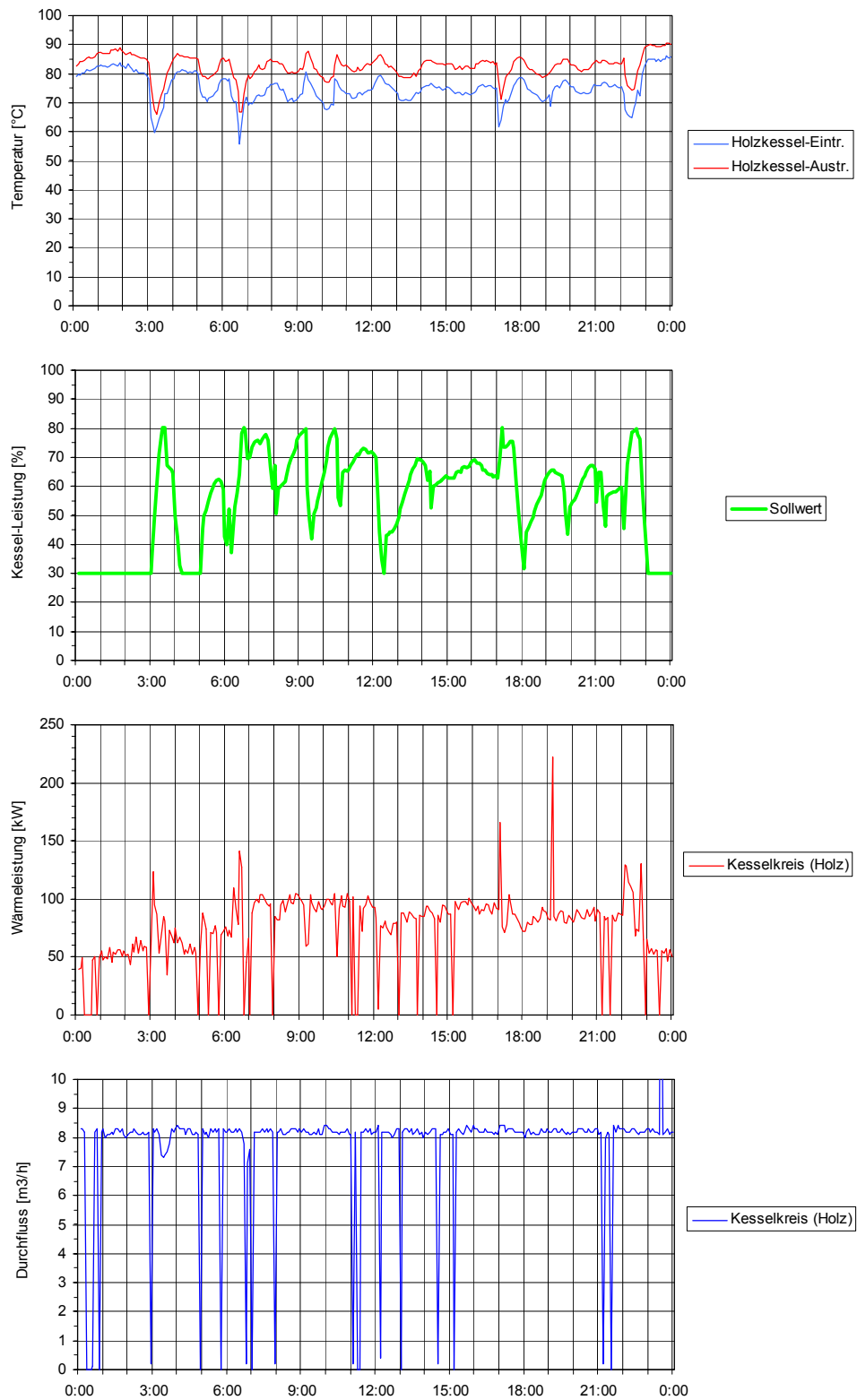


Abbildung 21: Regelkonzept WE3.2 mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel bei mittlerer Last, Mittwoch, 4.4.07, Woche 14 (Fortsetzung)

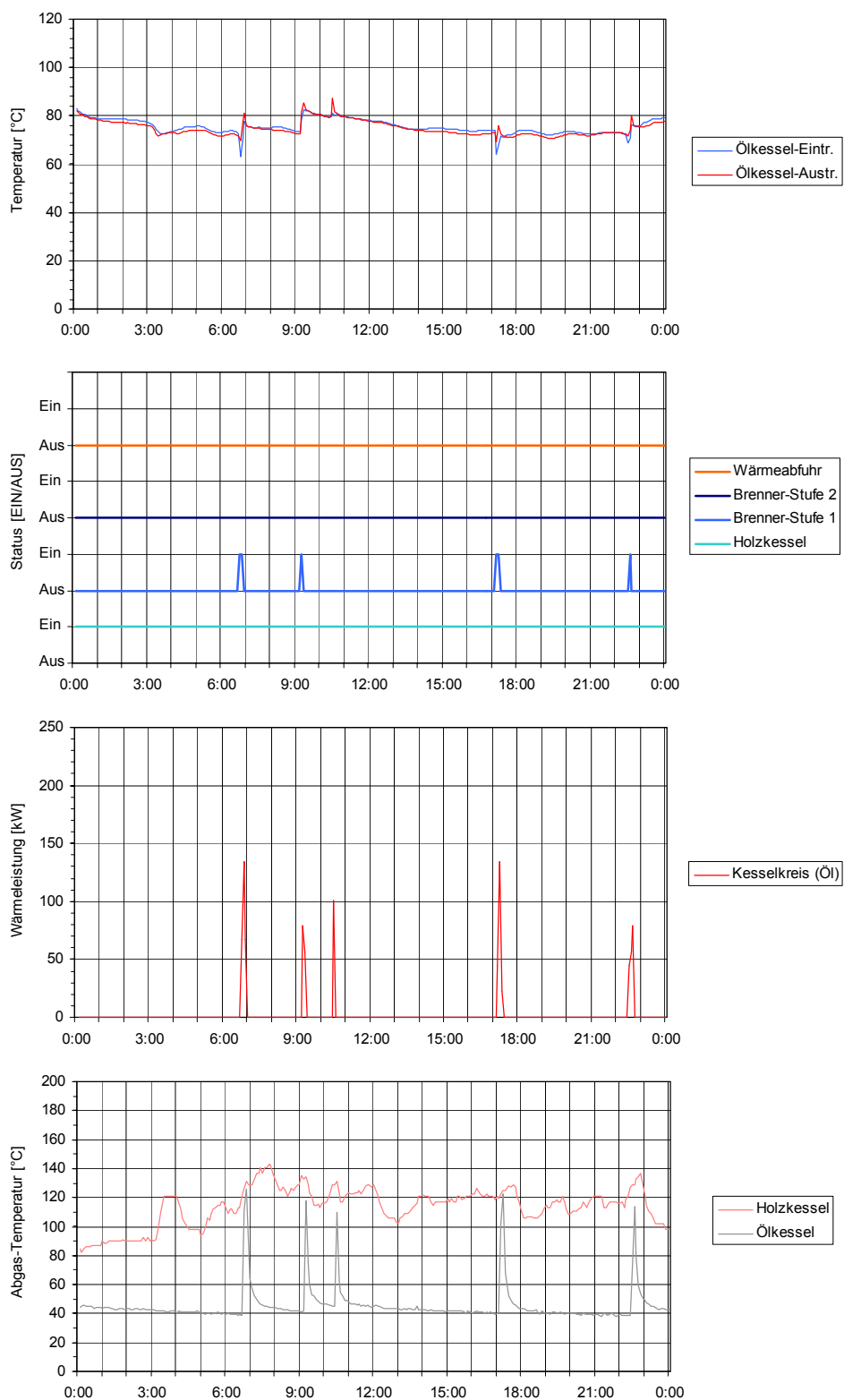


Abbildung 22: Regelkonzept WE3.2 mit zusätzlicher Austrittstemperrreglung beim Öl-/Gaskessel bei mittlerer Last, Mittwoch, 4.4.07, Woche 14 (Fortsetzung)

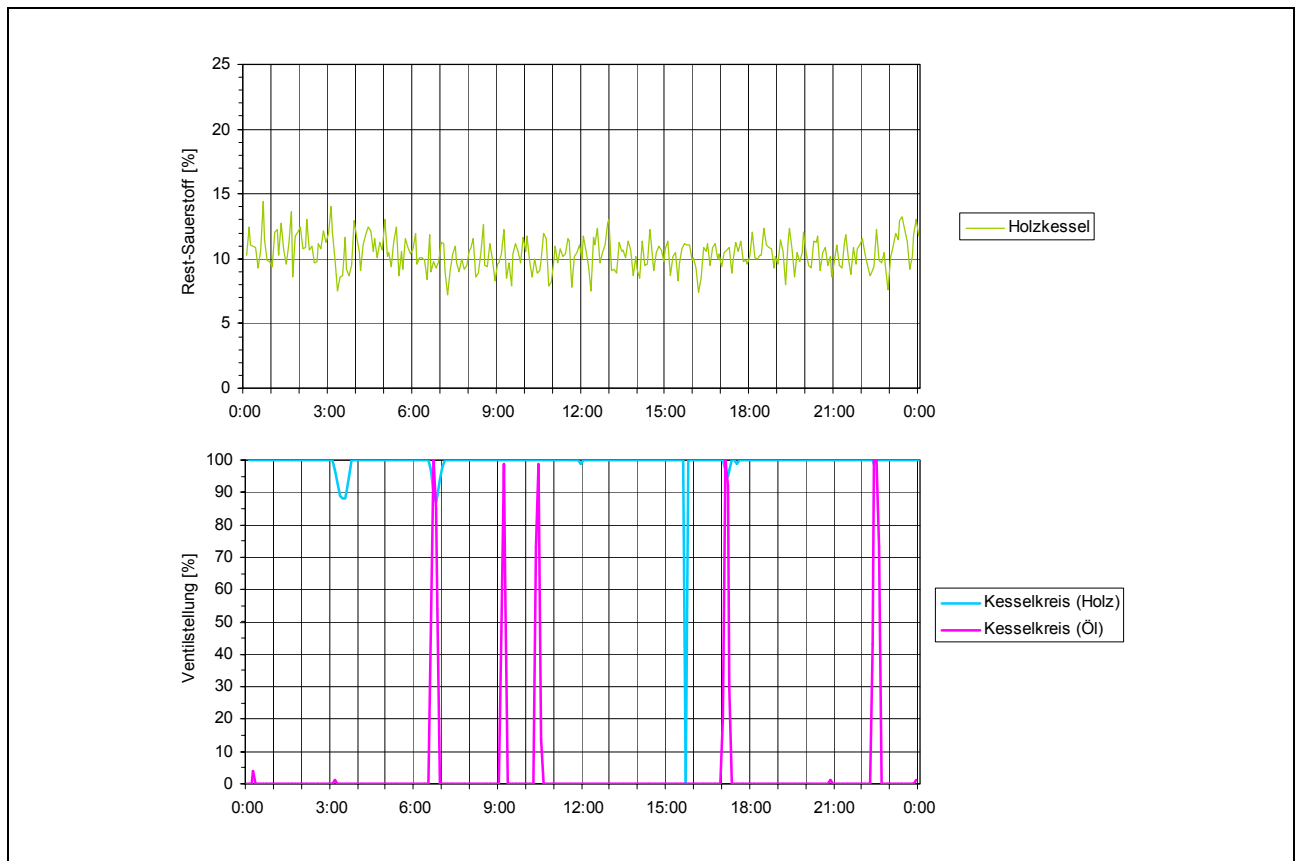


Abbildung 23: Regelkonzept WE3.2 mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung beim Öl-/Gaskessel bei mittlerer Last, Mittwoch, 4.4.07, Woche 14 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 20 bis Abbildung 23

Wichtige Bemerkung: Bei diesem Versuch war die Holzkesselleistung auf 80% begrenzt.

Der Unterschied zu Regelkonzept WE3.1 ist hier nur, dass die Austrittstemperatur des Ölkessels geregelt wird (siehe Abschnitt 3.3). Dieses Regelkonzept soll angewendet werden, wenn das Floaten minimiert werden soll, weil nach oben keine Temperaturreserve besteht.

Der gewünschte Effekt kann jedoch nur beobachtet werden, wenn der Holzkessel für längere Zeit auf Maximallast läuft und der Ölkessel während dieser Zeit auf eine nennenswerte zusätzliche Leistung geregelt werden kann. Leider zeigte sich, dass die gewünschte Last – trotz der Begrenzung der Holzkesselleistung auf 80% – bei den zur Verfügung stehenden Witterungsverhältnissen bei weitem nicht erreicht werden konnte.

4.5 Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (WE3.4) bei mittlerer Last

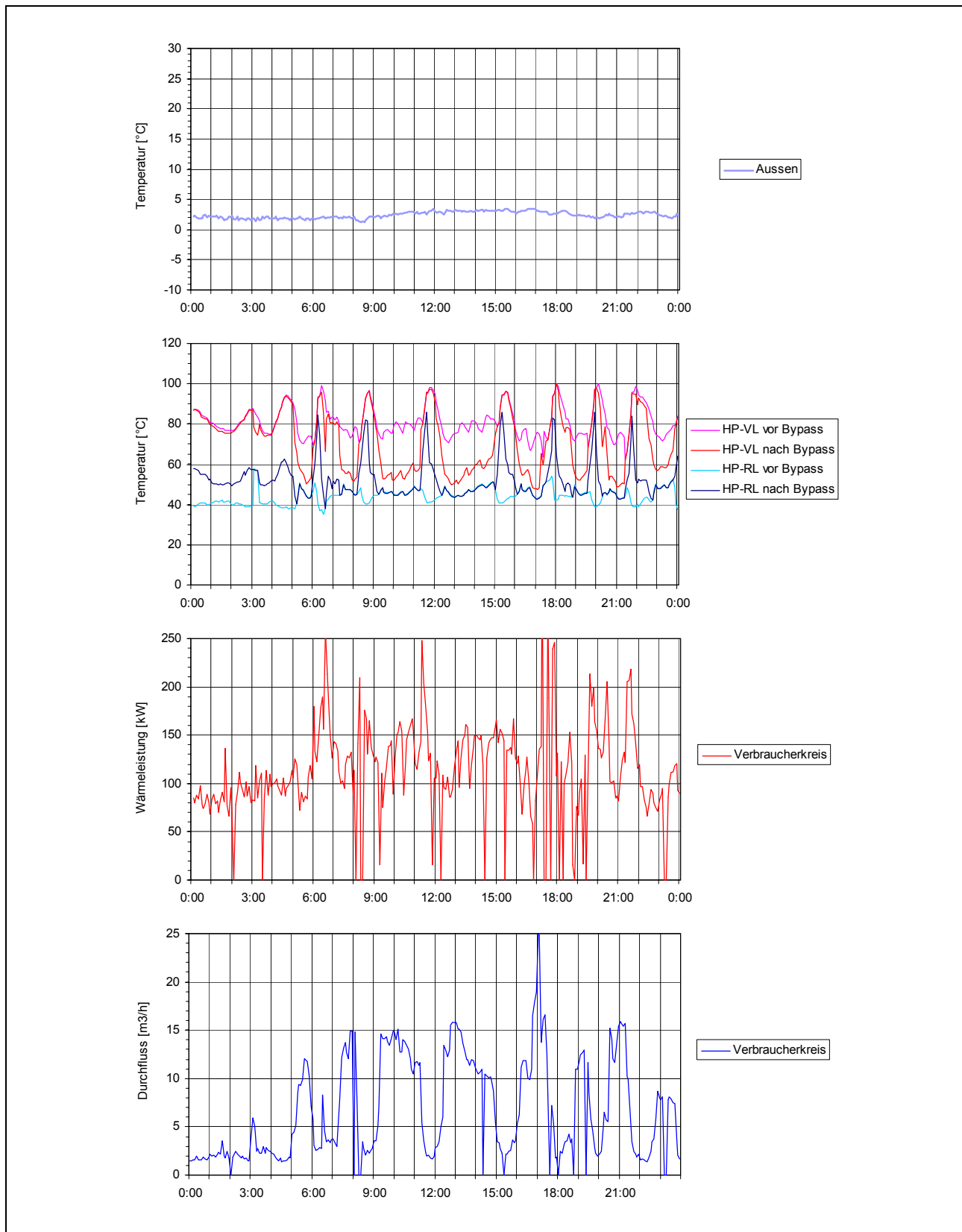


Abbildung 24: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei mittlerer Last, Freitag, 23.3.07, Woche 12

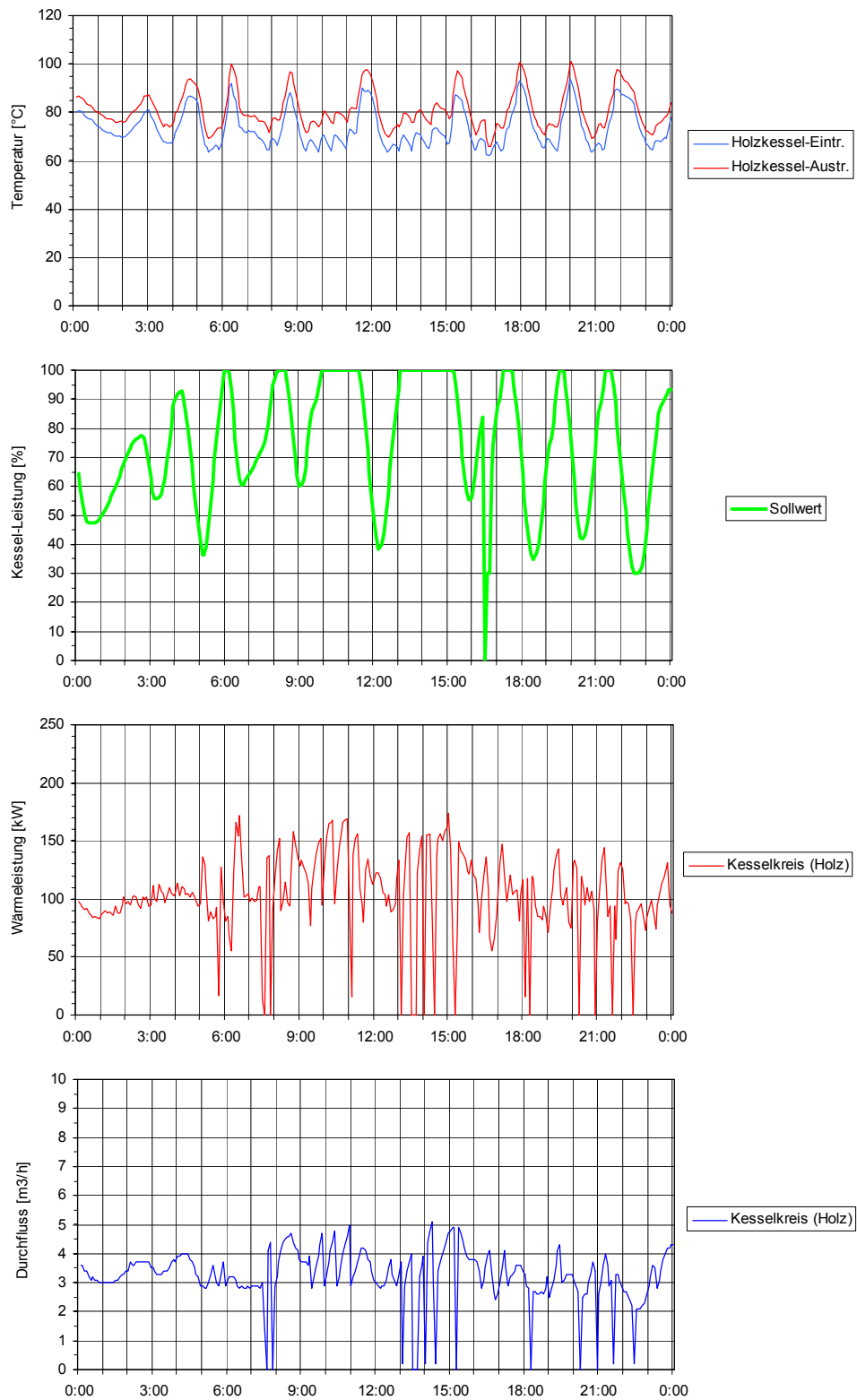


Abbildung 25: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei mittlerer Last, Freitag, 23.3.07, Woche 12 (Fortsetzung)

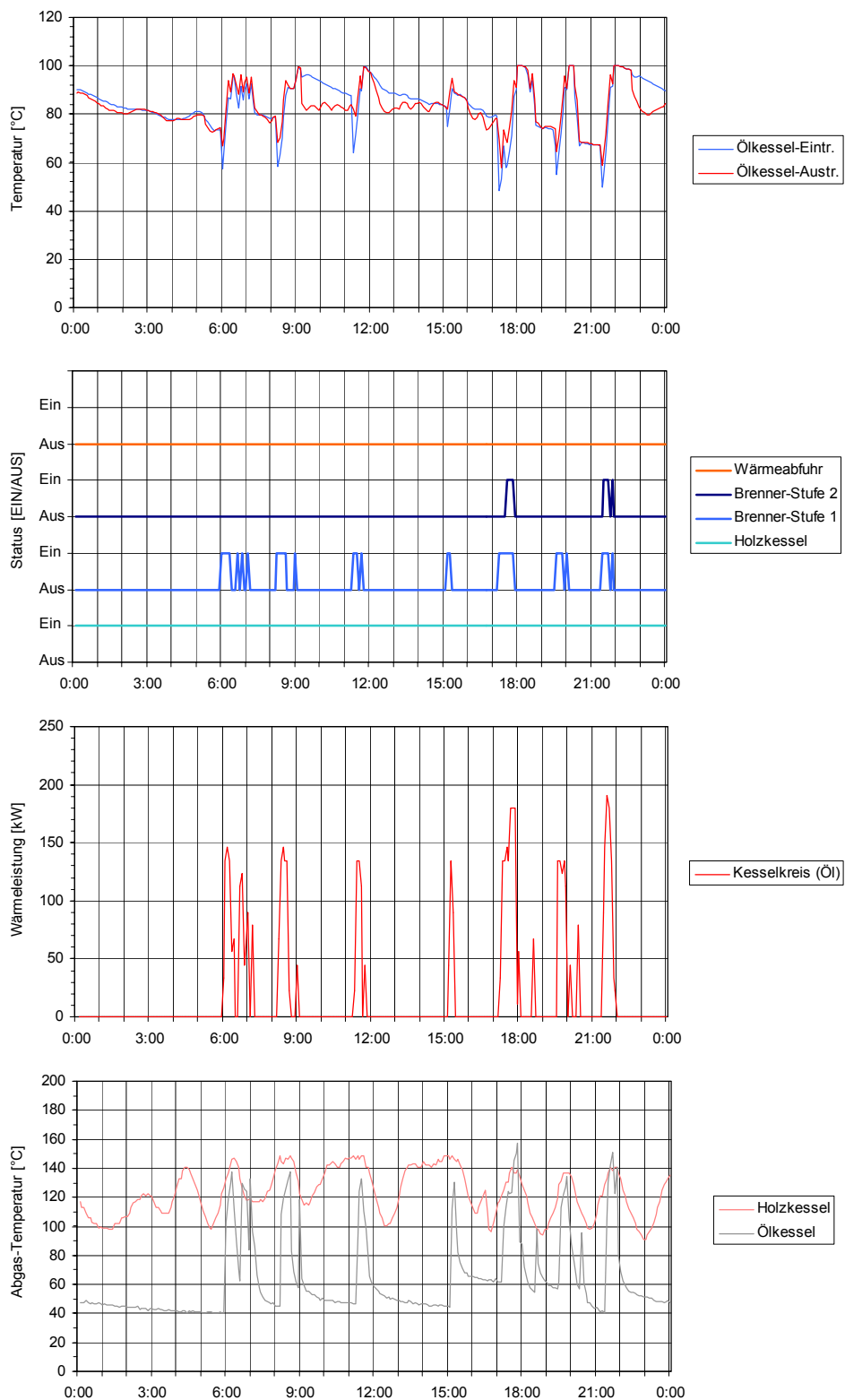


Abbildung 26: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei mittlerer Last, Freitag, 23.3.07, Woche 12 (Fortsetzung)

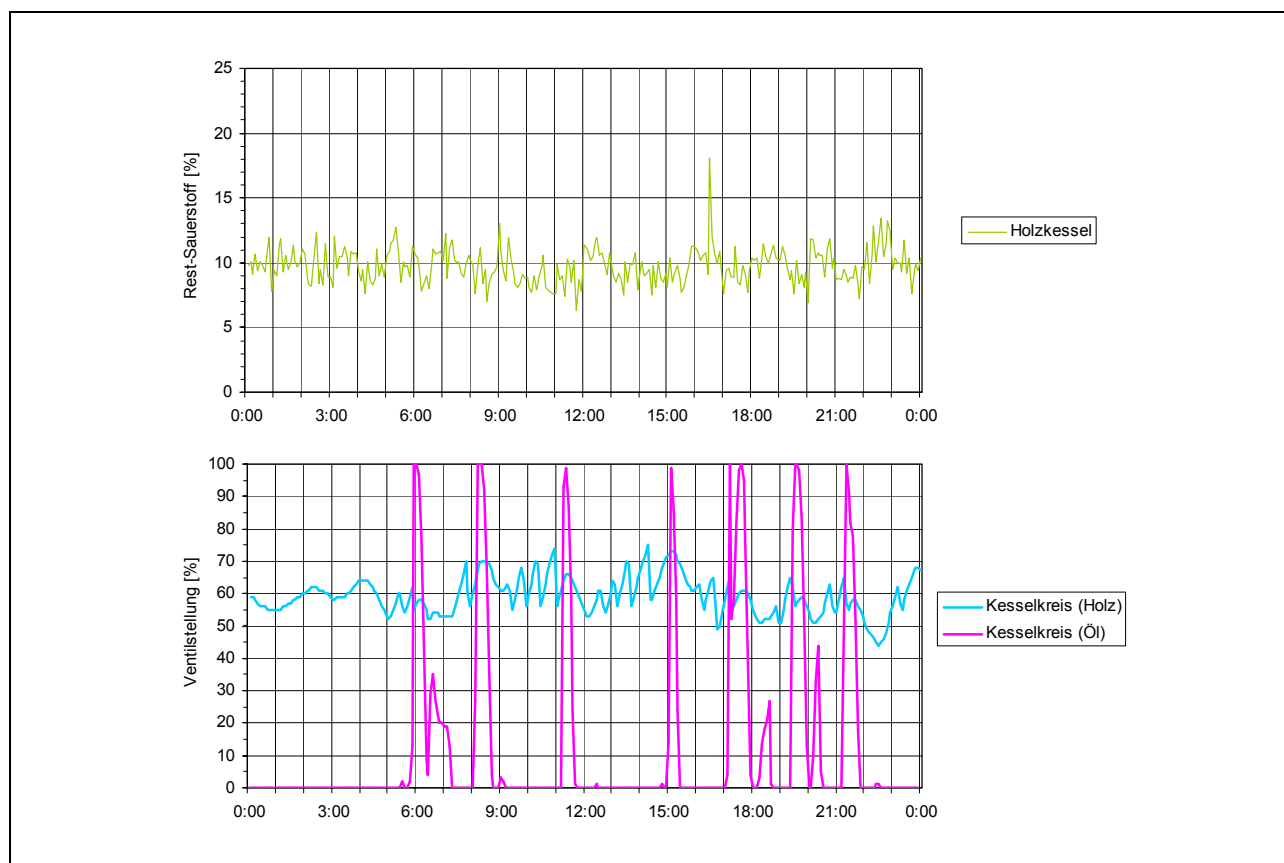


Abbildung 27: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei mittlerer Last, Freitag, 23.3.07, Woche 12 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 24 bis Abbildung 27

Bei WE3.4 wird anstatt auf die Feuerungsleistung auf den Ventilhub der Kesselkreis-Dreiwegventile des Holz- und des Ölkessels geregelt, während die Feuerungsleistung über die internen Kesselregler geregelt wird. Ausserdem wird bei WE3.4 die Hauptvorlauftemperatur – also die Hauptregelgrösse – nicht vor, sondern nach dem Bypass gemessen.

Durch die Regelung auf die Kesselkreisventile variiert beim Holzkessel die Ventilstellung etwa zwischen 45 und 75%, was einen Durchfluss zwischen 2 und 5 m³/h ergibt. Beim Ölkessel variiert die Ventilstellung viel stärker (der Durchfluss ist hier nicht bekannt, weil kein Wärmezähler vorhanden ist).

Ausserdem findet bei WE3.4 viel öfter eine Durchfluss-Umkehr im Bypass statt als bei WE3.1, weil bei WE3.4 die Kesseldurchflüsse variabel sind, während diese bei WE3.1 konstant sind, solange keine Rücklaufhochhaltung notwendig ist.

Zwischen ca. 09:00 und 11:00 Uhr und dann wieder zwischen ca. 13:00 und 15:00 Uhr wird der Bypass von unten nach oben durchflossen (Hauptrücklauftemperatur vor und nach dem Bypass gleich). Während dieser Zeit wird der Hauptvorlauf vor dem Bypass durch den Internregler des Holzkessels konstant auf ca. 80°C geregelt. Nach 11:00 bzw. nach 15:00 Uhr schaltet unnötigerweise der Ölkessel ein (Holzkessel längere Zeit auf 100%), der Durchfluss im Bypass kehrt um und die Hauptvorlauftemperatur steigt gegen 100°C.

Es ist nicht erkennbar, auf welchen Sollwert die Hauptvorlauftemperatur nach dem Bypass (Hauptregelgrösse) geregelt werden soll. Das Verhalten ist unbefriedigend, obwohl ein ähnlich hoher Optimierungsaufwand getrieben wurde wie bei WE3.1.

4.6 Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (WE3.4) bei kleiner Last

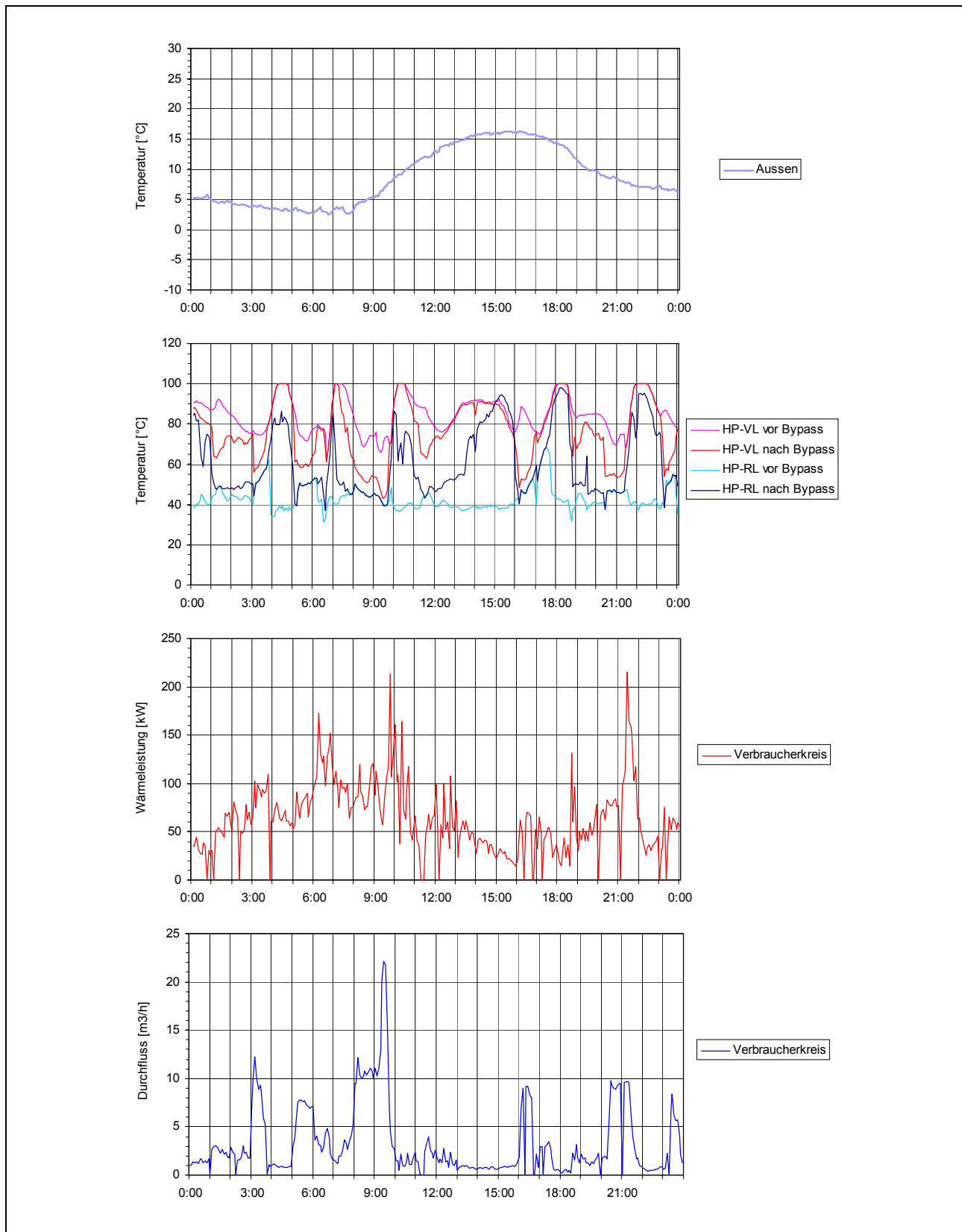


Abbildung 28: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei kleiner Last, Freitag, 16.3.07, Woche 11

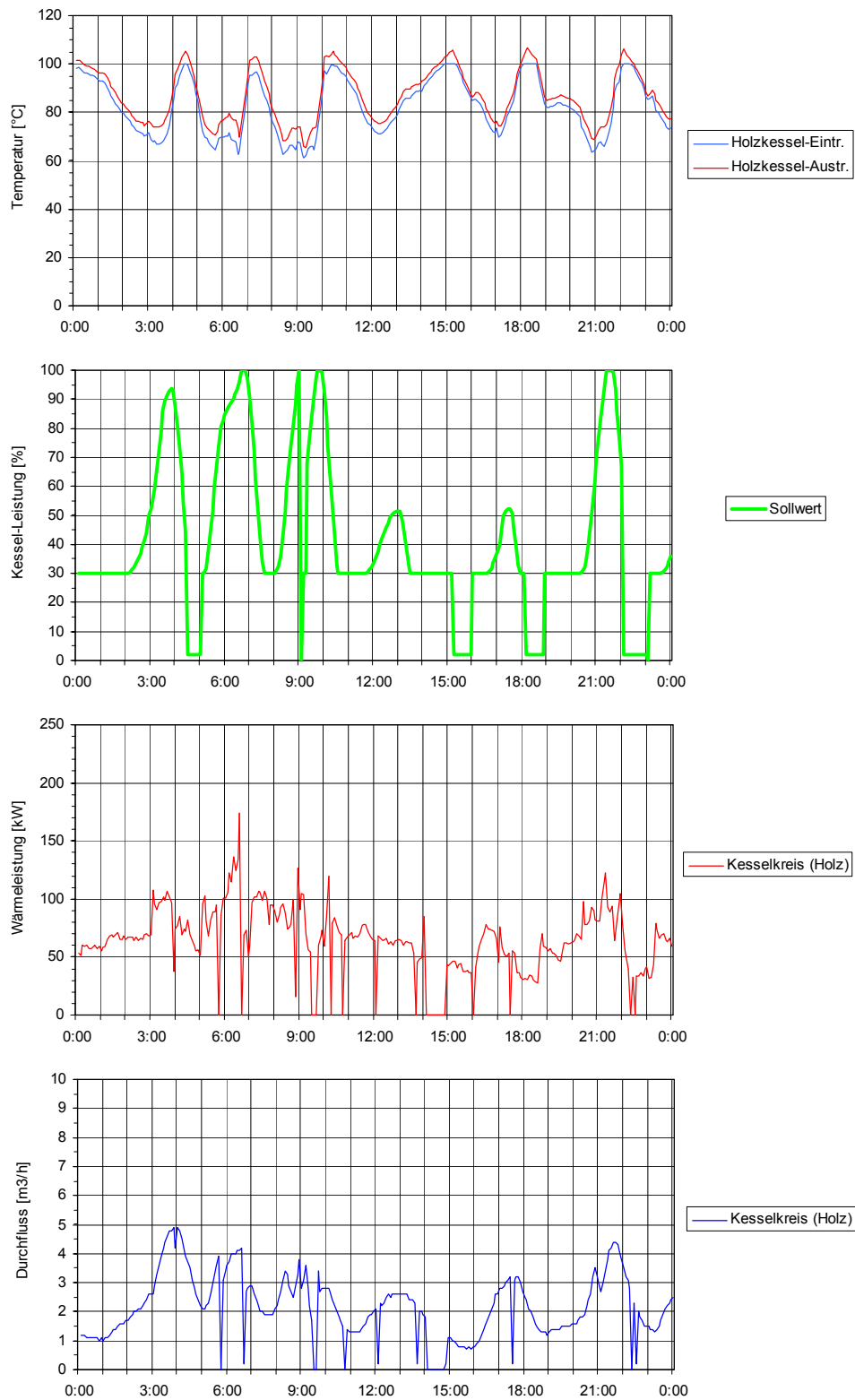


Abbildung 29: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei kleiner Last, Freitag, 16.3.07, Woche 11 (Fortsetzung)

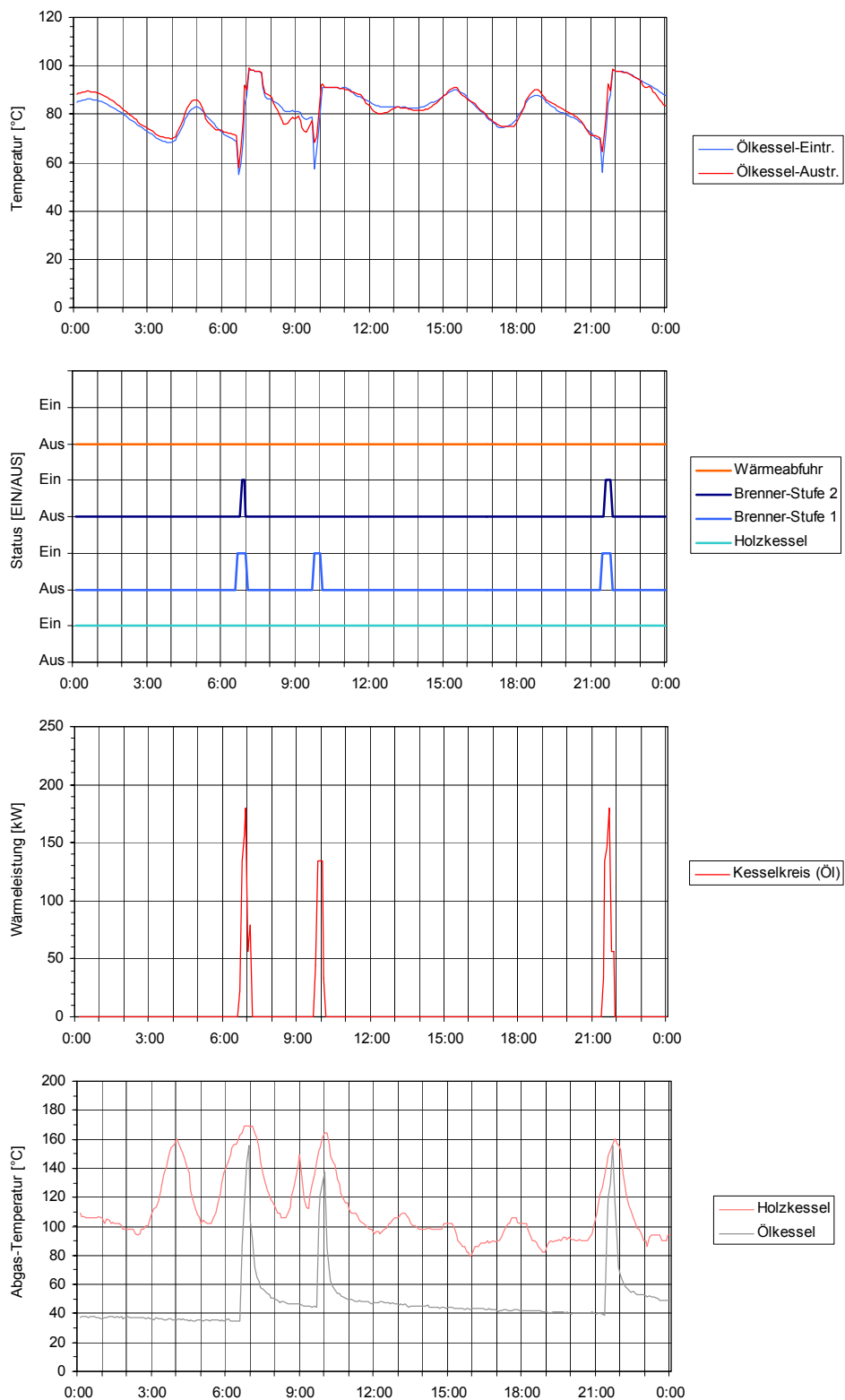


Abbildung 30: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei kleiner Last, Freitag, 16.3.07, Woche 11 (Fortsetzung)

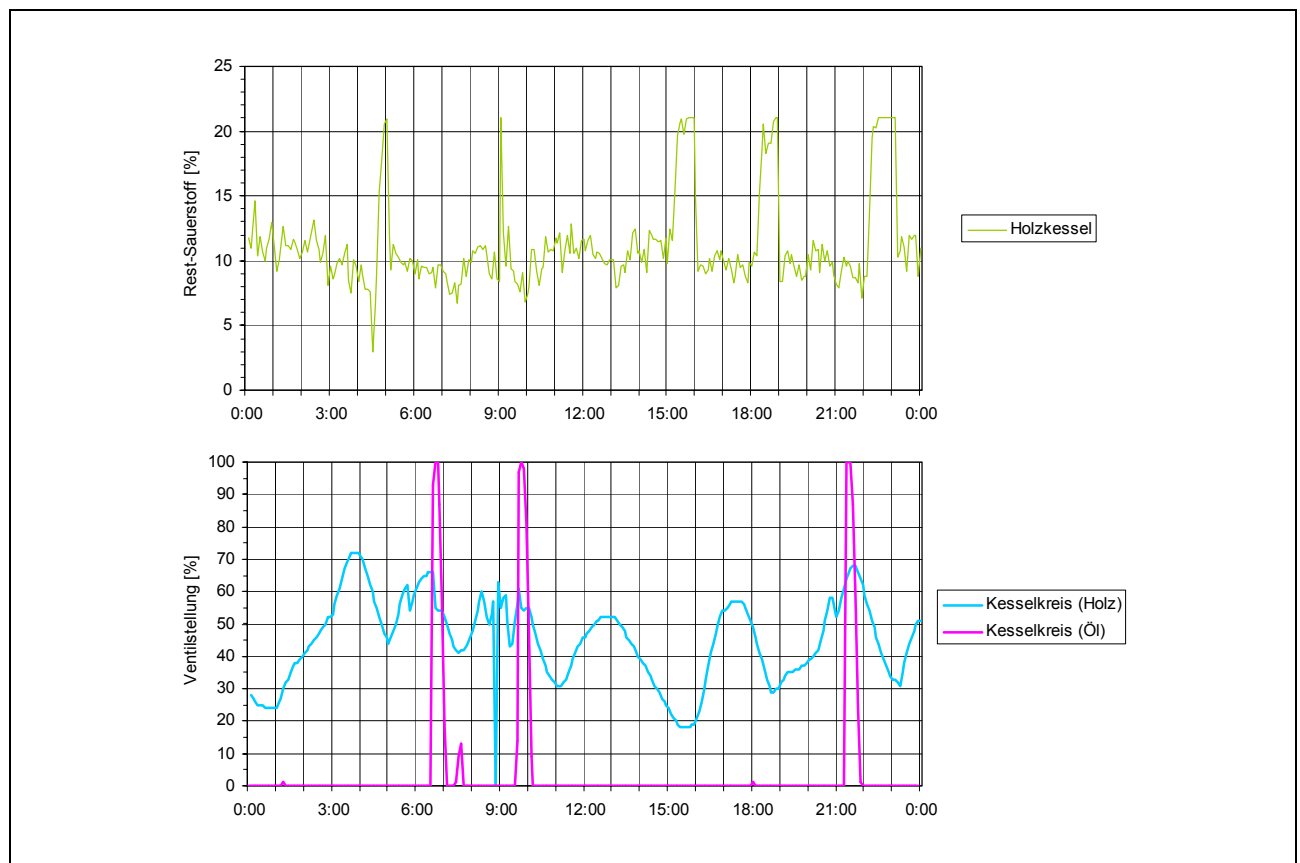


Abbildung 31: Regelkonzept WE3.4 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile bei kleiner Last, Freitag, 16.3.07, Woche 11 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 28 bis Abbildung 31

Auch bei mehrheitlich kleiner Last zeigt WE3.4 kein befriedigendes Verhalten.

Solange die Anlage noch auf mittlerer Last läuft, also in der Nacht und am Vormittag, schwankt die Holzkesseleistung stark zwischen 0% und 100%.

Nach dem Mittag läuft die Anlage bei kleiner Last eher etwas besser. Um 12:00 Uhr sinkt die Temperatur und der Holzkessel geht auf 50% und wieder zurück auf Minimalleistung von 30%. Da dabei die Temperatur immer weiter ansteigt, geht der Holzkessel schliesslich bei 105°C auf 0%. Dieses Spiel wiederholt sich dann noch zweimal.

Auch hier ist nicht erkennbar, auf welchen Sollwert die Hauptvorlauftemperatur nach dem Bypass (Hauptregelgrösse) geregelt werden soll. Das Verhalten ist unbefriedigend. Die Einstellungen müssen noch optimiert werden.

4.7 Vereinfachte Folgeschchaltung ohne übergeordnetes MSR-System (WE3.5) bei kleiner Last

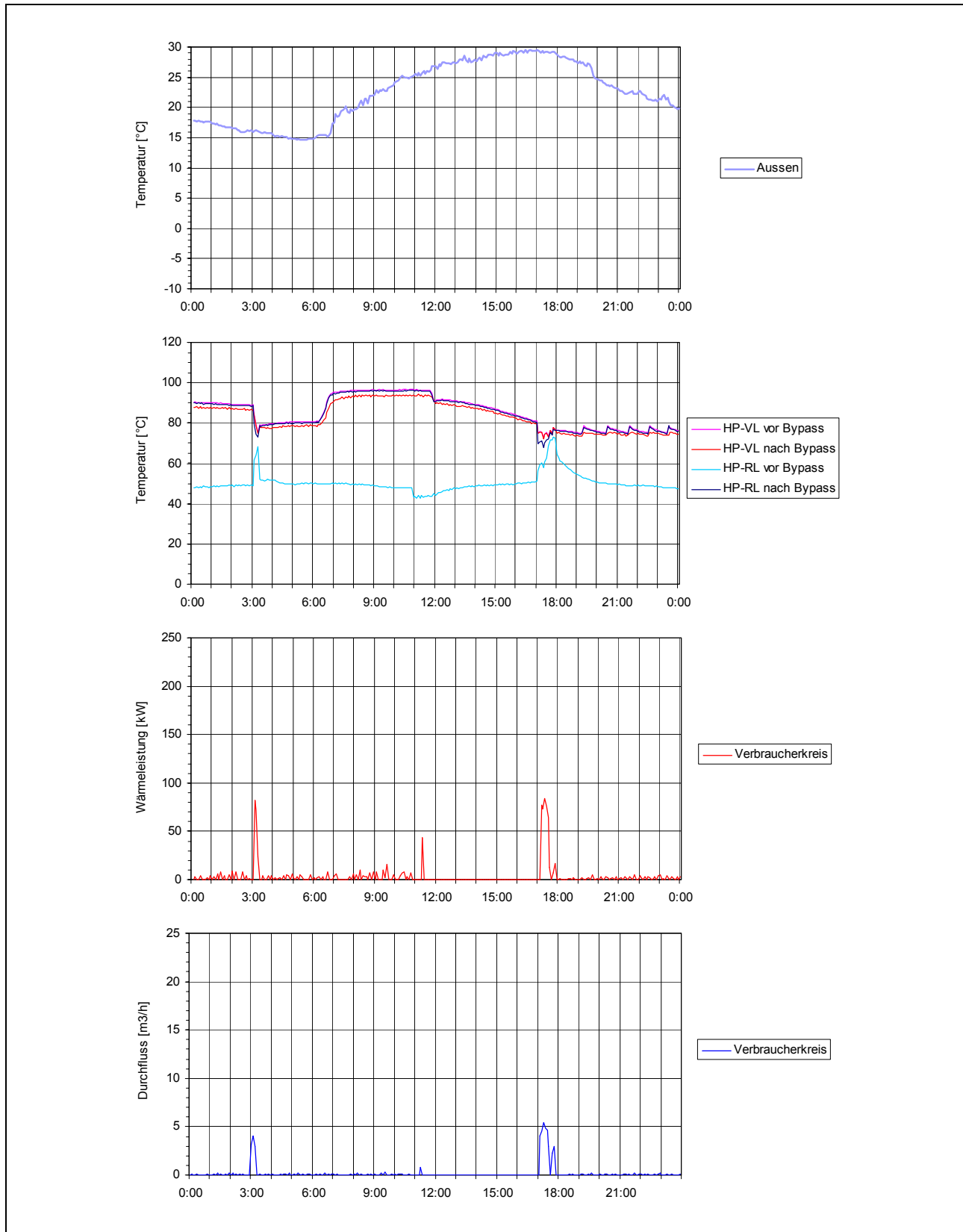


Abbildung 32: Regelkonzept WE 3.5, vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System bei kleiner Last, Mittwoch, 23.5.07, Woche 21

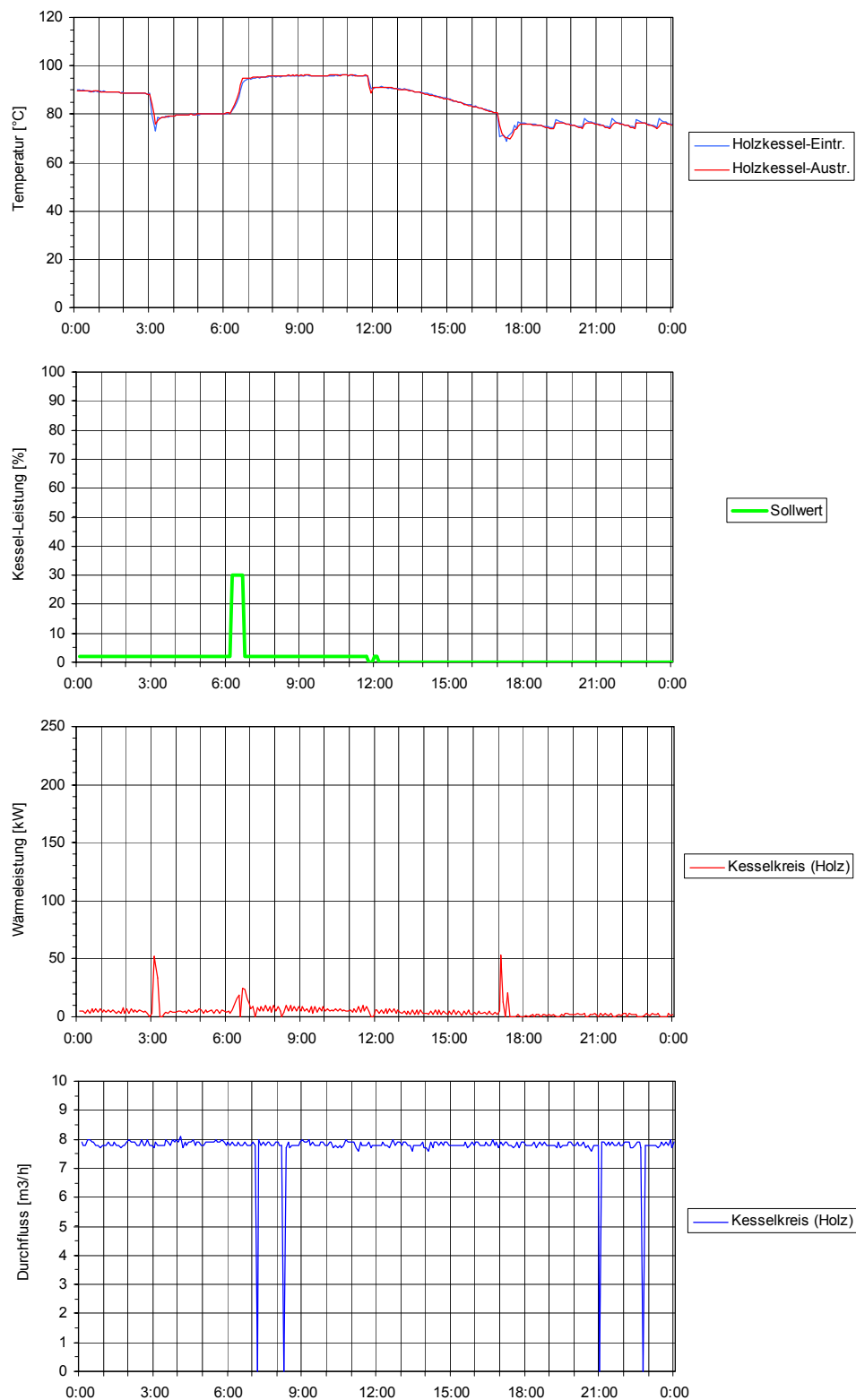


Abbildung 33: Regelkonzept WE 3.5, vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System bei kleiner Last, Mittwoch, 23.5.07, Woche 21 (Fortsetzung)

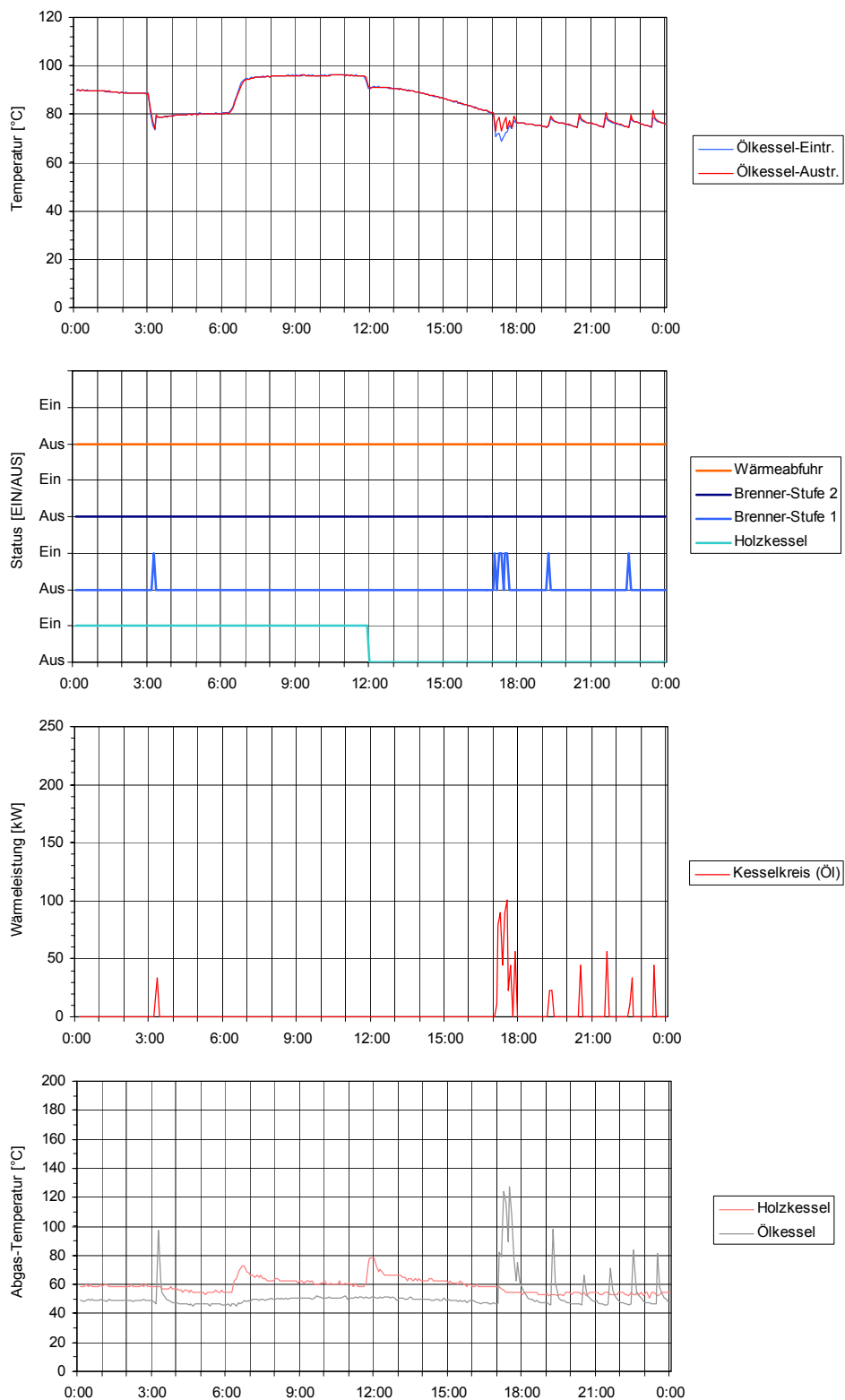


Abbildung 34: Regelkonzept WE 3.5, vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System bei kleiner Last, Mittwoch, 23.5.07, Woche 21 (Fortsetzung)

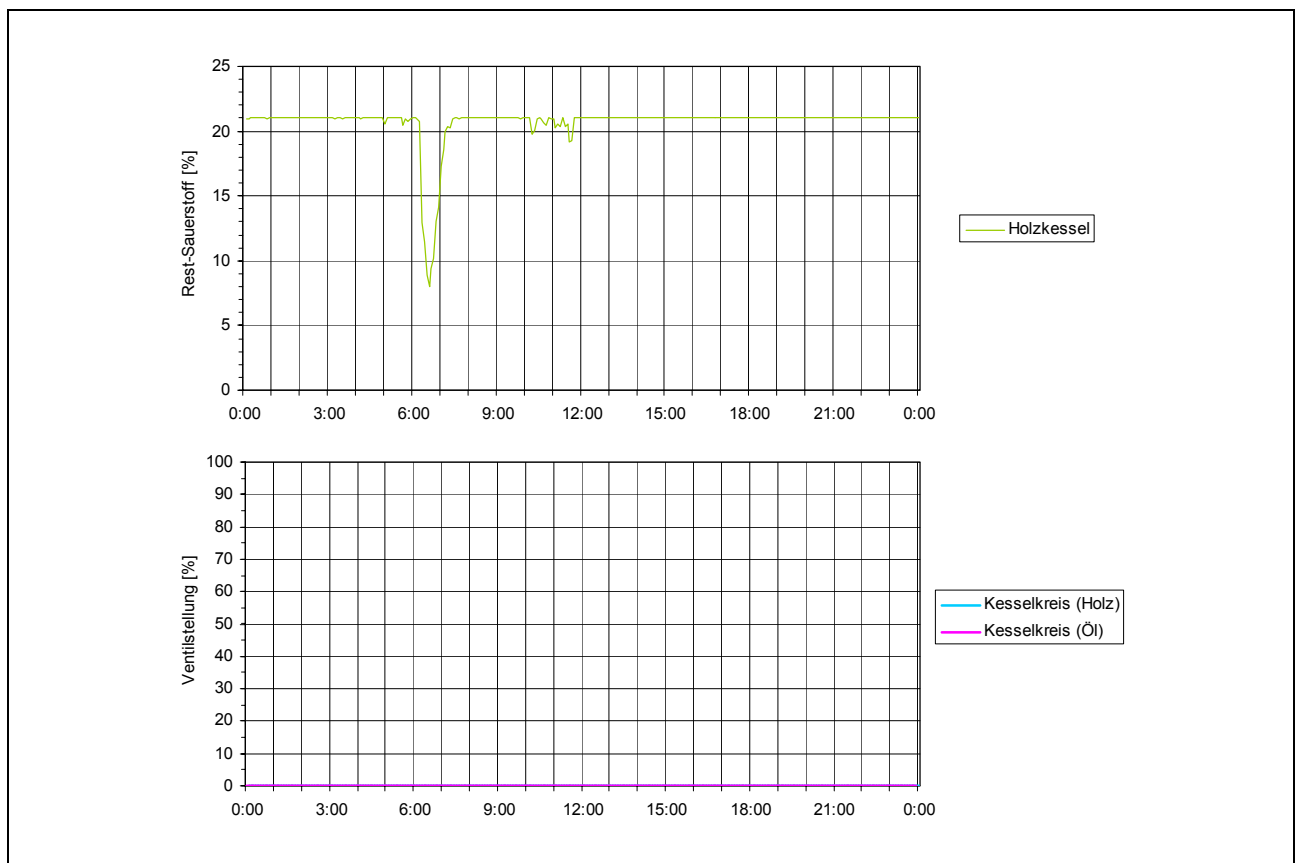


Abbildung 35: Regelkonzept WE 3.5, vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System bei kleiner Last, Mittwoch, 23.5.07, Woche 21 (Fortsetzung)

Kurzer Kommentar zu Abbildung 32 bis Abbildung 35

Regelkonzept WE3.5 (Original-Regelkonzept der Müller AG) konnte erst am 22. Mai nochmals aktiviert werden. Das Regelkonzept war noch etwa 1 Woche in Betrieb, aber die Witterungsverhältnisse waren leider viel zu warm. Der 23. Mai war der einzige Tag, an dem noch ein minimaler Heizbetrieb stattfand.

Am 29. Mai wurde dann der Holzkessel definitiv ausgeschaltet.

5. Schlussfolgerungen

5.1 Mit oder ohne Speicher?

Bei allen vorgestellten Beispielen wird deutlich, dass nicht Aussentemperaturänderungen Probleme bieten, sondern plötzliche Durchflussänderungen auf der Verbraucherseite: Der Verbraucherdurchfluss liegt während eines grossen Teil des Tages beispielsweise bei 1...2 m³/h, um dann um 03:00, 07:00, 17:00 und 21:00 Uhr auf bis zu 10 m³/h anzusteigen. Diese Verfünfachung des Durchflusses reisst die Temperatur des Holzkessels zusammen und lässt diesen für kurze Zeit in Rücklaufhochhaltung gehen. Wenn dann der Holzkessel auch noch für eine minimale Zeit auf 100% Feuerungssollwert kommt, wird auch noch der Ölkessel hinzugeschaltet. Daran ändert sich auch nichts, wenn der Rücklauf relativ bald wieder wärmer zurückkommt.

Dass der Holzkessel kurzzeitig auf Rücklaufhochhaltung läuft, ist für den Schutz des Kessels notwendig und kann nicht vermieden werden. Hingegen kann das Zuschalten des Ölkessels bis zu einem gewissen Grade durch grössere Verzögerungsglieder und ein zusätzliches Aussentemperaturkriterium verzögert werden.

Ein wirklich ruhiger Betrieb könnte bei der vorliegenden Versuchsanlage nur erreicht werden, wenn ein Speicher vorhanden wäre. Gerade Anlagen mit grossen Durchflussänderungen, wie die vorliegende, sollten deshalb besser mit Speicher gebaut werden.

Doch was kann ein Holzkesselhersteller tun, wenn er einen Holzkessel für eine Anlage mit grossen Durchflussänderungen liefern soll, aber kein Speicher vorgesehen ist? Hier gibt es nur eine Antwort: Er muss sicherstellen, dass eine einwandfrei funktionierende Rücklaufhochhaltung eingebaut wird, die den Kessel zuverlässig schützt. Es ist deshalb im Interesse des Holzkesselherstellers, wenn er auch das übergeordnete MSR-System mit der Rücklaufhochhaltung liefert. Diese Variante ist in den Standardschaltungen [2] [5] ausdrücklich vorgesehen.

5.2 Unterschiede zwischen WE3.1 und WE3.4

Neben den unterschiedlichen Stellgrössen (bei WE3.1 die Feuerungsleistung und bei WE3.4 die Ventilhöhe) besteht noch ein zweiter wesentlicher Unterschied: Bei WE3.1 wird die Hauptvorlauftemperatur (Hauptregelgrösse) vor dem Bypass gemessen und bei WE3.4 nach dem Bypass. Dadurch findet bei WE3.4 viel öfter eine Durchfluss-Umkehr im Bypass statt als bei WE3.1, weil bei WE3.4 die Kesseldurchflüsse variabel sind, während diese bei WE3.1 konstant sind, solange keine Rücklaufhochhaltung notwendig ist.

Die starken Durchflussänderungen der vorliegenden Versuchsanlage haben zur Folge, dass im Bypass jedes Mal eine Durchflussumkehr stattfindet. Dadurch sinkt bei WE3.4 bei jeder Durchfluss-Umkehr im Bypass die Hauptvorlauftemperatur – also die Hauptregelgrösse – viel stärker ab als bei WE3.1. Generell muss deshalb der Regler bei WE3.4 viel schneller reagieren als bei WE3.1.

Ob durch eine Optimierung der Einstellungen bei WE3.4 noch ein ähnlich gutes Regerverhalten wie bei WE3.1 erreicht werden kann, konnte leider nicht mehr festgestellt werden. Tatsache ist jedenfalls, dass bei WE3.4 ein ähnlich hoher Optimierungsaufwand getrieben wurde wie bei WE3.1.

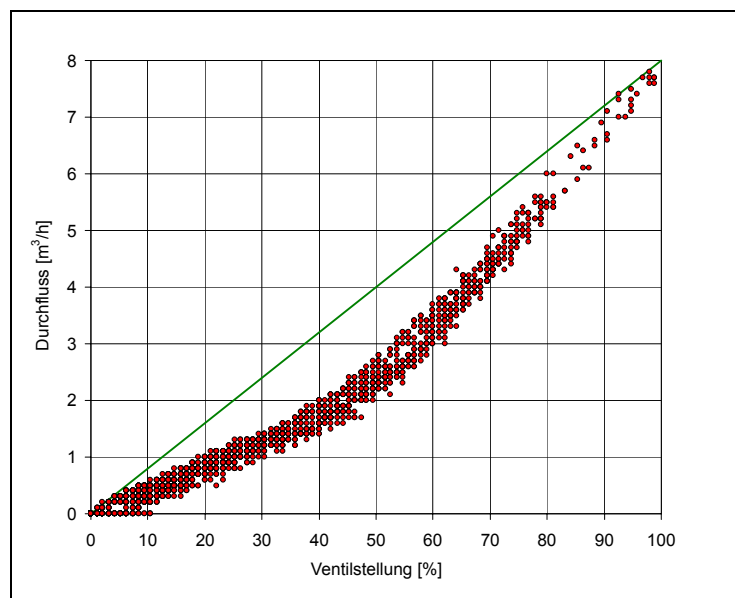


Abbildung 36: Durchfluss in Abhängigkeit der Ventilstellung

Sicher kann das Folgende gesagt werden:

- Bei trägen Anlagen tritt das Problem weniger in Erscheinung
- Bei flinken Anlagen mit Speicher ist das Problem gar nicht relevant

Abbildung 36 zeigt noch den Durchfluss in Abhängigkeit der Ventilstellung des Dreiwegventils im Holzkessekreis von WE3.4.

Die ausgezogene Linie stellt die ideale Betriebskennlinie dar: Eine Ventilstellung von 50% ergibt 50% Durchfluss ($4 \text{ m}^2/\text{h}$). Die Betriebskennlinie wird wie folgt beeinflusst:

- Nach unten durch eine gleichprozentige Grundkennlinie des Regelventils
- Nach oben durch eine Ventilautorität $P_V < 1$ und/oder einen Wärmetauscherkennwert $a < 1$

Auffallend ist die relativ starke Nichtlinearität der realen Betriebskennlinie. Wider Erwarten ist die Kurve aber nicht nach oben gekrümmt, sondern nach unten: Ventilstellung 50% ergibt etwa 30% Durchfluss ($2,4 \text{ m}^2/\text{h}$). Da sich kein Wärmetauscher im Regelkreis befindet (d. h. $a = 1$), die Ventilautorität aber sicher $P_V < 1$ ist, muss es sich um ein Regelventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie handeln, welche die Ventilautorität überkompensiert.

Für ein einwandfreies Verhalten von Regelkonzepten mit Regelung auf die Ventilhübe muss folgendes beachtet werden:

1. Die reale Betriebskennlinie soll möglichst nahe an die ideale Betriebskennlinie herankommen. Damit wird gewährleistet, dass 50% Leistungsanforderung effektiv 50% Kesselleistung entspricht.
2. Die praktisch unvermeidliche Abweichung der realen Betriebskennlinie von der idealen Betriebskennlinie soll bei allen Kesseln etwa gleich gross sein und vor allem in die gleiche Richtung gehen. Wenn dies nicht der Fall ist, entstehen sehr grosse Abweichungen zwischen den einzelnen Kesseln, was besonders beim Parallelbetrieb von Holzkesseeln störend ist (z. B. Standardschaltungen WE5 und WE6 in [2]).

Eine Abschätzung der Abweichung der realen Betriebskennlinie von der idealen Betriebskennlinie aufgrund der berechneten Ventilautorität ist mit Hilfe von Abbildung 37 möglich.

Umgekehrt kann aus Abbildung 37 auch herausgelesen werden, dass es sich bei der gemessenen Betriebskennlinie in Abbildung 36 wahrscheinlich um ein Ventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie und einer Ventilautorität von $P_V = 0,5$ handelt: 50% Ventilstellung entspricht 30% Durchfluss.

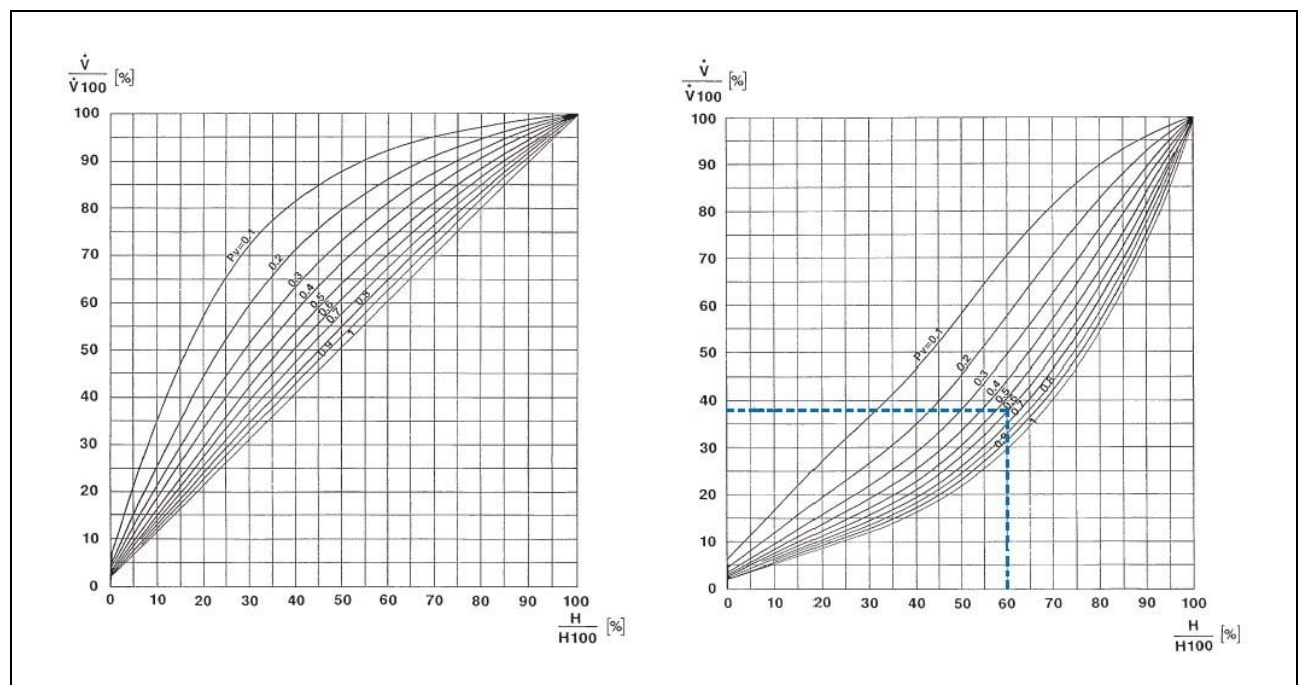


Abbildung 37: Betriebskennlinien eines Ventils mit linearer Grundkennlinie (links) und eines Ventils mit gleichprozentiger Grundkennlinie (rechts) für Ventilautoritäten von $P_V = 1$ bis $P_V = 0,1$. Ablesebeispiel: Bei einem Ventil mit gleichprozentiger Grundkennlinie und einer Ventilautorität von $P_V = 0,6$ ergibt eine Ventilstellung von 60% einen Durchfluss von 38%. (Quelle: SIEMENS)

5.3 Welches Regelkonzept bei welcher bivalenten Anlage?

Die Versuchsanlage in Kaisten kann folgendermassen charakterisiert werden: **Flinke Anlage** mit grossen Verbrauchern, die den Durchfluss im Hauptvorlauf zu unterschiedlichen Zeiten stark ansteigen lassen.

Dem gegenüber stehen **träge Anlagen**, z. B. Anlagen mit einem ausgedehnten Wärmenetz, die oft nur eine ausgeprägte Aufheizspitze am Morgen haben.

Sicher kann gesagt werden, dass der Einsatz eines Speichers bei flinken Anlagen wesentliche Vorteile bringt, während bei trägen Anlagen eher auf einen Speicher verzichtet werden kann. Wenn auf ein Speicher verzichtet wird, muss die Frage geklärt werden, ob das Hauptregelkonzept (WE3.1), die Regelung auf die Kesselkreisventile (WE3.4) oder eine der übrigen Varianten (WE3.2/WE3.3 und WE3.5) gewählt werden soll.

Diese Frage kann nicht abschliessend beurteilt werden, solange nicht der Beweis erbracht wird, dass WE3.4 befriedigend optimiert werden kann. Wenn dieser Beweis erbracht werden kann, kann folgendes gesagt werden: Solange es sich um eher träge Anlagen handelt, sollte WE3.4 grundsätzlich für die gleichen Anlagentypen geeignet sein wie WE3.1, wobei aber bei WE3.4 keine spezielle Variante für hohe Hauptvorlauftemperatur notwendig ist.

WE3.2/WE3.3 und WE3.5 haben Vorteile bei folgenden Anlagentypen:

- WE3.2 oder WE3.3 (anstelle von WE3.1) bei einer Anlage, bei der eine hohe Hauptvorlauftemperatur von über 90°C erwünscht ist
- WE3.5 bei einer Anlage, bei der ein bestehender Öl-/Gaskessel mit möglichst geringem Aufwand eingebunden werden soll

In Tabelle 38 sind die bevorzugten (+) und die zu vermeidenden (–) Regelkonzepte für verschiedene Anlagentypen zusammengestellt.

Kurzbezeichnung →	WE3.1	WE3.2/WE3.3	WE3.4	WE3.5	WE4
Anlagentyp ↓	Hauptvariante WE3 «Bivalente Holzheizungsanlage <u>ohne Speicher</u> »	Hauptvariante WE3 mit zusätzlicher Austrittstemperaturregelung oder Stellgrösse = Hub Dreiwegventil	WE3 mit Regelung auf die Kesselkreis-Dreiwegventile (Anhang 2 in [2])	Vereinfachte Folgeschaltung ohne übergeordnetes MSR-System	Hauptvariante WE4 «Bivalente Holzheizungsanlage <u>mit Speicher</u> »
A) Träge Anlage, z. B. ausgedehntes Wärmenetz mit nur einer ausgeprägten Aufheizspitze jeweils am Morgen	+		+		
B) Träge Anlage (siehe A), bei der eine hohe Hauptvorlauftemperatur von über 90°C erwünscht ist		+	Kann nicht abschliessend beurteilt werden, solange nicht der Beweis erbracht wird, dass WE3.4 befriedigend optimiert werden kann		
C) Träge Anlage (siehe A), bei der ein bestehender Öl-/Gaskessel mit möglichst geringem Aufwand eingebunden werden soll				+	
D) Flinke Anlage, z. B. Anlage mit grossen Verbrauchern, die den Durchfluss im Hauptvorlauf zu unterschiedlichen Zeiten stark ansteigen lassen	– Wenn eine solche Anlage trotzdem gebaut wird, muss eine einwandfrei funktionierende Rücklaufhochhaltung eingebaut werden, die den/die Holzkessel zuverlässig schützt				+

Tabelle 38: Bevorzugte (+) und zu vermeidende (–) Regelkonzepte für verschiedene Anlagentypen

5.4 Bemerkungen zu Planung und Betriebsoptimierung

QM Holzheizwerke [1] verlangt zwingend

- einen Hauptplaner, der die Gesamtverantwortung für die Planung der Holzheizungsanlage trägt
- und die Durchführung einer Betriebsoptimierung unter der Leitung des Hauptplaners.

Dazu ergeben sich nachfolgend noch drei wichtige Bemerkungen. Diese beziehen sich auch – aber nicht speziell – auf die vorliegende Versuchsanlage; sie stützen sich vor allem auf allgemeine Erfahrungen mit Anlagen, die durch QM Holzheizwerke [1] begleitet wurden.

1. Die Wege Planer – Verkäufer – Schemabüro – Servicetechniker sind meist viel zu lang. Gemäss QM Holzheizwerke [1] wird vom Hauptplaner ein schriftlicher Funktionsbeschreibung erstellt (wenn möglich auf Basis einer Standardschaltung [2]), der dann meist dem Verkäufer des Regelsystems übergeben wird. Der Verkäufer informiert nun, so gut als möglich, das Schemabüro, welches das Elektroschema und die notwendige Software erstellt. Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgt dann schliesslich durch einen Servicetechniker, der bei der Entwicklung des Regelkonzeptes überhaupt nicht beteiligt war. Diese langen Wege führen leider oft zu Verständigungsproblemen mit gravierenden Folgen.
2. Dann folgt gemäss QM Holzheizwerke [1] die Betriebsoptimierung durch den Hauptplaner. Die Erfahrung mit zahlreichen Projekten zeigt, dass ein Jahr Betriebsoptimierung meistens nicht genügt. In der Regel sind zwei Jahre erforderlich: das erste Jahr, um die Einstellungen finden, das zweite Jahr für die eigentliche Betriebsoptimierung, bei der nur noch geringe Anpassungen notwendig sind. Die Wichtigkeit der Betriebsoptimierung für einen einwandfreien Betrieb der Anlage wird oft unterschätzt – aber leider auch der Aufwand, der dazu erforderlich ist.
3. Wenn dann die Betriebsoptimierung erfolgreich abgeschlossen ist, stellt sich schon die nächste Frage: Wie wird sichergestellt, dass die bei der Betriebsoptimierung ermittelten Einstellungen nicht mehr verstellt werden können? Nur allzu oft kommt es nämlich vor, dass – wider besseres Wissen – die mit viel Aufwand ermittelten Sollwerte, Regelparameter, Pumpenstufen usw. nachträglich verstellt und damit die ganze Mühe wieder zunichte gemacht wird.

In allen drei Punkten besteht noch ein erheblicher Bedarf an Ideen zur Verbesserung der heute vorherrschenden sehr unbefriedigenden Situation.

Sicher kann gesagt werden, dass eine Vereinfachung der Abläufe und damit eine Verbesserung der Situation erreicht wird, wenn auch das übergeordnete MSR-System der Wärmeerzeugungsanlage durch den Kesselhersteller geliefert wird (Schnittstelle = Bypass bzw. Speicher). Diese Variante ist in den Standardschaltungen [2] [5] ausdrücklich vorgesehen.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Ruedi Bühler, Hans Rudolf Gabathuler, Andres Jenni: Q-Leitfaden. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 1)
- [2] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer: Standard-Schaltungen – Teil I. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2004. (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., 2004. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 4)
- [5] Standard-Schaltungen – Teil II. Straubing: C.A.R.M.E.N. e.V., 2006. (Schriftenreihe QM Holzheizwerke, Band 5)
- [6] Hans Rudolf Gabathuler, Hans Mayer: Regelkonzept für bivalente Holzheizungsanlagen mit Speicher - Messungen an einer Anlage in Azmoos. Schlussbericht. Bern: Bundesamt für Energie, 2005.