
Forschungsprogramm
Umgebungs- und Abwärme,
Wärme-Kraft-Kopplung (UAW)

Wärmepumpentest für die kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung

ausgearbeitet durch
A. Montani
Wärmepumpentestzentrum Winterthur-Töss
c/o EKZ
Dreikönigstrasse 18
8002 Zürich

im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

Zusammenfassung

Die Warmwasseraufbereitung nimmt in modernen Gebäuden einen immer grösseren Anteil am Gesamtwärmebedarf ein und hat damit natürlich auch einen immer grösseren Einfluss auf die Jahresarbeitszahl. Die heute vorhandenen Unterlagen für die theoretische Berechnung von Jahresarbeitszahlen sind diesbezüglich ungenügend und lückenhaft. Das Bundesamt für Energie (BFE) initialisierte deshalb bei der internationalen Energie-Agentur (IEA) einen Annex, der sich diesem Problemkreis widmen soll. Als Schweizer Beitrag zu diesem Annex wurden vom BFE gleichzeitig 2 Projekte lanciert:

- „Wärmepumpentest für die kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung“
- „Berechnungsmethode für den Jahresnutzungsgrad von Wärmepumpenanlagen zur kombinierten Raumheizung und Warmwasseraufbereitung“

Im ersten Projekt sollten an 2 verschiedenen Wärmepumpensystemen Labormessungen vorgenommen werden. Dabei ist ein Prüfprozedere zu entwickeln, dass auch auf einen echten Kombibetrieb angewendet werden kann. Im zweiten Projekt soll auf der Basis von vorhandenen Grunddaten und den Resultaten des ersten Projektes ein Rechenverfahren für die Bestimmung der Jahresarbeitszahl ausgearbeitet werden. Im folgenden sind die Resultate des ersten Projektes zusammengefasst.

Für die Prüfung von kombinierten Wärmepumpensystemen gibt es keine Norm. Mit der Wärmepumpennorm EN255-2 und EN255-3 können jedoch die Betriebszustände „Nur Heizen“ und „Nur Warmwasser“ abgedeckt werden. Diese beiden Normen wurden nun soweit ergänzt, dass sie auch auf den Kombibetrieb angewendet werden können. Damit liegen nach einer kompletten Prüfung die Kennwerte nach EN255-2 und -3 doppelt vor: Einmal für den „Single-Betrieb“ und einmal für den „Kombi-Betrieb“. Dies ist eine gute Grundlage für eine Jahresarbeitszahlberechnung.

Im Gegensatz zur EN255-2 (Heizen) ist das Testverfahren nach EN255-3 (Warmwasseraufbereitung) dynamisch: Nach dem erstmaligen Aufladen des Warmwasserspeichers erfolgt ein genau definierter Fahrplan bezüglich der Entnahme von Warmwasser. Im wesentlichen wird der COP für die Aufbereitung des Warmwassers durch zyklisches Entnehmen von Brauchwarmwasser und anschliessendes Nachladen bestimmt. Der Bereitschaftsaufwand, der die thermischen Verluste kompensiert, wird durch eine energetische Bilanz über eine längere Zeit (>48 Stunden) ohne Warmwasserentnahme ermittelt.

Im Kombibetrieb wird nun der EN255-3-Fahrplan einfach während des Heizbetriebes angewendet. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die Heizwärme auf dem gleichen exergetischen Niveau abgegeben wird. D.h., die Mitteltemperatur zwischen Heizungsvorlauf und Heizungsrücklauf muss dabei konstant bleiben. Damit nach dem Testlauf überhaupt eine Auswertung möglich ist, muss die gesamte Stromaufnahme auf die Teile Heizung und Warmwasser aufgeteilt werden. Als Verteilschlüssel dient hier die Annahme der „Unbeeinflusstheit des Heizbetriebes“. Mit dem Heiz-COP aus dem „Single-Betrieb“ wird der Stromanteil entsprechend der gemessenen thermischen Leistung ermittelt. Die Differenz zur Gesamtaufnahme geht zu Lasten der Warmwasseraufbereitung. Eine graphische Darstellung des Prüfprozederes befindet sich auf Seite 15.

In der EN255-3 ist die Höhe der Warmwassertemperatur frei. Deshalb ist ein Vergleich des COP's von verschiedenen Systemen etwas problematisch, da die Wassertemperaturen unterschiedlich sein können. Im Bericht wird deshalb zusätzlich ein Gütegrad vorgeschlagen, welcher die Warmwassertemperatur berücksichtigt und damit einen Vergleich erlaubt. Bei den zwei getesteten Systemen wurde das Wasser jeweils immer bis 55°C aufgeheizt, so dass die COP-Werte direkt verglichen werden können.

Die an den 2 verschiedenen Systemen gemachten Erfahrungen in der Anwendung der angepassten Normen sind durchwegs positiv. Die Basis EN255-3 zeigt aber doch ein paar Nachteile: Die Zeitdauer für das Durchfahren eines einzigen EN255-3-Zyklus beträgt typischerweise rund 4 Tage. Unter gewissen Randbedingungen könnte dieser Zeitaufwand aber etwas reduziert werden. Weiter hat sich gezeigt, dass die COP-Kennwerte durch die Menge der Warmwasserentnahme im EN255-3-Zyklus merklich beeinflusst werden. Es wäre deshalb sinnvoll, die entsprechende Phase zweimal mit verschiedenen Entnahmemengen zu fahren. Der zeitliche Mehraufwand ist dafür vergleichsweise gering.

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

Summary

In modern buildings the heat energy needed to produce hot water takes up an ever-increasing portion of the total heat energy requirements, and thus has an ever-increasing influence on the seasonal performance factors. The currently available documentation for the theoretical calculation of seasonal performance is insufficient and incomplete. Therefore, the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) proposed the creation of an annex which would address this problem to the International Energy Agency (IEA). The SFOE launched two projects as the Swiss contribution to this appendix:

- "Test Procedure for Heat Pumps with Combined Room Heating and Domestic Hot Water Production"
- "Calculation Methods for Seasonal Performance of Residential Heat Pumps for Combined Room Heating and Hot Water Production"

In the first project two different heat pump systems were subjected to laboratory tests. At the same time, a test procedure that could be used for a genuine combined operation was developed. In the second project, basic data and the results of the first project were used to establish a method to calculate seasonal performance. In the following the results of the first project are summarized.

There is no standard for the testing of combined heat pump systems. However, in the Heat Pump Standards EN255-2 and EN255-3 the operating conditions "Heating Only" and "Hot Water Only" are covered. Both of these standards have now been expanded so that they can be applied to combined operation. So after a complete test, the characteristic values based on EN 255-2 and -3 are available twofold: one set for "Single Operation" and one set for "Combined Operation". This is a good basis for the calculation of seasonal performance.

In contrast to the test procedure for EN255-2 (heating), the procedure based on EN255-3 (hot water) is dynamic: after the first heating up of the hot water tank the tapping of hot water follows an exactly defined program. In general the COP (Coefficient Of Performance) for the production of hot water is determined by cyclical tapping of sanitary hot water and the following reheating.

The standby power input, which compensates the thermal losses, is determined by an energy balance for a longer period of time (>48 h) when no hot water is tapped.

The test-procedure of EN255-3 can simply be applied also during combined operation. During the test, the heating power has to be kept at the same exergetic level. That means the average temperature between heating inlet and outlet must remain constant.

For calculating the figures in combined operation, the total electric current consumption must be divided between heating and hot water production. The key to this division is the assumption of "uninfluenced heating operation". With the Heating-COP from "single operation", the portion of electric current consumption will be found based on the thermal performance measured. The difference between this and the total amount of electric current consumption is debited to hot water production. A graphic presentation of the test procedure is found on page 15.

In the EN255-3 the level of the hot water temperature is not specified. Since the water temperatures can be different, a comparison of the COPs of various systems is somewhat problematic. For this reason, the report recommends an exergetic efficiency that takes the water temperature into consideration and thus permits a comparison. In the two systems tested the water was always heated to 55°C so that the COP values could be directly compared.

The experiences made while testing the two different systems by applying the adjusted standards are very positive. However, EN255-3 based applications exhibit some disadvantages: the time needed to complete a single EN255-3 Cycle is typically four days. Under certain conditions this time span could be somewhat reduced. Further, it has been shown that COP values can be significantly influenced by the quantity of hot water used in the EN255-3 Cycle. It would be advisable to run through this phase twice with different quantities of water used for each run. The additional time needed for this is almost negligible.

This project has been done on behalf of the Swiss Federal Office of Energy. The Swiss Federal Office of Energy assumes no responsibility for the content and the conclusions of this report.
--

Inhaltsverzeichnis

1	AUSGANGSLAGE.....	7
1.1	AUFGABENSTELLUNG UND ZIELE.....	7
2	PRÜFNORMEN	9
2.1	EN255-2	9
2.2	EN255-3	9
2.3	BEMERKUNGEN UND ERGÄNZUNGEN ZUR EN255.....	10
2.3.1	EN255-2.....	10
2.3.2	EN255-3.....	10
2.4	PRÜFPROZEDERE FÜR DEN KOMBIBETRIEB.....	13
2.4.1	Grundüberlegungen.....	13
2.4.2	Zusammenfassung.....	15
3	PRÜFLINGE	16
3.1	SYSTEM "ALTERNATIV"	16
3.2	SYSTEM "GLEICHZEITIG"	17
4	ANPASSUNGEN AM PRÜFSTAND WPZ	19
4.1	ANPASSUNGEN QUELLENSEITE	19
4.2	ANPASSUNGEN HEIZUNGSSEITE	19
4.3	ZUSATZINSTALLATION BRAUCHWARMWASSER	20
4.4	RAUMKLIMA	21
4.5	ALLGEMEINE BEMERKUNGEN ZU DEN ANPASSUNGEN	21
5	MESSEINRICHTUNG	22
5.1	INSTRUMENTIERUNG	22
5.2	GENAUIGKEIT.....	23
5.2.1	Ergänzende Bemerkungen	23
5.2.2	Ueberprüfung der Genauigkeit.....	24
5.2.3	Vergleich mit WPZ-Standard-Messung	25
6	DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN UND AUSWERTUNGEN.....	26
6.1	VARIANTE "ALTERNATIV"	26
6.2	VARIANTE "GLEICHZEITIG"	26
6.3	BESONDERHEITEN	27
7	RESULTATE.....	29
7.1	VARIANTE ALTERNATIV.....	29
7.2	VARIANTE GLEICHZEITIG.....	30
7.3	SPEZIALMESSUNGEN	30
7.3.1	Kennfeld Brauchwarmwasser.....	30
7.3.2	Entnahmemenge 30% statt 60%.....	32
7.3.3	Dynamischer WP-Test.....	32
8	DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	33
8.1	VARIANTE ALTERNATIV	33
8.1.1	Pumpenvorlauf	33
8.1.2	EN255-3 unter Sommer- und Winterbedingungen.....	33
8.2	VARIANTE GLEICHZEITIG	34
8.2.1	Pumpenvorlauf	34
8.2.2	Stromaufnahme der Warmwasserwärmepumpe	35
8.2.3	Entnahmemenge 30% statt 60%.....	36
8.2.4	Reproduzierbarkeit.....	36
8.3	GEGENÜBERSTELLUNG DER BEIDEN SYSTEME	39
8.3.1	COP-Werte und Bereitschaftsaufwände nach EN255	39
8.3.2	Jahresarbeitszahlen für 2 typische Fälle.....	41
8.4	WÄRMEVERLUSTE AN DIE UMGEBUNG.....	43

9	SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	44
9.1	PRÜFPROZEDERE	44
9.2	VERGLEICH DER BEIDEN GETESTETEN SYSTEME	45
10	VERDANKUNG.....	46
11	SYMBOLVERZEICHNIS.....	47
11.1	ALLGEMEINE SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN	47
11.2	EN255-3 SPEZIFISCHE SYMBOLE.....	48
12	LITERATURVERZEICHNIS	49
13	ANHANG	50

1 Ausgangslage

In den letzten Jahren hat in der Schweiz die Verbreitung der Heizwärmepumpe eine starke Zunahme erfahren. Nebst den vielen technischen und ökologischen Vorteilen eines solchen Heizsystems hat vor allem auch die konsequente und systematische Förderung dieses Heizsystems durch das Bundesamt für Energie (BFE) im Rahmen von "Energie 2000" und "Energie Schweiz" zur verstärkten Verbreitung beigetragen. Ohne das Engagement des BFE würde es heute wohl weder ein Wärmepumpentestzentrum, eine FWS noch ein DACH-Gütesiegel geben, welche einen wichtigen Teil der Qualitätssicherung darstellen.

Allen bisherigen Aktivitäten waren und sind jedoch hauptsächlich nur auf das Heizen fokussiert. Im WPZ werden ausschliesslich Messungen nach der Norm EN255-2 (Heizen) durchgeführt, das DACH-Gütesiegel basiert ebenfalls nur auf dem Heizbetrieb. Die Politik des BFE hat jedoch zum Ziel, Energiefragen ganzheitlich zu betrachten. Gerade bei neuen Wohnbauten, die mit sehr guter Wärmedämmung und kontrollierter Wohnraumlüftung den Heizbedarf enorm verringern, kommt der Brauchwarmwasseraufbereitung eine erhöhte Bedeutung zu. Von Interesse ist eigentlich nur die Gesamteffizienz des Systems. Aus den Heiz-Messungen in Töss lassen sich zwar auch die Effizienz der Warmwasseraufbereitung näherungsweise rechnerisch bestimmen, jedoch nur für Systeme, welche wechselweise auf die Heizung oder auf den Brauchwarmwasserspeicher arbeiten. Physikalisch geschickte Lösungen, welche eine bessere Gesamteffizienz erwarten lassen aber den gleichzeitigen Heiz- und Warmwasserbetrieb bedingen, können heute nicht richtig berücksichtigt werden.

Diesen Umstand veranlasste das BFE in Richtung Brauchwarmwasseraufbereitung und Gesamteffizienz stärker aktiv zu werden. In der Folge wurden 2 parallele Projekte gestartet:

- 1) "Wärmepumpentest für die kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung"
- 2) "Jahresnutzungsgrad von Wärmepumpenanlagen zur kombinierten Raumheizung und Warmwasseraufbereitung"

Das Projekt 1) wurde vom Wärmepumpentestzentrum in Winterthur-Töss, das Projekt 2) von der FHBB in Muttenz in Angriff genommen. Gleichzeitig wurde vom BFE ein Vorstoss Richtung IEA (International Energy Agency) unternommen, um die Problematik der Gesamteffizienz von Wohnbauten im Rahmen eines IEA-Annexes gesamteuropäisch anzugehen. Der Annex konnte in der Zwischenzeit erfolgreich unter der Leitung der FHBB gestartet werden. Die beiden oben aufgeführten Projekte bilden dazu eine gute Grundlage.

Der folgende Bericht fasst das erst genannte Projekt zusammen.

1.1 Aufgabenstellung und Ziele

Das Projekt "Wärmepumpentest für die kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung" verfolgte mehrere Ziele:

- 1) Auf der Basis von Labormessungen sollten zwei verschiedene WP-Systeme verglichen werden, welche sowohl Heizwärme als auch Brauchwarmwasser liefern können. Dabei ist eine konventionelle Lösung (Variante "Alternativ") einer physikalisch geschickten Lösung (Variante "Gleichzeitig") gegenüberzustellen. Aus Gründen der Einfachheit sind WP-Systeme mit Sole-Kreisläufen zu testen (Umgehung der Abtauproblematik).
- 2) Das noch zu findende Prüfverfahren sollte möglichst allgemein anwendbar und vom System unabhängig sein. Die Systemgrenzen für die Messung sind deshalb wie in der Abbildung 1 zu wählen.
- 3) Die aus der Messung gewonnenen Kennwerte sollten einerseits einen unmittelbaren Vergleich der verschiedenen Systeme zulassen, andererseits aber auch eine möglichst gute Grundlage für die Berechnung von Jahresarbeitszahlen bilden.
- 4) Die zeitlich fein aufgelösten Messwertaufzeichnungen dienen der Validierung von mathematischen Wärmepumpenmodellen, welche an der FHBB im Zusammenhang mit dem Parallelprojekt erarbeitet werden.

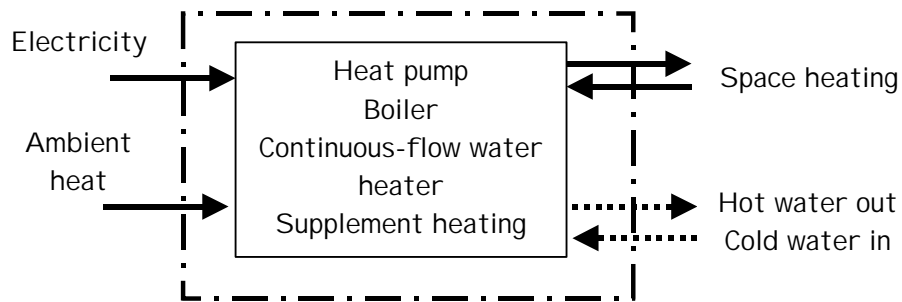


Abbildung 1: Universelle Systemgrenze

Für das Erreichen dieser Ziele zeigten sich 2 Hauptproblemkreise:

- Finden resp. erarbeiten eines geeigneten Prüfprozedere
- Anpassen des Prüfstandes für das Durchführen der Messungen

Im folgenden Kapitel wird der Problemkreis Prüfprozedere ausführlich dargelegt. Im Kapitel 4 sind die Anpassungen am Prüfstand dokumentiert.

2 Prüfnormen

Es zeigte sich, dass es für die Prüfung von WP-Systemen für die kombinierte Raumheizung und Warmwasseraufbereitung mit den in Abbildung 1 gezeigten Systemgrenzen keine pfannenfertige Prüfnorm gibt. Es zeigte sich aber, dass die WP-Norm EN255 eine gute Grundlage darstellt. Es lag also nahe, ein auf dieser Norm basierendes Prüfprozedere aufzubauen. Bevor auf das gewählte Prüfprozedere eingegangen wird, werden die wichtigsten Punkte der Prüfnorm EN255 kurz erläutert.

2.1 EN255-2

Der Teil 2 der EN255 [1] behandelt die Prüfung von Wärmepumpen im reinen Heizbetrieb. Bei der Prüfung werden die WP's im Dauerbetrieb gefahren. Dabei werden die Quellentemperatur, die Heizungsvorlauftemperatur und die Volumenströme konstant gehalten. Als Resultat dieses Prüfprozederes erhält man die Heizleistung und den COP. Das Prüfprozedere wird für mehrere Prüfpunkte durchgeführt, wobei sich diese in der Quellen- und Nutzertemperatur unterscheiden.

2.2 EN255-3

Im Teil 3 der EN255 [2] wird die Prüfung von Brauchwarmwasser-WP's beschrieben. Das Prüfprozedere wird in 5 Teilphasen unterteilt. In der Abbildung 2 ist das Prüfprozedere graphisch dargestellt. Der Verlauf der Kurve zeigt die Temperatur des Warmwasserspeichers bei der Entnahmestelle. Im folgenden werden die einzelnen Phasen genauer erläutert.

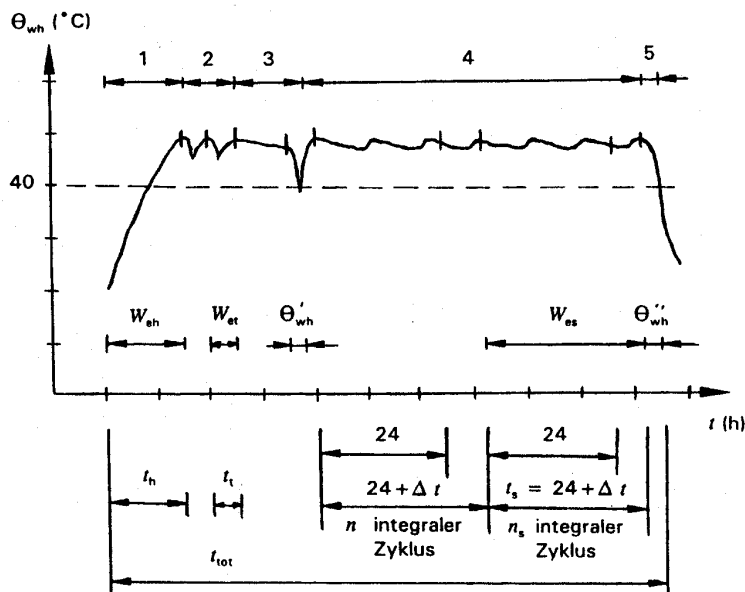


Abbildung 2 : Prüfprozedere nach EN255-3

Phase 0

Vor dem Start des Prüfprozederes muss der Prüfling mit der Raumtemperatur (20°C) ins thermische Gleichgewicht gebracht werden. Anschliessend kann mit der Phase 1 begonnen werden.

Phase 1

In der Phase 1 wird der Speicher ein erstes mal aufgeheizt. Die Aufheizzeit und die aufgewendete elektrische Energie werden festgehalten. Ansonsten hat die Phase 1 keine weitere Bedeutung.

Phase 2

Im Anschluss an Phase 1 folgen mehrere Entnahme- und Aufladezyklen. Es wird jeweils die halbe Speichermenge entnommen und dann gewartet, bis der Speicher wieder nachgeladen ist. Dieser Zyklus

wird solange wiederholt, bis die Differenz zwischen den Energiemengen der Entnahmen kleiner als 10% ist. Diese Zyklen sind die Grundlage für die Berechnung des COP's für die Warmwasseraufbereitung (Entnommene thermische Energiemenge / aufgewendete elektrische Energiemenge). Der in der Norm ausgewiesene Wert (COP_l) ist noch um den in der Phase 4 ermittelten Bereitschaftsaufwand korrigiert.

Phase 3

Im Anschluss an die Phase 2 lässt man das System so lange ruhen, bis es von selbst den Speicher wieder nachlädt um die thermischen Verluste zu kompensieren. Unmittelbar mit dem Start des Nachladens erfolgt eine weitere Speicherentnahme bis die Austrittstemperatur auf 40°C abgefallen ist. Die durchschnittliche Entnahmetemperatur (θ'_{wh}) und die entnommene Wassermenge sind ein Teil zur Bestimmung der maximalen Kapazität des Speichers. Die Werte haben für die Berechnung des COP's keine Bedeutung.

Phase 4

Im Anschluss an Phase 3 wird der Speicher wieder aufgeladen und dann ohne weitere Wasserentnahmen stehen gelassen. Dabei wird über einen längeren Zeitraum der Aufwand (elektrische Energie) erfasst, welcher nötig ist, um den Speicher auf Betriebstemperatur zu halten. Die Energiemenge bezogen auf den entsprechenden Zeitraum ergibt dann den Bereitschaftsaufwand (P_{es}). Die Phase 4 beinhaltet eine mindestens 24stündige Vorkonditionierungszeit. Der Bereitschaftsaufwand wird anschliessend über mindestens 24 Stunden bestimmt.

Phase 5

Unmittelbar nach dem Ende der letzten Nachladung in Phase 4 erfolgt erneut eine Entnahme bis die Entnahmetemperatur auf 40°C abgefallen ist. Die durchschnittliche Entnahmetemperatur (θ''_{wh}) und die entnommene Wassermenge werden zusammen mit den Werten der Phase 3 zur Bestimmung der maximalen Kapazität des Speichers (V_{max} , Q_{max}) sowie einer Referenztemperatur (θ_{wr}) gebraucht. Die Werte haben für die Berechnung des COP's für die Brauchwarmwasseraufbereitung keine Bedeutung.

2.3 Bemerkungen und Ergänzungen zur EN255

2.3.1 EN255-2

Das im Wärmepumpen-Testzentrum in Winterthur-Töss angewendete Prüfprozedere [4] entspricht weitgehend der Norm EN255-2. Diese hat sich in der Praxis bestens bewährt. Einziger Schwachpunkt stellt der Umstand dar, dass der Volumenstrom vom Hersteller frei angegeben werden kann. Da in der Norm auf der Nutzerseite die Vorlauftemperatur fixiert ist, ergeben sich erfahrungsgemäss mit kleineren Nutzervolumenströmen bessere COP-Kennwerte. In Töss hat man deshalb die maximal zulässige Temperaturspreizung zwischen Ein- und Austritt auf 10°C begrenzt (Betriebspunkt B0/W35).

In Hinblick auf das Prüfprozedere für den Kombibetrieb ist die zusätzliche Angabe der mittleren Temperatur zwischen Ein- und Austritt auf der Nutzer-(Heizungs-)seite notwendig. Die Norm ist also folglich um diese Grösse zu ergänzen. Die heizungsseitige Mitteltemperatur T_{HM} definiert sich wie folgt:

$$T_{HM} = \frac{T_{HV} + T_{HR}}{2} \quad (\text{Gleichung 1})$$

wobei

T_{HR} = Temperatur Heizungsrücklauf

T_{HV} = Temperatur Heizungsvorlauf

2.3.2 EN255-3

Das Prüfprozedere ist klar definiert und relativ einfach anzuwenden. Aus Sicht der in Kapitel 1.1 definierten Ziele sind aber doch 3 Mängel ersichtlich:

- 1) Es gibt keinerlei Vorschriften bez. einer minimalen oder maximalen Brauchwarmwassertemperatur. Dies ist allerdings auch nachvollziehbar: In der Regel kann auf die Steuerung kein Einfluss genommen werden, womit auch die Temperatur nicht vorgeschrieben werden kann. Damit ist ein Vergleich von nach EN255-3 bestimmten COP's nur bedingt möglich. Produkte mit hoher Warmwassertemperatur sind dann im Nachteil gegenüber Produkten mit niedriger Warmwassertemperatur. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen muss man eine Vergleichsgrösse einführen, wie z.B. einen Gütegrad,

der den ermittelten COP an einem theoretischen COP misst. Dieser wäre übrigens auch für einen fairen Vergleich der COP-Werte nach EN255-2 anzuwenden.

- 2) Der zweite Mangel offenbart sich erst in Hinblick auf die Anwendung dieser Norm auf den kombinierten Betrieb: Es wird keine Warmwasserleistung ausgewiesen. Diese ist aber für eine Simulationsrechnung oder eine Jahresarbeitszahlberechnung bei Systemen mit echtem Kombibetrieb nötig, damit die entsprechenden Phasen mit und ohne Kombibetrieb zeitlich richtig bestimmt und gewichtet werden können.
- 3) Der dritte Schwachpunkt ist kein eigentlicher Mangel, sondern mehr eine "Unschönheit": Die Phase 3 wird mit der Entnahme bis 40°C abgeschlossen. Das anschließende Nachladen des Speichers fällt in die Phase 4. Dies ist insofern etwas unglücklich, als der Start der Phase 3 mit geladenem Speicher beginnt. Energetische Bilanzüberlegungen sind damit für die Phase 3 (und auch für Teile der Phase 4) sicher nicht mehr einfach möglich.

Als Folge dieser 3 Mängel hat der Autor folgende Anpassungen und Ergänzungen vorgenommen:

- a) Bezugstemperatur des Warmwassers (T_{WB}) während der Entnahme in der Phase 2:

$$T_{WB} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} T_{WA} dt}{(t_2 - t_1)} \quad (\text{Gleichung 2})$$

wobei

T_{WA} = Austrittstemperatur Warmwasser während der Entnahme in der Phase 2

t_1 = Startzeit der Wasserentnahme

t_2 = Stopzeit der Wasserentnahme

- b) Carnot-COP (Herleitung im Anhang 1):

$$COP_C = 1 + \frac{(T_{QV} + 273.16)}{(T_{WB} - T_{WE})} * \ln \left(\frac{(T_{WB} - T_{QV})}{(T_{WE} - T_{QV})} \right) \quad (\text{Gleichung 3})$$

wobei

T_{WE} = Eintrittstemperatur des Wassers (15°C)

T_{QV} = Quellenvorlauftemperatur (Eintritt in WP) in °C

- c) Gütegrad für die Warmwasseraufbereitung N_W

$$N_W = \frac{COP_W}{COP_C} \quad (\text{Gleichung 4})$$

wobei

COP_W = COP der Warmwasseraufbereitung nach EN255-3 (COP_t)

- d) Rechnerische Warmwasserleistung P_W

$$P_W = \frac{W_W}{\Delta t} \quad (\text{Gleichung 5})$$

wobei

W_W = Entnommene Warmwasserenergie während des Zyklus in Phase 2 (entspricht Q_t in EN255-3)

Δt = Zeitdauer des Zyklus in Phase 2 (entspricht t_t in EN255-3)

- e) Das Ende der Phase 3 ist durch das erstmalige Abschalten des Temperaturreglers nach der maximalen Warmwasserentnahme (auf 40°C) definiert.

Die in d) angegebene Formel gibt die effektive Warmwasserleistung nicht genau wieder, da die ganze Zeitdauer des Teilzykluses der Phase 2 genommen wird. In dieser Zeitdauer ist auch die Reaktionszeit enthalten bis das System überhaupt mit dem Nachladen beginnt. D.h., die so berechnete Leistung ist kleiner als die wirkliche Leistung (Bemerkung: Der COP der Warmwasseraufbereitung ist von diesen Betrachtungen unbeeinflusst). Streng genommen gilt diese so berechnete Leistung auch nur für die entsprechende Entnahmemenge (genauer: Verhältnis Reaktionszeit / Nachladezeit). In der Regel ist aber die Reaktionszeit im Verhältnis zur Nachladezeit klein, so dass diese "Unschärfe" nicht stark ins Gewicht fällt.

Die Notwendigkeit zur Festlegung einer Warmwasserleistung zeigte sich ja erst bei der Anwendung im Kombibetrieb. In diesem Fall ergibt sich aber ein grosser Vorteil, wenn für die Berechnung der Leistungen immer die ganze Zykluszeit genommen wird: Der Kombibetrieb wird durch einen einfachen Datensatz beschrieben: Heizleistung mit COP und Warmwasserleistung mit COP. Bezieht man hingegen die Warmwasserleistung korrekterweise nur auf die Nachladezeit, so muss zusätzlich noch die Reaktionszeit und die Heizcharakteristik in der Reaktionszeit (Heizleistung mit COP) ausgewiesen werden. Dies ist nötig, damit der Einfluss der WW-Aufbereitung auf den Heizbetrieb korrekt erfasst wird. Abbildung 3 und Tabelle 1 verdeutlichen den Sachverhalt.

Es sei hier vermerkt, dass beide Methoden energetisch gleichwertig sind. Liegen für die Berechnung der Jahresarbeitszahl keine Daten für die typischen Nachladezeiten vor, so ergeben sich keine Unterschiede!

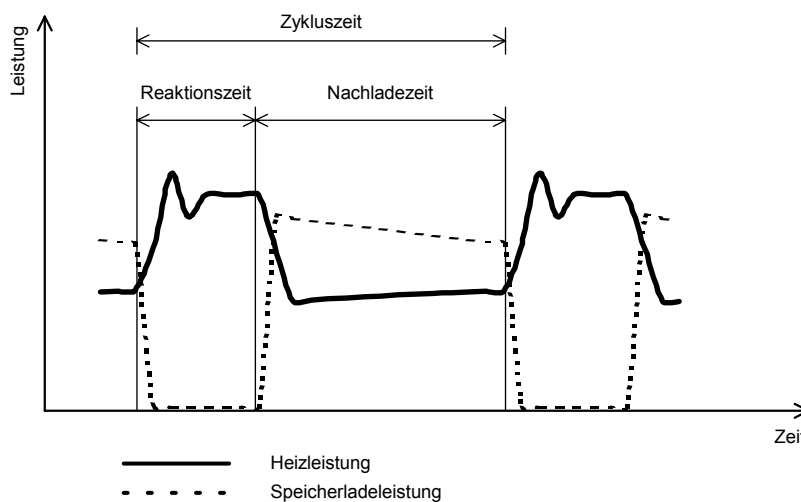


Abbildung 3: Beispielhafter Verlauf der Leistungen während der Phase 2 im EN255-3 Zyklus bei gleichzeitigem Heizbetrieb

Bezugszeit	Nötige Angaben	Vorteile	Nachteile
Zykluszeit	* Heizleistung und COP * WW-Leistung und COP	Einfacher Datensatz für Beschreibung Kombibetrieb	* Ausgewiesene Warmwasserleistung ist zu klein * Leicht sensitiv auf Entnahmemenge
Nachladezeit und Reaktionszeit	* Heizleistung und COP (bezogen auf Nachladezeit) * WW-Leistung und COP (bezogen auf Nachladezeit) * Reaktionszeit * Heizleistung und COP (bezogen auf Reaktionszeit)	* Ausgewiesene Warmwasserleistung ist korrekt * Fast kein Einfluss der Entnahmemenge	Komplizierter Datensatz für Beschreibung Kombibetrieb

Tabelle 1: Vor und Nachteile verschiedener Zeitraumbetrachtungen

2.4 Prüfprozedere für den Kombibetrieb

2.4.1 Grundüberlegungen

Mit der Norm EN255 können folgende Betriebsfälle abgedeckt werden:

- Reiner Heizbetrieb
- Reiner Warmwasserbetrieb

Betrachtet man die gewählten Systemgrenzen nach Abbildung 1 (Seite 8) nicht nur als Black-Box, so wird klar, dass WP-Systeme, welche intern effektiv nur wechselweise (alternativ) auf die Heizung oder auf den Warmwasserspeicher arbeiten, mit der bestehenden Norm EN255 ausgemessen und charakterisiert werden können. Wenn das System aber wirklich gleichzeitig auf beide Nutzer (Heizung und Warmwasser) arbeitet, so führt die Anwendung der Norm zu Problemen. Man könnte zwar wohl während des Heizbetriebes den EN255-3 Zyklus fahren, aber die Auswertung ist nicht durchführbar, weil die eingespiessene elektrische Energiemenge nicht mehr eindeutig auf die beiden Nutzer (Heizung und Warmwasser) zugeordnet werden kann. Wäre man in der Lage diese Zuordnung zu machen, so wäre das Problem gelöst.

Auf der Suche nach einem möglichst sinnvollen Verteilschlüssel für die elektrische Energie gilt es folgende Tatsachen und Kriterien zu berücksichtigen:

- 1) Physikalisch sinnvolle Aufteilung
- 2) Ein Vergleich der im Kombibetrieb ermittelten Werte nach EN255-3 sollten mit denen aus einem wechselnden Betrieb möglich sein.
- 3) Die gewonnenen Kennwerte sollen eine brauchbare Basis für eine Jahresarbeitszahlberechnung resp. Simulation sein.

Eine gute Lösung für das Kriterium 1) ist nicht so leicht zu finden. Es ist äusserst schwierig, da man in der Regel den gegenseitigen Einfluss der gleichzeitigen Produktion von Heizwärme und Brauchwarmwasser nicht kennt.

Für den Punkt 2 ist folgender, einfacher Verteilschlüssel für die elektrische Energie denkbar: Der Anteil der elektrischen Energie für die thermische Heizleistung während des Kombibetriebes wird mit Hilfe des COP's aus dem reinen Heizbetrieb (EN255-2) ermittelt. Der Rest wird der Warmwasseraufbereitung belastet. Dieser Vorschlag beruht auf folgendem Gedanken: Für die Berechnung der Jahresarbeitszahl bei alternativ wirkenden Systemen hat der Warmwasserbetrieb keinen Einfluss auf den Wirkungsgrad im Heizbetrieb. Stellt man diese "Unbeeinflusstheit des Heizbetriebes" als Mass für die Vergleichbarkeit dar, so lässt sich daraus leicht der oben genannte Verteilschlüssel ableiten.

Physikalisch gesehen wird jetzt der positive oder negative Einfluss des WW-Betriebes auf das Heizkennfeld alleine der WW-Aufbereitung gut- oder schlecht-geschrieben. Dies muss nicht der physikalischen Realität entsprechen, erlaubt aber einen fairen Vergleich der Kennwerte nach EN255-3.

Punkt 3 ist beim genaueren Betrachten eigentlich immer erfüllt. Denn für die Berechnung der Jahresarbeitszahl braucht man diese Aufteilung nicht, da man am Schluss sowieso immer nur die Summen betrachtet. Für die Simulation ist es einzig wichtig zu wissen, wie viel der Kombibetrieb anteilmässig an der gesamten Betriebszeit ausmacht. Dies wird im wesentlichen durch die thermischen Leistungsdaten (Heizleistung und Warmwasserleistung) des WP-Systems und des entsprechenden Leistungsbedarfs des Nutzers bestimmt.

Aus den bisherigen Betrachtungen ist ersichtlich, dass der Einfluss des WW-Betriebes auf den COP des Heizbetriebes nicht ermittelt werden kann. Wohl ist aber sein Einfluss auf die Heizleistung ersichtlich. Wird nun der EN255-3-Zyklus während des Heizbetriebes angewendet, so kann das die Heizleistung beeinflussen. Es stellt sich dann die Frage, wie damit bei der Prüfung umzugehen ist. Für die Lösungsfindung sind dabei folgende Kriterien zu berücksichtigen:

- 1) Die Lösung soll so wenig wie möglich an der EN255-2 ändern
- 2) Der neue Heizzustand soll dem des unbeeinflussten Heizbetriebes möglichst nahe kommen
- 3) Die Lösung muss technisch durchführbar sein.

Zu Punkt 1): Im Prinzip muss man gar keine Aenderung vornehmen. Man muss die Bedingungen der EN255-2 einfach einhalten (Siehe Abbildung 4). Dies dürfte aber schwierig sein, denn die Nutzeraustrittstemperatur T_{HV} ist primär von dem Verhalten des Prüflings bestimmt. Prüfstandseitig kann man nur sekundär über die Nutzereintrittstemperatur T_{HR} Einfluss nehmen. Bei instationären Vorgängen kann man damit immer nur zu spät reagieren. Die Vorlauftemperatur T_{HV} kann damit nicht konstant gehalten werden.

Verdampfer		Kondensator	
Eintrittstemperatur T_{QV}	Vorgabe nach EN255-2	Eintrittstemperatur T_{HR}	frei
Austrittstemperatur T_{QR}	frei	Austrittstemperatur T_{HV}	Vorgabe nach EN255-2
Durchflussmenge V_Q	Vorgabe Hersteller	Durchflussmenge V_H	Vorgabe Hersteller

Abbildung 4 : Randbedingungen für die Prüfung nach EN255-2 für Wasser/Wasser-Wärmepumpen

Zu Punkt 2): Physikalisch am nächsten würde bedeuten, dass die Heizwärme im Kombibetrieb auf dem gleichen Temperaturniveau wie im reinen Heizbetrieb abgegeben wird. Als Mass für das Temperaturniveau kann man die mittlere Temperatur zwischen Ein- und Austritt am Kondensator betrachten (T_{HM}). Es ist also der Mittelwert der Ein- und Austrittstemperatur konstant zu halten. Es ergibt sich aber die gleiche Problematik wie bei Punkt 1): Die Austrittstemperatur ist primär vom Prüfling beeinflusst und ist deshalb im instationären Fall schwer zu kontrollieren.

Auf der Quellenseite wird die Eintrittstemperatur konstant gehalten, d.h., dort ist keine Mitteltemperatur zu berechnen. Der Einfluss der Aenderung der Quellenaustrittstemperatur auf den Heizbetrieb wird dem WW-Betrieb gut- resp. schlechtgeschrieben.

Zu Punkt 3): Technisch am einfachsten ist die Lösung, dass man die Eintrittstemperaturen konstant hält. Über diese hat man die volle Kontrolle.

In Abbildung 5 sind die Argumente zusammengefasst.

Mögliche Regel	Kriterium		Physikalisch korrekt		Technisch einfach	
	Verdampfer	Kondensator	Verdampfer	Kondensator	Verdampfer	Kondensator
Einfach Randbedingungen von EN255-2 einhalten	☺ ☺		☺ ☹		☺ ☹	
Mitteltemperatur T_{HM} und Quelleneintrittstemperatur T_{QV} konstant halten	☺ ☹		☺ ☺		☺ ☹	
Eintrittstemperaturen konstant halten	☺ ☹		☺ ☹		☺ ☺	

Abbildung 5 : Vor- und Nachteile verschiedener Verhaltensregeln bei sich ändernder Heizleistung

Die physikalisch korrekte Lösung ist wenn möglich immer anzustreben, denn sie bietet den Vorteil, dass für die Berechnung der elektrischen Energie direkt der COP aus der stationären Messung übernommen werden kann, da die Quelltemperatur (T_{QV}) und die Mitteltemperatur auf der Heizungsseite (T_{HM}) die gleichen sind. Zudem ist das Mass für den Vergleich gemäss oben ("Unbeeinflusstheit des Heizbetriebes") genau erfüllt.

Aus Gründen der technischen Machbarkeit und der Durchführbarkeit dürfte jedoch die technisch einfache Lösung im Vordergrund stehen, d.h. die Eintrittstemperatur (T_{HR}) wird konstant gehalten. Damit nimmt man in Kauf, dass sich T_{HM} ändern kann. Damit muss für die Berechnung der Stromaufteilung der COP aus einem Kennfeld errechnet werden. D.h., es muss ein Heizkennfeld ($f(T_{QV}, T_{HM})$) vorliegen. Die Interpolation selbst sollte kein Problem darstellen, da in der Regel nur über einen Parameter (T_{HM}) interpoliert werden muss. Allerdings ist der COP des Heizbetriebes nicht mehr der gleiche wie im nur Heizungsfall und das Mass der Vergleichbarkeit gemäss Kapitel 2 ("Unbeeinflusstheit des Heizbetriebes") ist nicht mehr genau gegeben.

Auf jeden Fall sind beim Kombibetrieb immer beide Datensätze (P_{HK} , COP_{HK} und P_{WK} , COP_{WK} , P_{BK}) anzugeben.

2.4.2 Zusammenfassung

Der reine Heizbetrieb und der reine Warmwasserbetrieb sind mit den bestehenden Normen EN255-2 und EN255-3 abgedeckt. Im echten Kombibetrieb wird das Prüfprozedere nach EN255-3 einfach während des Heizbetriebes nach EN255-2 angewendet. Damit die Durchführung und die Auswertung möglich ist, sind folgende Ergänzungen nötig:

Während des Kombibetriebes ist die Mitteltemperatur T_{HM} konstant zu halten. Ist dies regelungstechnisch nicht möglich, so ist stattdessen die Temperatur am Systemeintritt (T_{HR}) konstant zu halten.

Während des Kombibetriebes erfolgt die Aufteilung der Stromaufnahme auf die Heizung und das Warmwasser wie folgt:

Anteil elektrische Leistung für Heizung: Heizleistung / COP_{Hs}

Anteil elektrische Leistung für Warmwasser: Summe - Heizleistung/ COP_{Hs}

Der COP_{Hs} ist der EN255-2 Messung zu entnehmen. Wurde T_{HR} konstant gehalten, so ist aus dem Kennfeld der EN255-2 Messung ein COP-Wert zu interpolieren. Dabei ist die Mitteltemperatur T_{HM} die wichtige Grösse.

Zu den Ergebnissen einer EN255-3 Messung im Kombibetrieb gehört immer der entsprechende Heizdatensatz dazu (P_{Hk} , COP_{Hk}). P_{Hk} wird in der Phase 2 ermittelt.

In Abbildung 6 ist der Sachverhalt graphisch dargestellt.

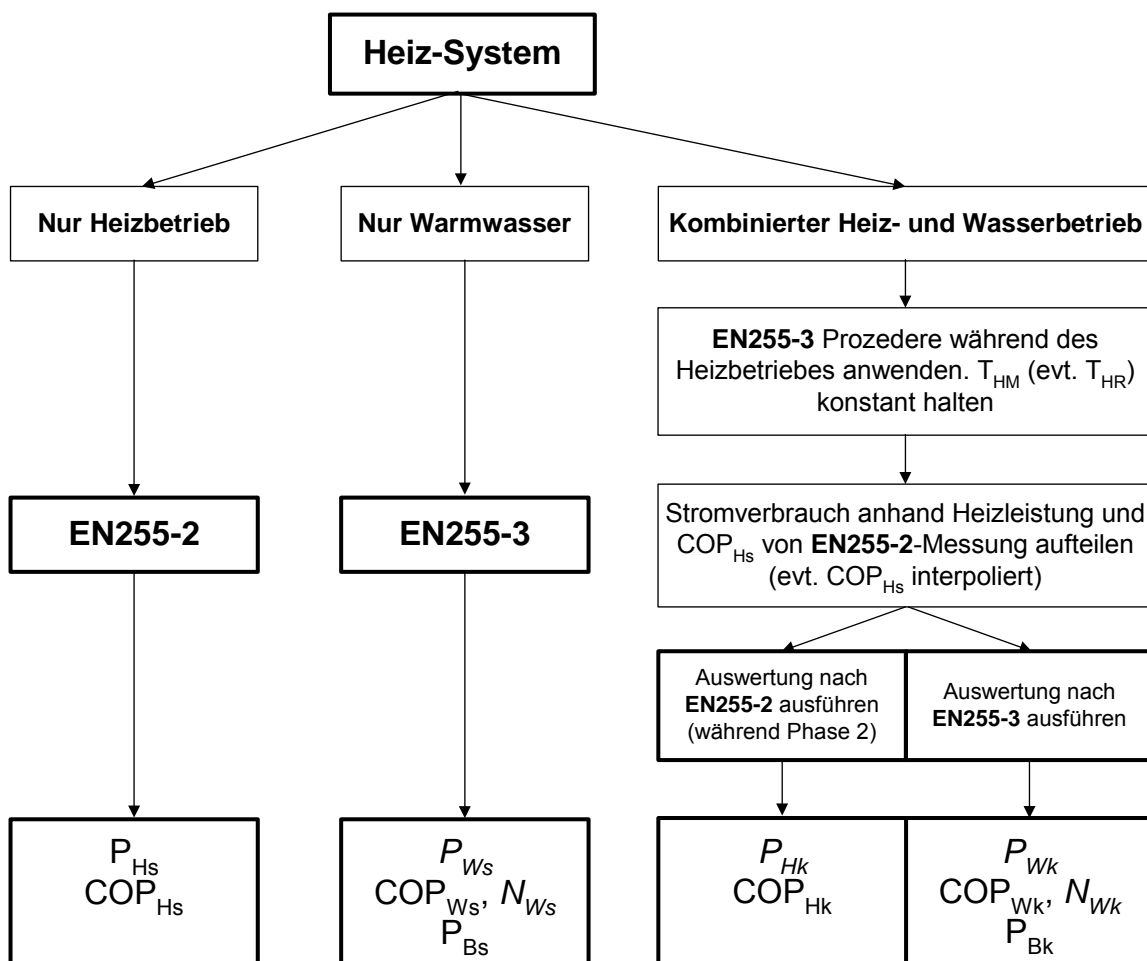


Abbildung 6: Uebersicht über die anzuwendenden Prüfverfahren

3 Prüflinge

Die Messung wurde an 2 verschiedenen Systemen zur kombinierten Raumheizung und Brauchwarmwasseraufbereitung durchgeführt. Um möglichst eine einfache und direkte Vergleichsmöglichkeit zu haben, wurde darauf geachtet, dass bei beiden Systemen die freien Parameter (Heizleistung, Speichergrösse, Warmwassertemperatur) möglichst einander angeglichen wurden. Da beide Systeme über eine programmierbare Steuerung gesteuert werden, wurden für beide Systeme die Grenzwerte für den Warmwasserbetrieb auf 55°C (Ausschalten) und 50°C (Wiedereinschalten) gesetzt. Im folgenden sind die beiden Systeme etwas genauer beschrieben.

3.1 System "Alternativ"

Der Inhalt der Systemgrenzen nach Abbildung 1 ist in der Abbildung 7 vereinfacht dargestellt. Eine "Heizwärmepumpe" arbeitet entweder auf den Heizkreis oder auf den Warmwasserspeicher. Rückschlagventile gewährleisten, dass im Heizbetrieb kein Volumenstrom durch die Heizspiralen des Warmwasserspeichers fließen und umgekehrt. Dies ist eine typische Lösung wie sie oft anzutreffen ist.

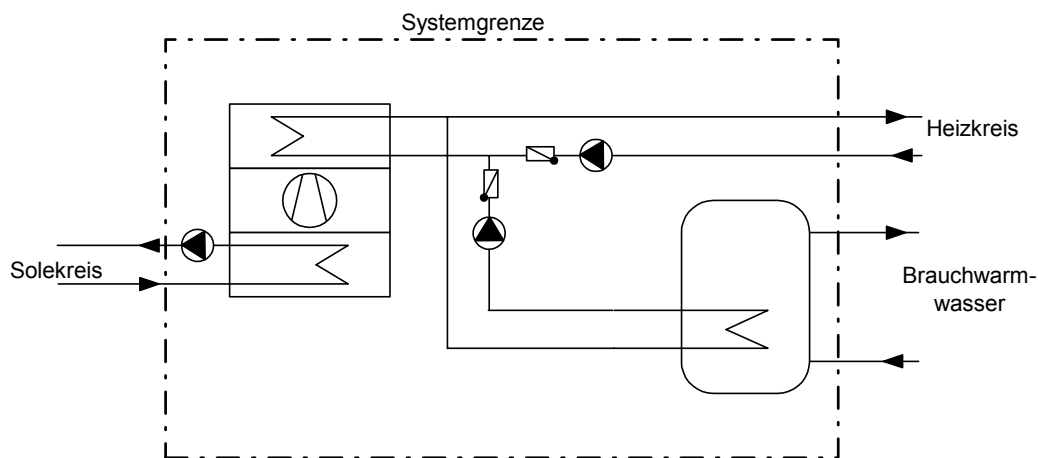


Abbildung 7: Prinzipschema des Typs "Alternativ"

Die technischen Eckdaten des Systems "Alternativ" sind in der Tabelle 2 dargestellt

Heizwärmepumpe	
Hersteller / Typ	Novelan, SIC 9M
Heizleistung bei B0/W35	9.1 kW
Elektrische Energieaufnahme	2.1 kW
COP	4.4
Kompressortyp	Scroll, vollhermetisch
Kondensator	Plattentaucher
Verdampfer	Plattentaucher
Einspritzventil	Thermostatisch
Kältemittel	R407C
Quellenmedium	25% Aethylenglykol
Speicher	
Inhalt	300 l
Tauscherfläche	3.5 m ²
Isolationsstärke (PUR-Schaum)	50 mm
Höhe (inkl. Isolation)	1.44 m
Durchmesser inkl. Isolation)	0.65 m

Tabelle 2: Technische Eckdaten des Systems "Alternativ"

3.2 System "Gleichzeitig"

Der Inhalt der Systemgrenzen ist in der Abbildung 9 vereinfacht dargestellt. Eine "grosse" Heizwärmepumpe arbeitet ausschliesslich auf das Heizsystem. Eine "kleine" Wärmepumpe arbeitet ausschliesslich auf den Warmwasserspeicher. Die kleine Wärmepumpe hat zwei Wärmequellen: Läuft die grosse Wärmepumpe nicht, so dient der normale Solekreislauf als Wärmequelle. Ist die grosse Wärmepumpe in Betrieb, so nimmt die kleine Wärmepumpe ihre Wärme aus dem Kältekreislauf der grossen Wärmepumpe. Die Entnahme erfolgt nach dem Kondensator und führt zu einer verstärkten Kondensatunterkühlung. Damit kann die kleine Wärmepumpe ihre Energie auf einem höheren Temperaturniveau entnehmen wodurch ein besserer Wirkungsgrad erreicht wird. Der Heizkreislauf wird theoretisch durch diese Unterkühlung nicht beeinflusst. Einzig durch die gesamthaft etwas höhere Energieaufnahme durch den Verdampfer wird der Verdampfungsdruck etwas tiefer sein. Dadurch wird die Leistung des Kompressors etwas beeinflusst. Abbildung 8 zeigt schematisch die Zustände im ph-Diagramm.

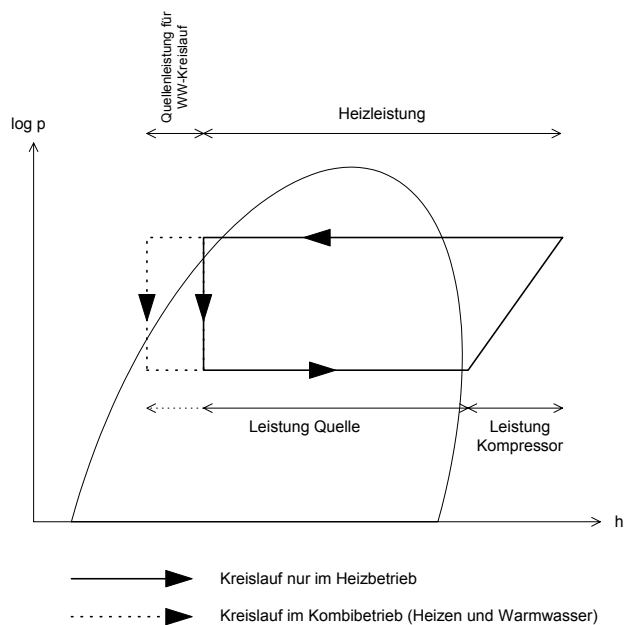


Abbildung 8: Kältekreislauf der "grossen" WP im ph-Diagramm im Heiz- und Kombibetrieb

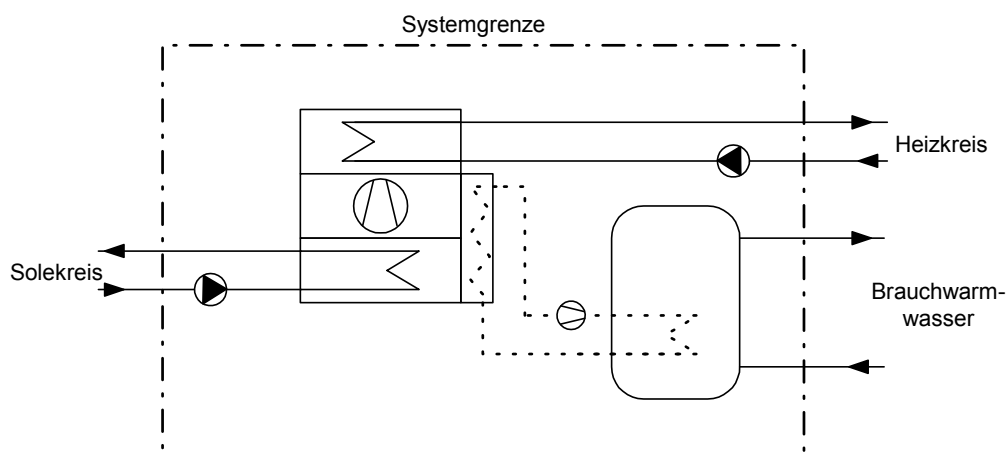


Abbildung 9: Prinzipschema des Systems "Gleichzeitig"

Die technischen Eckdaten des Systems "Gleichzeitig" sind in der Tabelle 3 dargestellt.

Heizwärmepumpe	
Hersteller / Typ	KWT, Swissline 40NHB
Heizleistung bei B0/W35	9.5 kW
Elektrische Energieaufnahme	2.1 kW
COP	4.6
Kompressortyp	Scroll, vollhermetisch
Kondensator	Plattentaucher
Verdampfer	Plattentaucher
Einspritzventil	Thermostatisch
Kältemittel	R407C
Quellenmedium	25% Aethylenglykol
Warmwasserwärmepumpe	
Hersteller / Typ	KWT, SC 15 G
Heizleistung bei ?	2.2 kW
Elektrische Energieaufnahme	0.7 kW
COP	3.1
Kompressortyp	Hubkolben, vollhermetisch
Kondensator	Tauscher im Speicher
Verdampfer	Plattentaucher
Einspritzventil	Thermostatisch
Kältemittel	R134a
Speicher	
Inhalt	200 l
Höhe (inkl. Isolation)	1.06m
Durchmesser inkl. Isolation)	0.56m

Tabelle 3: Technische Eckdaten des Systems "Gleichzeitig"

4 Anpassungen am Prüfstand WPZ

Der Prüfstand im WPZ wurde nur für stationäre Prüfungen nach EN255-2 gebaut. Bei der Prüfung nach EN255-3 wird aber instationär gefahren. Insbesondere bei Anfahr- und Stoppvorgängen können auf dem Prüfstand die Temperaturen nicht genügend genau kontrolliert werden. Weiter fehlen auch Einrichtungen für die Simulation des Brauchwarmwassers.

Es galt mit möglichst wenig Aufwand den Prüfstand temporär für Prüfungen nach EN255-3 zu ertüchtigen. Im folgenden werden die Anpassungen kurz erläutert. Allen Anpassungen lag folgender Grundgedanke zugrunde: Der Prüfstand soll von den instationären Vorgängen nichts merken. Wenn z.B. der Prüfling abstellt, so soll gleichzeitig ein zweiter Prüfling anlaufen um die Energieflüsse aufrechtzuerhalten.

4.1 Anpassungen Quellenseite

Abbildung 10 zeigt den schematischen Aufbau der Anpassungen auf der Quellenseite sowie dessen Instrumentierung. Das Funktionsprinzip ist wie folgt: Der Prüfstand liefert die Quelle mit der richtigen Temperatur und Menge. Läuft der Prüfling, so geht die Quelle direkt zum Prüfling. Ventil A ist geschlossen und Ventil B ist offen. Nachdem der Quellenstrom den Prüfling passiert hat, geht der Volumenstrom weiter durch den zweiten Prüfling, welcher nicht im Betrieb ist, und anschliessend durch einen Speicher wieder zurück zum Prüfstand. Stellt nun der Prüfling ab so geht der zweite Prüfling in Betrieb und übernimmt die nun ausgefallene Kühllast. Der Speicher dämpft die Unstetigkeiten beim Uebergang. Die Ansteuerung der Ventile A und B erfolgt über die Sole-Pumpe-Anforderung des Prüflings. Der Betrieb des zweiten Prüflings wird über das Kompressorsignal des eigentlichen Prüflings angesteuert.

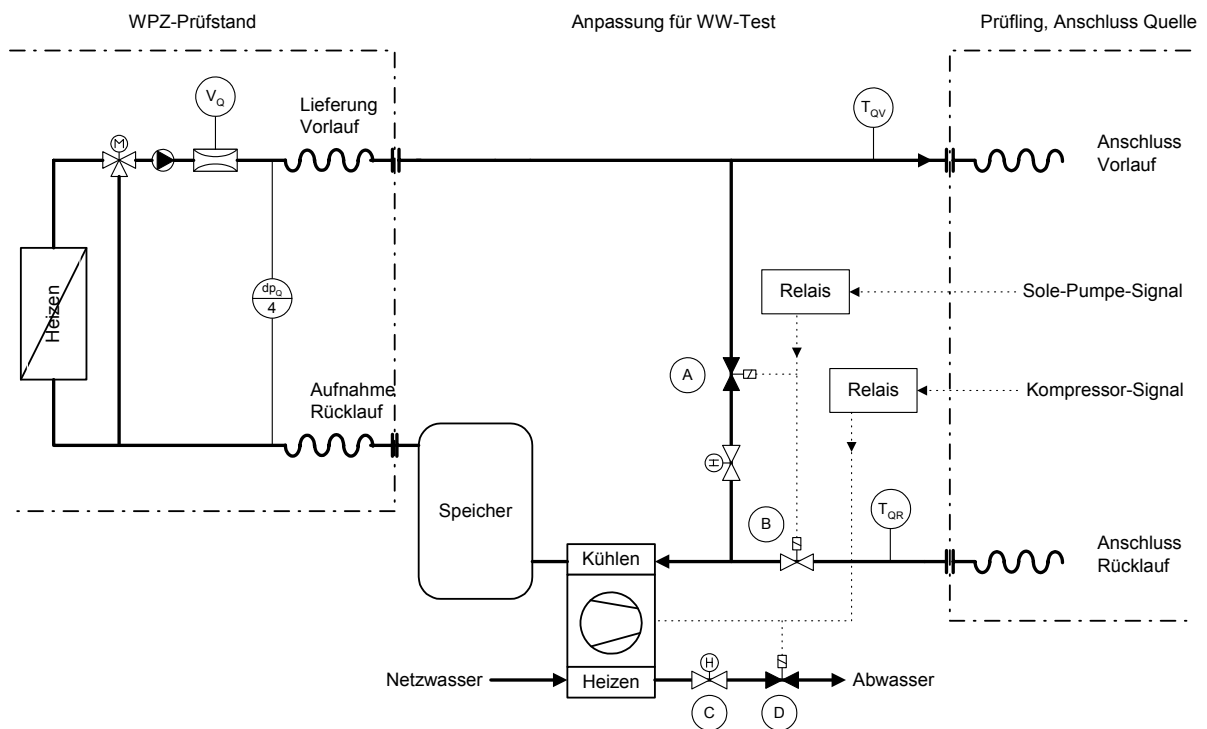


Abbildung 10: Anpassungen am Prüfstand auf der Quellenseite

4.2 Anpassungen Heizungsseite

Abbildung 11 zeigt den schematischen Aufbau der Anpassungen auf der Heizungsseite sowie dessen Instrumentierung. Das Funktionsprinzip ist wie folgt: Der Prüfstand liefert den Heizungsrücklauf mit der richtigen Temperatur und Menge. Läuft der Prüfling, so geht der Heizungsrücklauf direkt zum Prüfling. Ventil E ist geschlossen und Ventil F ist offen. Die beiden Ventile werden von der Heizkreispumpe-Anforderung des Prüflings gesteuert. Ist keine Anforderung mehr da, so schliesst das Ventil F und das

Ventil E geht auf. Der Durchlauferhitzer G gleicht die schwankenden Heizleistungen aus, so dass der Prüfstand von den instationären Vorgängen nichts merkt.

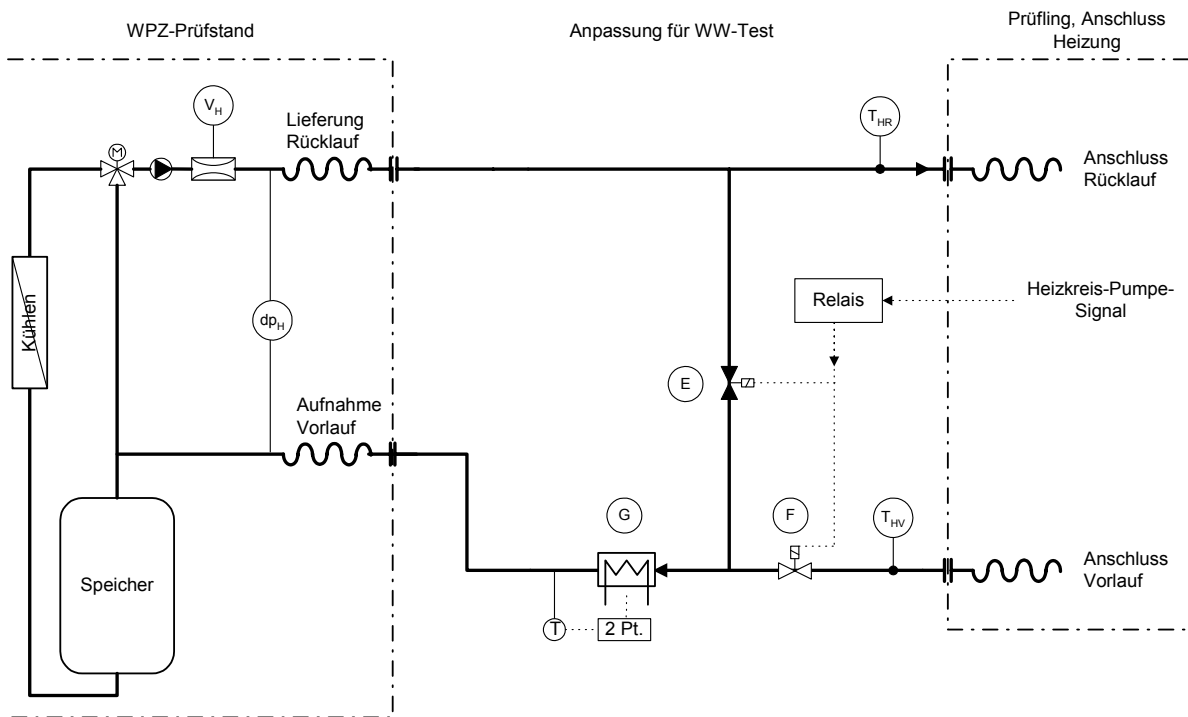


Abbildung 11: Anpassungen am Prüfstand auf der Nutzerseite (Heizung)

4.3 Zusatzinstallation Brauchwarmwasser

Abbildung 12 zeigt das Schema und die Instrumentierung. Das Netzwasser wird mittels des elektrischen Heizers H auf die für den Test nötigen 15°C gebracht. Erfolgt nun eine Warmwasserentnahme, so gelangt das Wasser über den Kaltwasseranschluss in den Prüfling. Ventil I ist geschlossen, Ventil J ist offen. Soll die Warmwasserentnahme beendet werden, so schliesst Ventil J und Ventil I geht auf. Das Netzwasser bleibt damit in ständiger Zirkulation und die 15°C können ständig für den nächsten Entnahmezyklus bereitgehalten werden. Die Entnahmemenge wird über das Drosselventil K geregelt.

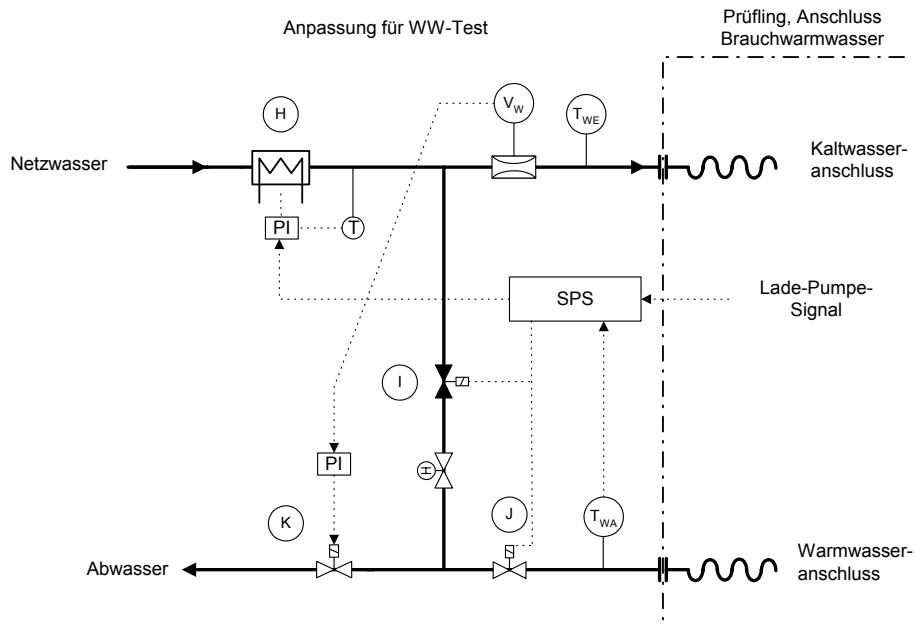


Abbildung 12: Zusatzinstallation für die Brauchwarmwasserprüfung

4.4 Raumklima

Der Prüfraum im WPZ für die Sole-WP's ist nicht klimatisiert, da nach EN255-2 Umgebungstemperaturen von 15 - 30 °C zulässig sind. Für die Bestimmung der Bereitschaftsverluste nach EN255-3 ist die Raumtemperatur jedoch auf 20°C zu regulieren. Da die Prüfungen terminlich in die kalte Jahreszeit fielen, war die Raumtemperatur eher tiefer als 20°C. So konnte relativ einfach mit Hilfe von elektrischen Heizlüftern, welche über die Messgröße Raumtemperatur gesteuert wurden, die Umgebungsbedingungen nach EN255-3 eingehalten werden.

Die Raumtemperatur wurde 1.04 m über dem Boden gemessen. Der nächste Abstand zum Prüfling betrug jeweils 40 cm. Mittels Lüfter wurde eine kleine Luftumwälzung erzwungen, damit sich keine Schichtung aufbauen konnte.

4.5 Allgemeine Bemerkungen zu den Anpassungen

Ganz Allgemein kann festgehalten werden, dass die Anpassungen sich bewährten. Die Regelungstoleranzen nach EN255-3 konnten mit diesen Anpassungen erfüllt werden.

5 Messeinrichtung

5.1 Instrumentierung

Die Abbildung 13 und Abbildung 14 zeigen die Instrumentierung der Prüflinge. Im Anhang 2 finden sich genauere Angaben zu den Sensoren. Bei den Prüflingen wurden zudem individuell noch zusätzliche Messgrößen innerhalb der Systemgrenzen erfasst. Beim Prüfling "Alternativ" wurde der Zwischenkreis der den Speicher auflädt zusätzlich erfasst (T_{ZWR} , T_{ZWW} , V_{ZW}). Die Daten dienen der FHBB zwecks Überprüfung ihrer Modellrechnungen.

Beim Prüfling "Gleichzeitig" wurde die Stromaufnahme des kleinen WW-Kompressors mit einem Elektrozähler erfasst (P_{E2}). Dies dient zur Überprüfung der Messung und der Berechnungsmethode.

Ausser der Grösse P_{EX} wurden alle Daten im 5-Sekunden-Rhythmus von einer elektronischen Datenerfassung aufgezeichnet. Die Grösse P_{EX} wurde bei 3 verschiedenen Quellentemperaturen und entsprechender Variation der Betriebszustände einmalig mit einem Handgerät erfasst und die Messwerte in einer mathematischen Funktion zusammengefasst. Die Leistungsaufnahme wird anhand des Betriebszustandes mit der in der Tabelle 5 angegebenen Funktion berechnet.

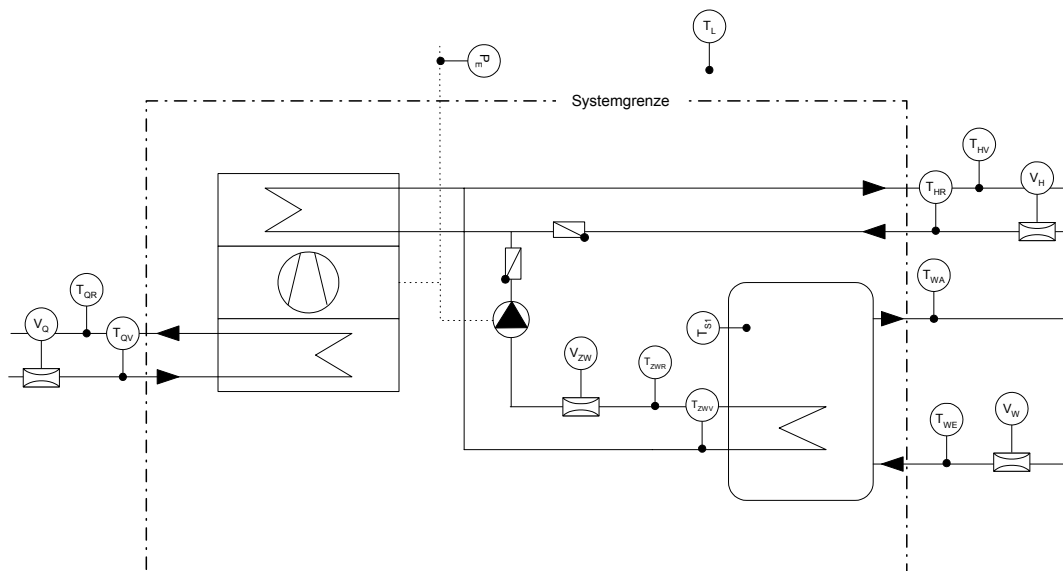


Abbildung 13: Instrumentierung des Systems "Alternativ"

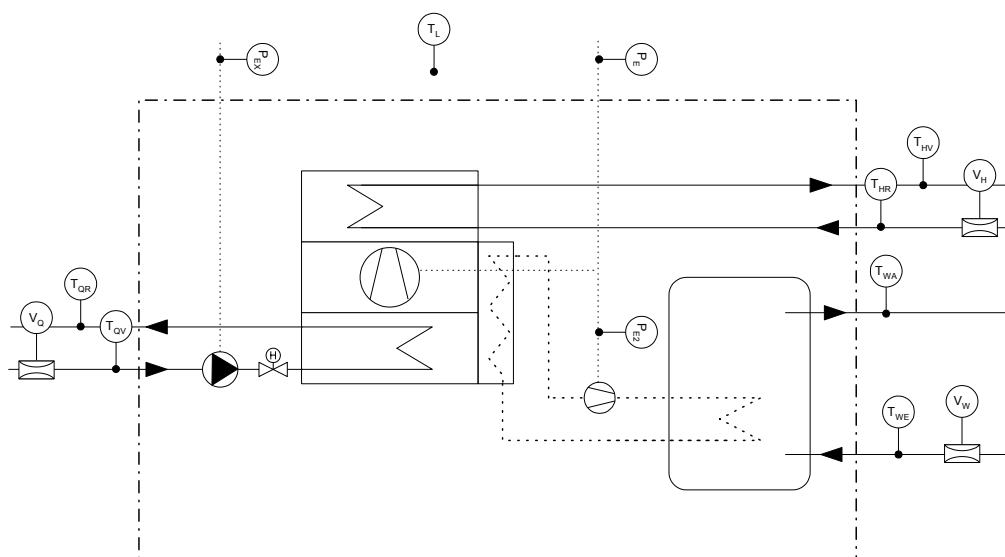


Abbildung 14: Instrumentierung des Systems "Gleichzeitig"

Messstellen- bezeichnung	Einheit	Beschrieb
P_E	kW	Elektrische Leistungsaufnahme gesamt
P_{E2}	kW	Elektrische Leistungsaufnahme kleiner Kompressor
P_{EX}	kW	Elektrische Leistungsaufnahme UP Sole
T_{HR}	°C	Temp. Heizungsrücklauf
T_{HV}	°C	Temp. Heizungsvorlauf
T_L	°C	Lufttemperatur
T_{QR}	°C	Temp. Quellenrücklauf
T_{QV}	°C	Temp. Quellenvorlauf
T_{S1}	°C	Temperatur Speicher 1
T_{WA}	°C	Temp. Warmwasseraustritt
T_{WE}	°C	Temp. Warmwassereintritt
T_{ZWR}	°C	Temperatur Zwischenkreistrücklauf
$T_{Z WV}$	°C	Temperatur Zwischenkreisvorlauf
V_H	m ³ /h	Volumenstrom Heizung
V_Q	m ³ /h	Volumenstrom Quelle
V_W	m ³ /h	Volumenstrom Warmwasser
V_{ZW}	m ³ /h	Volumenstrom Zwischenkreis (Speicherladekreis)

Tabelle 4: Messstellenliste zu Abbildung 13 und Abbildung 14

Leistungsaufnahme UP Sole		
	Grundlast ($T_{QV} = 0^\circ\text{C}$)	Korrektur für andere T_{QV}
Nur Heizbetrieb	149.0 W	$0.02 * T_{QV}^2 - 0.4 * T_{QV}$
Nur Warmwasserbetrieb	162.0 W	$0.02 * T_{QV}^2 - 0.4 * T_{QV}$
Kombibetrieb	150.5 W	$0.02 * T_{QV}^2 - 0.4 * T_{QV}$

Tabelle 5: Leistungsaufnahme der extern gespiesenen Sole-Umwälzpumpe (P_{EX})

5.2 Genauigkeit

Im Anhang 2 sind die verwendeten Messsensoren und ihre Genauigkeit sowie die Genauigkeit der Erfassung aufgelistet. Die zu erwartende Toleranz der daraus abgeleiteten Rechengrößen befinden sich im Anhang 3. Die wichtigsten Erwartungswerte für die Toleranzen der COP-Werte sind wie folgt:

COP_H : 2%

COP_W : 2.4% resp. 3.2%.

5.2.1 Ergänzende Bemerkungen

Fehler Punktmessung

Die Fehlerberechnung berücksichtigt nur die Toleranzen der Sensoren und der Erfassung. Insbesondere bei der Temperaturmessung werden die Fehler, die durch die nur punktuelle Erfassung oder durch die Einflüsse der Einbaulage (Wärmeflüsse) entstehen, nicht erfasst.

Fehler Dynamik

Die Masse der Temperaturfühler verzögert die Anzeige bei dynamischen Vorgängen. Für die Versuche wurden deshalb Pt-100-Fühler mit einem Schutzrohrdurchmesser von nur 4mm eingesetzt.

Die eingesetzten Temperaturfühler haben "bloss" eine Genauigkeit von 1/3 DIN B. Bei der Berechnung von Temperaturdifferenzen entstehen dadurch relativ grosse Fehler. Um dies zu vermeiden wurden alle Temperaturfühler vorgängig im Wasserbad ausgemessen und anschliessend auf den Mittelwert aller Fühler abgeglichen. Temperaturdifferenzen innerhalb des gleichen Temperaturniveaus sind damit auf 0.1 K genau bestimmbar.

Die Pt-100 Fühler sind nur in 2-Leiter-Technik angeschlossen. Der Widerstand der Leitungen wurde rechnerisch berücksichtigt.

Die Berechnung von Fehlertoleranzen von Rechengrössen basiert auf der statistischen Methode der Fehlerquadrate. Für zwei Messgrössen a und b mit den Toleranzen +/-da und +/-db wurden folgende Zusammenhänge verwendet:

Addition (a + b)

$$d(a + b) = \pm \sqrt{(da)^2 + (db)^2}$$

Multiplikation (a * b)

$$d(a * b) = \pm \sqrt{(a * db)^2 + (b * da)^2}$$

Division (a/b)

$$d(a / b) = \pm \sqrt{\left(\frac{da}{b}\right)^2 + \left(\frac{a * db}{b^2}\right)^2}$$

5.2.2 Ueberprüfung der Genauigkeit

Die Verifizierung der in 5.2 angegebenen Erwartungswerte für die Toleranz kann durch eine Bilanzbildung überprüft werden: Die Summe aller Energieflüsse über die Systemgrenze muss 0 sein. Damit dies anwendbar ist, müssen jedoch folgende Randbedingungen erfüllt sein:

- Es müssen alle Energieströme erfasst werden
- Das System darf keine Energie speichern

Beide Bedingungen sind nicht erfüllt. So wird der Wärmeaustausch des Systems mit der Umgebungsluft nicht erfasst. Dieser dürfte aber relativ klein sein und sollte die Bilanzrechnung nicht allzu stark verfälschen. Er ist aber klar nachweisbar. Das Kapitel 8.4 geht detailliert darauf ein.

Auch die zweite Bedingung ist ganz offensichtlich nicht erfüllt. Das System hat einen Wasser-Speicher und auch sonst noch Massen, welche Energie aufnehmen und abgeben können. Befindet sich das System jedoch in einem stationären Zustand (z.B. nur Heizen), so findet kein Energieaustausch mit diesen Speichern statt und die Bilanzbildung wird möglich.

Liegen instationäre Vorgänge vor, die sich aber zyklisch wiederholen, so kann man die Bilanz über einen Zyklus machen, da man davon ausgehen kann, dass am Ende wie am Anfang (=Schluss des vorangehenden Zyklus) der Energieinhalt des Systems gleich ist.

Die Bilanzrechnung ist also bei stationären Verhältnissen oder sich zyklisch wiederholenden Vorgängen (Phase 2 und 4 der EN255-3) näherungsweise anwendbar.

Der Erwartungswert für die Genauigkeit des Bilanzrestes für einen typischen Fall liegt bei $\pm 3.3\%$. Die Messresultate zeigen durchwegs kleinere Bilanzreste. Zudem liegen diese fast immer auf der positiven Seite, d.h. es fließt mehr Energie hinein, als heraus. Dies entspricht der Erwartung, da die Verluste an die Umgebungsluft nicht erfasst werden.

Die Bilanzreste zeigen, dass die im Anhang angegebenen Toleranzen eingehalten werden.

5.2.3 Vergleich mit WPZ-Standard-Messung

Die Standard-Messungen nach EN255-2 wurden mit der normalen Einrichtungen im WPZ durchgeführt. Die EN255-3 Messungen wurden auf einem speziell angepassten Prüfstand durchgeführt. Vom Standardprüfstand wurde dabei nur noch die Volumenstrommessung genutzt. Alle anderen Sensoren sind "neu". Während der EN255-3 Messung im Kombibetrieb treten immer wieder Konditionen auf, welche eine Auswertung nach EN255-2 erlauben. Ein Vergleich der Kennwerte, ermittelt jeweils auf dem Standardprüfstand und dem Spezialprüfstand, drängt sich auf und stellt eine weitere Möglichkeit dar, die Genauigkeit zu überprüfen.

Im Anhang 4 und Anhang 5 befindet sich eine Gegenüberstellung der Werte. Die Messungen auf dem "Standardprüfstand" fanden zeitlich immer vor den Prüfungen auf dem "Spezialprüfstand" statt.

Die auf dem Spezialprüfstand ermittelten COP-Werte sind immer leicht besser. Beim Prüfling "Alternativ" wurde auf dem Spezialprüfstand eine leicht höhere Heizleistung gemessen, beim Prüfling "Gleichzeitig" dagegen ein leicht geringere elektrische Leistungsaufnahme. Unter der Berücksichtigung, dass auch der Standardprüfstand Toleranzen aufweist, darf festgehalten werden, dass die Übereinstimmung gut ist.

6 Durchgeführte Messungen und Auswertungen

Die durchgeführten Messungen orientierten sich am Schema in Abbildung 6 (Seite 15). Alle nach diesem Schema erforderlichen Prüfungen wurden durchgeführt.

Nebst diesen "notwendigen" Prüfungen wurden auch noch weitere Versuche gefahren um zusätzliche Informationen zu gewinnen.

Die folgenden Tabellen geben einen Ueberblick über die gefahrenen Versuche

6.1 Variante "Alternativ"

Mit der Variante "Alternativ" wurden folgende Versuche gefahren:

Betriebsart	Prüfpunkte / Randbedingungen	Norm
Nur Heizbetrieb	B5/W35, B0/W35, B-5/W35, B5/W50, B0/W50, B-5/W50	EN255-2
Nur Warmwasserbetrieb	B0/*	EN255-3
"Kombibetrieb"	B0/W35	EN255-3

Tabelle 6: Uebersicht über die gefahrenen Versuche mit dem System "Alternativ"

Der EN255-3 Zyklus wurde 2 Mal gefahren. Beim ersten Versuch (nur Warmwasser) war der Heizbetrieb ausser Betrieb. D.h., wenn der Wasserspeicher fertig aufgeladen war, stellte die WP ab. Beim zweiten Versuch ("Kombibetrieb") war die Heizung aktiv: Wenn der Wasserspeicher fertig aufgeladen war, stellte die WP auf Heizbetrieb um. Mit diesem Versuch sollte überprüft werden, inwiefern der EN255-3 Zyklus dadurch beeinflusst wird.

Eine Zusammenfassung aller Messwerte dieser Versuche finden sich im Anhang

6.2 Variante "Gleichzeitig"

Mit der Variante "Gleichzeitig" wurden folgende "Standard"-Versuche gefahren:

Betriebsart	Prüfpunkte / Randbedingungen	Norm
Nur Heizbetrieb	B5/W35, B0/W35, B-5/W35, B5/W50, B0/W50, B-5/W50	EN255-2
Nur Warmwasserbetrieb	B0/*	EN255-3
Kombibetrieb	B0/W35, B0/W50	EN255-23

Tabelle 7: Uebersicht über die gefahrenen Versuche mit dem System "Gleichzeitig"

Eine Zusammenfassung aller Messwerte dieser Versuche finden sich im Anhang

Betriebsart	Prüfpunkte / Randbedingungen	Norm
Spezialversuch: Kennfeld kleiner WW-Kompressor	B-5/*, B5/*	EN255-3 nur ein Zyklus aus Phase 2
Spezialversuch: Kennfeld kleiner WW-Kompressor	B5/W35, B0/W35, B-5/W35, B5/W50, B0/W50, B-5/W50	EN255-3 nur ein Zyklus aus Phase 2
Spezialversuch: Heizbetrieb auf Spezialprüfstand	B5/W35, B0/W35, B-5/W35, B5/W50, B0/W50, B-5/W50	EN255-2
Spezialversuch: Entnahmemenge 30%	B0/W35, B0/W50	EN255-3 nur ein Zyklus aus Phase 2
Spezialversuch: Dynamischer WP-Test	Anfahrversuche bei B-6/S25, B-6/S45 und B10/S44 ON/OFF Zyklen bei B-6/S45 mit folgenden Zeiten: 5 mal (15min ON / 15min OFF) 5 mal (30min ON / 30min OFF) 5 mal (60min ON / 60min OFF) 4 mal (120min ON / 120min OFF)	Sinngemäss nach "Dynamischer WP-Test" (S = Rücklauftemperatur Wärmesenke)

Tabelle 8: Uebersicht über die gefahrenen Spezial-Versuche mit dem System "Gleichzeitig"

Wie Tabelle 8 zeigt, wurden bei diesem Prüfling einige ausserordentliche Versuche gefahren. Im folgenden ist kurz die Motivation dafür angegeben.

- Die FHBB erarbeitet mathematische Modelle von verschiedenen WP-Systemen. Für die Bestimmung verschiedener Parameter wurden deshalb beim System "Gleichzeitig" mehr Messpunkte (Kennfeld) gewünscht.
Um den Zeitaufwand in Grenzen zu halten (eine komplette EN255-3 Messung dauert 4 Tage), wurde jeweils nur ein Zyklus der Phase 2 gefahren.
Weiter wurden auch die Heizpunkte nochmals angefahren, damit die Datensätze alle von der gleichen Prüfeinrichtung stammen.
- Die Versuche mit 30% Entnahme sollten zeigen, dass die Entnahmemenge keinen wesentlichen Einfluss auf den Wirkungsgrad hat. Siehe dazu auch die Bemerkung am Ende des Kapitel 2.3.2.
- Im Bericht "Dynamischer Wärmepumpentest" [3] wurde ein Prüfverfahren entwickelt, mit welchem die dynamischen Parameter einer WP identifiziert werden können. Damit können in einer Simulation für die Jahresarbeitszahl die Verluste die durch das An- und Abstellen entstehen quantifiziert werden. Da die temporären Prüfstands Anpassungen einen dynamischen Betrieb der WP ermöglichten, lag es nahe, diesen Test durchzuführen. Das Prüfverfahren ist für Luft-Wasser-Maschinen festgelegt. Dieses kann aber sinngemäss auf Sole-Wasser-Maschinen angewendet werden. Bei der Wahl der Temperaturen musste auf die Einsatzgrenzen (Hoch- und Niederdruck) des Prüflings geachtet werden. Die Messung erfolgte mit einer Abtastfrequenz von 2 Sekunden. Es wurden dabei nur die absolut notwendigen Messgrössen registriert. Die Auswertung der Daten erfolgt in der FHBB.

6.3 Besonderheiten

Die Messungen und Auswertungen nach EN255-2 erfolgten alle mit externen Umwälzpumpen (UP) für den Sole- und Heizkreis. Der UP-Aufwand wird anhand des Druckabfalles über der Systemgrenze und dem Volumenstrom ermittelt. In Abweichung zur EN255-2 wird mit einem Wirkungsgrad von 20% statt 30% gerechnet (Tössreglement).

Bei den Auswertungen nach EN255-3 musste bei der Variante "Gleichzeitig" aus technischen Gründen die interne Sole-UP wieder eingebaut werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wurde aber trotzdem die Auswertung mit externer UP angestrebt. Damit dies möglich war, wurde die Pumpe extern mit Strom versorgt.

Für die Berechnung der Umwälzpumpenleistungen bei der EN255-3 Messung wurden die Druckabfälle resp. die Umwälzpumpenleistungen der Standardmessung (EN255-2) als Basis genommen. Beim System "Gleichzeitig" ergaben sich jedoch je nach Betriebszustand etwas andere Leistungen für die Solepumpe. Tabelle 9 zeigt die Korrekturen. Diese basieren auf den Messungen von P_{EX} (Siehe Tabelle 5, Seite 23)

	UP-Leistung
Nur Heizen	UP-Leistung aus EN255-2
Nur Warmwasser	UP-Leistung aus EN255-2 + 13 W
Kombibetrieb	UP-Leistung aus EN255-2 + 1.5 W

Tabelle 9: Ermittlung der Soleumwälzpumpenleistung beim System "Gleichzeitig"

Bei der Berücksichtigung der UP-Leistung ist ferner zu berücksichtigen, dass die Laufzeiten der Pumpen mit den Laufzeiten des Kompressors und den Zeitdauern der Phasen nicht genau übereinstimmen müssen (z.B. Vor- und Nachlauf der UP gegenüber Kompressor).

Beim Prüfling "Alternativ" wurde bei den ersten Versuchen festgestellt, dass nach der Speicherentnahme von 50% des Nennvolumens (Phase 2 nach EN255-3) der Regler noch nicht reagierte, da der Temperaturfühler relativ weit oben im Speicher platziert ist. In der Folge wurden alle Versuche (auch Variante "Gleichzeitig") mit einer Entnahmemenge von 60% des Nennvolumens durchgeführt.

Nach EN255-3 sind in der Phase 2 die Entnahmezyklen so lange zu wiederholen, bis die Differenz der Energieentnahmen (Warmwasser) kleiner als 10% ist. Der letzte Zyklus ist dann zur Auswertung zu nutzen. Bei allen Tests wurden, wenn nicht besonders vermerkt, in der Regel immer 3 Zyklen gefahren und der letzte dann zur Auswertung genommen. Die Auswertung zeigte, dass in der Regel 2 Zyklen genügt hätten.

Im Fall Kombibetrieb wurde für die Regelung des Heizkreises die technisch einfache Variante gewählt (siehe Kapitel 2.4)., d.h., die Heizungsrücklauftemperatur wurde immer konstant gehalten. Dank der angenehmen Eigenschaft, dass die Heizleistung des Prüflings während der Anwendung des EN255-3-Zyklus sich nicht änderte, blieb auch die heizungsseitige Mitteltemperatur T_{HM} unbeeinflusst. Dadurch konnte in der Auswertung der Messungen einfach immer direkt der COP_{HS} ohne Interpolation eingesetzt werden.

7 Resultate

Im folgenden sind die Resultate und Auswertungen der im Kapitel 6 aufgelisteten Messungen tabellarisch dargestellt. Zu einigen Punkten wird im Kapitel 8 detailliert Stellung genommen.

7.1 Variante Alternativ

Betriebspunkt		B5/W35	B0/W35	B-5/W35	B5/W50	B0/W50	B-5/W50
		nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen
Norm		EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2
Heizleistung	W	10596	9477	8406	10444	9282	8110
Elektrische Leistung	W	2164	2179	2203	3067	3092	3117
COP	-	4.90	4.35	3.82	3.40	3.00	2.60

Tabelle 10: Auswertung nach EN255-2, Messungen auf dem Standardprüfstand

Betriebspunkt		B5/W35	B0/W35	B-5/W35	B5/W50	B0/W50	B-5/W50
		nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen
Norm		EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2
Heizleistung	W		9603				
Elektrische Leistung	W		2182				
COP	-		4.40				

Tabelle 11: Auswertung nach EN255-2, Messungen auf dem Spezialprüfstand

Betriebspunkt		B0/W35	B0/*	B0/W35
		nur Heizen	nur Warmw.	"Kombi"
Norm		EN255-2	EN255-3	EN255-3
Heizleistung	W	9603		
Warmwasserleistung	W		7069	7147
Elektrische Leistung Total	W	2182	2309	2365
Elektrische Leistung für Heizen	W	2182		
Elektrische Leistung für WW	W		2309	2365
COP EN255-2	-	4.40		
COP EN255-3	-		3.06	3.02
Gütegrad N_w	-		0.31	0.31
Bereitschaftsaufwand	W		55.0	55.3

Tabelle 12: Auswertung nach EN255-3

Details zu den Messwerten befinden sich im Anhang

7.2 Variante Gleichzeitig

Betriebspunkt		B5/W35	B0/W35	B-5/W35	B5/W50	B0/W50	B-5/W50
		nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen
Norm		EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2
Heizleistung	W	10344	9015	7883	9719	8604	7574
Elektrische Leistung	W	1990	2022	2058	2864	2918	2973
COP	-	5.20	4.46	3.83	3.39	2.95	2.55

Tabelle 13: Auswertung nach EN255-2, Messungen auf dem Standardprüfstand

Betriebspunkt		B5/W35	B0/W35	B-5/W35	B5/W50	B0/W50	B-5/W50
		nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen	nur Heizen
Norm		EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2	EN255-2
Heizleistung	W	10294	9031	7957	9707	8597	7557
Elektrische Leistung	W	1945	1979	2013	2837	2872	2919
COP	-	5.29	4.56	3.95	3.42	2.99	2.59

Tabelle 14: Auswertung nach EN255-2, Messungen auf dem Spezialprüfstand

Prüfpunkte		B0/W35	B0/W50	B0/*	B0/W35	B0/W50
		nur Heizen	nur Heizen	nur Warmw.	Kombi	Kombi
Norm		EN255-2	EN255-2	EN255-3	EN255-23	EN255-23
Heizleistung	W	9031	8597		9038	8555
Warmwasserleistung	W			1141	1751	2133
Elektrische Leistung Total	W	1979	2872	484	2630	3489
Elektrische Leistung für Heizen	W	1979	2872		1981	2858
Elektrische Leistung für WW	W			484	649	631
COP EN255-2	-	4.56	2.99		4.56	2.99
COP EN255-3	-			2.36	2.70	3.38
Gütegrad N_w	-			0.24	0.28	0.35
Bereitschaftsaufwand	W			62.4	36.3	29.3

Tabelle 15: Auswertung nach EN255-3

Details zu den Messwerten befinden sich im Anhang

7.3 Spezialmessungen

7.3.1 Kennfeld Brauchwarmwasser

Die Bereitschaftsverluste wurden aus Zeitgründen nicht ermittelt. Die Tabellen zeigen die Werte ohne Korrektur der Bereitschaftsverluste.

Betriebspunkt		B5/*	B0/*	B-5/*
		nur WW	nur WW	nur WW
Norm		EN255-3	EN255-3	EN255-3
Heizleistung	W			
Warmwasserleistung	W	1384	1141	665
Elektrische Leistung Total	W	585	548	493
Elektrische Leistung für Heizen	W			
Elektrische Leistung für WW	W	585	548	493
COP EN255-2	-			
COP EN255-3 ohne Kor. Bereitschaft	-	2.37	2.08	1.35
Gütegrad N_{Wv}	-	0.20	0.21	0.16
Bereitschaftsaufwand	W		(62)	

Tabelle 16: Kennfeld WW-Kompressor im "nur Warmwasserbetrieb" (ohne Berücksichtigung Bereitschaftsaufwand)

Betriebspunkt		B5/W35	B0/W35	B-5/W35
		Kombi	Kombi	Kombi
Norm		EN255-23	EN255-23	EN255-23
Heizleistung	W	10313	8989	7838
Warmwasserleistung	W	1829	1754	1679
Elektrische Leistung Total	W	2622	2646	2660
Elektrische Leistung für Heizen	W	1949	1970	1983
Elektrische Leistung für WW	W	673	677	677
COP EN255-2	-	5.29	4.56	3.95
COP EN255-3 ohne Kor. Bereitschaft	-	2.72	2.59	2.48
Gütegrad N_{Wv}	-	0.23	0.27	0.30
Bereitschaftsaufwand	W		(36)	

Tabelle 17: Kennfeld WW-Kompressor im "Kombibetrieb" bei 35°C Heizungsvorlauf (ohne Berücksichtigung Bereitschaftsaufwand)

Betriebspunkt		B5/W50	B0/W50	B-5/W50
		Kombi	Kombi	Kombi
Norm		EN255-23	EN255-23	EN255-23
Heizleistung	W	9713	8505	7530
Warmwasserleistung	W	2039	1885	2093
Elektrische Leistung Total	W	3444	3466	3579
Elektrische Leistung für Heizen	W	2862	2884	2956
Elektrische Leistung für WW	W	582	582	623
COP EN255-2	-	3.39	2.95	2.55
COP EN255-3 ohne Kor. Bereitschaft	-	3.51	3.24	3.36
Gütegrad N_{Wv}	-	0.29	0.33	0.41
Bereitschaftsaufwand	W		(29)	

Tabelle 18: Kennfeld WW-Kompressor im "Kombibetrieb" bei 50°C Heizungsvorlauf (ohne Berücksichtigung Bereitschaftsaufwand)

7.3.2 Entnahmemenge 30% statt 60%

In der folgenden Tabelle sind die Werte dargestellt, die mit einer Entnahmemenge von 30% ermittelt wurden. Der Bereitschaftsaufwand wurde von den Messungen mit 60%-Entnahme übernommen (Bereitschaftsaufwand ist unabhängig von der Entnahmemenge!).

Betriebspunkt		B0/W35	B0/W50
		Kombi	Kombi
Norm		EN255-23	EN255-23
Heizleistung	W	9025	8526
Warmwasserleistung	W	1610	2018
Elektrische Leistung Total	W	2646	3532
Elektrische Leistung für Heizen	W	1978	2848
Elektrische Leistung für WW	W	668	684
COP EN255-2	-	4.56	2.99
COP EN255-3	-	2.41	2.95
Gütegrad N_w	-	0.25	0.31
Bereitschaftsaufwand	-	36.3	29.3

Tabelle 19: Auswertung nach EN255-3 bei Messungen mit 30% statt 60% Entnahmemenge.

7.3.3 Dynamischer WP-Test

Die Messungen wurden an der FHBB nach dem in [3] beschriebenen Verfahren ausgewertet. Die Auswertung liefert 5 Parameter, mit welchen das dynamische Verhalten der WP beschrieben werden kann. Mit den 3 Parameter a, b und c lässt sich die maximale Minderproduktion bei einem einmaligen Start mit anschließender unendlicher Laufzeit in Funktion von Quellen-, Senken- und Umgebungstemperatur berechnen. Für die Berechnung der Minderproduktion bei endlichen ON- und OFF-Zeiten werden zusätzlich die Parameter τ_{on} und τ_{off} benötigt. Die folgende Tabelle zeigt die 5 Parameter.

a	b	c	τ_{on}	τ_{off}
-130.2	15.4	-9.6	13.0	1152.7

Tabelle 20 Die 5 Parameter aus dem dynamischen Test

8 Diskussion der Ergebnisse

Die im Kapitel 7 aufgelisteten Resultate entsprechen nicht in allen Fällen den Erwartungen. Im folgenden werden diese Fälle genauer betrachtet und nach möglichen Ursachen und Gründen gesucht. Weiter werden auch einige Beobachtungen vermerkt.

8.1 Variante Alternativ

8.1.1 Pumpenvorlauf

Beim "Nur Warmwasserbetrieb" hat die Soleumwälzpumpe einen Vor- und Nachlauf von je einer Minute gegenüber dem Kompressor. Aus energetischer Sicht ist der Grund dafür nicht einsehbar, denn das führt sowohl in der Praxis als auch im Test nach EN255-3 zu einem kleinen Nachteil: Während der Vorlaufzeit wird wertvolle warme Sole (sie hat während der Stillstandszeit die Umgebungstemperatur angenommen) ungenutzt fortgepumpt und kalte Sole (im Test 0°C) nachgeschoben. Schade! Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der Phase 4.

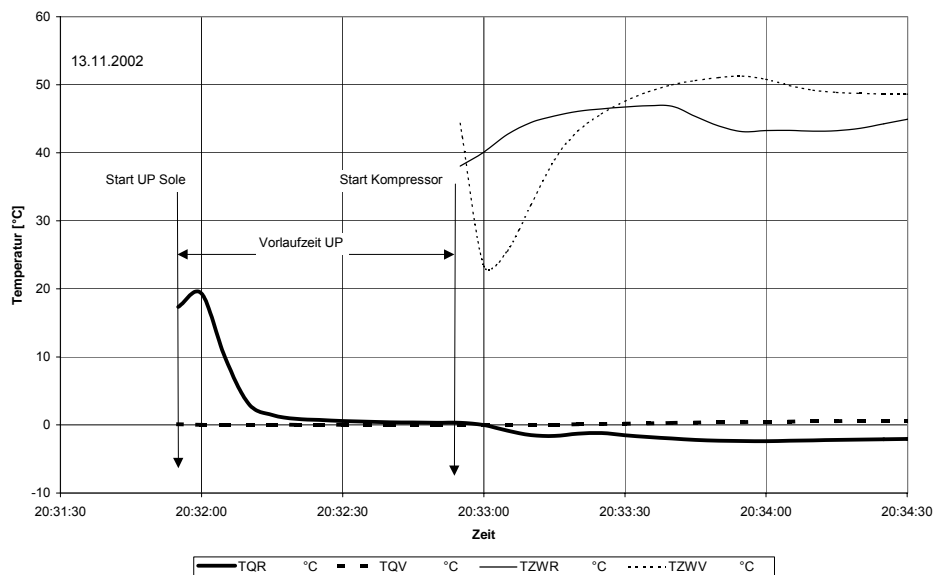


Abbildung 15: Einfluss Vorlaufzeit auf Temperaturverlauf der Sole (T_{QR} und T_{QV})

8.1.2 EN255-3 unter Sommer- und Winterbedingungen

Die Messung nach EN255-3 wurde beim System "Alternativ" 2 Mal durchgeführt. Einmal unter Sommer-Bedingungen (nur WW-Betrieb) und einmal unter Winterbedingungen ("Kombi"-Betrieb: Wenn nicht auf den WW-Speicher gearbeitet wird, dann arbeitet die WP auf den Heizkreis). Damit sollte auf messtechnischer Basis der "Beweis" dafür geliefert werden, dass beim System "Alternativ" eine Messung unter Sommerbedingungen genügt. Die Resultate scheinen dies auch zu bestätigen: Die COP-Werte liegen bei 3.06 (Sommerbedingungen) resp. 3.02 (Winterbedingungen). Schaut man aber die Ergebnisse genauer an, so kommen doch Details zum Vorschein, dass man zum Schluss kommt, dass auch ein "Alternativ-Gerät" im Kombibetrieb zu testen ist.

Folgende Resultate gaben den Ausschlag für eine genauere Betrachtung:

- Tendenziell würde man eher beim Kombibetrieb bessere COP-Werte erwarten, da der Kompressor immer "Betriebswarm" ist.
- Bereitschaftsaufwand: Nebst dem unter a) vermerkten Grund hat der Kombibetrieb den Vorteil, dass während der Stillstandszeit der WW-Aufbereitung wirklich keine elektrische Energie verrechnet wird. Im Fall "Nur WW-Betrieb" fallen während der Stillstandszeit aber die Leistung der Steuerung an. Dies ist

bei einem Stillstands- zu Laufzeit-Verhältnis von über 60 (25 Std. zu 24 min) nicht zu vernachlässigen! Trotzdem ist der Bereitschaftsaufwand im Fall "Kombi" nicht geringer.

- c) In der Phase 4 dauert es im Kombibetrieb über 1 Stunde länger bis der Speicher nachgeladen wird, obwohl die Raumtemperatur dieselbe ist.

Aus Punkt c) ist zu schliessen, dass der Speicher wahrscheinlich nicht nur an die Umgebungsluft Wärme verliert. Es besteht der Verdacht, dass durch ganz kleine Strömungen im Speicherladekreis (z.B. Konvektion) dem Speicher Wärme entzogen wird. In der Tat: Schaut man die Werte im Zwischenkreis im Fall Nachladen in Phase 4 (Bereitschaftsaufwand) an, so wird im Fall "Kombi" 25% mehr Energie in den Speicher geschaufelt als im Fall "Nur Warmwasser"! Allerdings würde man aber gerade im Fall "Kombi" deswegen kürzere Stillstandszeiten erwarten. Der Sensor für die Steuerung ist jedoch sehr hoch oben im Speicher platziert! Dieser bekommt von der Abkühlung, welcher über den Zwischenkreis im unteren Teil des Speichers erfolgt, wahrscheinlich gar nichts mit.

Es ist damit wohl eher Zufall, dass sich die Bereitschaftsaufwände (und damit auch die COP-Werte) nur wenig unterscheiden. Es sollte also auch ein System "Alternativ" echt im Kombibetrieb gemessen werden. Allerdings ist dann auch eine entsprechende Auswertung nötig, die eine allfällige Wechselwirkung zwischen Speicher und WP berücksichtigt. Die Resultate in der Tabelle 21 wurde einfach mit dem in Kapitel 2.4 angegebenen Verfahren ermittelt, obwohl dies eigentlich nur für den echten Kombibetrieb ausgedacht wurde. Der COP ist nun etwas besser: Beim Fall "Nur Warmwasser" ging die Energie des heissen Kompressors verloren, im Fall "Kombi" wird sie nun ins Heizsystem eingebracht. Da sie aber diesem nicht gut geschrieben wird (COP konstant) erscheint sie nun im Warmwasser.

Betriebspunkt		B0/W35	B0/W35
		nur Heizen	"Kombi"
Norm		EN255-2	EN255-23
Heizleistung	W	9603	2188
Warmwasserleistung	W		7147
Elektrische Leistung Total	W	2182	2832
Elektrische Leistung für Heizen	W	2182	497
Elektrische Leistung für WW	W		2335
COP EN255-2	-	4.40	4.40
COP EN255-3	-		3.06
Gütegrad N_w	-		0.31
Bereitschaftsaufwand	W		55.3

Tabelle 21: Auswertung des Systems "Alternativ" nach dem Muster für echten Kombibetrieb

8.2 Variante Gleichzeitig

8.2.1 Pumpenvorlauf

Im Gegensatz zur Variante "Alternativ" verzichtet die Variante "Gleichzeitig" auf den energetisch unvorteilhaften Vor- und Nachlauf der Sole-UP im "Nur Warmwasser-Betrieb". Unglücklich sind aber gewisse technische Randbedingungen im "Nur WW-Betrieb":

- Grosse Sole-Umwälzpumpe im Verhältnis zur WW-Kompressorleistung
- Im "Nur WW-Betrieb" nimmt die Sole UP sogar 13 W mehr auf als im Heizbetrieb.
- Ein Magnetventil von 15 W Leistung ist dauernd in Betrieb

8.2.2 Stromaufnahme der Warmwasserwärmepumpe

Im Fall "Gleichzeitig" erlaubt die interne Messung der Stromaufnahme des kleinen Kompressors (P_{E2}) einen Vergleich der wirklichen Stromaufnahme mit dem rechnerisch ermittelten Wert. Unter der Annahme, dass der Heizbetrieb durch den WW-Betrieb nicht beeinflusst wird (Siehe Kapitel 3.2) überraschen die Ergebnisse des Vergleichs, da die Abweichungen doch sehr gross sind.

Würde man die mit P_{E2} ermittelten Werte für die Berechnung der COP's verwenden, so ergäben sich für das Warmwasser COP-Werte von 3.27 statt 2.70 (B0/W35) und 3.67 statt 3.38 (B0/W50). Der Wirkungsgrad der Heizwärmepumpe fällt dabei aber von 4.56 auf 4.31 (B0/W35) und von 2.99 auf 2.95 (B0/W50). Tabelle 22 und Tabelle 23 zeigen den Vergleich.

Prüfpunkte		B0/W35	B0/W35	B0/W35	
		nur Heizen	Kombi	Kombi	
Norm		EN255-2	EN255-23	EN255-23	
Stromaufteilung			$COP_H = \text{konstant}$	P_{E2}	Differenz
Heizleistung	W	9031	9038	9038	
Warmwasserleistung	W		1751	1751	
Elektrische Leistung Total	W	1979	2630	2633	
Elektrische Leistung für Heizen	W	1979	1981	2098	5.9%
Elektrische Leistung für WW	W		649	535	-17.6%
COP EN255-2	-	4.56	4.56	4.31	-5.6%
COP EN255-3	-		2.70	3.27	21.4%
Gütegrad N_W	-		0.28	0.34	
Bereitschaftsaufwand	W		36.3	32.8	-9.6%

Tabelle 22: Vergleich der Auswertung mit verschiedener Aufteilung der elektrischen Gesamtleistungsaufnahme beim Prüfpunkt B0/W35

Prüfpunkte		B0/W50	B0/W50	B0/W50	
		nur Heizen	Kombi	Kombi	
Norm		EN255-2	EN255-23	EN255-23	
Stromaufteilung			$COP_H = \text{konstant}$	P_{E2}	Differenz
Heizleistung		8597	8555	8555	
Warmwasserleistung			2133	2133	
Elektrische Leistung Total		2872	3489	3492	
Elektrische Leistung für Heizen		2872	2858	2911	1.8%
Elektrische Leistung für WW			631	581	-7.9%
COP EN255-2		2.99	2.99	2.94	-1.8%
COP EN255-3			3.38	3.67	8.6%
Gütegrad N_W			0.35	0.38	
Bereitschaftsaufwand			29.3	26.6	-9.3%

Tabelle 23: Vergleich der Auswertung mit verschiedener Aufteilung der elektrischen Gesamtleistungsaufnahme beim Prüfpunkt B0/W50

Um einen Messfehler auszuschliessen, wurde im Fall "Nur Warmwasserbetrieb" der Vergleich der elektrischen Leistung (Gesamt mit Teilmessung (P_{E2})) angestellt. Zusätzlich zu berücksichtigen sind dabei die Leistung des Magnetventils (15 W) und die Leistung der Steuerung (6W) welche von P_{E2} nicht erfasst werden. Die Differenzen liegen bei 2.2%. Anhang 20 zeigt die Details.

Ein Messfehler ist also auszuschließen. Somit ist die Vorstellung, dass der WW-Betrieb den Heizbetrieb praktisch nicht beeinflusst, wie dies in Kapitel 3.2 dargelegt wurde, wohl falsch, resp. der Einfluss wurde unterschätzt. Es ist klar, dass der Verdampfungsdruck durch den zusätzlichen Betrieb des WW-Kompressors absinkt. Es ist aber fraglich, ob dies der einzige negative Einfluss auf den Heizbetrieb ist. Eine theoretische Kreislaufberechnung zeigt, dass die Sensitivität des COPs bezogen auf eine Verdampfungstemperaturänderung von 1°C bei 2,5% (B0/W35) und 1,8% (B0/W50) liegt. Die Resultate bestätigen die geringere Sensitivität beim Punkt B0/W50. Allerdings zeigt die theoretische Kreislaufberechnung aber auch, dass die Sensitivität der Heizleistung bei ca. 3,1% liegt. Gerade die Heizleistung scheint aber unbeeinflusst!

Der Einfluss des WW-Betriebes auf den Heizbetrieb ist also sehr komplex und lässt sich mangels zusätzlicher Informationen (Kältemitteldrücke, Temperaturen etc.) nicht eindeutig erklären. Immerhin lässt sich in diesem speziellen Fall der Einfluss quantifizieren.

8.2.3 Entnahmemenge 30% statt 60%

In der Tabelle 24 sind die Ergebnisse aus der Tabelle 15 (60%-Entnahme) den Ergebnissen mit 30%-Entnahme gegenübergestellt. Es zeigt sich, dass der Einfluss der Entnahmemenge auf den COP doch nicht ganz zu vernachlässigen ist. Der Einfluss auf die Warmwasserleistung ist bedingt durch den Betrachtungszeitraum (Kapitel 2.3.2). Leider liegen keine weiteren Daten mit 30%-Entnahme vor. Es wäre interessant zu wissen, ob im "Nur Warmwasserbetrieb" eine ähnliche Abhängigkeit besteht. Auch das Verhalten des Systems "Alternativ" bei 30%-Entnahme (allerdings mit tiefer eingebauten Temperaturfühler) wäre interessant.

Die Abhängigkeit der Werte von der Entnahmemenge dürfte wahrscheinlich aber ein generelles EN255-3-Problem sein.

Betriebspunkt		B0/W35	B0/W35		B0/W50	B0/W50
		Kombi	Kombi		Kombi	Kombi
Entnahmemenge		60%	30%		60%	30%
Heizleistung	W	9038	9025		8555	8526
Warmwasserleistung	W	1751	1610		2133	2018
Elektrische Leistung Total	W	2630	2646		3489	3532
Elektrische Leistung für Heizen	W	1981	1978		2858	2848
Elektrische Leistung für WW	W	649	668		631	684
COP EN255-2	-	4.56	4.56		2.99	2.99
COP EN255-3	-	2.70	2.41		3.38	2.95
Gütegrad N_W	-	0.28	0.25		0.35	0.31
Bereitschaftsaufwand	W	36	36		29	29

Tabelle 24: Vergleich der Kennwerte bei verschiedenen Entnahmemengen

8.2.4 Reproduzierbarkeit

Bei der Variante "Alternativ" wurden die Messungen infolge Probleme bei der Inbetriebnahme des Spezialprüfstandes (defektes Magnetventil, Abstürze des Mess-PC's etc.) mehrmals durchgeführt. Die guten Teile dieser Messungen wurden ebenfalls zur Kontrolle ausgewertet. Sie bestätigen die Resultate der "Hauptmessung", d.h., es liegt eine gute Reproduzierbarkeit vor.

Beim zweiten Prüfling ging die Versuchsreihe dann praktisch ohne Wiederholungen durch, so dass nur wenige Vergleiche möglich sind. Vom Heizbetrieb gibt es mehrere Intervalle, die eine Nachrechnung erlauben. Die Reproduzierbarkeit ist gut. Beim Warmwasserbetrieb gibt es auch ein paar Punkte. Allerdings gibt es hier doch Unterschiede. Zwei Beispiele seien hier dargelegt.

Beispiel 1: 30% Entnahme

Die 30% Entnahme wurde im Betriebspunkt B0/W50 2 Mal gefahren. Ein erstes Mal wurden die Entnahmekyklen im Anschluss an eine längere Bereitschaftsphase angehängt. Unmittelbar nach dem Nachladen wurden die Entnahmekyklen eingeleitet. Ca. 3 Wochen später wurden die 30%-Entnahmekyklen wiederholt, diesmal aber im Anschluss an vorgängige 60%-Entnahmekyklen (Basis für Tabelle 24). In der folgenden Tabelle sind alle Teilzyklen der beiden Messungen ausgewertet, um allfällige Tendenzen zu erkennen. Dass sich mit einer erhöhten Zykluszahl die COP-Werte annähern würden, ist allerdings nicht zu erkennen.

Messung		30%-Zyklus im Anschluss an Standby			30%-Zyklus im Anschluss an 60%-Zyklus			
		Teilzyklus 1	Teilzyklus 2	Teilzyklus 3	Teilzyklus 1	Teilzyklus 2	Teilzyklus 3	Teilzyklus 4
Heizleistung	W	8538	8544	8544	8528	8528	8524	8526
Warmwasserleistung	W	1991	1989	2003	1943	1981	2004	2018
Elektrische Leistung Total	W	3568	3564	3570	3522	3526	3526	3532
Elektrische Leistung für Heizen	W	2852	2854	2854	2849	2849	2847	2848
Elektrische Leistung für WW	W	716	710	716	673	677	678	684
COP EN255-2	-	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99	2.99
COP EN255-3	-	2.78	2.80	2.80	2.89	2.93	2.95	2.95
Gütegrad N_w	-	0.29	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.31
Bereitschaftsaufwand	W	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3

Tabelle 25: Auswertung der Entnahmekyklen mit verschiedener "Vorkonditionierung" im Punkt B0/W50

Beispiel 2: Kennfeld kleiner Kompressor

Für die FHBB wurde das Kennfeld des kleinen Warmwasserkompressors auf der Basis der 60%-Entnahme gemessen. Aus zeitlichen Gründen wurden aber nicht immer 3 Teilzyklen gefahren. Die Fahrweise lief wie folgt: Ständiges Entnehmen von Brauchwarmwasser und anschliessendes Nachladen. Die Temperaturen der Quelle und des Heizkreislaufes wurden unabhängig davon genügend lange auf einem Niveau gehalten, so dass mindestens 1 Teilzyklus komplett mit konstanten Randbedingungen gefahren wurde. Manchmal gab es auch 2 gute Punkte. Z.T. gab es auch Punkte, bei denen die Randbedingungen nur in einem kleinen Zeitfenster nicht ganz stationär waren.

Ein Vergleich solcher Punkte ist in der Tabelle 26 am Beispiel "Nur Warmwasserbetrieb" dargestellt.

Prüfpunkt		Kennfeldmessung			
		B-5/*		B-5/*	B-5/*
Prüfdatum	Datum	23.01.03		02.02.03	02.02.03
		T_{QV} nur -4.83 °C		Teilzyklus 1	Teilzyklus 2
Heizleistung	W	0		0	0
Warmwasserleistung	W	655		778	665
Elektrische Leistung Total	W	494		505	494
Elektrische Leistung für Heizen	W				
Elektrische Leistung für WW	W	494		505	494
COP EN255-2	-				
COP EN255-3 ohne kor. Bereitschaftsaufwand	-	1.33		1.54	1.35
Gütegrad N_w	-	0.16		0.18	0.16
Bereitschaftsaufwand	W				

Tabelle 26: Auswertung der Entnahmekyklen: Vergleich verschiedener Messungen am Beispiel B-5/*

Die Unterschiede in der Auswertung der beiden Zyklen sind doch recht gross. Betrachtet man den zeitlichen Verlauf der elektrischen Leistungsaufnahme so sieht man, dass diese sehr eigenartig ist. Es ist zu vermuten, dass mit dem Prüfling nicht alles in Ordnung ist. Dieser komische Leistungsverlauf zeigt sich aber nur in diesem "Extrempunkt". Beim Kombibetrieb ist diese Ueberprüfung nicht sauber durchzuführen, da dort dem Signal die Leistungsaufnahme des grossen Kompressors überlagert ist. (Nebenbei: Die Messstelle P_{E2} hilft dabei wenig, da diese kein kontinuierliches Signal, sondern nur Energieimpulse liefert)

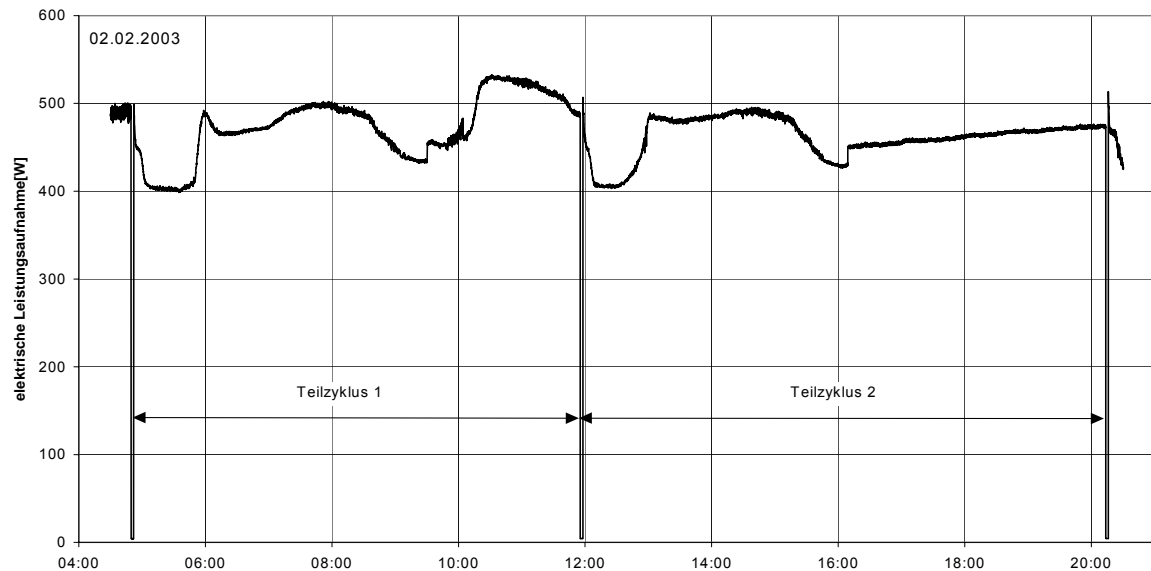


Abbildung 16: Elektrische Leistungsaufnahme des Systems während der Teilzyklen 1 und 2

Die Punkte B0/W35 und B0/W50 wurden bei der Kennfeldmessung ebenfalls nochmals gefahren, so dass diese mit der "Hauptmessung", bei der immer 3 Teilzyklen gefahren wurde, verglichen werden können. Die Tabelle 27 und Tabelle 28 zeigen die Resultate.

Prüfpunkt	Kennfeldmessung		Hauptmessung		
	B0/W35		B0/W35	B0/W35	B0/W35
Prüfdatum	24.01.03		27.12.02	27.12.02	27.12.02
	Teilzyklus 1		Teilzyklus 1	Teilzyklus 2	Teilzyklus 3
Heizleistung	8989		9036	9037	9038
Warmwasserleistung	1754		1773	1744	1751
Elektrische Leistung Total	2646		2664	2660	2666
Elektrische Leistung für Heizen	1970		1980	1980	1981
Elektrische Leistung für WW	677		684	679	685
COP EN255-2	4.56		4.56	4.56	4.56
COP EN255-3 ohne kor. Bereitschaftsaufwand	2.59		2.59	2.57	2.55
Gütegrad N_w	0.27		0.27	0.26	0.26
Bereitschaftsaufwand					

Tabelle 27: Vergleich der Kennfeldmessung mit der Hauptmessung im Betriebspunkt B0/W35

	Kennfeldmessung			Hauptmessung		
Prüfpunkt	B0/W50	B0/W50		B0/W50	B0/W50	B0/W50
Prüfdatum	26.01.03	26.01.03		31.12.02	31.12.02	31.12.02
	Teilzyklus 1	Teilzyklus 2		Teilzyklus 1	Teilzyklus 2	Teilzyklus 3
Heizleistung	8525	8505		8566	8557	8555
Warmwasserleistung	2131	1885		2153	2143	2133
Elektrische Leistung Total	3499	3466		3522	3518	3519
Elektrische Leistung für Heizen	2848	2841		2862	2859	2858
Elektrische Leistung für WW	651	625		660	659	661
COP EN255-2	2.99	2.99		2.99	2.99	2.99
COP EN255-3 ohne kor. Bereitschaftsaufwand	3.27	3.02		3.26	3.25	3.23
Gütegrad N_w	0.34	0.31		0.33	0.33	0.33
Bereitschaftsaufwand						

Tabelle 28: Vergleich der Kennfeldmessung mit der Hauptmessung im Betriebspunkt B0/W50

Die Tabellen zeigen, dass die Ergebnisse der durchgeführten Kennfeldmessung manchmal gut und manchmal schlecht übereinstimmen. Beim Punkt B0/W50 im zweiten Teilzyklus zeigt die Stromaufnahme ebenfalls ganz leichte Anomalien. Allerdings ist, wie schon vorgängig erwähnt, diese Interpretation sehr vage.

Die Reproduzierbarkeit beim System "Gleichzeitig" ist beim Warmwasserteil etwas unstetig. Die Ursache dafür liegt sicher bei der Maschine und nicht an der Messung. Es sei hier vermerkt, dass bei der Inbetriebnahme der Maschine das Einspritzventil der kleinen WW-WP ersetzt werden musste, da dieses defekt war.

8.3 Gegenüberstellung der beiden Systeme

8.3.1 COP-Werte und Bereitschaftsaufwände nach EN255

Die Messungen hatten auch zum Ziel, die beiden Systeme miteinander zu vergleichen. In den folgenden Abbildungen sind die wichtigsten Größen graphisch dargestellt.

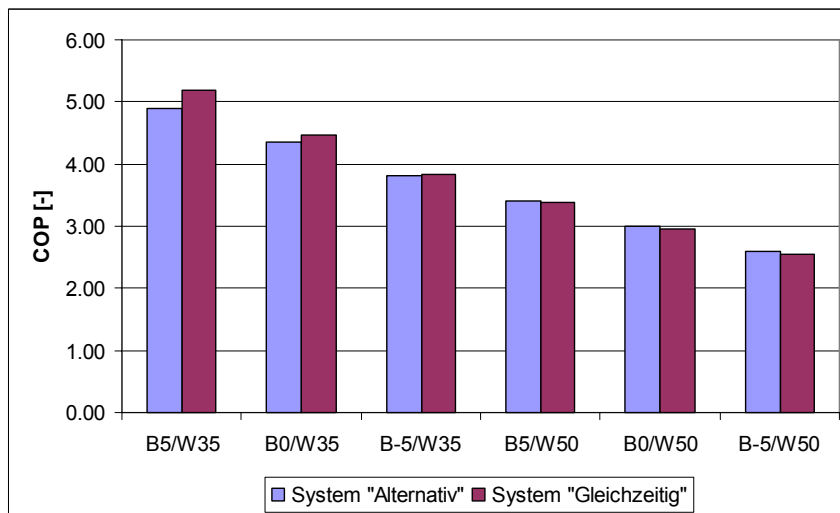


Abbildung 17: Vergleich der COP-Werte (Heizen) im "Nur Heizbetrieb"

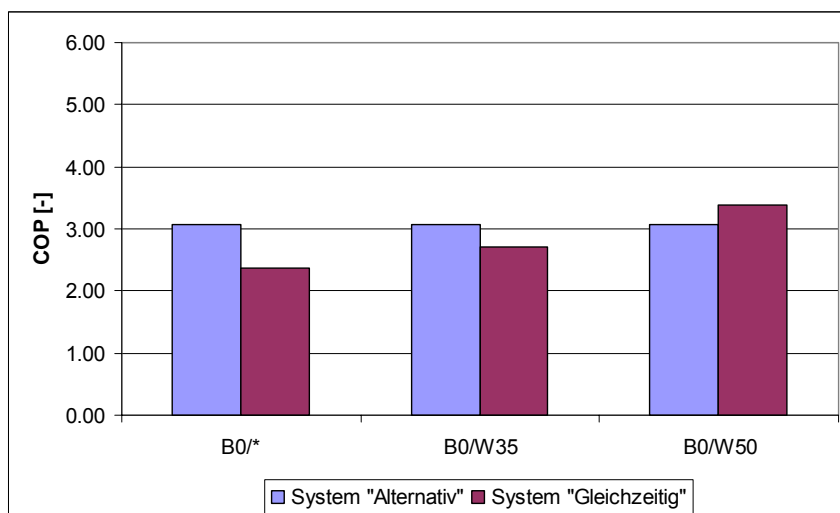


Abbildung 18: Vergleich der COP-Werte für die Warmwasseraufbereitung

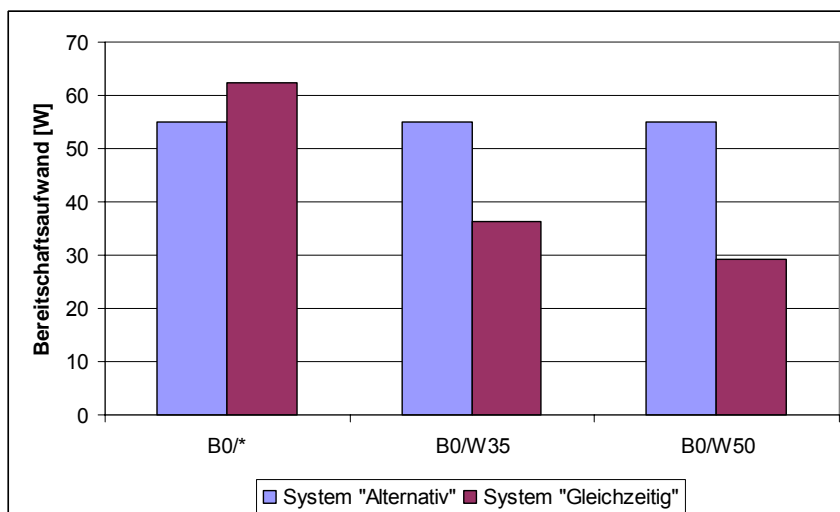


Abbildung 19: Vergleich des Bereitschaftsaufwandes

Aus den Abbildungen ist ersichtlich, dass im "Nur Heizbetrieb" beide Systeme etwa gleich gut sind. Beim COP für die Warmwasseraufbereitung im "Nur Warmwasser-Betrieb" ist das System "Alternativ" besser, im Kombibetrieb hat das System "Gleichzeitig" erst bei hohen Heiztemperaturen einen besseren COP. Bezüglich Bereitschaftsaufwand hat das System "Gleichzeitig" im Kombibetrieb die besseren Werte.

Erst eine Jahresarbeitszahlberechnung, in der die Laufzeiten im "Single-" und im "Kombibetrieb" richtig gewichtet werden, sowie der ganze Aufwand für die Pumpleistung der Sole mitberücksichtigt wird, ermöglicht eine Gesamtbeurteilung.

8.3.2 Jahresarbeitszahlen für 2 typische Fälle

An der FHBB wurde auf der Basis der in diesem Bericht ermittelten Resultate nach EN255 Jahresarbeitszahlberechnungen für den Klimastandort Zürich durchgeführt. Ein Minergiehaus mit einem Heizenergiebedarf von 10'000 kWh/a auf tiefem Temperaturniveau und ein älteres EFH mit einem Heizenergiebedarf von 20'000 kWh/a auf hohem Temperaturniveau wurden jeweils mit den Systemen „Alternativ“ und „Gleichzeitig“ durchgerechnet. Der Warmwasserbedarf beträgt in beiden Fällen 3000 kWh/a.

Der Heizkreis der beiden Gebäudetypen ist nicht identisch: Im älteren EFH befinden sich zusätzlich ein Speicher (parallel) sowie ein elektrischer Heizeinsatz für die ganz hohen Vorlauftemperaturen.

Die Jahresarbeitszahl wurde jeweils für 3 verschiedene Systemgrenzen berechnet. Die Systemgrenzen basieren auf ein Schema von RAVEL [5], siehe Abbildung 20.

Systemgrenze 1: Entspricht den Teilen WQA und WP aus Abbildung 20

Systemgrenze 2: Entspricht der Systemgrenze WEA aus Abbildung 20

Systemgrenze 3: Entspricht der Systemgrenze 2 + den Umwälzpumpen der Systemgrenze WV

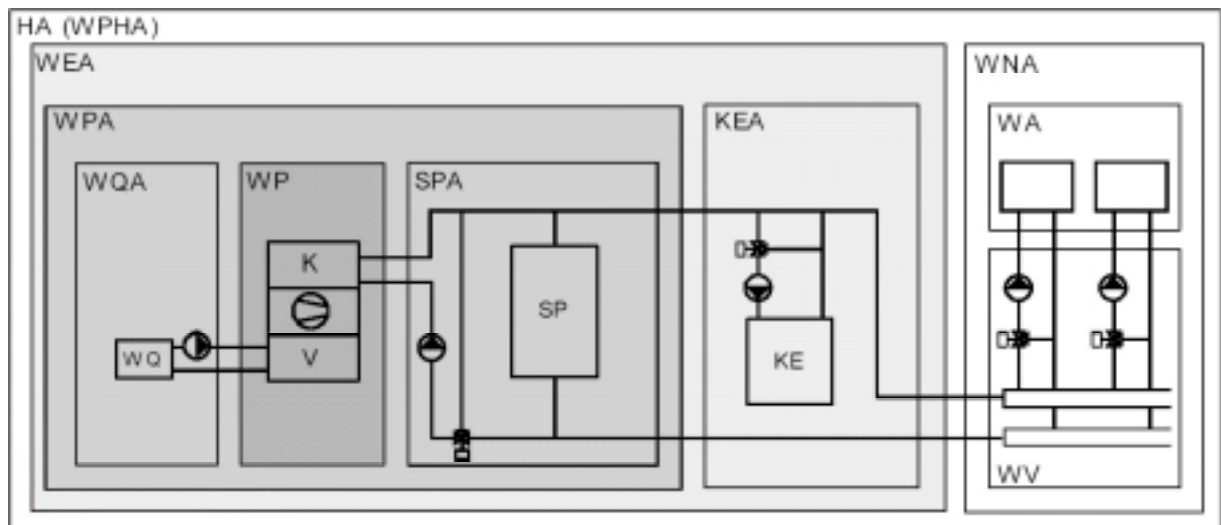


Abbildung 20: Systemgrenzen nach Ravel

Die Systemgrenze 1 ist für den Vergleich mit anderen Wärmeerzeugern wie z.B. Gas oder Öl sehr geeignet. Aus der Sicht des in diesem Bericht vorgeschlagenen Prüfverfahrens ist diese Systemgrenze aber nicht ganz glücklich. Für das Testverfahren war eine Systemgrenze vorgegeben, welche dem System WP + SPA in Abbildung 20 entspricht. Für den EN255-2-Teil (Heizen) ist dies kein Problem, da die Messung effektiv nur an der Systemgrenze WP durchgeführt wurde. Für den EN255-3-Teil (Warmwasser) muss jedoch eine rechnerische Massnahme getroffen werden, um den WP- und SPA-Teil zu bestimmen: Die thermischen Speicherverluste sowie der COP zur Deckung dieser Verluste können mit Hilfe des Bereitschaftsaufwandes, des in Kapitel 2.3.2 definierten Gütegrades sowie einer Annahme über die Speichertemperatur aber recht gut abgeschätzt werden.

Die JAZ-Berechnungen sind detailliert im Bericht der FHBB [6] beschrieben. Im folgenden sind die wichtigsten Ergebnisse tabellarisch zusammengefasst. Zusätzlich werden noch die Werte für die Systemgrenze 0 (entspricht Systemgrenze WP in Abbildung 20) angegeben. In dieser Grenze gehen die

EN255-Messwerte mehr oder weniger direkt ein. Damit kann sehr schön nachvollzogen werden, wie der EN255-Wirkungsgrad durch die Hilfsbetriebe und Verluste beeinflusst wird.

Minergie-Haus mit Wärmeerzeugung Typ "Alternativ"				
	Jahresarbeitszahl nach Systemgrenze			
	Grenze 0	Grenze 1	Grenze 2	Grenze 3
Heizung	4.97	4.54	4.54	3.76
Warmwasser	2.95	2.75	2.11	2.11
Total	4.16	3.83	3.58	3.18

Tabelle 29: Jahresarbeitszahl für ein Minergiehaus (Wärmeerzeugung Typ „Alternativ“)

Minergie-Haus mit Wärmeerzeugung Typ "Gleichzeitig"				
	Jahresarbeitszahl nach Systemgrenze			
	Grenze 0	Grenze 1	Grenze 2	Grenze 3
Heizung	5.22	4.87	4.87	3.97
Warmwasser	2.38	2.02	1.60	1.60
Total	3.92	3.50	3.30	2.95

Tabelle 30: Jahresarbeitszahl für ein Minergiehaus (Wärmeerzeugung Typ „Gleichzeitig“)

Älteres EFH mit Wärmeerzeugung Typ "Alternativ"				
	Jahresarbeitszahl nach Systemgrenze			
	Grenze 0	Grenze 1	Grenze 2	Grenze 3
Heizung	3.83	3.57	3.37	3.14
Warmwasser	2.95	2.75	2.11	2.11
Total	3.65	3.40	3.13	2.95

Tabelle 31: Jahresarbeitszahl für ein altes EFH (Wärmeerzeugung Typ „Alternativ“)

Älteres EFH mit Wärmeerzeugung Typ "Gleichzeitig"				
	Jahresarbeitszahl nach Systemgrenze			
	Grenze 0	Grenze 1	Grenze 2	Grenze 3
Heizung	3.88	3.68	3.42	3.16
Warmwasser	2.54	2.19	1.73	1.73
Total	3.58	3.32	3.03	2.85

Tabelle 32: Jahresarbeitszahl für ein altes EFH (Wärmeerzeugung Typ „Gleichzeitig“)

Die Tabellen zeigen, dass das aufwändigere System „Gleichzeitig“ im Jahresschnitt keine Vorteile gegenüber dem System „Alternativ“ hat. Weiter ist auch ersichtlich, dass die Speicherverluste und die Umwälzpumpenleistungen einen sehr grossen Einfluss auf die Jahresarbeitszahlen haben.

8.4 Wärmeverluste an die Umgebung

Bei den Messungen wurde immer eine komplette Energiebilanz erstellt. Damit kann man grob die Qualität der Messungen beurteilen (Siehe Kapitel 5.2.2, Ueberprüfung der Genauigkeit). Betrachtet man die Bilanzreste beim stationären Heizbetrieb etwas genauer, so sieht man sehr schön eine Abhängigkeit vom Betriebspunkt, welche sich auch qualitativ gut erklären lässt: Mit zunehmender Betriebstemperatur des Systems nehmen die Verluste zu. In Abbildung 21 ist der Zusammenhang graphisch dargestellt. Als Referenzgrösse wurde dabei die Kompressoraustrittstemperatur genommen. Diese wurde anhand eines theoretischen Kreislaufes abgeschätzt.

Lässt man von Excel noch eine Trendkurve hineinlegen, so sieht man, dass die effektive Genauigkeit der Bilanz unter 1% liegen dürfte.

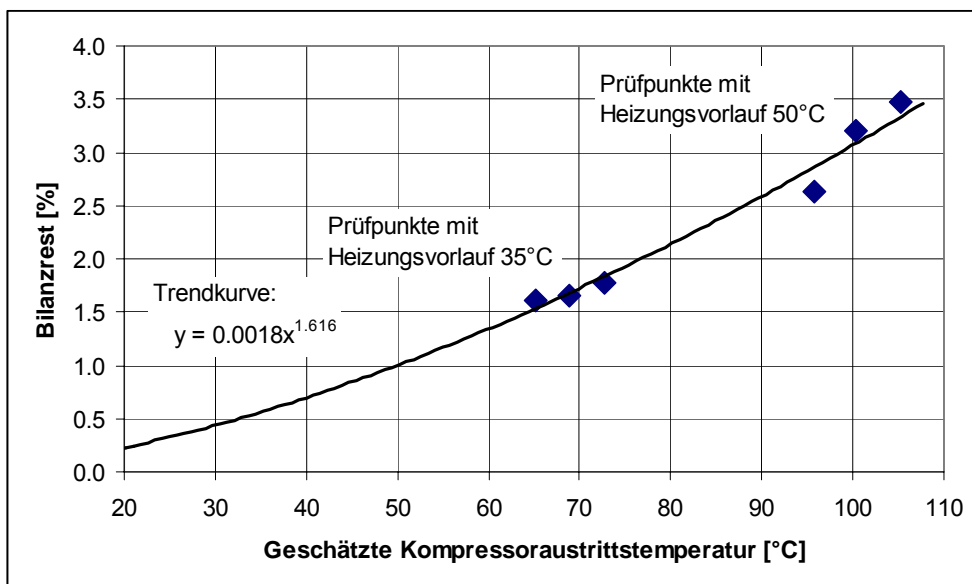


Abbildung 21: Analyse der Bilanzreste auf dem Spezialprüfstand

9 Schlussfolgerungen

9.1 Prüfprozedere

Das im Kapitel 2.4 dargelegte Prüfverfahren hat sich bei der Anwendung auf die 2 Prüflinge bestens bewährt. Es besteht durch folgende Vorteile:

- Das Prüfverfahren basiert auf bereits bestehenden Normen, welche die Fälle "Nur Heizen" und "Nur Warmwasser" abdecken.
- Die Messresultate im Kombibetrieb können dadurch mit den Werten der bestehenden Normen verglichen werden
- Der Kombibetrieb wird durch einen einfachen Datensatz beschrieben

Das Prüfverfahren hat aber auch Nachteile. Die meisten davon haben ihren Ursprung aber in den bestehenden Normen und sind in dem Sinne nicht "Kombibetrieb"-spezifisch.

- 1) Die Norm kann nur auf Systeme angewendet werden, bei welchem im Innern eindeutige Betriebszustände herrschen, und zwar in dem Sinne, dass klar signalisiert werden kann, wann für die Brauchwarmwasseraufbereitung gearbeitet wird und wann nicht.
- 2) Zeitdauer: Es hat sich gezeigt, dass ein einziger EN255-3-Durchgang rund 4 Tage dauert. Möchte man nun im "Nur Warmwasser-Betrieb" 2 verschiedene Quellentemperaturen fahren und im "Kombibetrieb" 2 verschiedene Quellen- und Heizungstemperaturen fahren, so ist der EN255-3 Zyklus 6 mal durchzuführen. Vor jeder Durchführung muss das System mit der Umgebungstemperatur im Einklang sein (24 Std. Stillstand oder ein paar Stunden ganzes System mit 20°C spülen). Somit würde die ganze Messung rund 30 Tage dauern!
Am meisten Zeit brauchen die Phase 3 und 4. Würde man auf gewisse EN255-3-Kennwerte verzichten, so könnte man die Phase 3 weglassen (Diese hat keinen Einfluss auf die energetischen Kennwerte). Phase 4 könnte evt. verkürzt werden. Ein Abbruchkriterium in der Art, dass der Unterschied zwischen den elektrischen Energiemengen zwischen zwei nachfolgenden Nachladungen kleiner als XY% sein muss, wäre denkbar.
Naheliegender ist auch die Idee, den Bereitschaftsaufwand indirekt über die Verluste des Speichers zu berechnen. Damit würde die Phase 4 wegfallen. Gerade aber die Messungen haben gezeigt, dass der Speicher nicht nur an die Umgebungsluft Wärme abgeben kann. Damit darf man den Speicher nicht einfach separat ausmessen.
- 3) Es ist nicht auszuschliessen, dass die Kennwerte bedeutend von der Entnahmemenge abhängen. Es wäre deshalb sinnvoll, dass die Phase 2 zweimal, aber mit verschiedenen Entnahmemengen (sofern die Lage des Regelfühlers dies erlaubt), gefahren wird. Der zeitliche Mehraufwand dafür wäre gering.

Die Nachteile könnten auch damit gelöst werden, indem man sich von den bestehenden Normen löst, da ja dort die Wurzeln der Probleme stecken. Im Vordergrund steht dabei ein Prüfprozedere auf Basis eines realen 24-Stunden-Warmwasser-Entnahme-Profil's. Insbesondere der Nachteil 3) wäre damit Rechnung getragen. Doch es zeigt sich sehr schnell ein wesentliches Problem: Die Bilanzierung ist nur dann möglich, wenn am Anfang und am Ende des Bilanzierungszeitraumes der Energieinhalt des Systems der gleiche ist. Möchte man auch Systeme testen, welche nicht der Einschränkung 1) unterliegen, dann wird es sehr schwierig sein diese Zustände zu finden. Zudem dürften sich diese wohl kaum am 24-Stunden-Rythmus halten. Möglicherweise kann man dann nur noch durch mehrmaliges wiederholen des Tagesprofils gewisse Aussagen machen (Durchschnittswerte, Statistik). Der Zeitaufwand ist dann aber sehr beträchtlich.

Die Ausarbeitung einer komplett neuen Norm dürfte somit sicher nicht leicht sein. Die Stromaufteilung, wie sie im Kapitel 2.4 vorgeschlagen wurde, könnte aber auch bei einem neuen Testverfahren verwendet werden.

9.2 Vergleich der beiden getesteten Systeme

Die Auswertungen nach EN255-2 zeigen, dass im Heizbetrieb beide Maschinen etwa gleichwertig sind. Bei der Auswertung nach EN255-3 zeigen sich aber doch deutliche Unterschiede. Im "Nur Warmwasserbetrieb" ist das System "Alternativ" klar besser. Im "Kombibetrieb" kann sich das System "Gleichzeitig" aber erst bei hohen Heiztemperaturen vom System "Alternativ" abheben. Insofern überraschen die Ergebnisse der Jahresarbeitszahlberechnungen nicht. Dass die physikalisch sinnvolle Lösung im Vergleich schlechter abschneidet hat mehrere Gründe:

- Ein kleinerer Kompressor hat in der Regel einen schlechteren Wirkungsgrad
- Die Nebenbetriebe (Umwälzpumpe, Magnetventile) haben im "Nur Warmwasserbetrieb" einen grossen Einfluss
- Infolge der grossen Variation der Quellentemperatur läuft der Kompressor nicht immer nur im guten Bereich (Auslegungsproblem)

Das theoretische Potential ist da, die Umsetzung in der Praxis aber nicht sehr einfach. Insbesondere bei kleinen Leistungseinheiten (EFH-Grösse) zeigen sich Grenzen.

10 Verdankung

An dieser Stelle sei allen Personen und Institutionen die zum Gelingen dieses Projektes beigetragen haben ganz herzlich gedankt. Ganz besonderer Dank gilt:

Dr. Martin Zogg und Prof. Dr. Thomas Kopp (beide BFE, Programmleiter UAW), für die Beauftragung des Wärmepumpentestzentrums mit dem Projekt, sowie der angenehmen Zusammenarbeit.

Helmut Reiner (Novelan), für die Bereitstellung eines Prüflings des Typs "Alternativ", für die Bereitstellung eines zweiten Prüflings als Kältemaschine während der ganzen Messzeit, sowie der tatkräftigen Mithilfe beim Aufbau und der Inbetriebnahme des Prüflings "Alternativ".

Daniel Trüssel (KWT), für die Bereitstellung eines Prüflings des Typs "Gleichzeitig".

Prof. Dr. Thomas Afjei und Carsten Wemhöner (beide FHBB), für die unkomplizierte und angenehme Zusammenarbeit.

Ronald Aeberhard und Wolfgang Rogg (beide WPZ) für die Unterstützung bei den Messungen, sowie für die sorgfältige Durchsicht des Berichtes.

11 Symbolverzeichnis

11.1 Allgemeine Symbole und Abkürzungen

BfE	Bundesamt für Energie
COP	Coefficient of performance
COP _C	Carnotwirkungsgrad
COP _H	COP Heizung
COP _{Hk}	COP Heizung, explizit im Kombibetrieb
COP _{Hs}	COP Heizung, explizit im "Nur Heizbetrieb" (single)
COP _W	COP Warmwasser
COP _{Wk}	COP Warmwasser explizit im Kombibetrieb
COP _{Ws}	COP Warmwasser explizit im "Nur Warmwasser-Betrieb" (single)
FHBB	Fachhochschule beider Basel
F _L	Luftfeuchte
N _W	Gütegrad der Warmwasseraufbereitung
P _B	Bereitschaftsaufwand nach EN255-3 (entspricht P _{es})
P _E	Elektrische Leistungsaufnahme
P _{E2}	Elektrische Leistungsaufnahme kleiner Kompressor
P _{EX}	Elektrische Leistungsaufnahme UP Sole
P _H	Leistungsabgabe Heizung
P _Q	Leistungsaufnahme aus Quelle
P _W	Leistung Warmwasserentnahme
P _{ZW}	Leistung Zwischenkreis (Speicherladekreis)
T _{HM}	Mittlere Temperatur zw. T _{HV} und T _{HR}
T _{HR}	Temp. Heizungsrücklauf
T _{HV}	Temp. Heizungsvorlauf
T _L	Lufttemperatur
T _{QR}	Temp. Quellenrücklauf
T _{QV}	Temp. Quellenvorlauf
T _{S1}	Temperatur Speicher 1
T _{WA}	Temp. Warmwasseraustritt
T _{WE}	Temp. Warmwassereintritt
T _{ZWR}	Temperatur Zwischenkreisrücklauf
T _{ZWV}	Temperatur Zwischenkreisvorlauf
UP	Umwälzpumpe
V _H	Volumenstrom Heizung
V _Q	Volumenstrom Quelle
V _W	Volumenstrom Warmwasser
V _{ZW}	Volumenstrom Zwischenkreis (Speicherladekreis)
WPZ	Wärmepumpentestzentrum Winterthur-Töss
WW	Warmwasser
X _{Xk}	Indizes k: Explizit "Kombibetrieb"
X _{Xs}	Indizes s: Explizit "Single-Betrieb" (Nur Heizen oder Nur Warmwasser)

11.2 EN255-3 spezifische Symbole

COP_t	Leistungszahl für die Entnahme von Brauchwarmwasser
n_s	Anzahl der Arbeitszyklen während der Bereitschaftsperiode
P_{es}	Effektive Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode
Q_{max}	Wärmeinhalt der maximal entnommenen Warmwassermenge
Q_t	Wärmeinhalt der entnommenen Warmwassermenge
θ'_{wh}	Bezugs-Warmwassertemperatur aus Phase 3
θ''_{wh}	Bezugs-Warmwassertemperatur aus Phase 5
θ_{wr}	Bezugs-Warmwassertemperatur
t_h	Aufheizzeit
t_s	Messzeit für die Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode
t_t	Entnahmedauer und Nachheizzeit für die Entnahme
V_{max}	Maximal nutzbare Warmwassermenge bei einer einzelnen Entnahme
V_n	Nennvolumen des Wasserspeichers
V_t	Volumen des entnommenen Warmwassers
W_{eh}	Effektive Energieaufnahme während der Aufheizperiode
W_{es}	Effektive Energieaufnahme während der Bereitschaftsperiode
W_{et}	Effektive Energieaufnahme während der Entnahmedauer

12 Literaturverzeichnis

- [1] **EN 255-2: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen - Teil 2: Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten für die Raumheizung**, SNV 1997, *SN EN 255-2:1997 de*
- [2] **EN 255-3: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern - Heizen - Teil 3: Prüfungen und Anforderungen an die Kennzeichnung von Geräten zum Erwärmen von Brauchwasser**, SNV 1997, *SN EN 255-3:1997 de*
- [3] **Dynamischer Wärmepumpentest, Validierung des Modelansatzes und Entwicklung einer Prüfprozedur, Phase2**, Beat Hubacher, Prof. Dr. Max Ehrbar, *Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs*
- [4] **Prüfreglement für die Prüfung von Wasser/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen auf dem Prüfstand Töss** (2. Revision vom 3. Oktober 1996), Beat Hinder, Prof. Dr. Max Ehrbar,
- [5] **Wärmepumpen – Planung, Bau und Betrieb von Elektrowärmepumpenanlagen, RAVEL im Wärmesektor Heft 3**, Bundesamt für Konjunkturfragen, 1996
- [6] **Seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space heating and hot water production (FHBB Method)**, C. Wemhöner, Prof. Dr. Th. Afjei, *University of Applied Sciences Basel, October 2003*

13 Anhang

Anhang 1 Herleitung Vergleichsgrösse (Carnot COP und Gütegrad).....	51
Anhang 2 Messfühler und Toleranzen	52
Anhang 3 Genauigkeit berechneter Grössen.....	53
Anhang 4 EN255-2-Messung: Messwerte und Auswertung des Systems "Alternativ"	54
Anhang 5 EN255-2-Messung: Messwerte und Auswertung des System "Gleichzeitig"	55
Anhang 6 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/*, Teil 1	56
Anhang 7 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/*, Teil 2	57
Anhang 8 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/W35, Teil 1	58
Anhang 9 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/W35, Teil 2	59
Anhang 10 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 1	60
Anhang 11 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 2	61
Anhang 12 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 3	62
Anhang 13 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W35, Teil 1	63
Anhang 14 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W35, Teil 2	64
Anhang 15 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W35, Teil 3	65
Anhang 16 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 1	66
Anhang 17 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 2	67
Anhang 18 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 3	68
Anhang 19 Detaillierte Auswertung nach EN255-3.....	69
Anhang 20 Vergleich der elektrischen Messgrössen in "Nur Warmwasser"-Betrieb".....	70

Herleitung Carnot-COP und Gütegrad

In der Norm EN255-3 (Warmwasser) gibt es keinerlei Vorschriften bez. einer minimalen oder maximalen Brauchwarmwassertemperatur. Dies hat auch seinen Grund: In der Regel kann auf die Steuerung kein Einfluss genommen werden, womit auch die Temperatur nicht vorgeschrieben werden kann. Damit ist ein Vergleich von nach EN255-3 bestimmten COP's nur bedingt möglich. Produkte mit hoher Warmwassertemperatur sind dann im Nachteil gegenüber Produkten mit niedriger Warmwassertemperatur. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen muss man eine Vergleichsgrösse einführen, in der die Temperatur berücksichtigt wird. Im folgenden wird dies dargelegt:

Als Referenzgrösse wird ein COP genommen, der auf dem Carnot-Prozess beruht:
(Alle Temperaturen in °C)

$$\text{COP}_C = \frac{T_{\text{Senke}} + 273.16}{T_{\text{Senke}} - T_{\text{Quelle}}}$$

Problematisch dabei ist, dass die Senktemperatur beim Test nicht konstant ist. Diese variiert von der Wassereintrittstemperatur T_{WE} (15°C) bis zur entsprechenden Ladeendtemperatur. Die Ladeendtemperatur entspricht etwa der durchschnittlichen Entnahmetemperatur während der Phase 2 im EN255-3 Prüfzyklus

$$T_{WB} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} T_{WA} dt}{(t_2 - t_1)}$$

wobei

T_{WB} = Bezugstemperatur Warmwasser in der Phase 2

T_{WA} = Austrittstemperatur Warmwasser während der Entnahme in der Phase 2

t_1 = Startzeit der Wasserentnahme in Phase 2

t_2 = Stopzeit der Wasserentnahme in Phase 2

Somit ist der Carnot-COP über den ganzen Temperaturbereich von T_{WE} bis T_{WB} zu mitteln:

$$\text{COP}_C = \frac{\int_{T_{WE}}^{T_{WB}} \frac{T_{\text{Senke}} + 273.16}{T_{\text{Senke}} - T_{\text{Quelle}}} dT_{\text{Senke}}}{T_{WB} - T_{WE}}$$

Das Integral lässt sich analytisch lösen:

$$\text{COP}_C = 1 + \frac{(T_{\text{Quelle}} + 273.16)}{(T_{WB} - T_{WE})} * \ln\left(\frac{(T_{WB} - T_{\text{Quelle}})}{(T_{WE} - T_{\text{Quelle}})}\right)$$

Der effektiv gemessene COP_W kann nun an diesem theoretischen Wert gemessen werden: **Gütegrad N_W** . Dieser stellt eine faire Vergleichsgrösse dar, da dort die Temperatur mitberücksichtigt wird.

$$N_W = \frac{\text{COP}_W}{\text{COP}_C}$$

Anhang 1 Herleitung Vergleichsgrösse (Carnot COP und Gütegrad)

			Sensor			Erfassung				Erwartungswert Genauigkeit						
Messgrösse	Einheit	Prinzip	Fabrikat/ Typ	Genauigkeit	Bemerkung	Signalbereich		Genauigkeit	Bemerkung	Typische		Fehler absolut		Fehler absolut	Fehler absolut	Fehler relativ
												Sensor	Erfassung	Total	Total	
P _E	W		ITL 100	+/- (10 W + 1%)	2)	0 - 5000 W	0-20mA	0.10%	3)	2000 W	8.0 mA	+/- 30 W	+/- 2.0 W	+/- 30.1 W	1.5%	
P _E	W		ITL 100	+/- (10 W + 1%)	2)	0 - 5000 W	0-20mA	0.10%	3)	500 W	2.0 mA	+/- 15 W	+/- 0.5 W	+/- 15.0 W	3.0%	
P _{E2}	W		Saia-Burgess	Genauigkeitsklasse 1 (1%)	1)	10240 l/kWh		0%		500 W		+/- 5 W	+/- 0.0 W	+/- 5.0 W	1.0%	
P _{Ex}	W		EMV	2%	2)					140 W		+/- 3 W	+/- 0.0 W	+/- 3.0 W	2.1%	
T _{HV}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	50 °C		+/- 0.18 K	+/- 0.10 K	+/- 0.21 K		
T _{HR}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	30 °C		+/- 0.15 K	+/- 0.10 K	+/- 0.18 K		
T _{QV}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	0 °C		+/- 0.10 K	+/- 0.10 K	+/- 0.14 K		
T _{QR}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	0 °C		+/- 0.10 K	+/- 0.10 K	+/- 0.14 K		
T _{WA}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	55 °C		+/- 0.19 K	+/- 0.10 K	+/- 0.21 K		
T _{WE}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	15 °C		+/- 0.13 K	+/- 0.10 K	+/- 0.16 K		
T _{ZWV}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	50 °C		+/- 0.18 K	+/- 0.10 K	+/- 0.21 K		
T _{ZWR}	°C	Pt100	Jumo, 90.2800.215 G1/2	1/3 DIN B	1)	-200 - +600°C	2 Leiter	+/- 0.1 K	1)	40 °C		+/- 0.17 K	+/- 0.10 K	+/- 0.20 K		
T _{S1}	°C	Pt100	?	1/3 DIN B	2)	-200 - +600°C	4 Leiter	+/- 0.1 K	1)	55 °C		+/- 0.19 K	+/- 0.10 K	+/- 0.21 K		
T _L	°C	Pt100	Rotronic	+/- 0.5 K	1)	-30°C - +70°C	4-20 mA	+/- 0.10 %	3)	20 °C	12.0 mA	+/- 0.50 K		+/- 0.50 K		
V _H	m3/h	Ringkolben	Aqua Metro, Typ ARD, NW40	0.5% ab 0.225m3/h	1)	0-2.262 m3/h	4-20 mA	+/- 0.10 %	3)	0.90 m3/h	10.4 mA	0.0045 m3/h	0.0015 m3/h	0.0047 m3/h	0.5%	
V _Q	m3/h	MID	Krohne, IFS 4000/6, DN32	1% ab 0.9 m3/h	1)	0-5 m3/h	4-20 mA	+/- 0.10 %	3)	2.40 m3/h	11.7 mA	0.0240 m3/h	0.0037 m3/h	0.0243 m3/h	1.0%	
V _W	m3/h	MID	Krohne, IFS 4000/6, DN20	1% ab 0.35 m3/h	1)	0-2.262 m3/h	4-20 mA	+/- 0.10 %	3)	0.72 m3/h	9.1 mA	0.0072 m3/h	0.0013 m3/h	0.0073 m3/h	1.0%	
V _{ZW}	m3/h	MID	Krohne, IFS 4000/6, DN20	2.5% ab 0.35 m3/h	4)	0-2.262 m3/h	4-20 mA	+/- 0.10 %	3)	1.30 m3/h	13.2 mA	0.0325 m3/h	0.0019 m3/h	0.0326 m3/h	2.5%	

1) Herstellerangabe

1/3 DIN B: (+/- 0.1 K bei 0°C, +/- 0.2 K bei 60°C)

2) Schätzung

3) Toleranz Shunt-Widerstand

4) Diese Messgrösse wurde nur für die FHBB erfasst. Messgenauigkeit war zweitrangig. Aus Kostengründen wurde deshalb ein "ausrangierter MID" eingesetzt. Geschätzte Toleranz: 2.5%. (Vergleichsmessung mit geeichtem Gerät: Typischerweise zeigte MID fast immer weniger an)

Anhang 2 Messfühler und Toleranzen

Genauigkeit berechneter Grössen

Wert	Einheit	Typische Grösse	Genauigkeit		Bemerkun
$P_H = dT_H \cdot V_H \cdot \rho \cdot c_p$	W	9450 W	117 W	1.23%	
$P_Q = dT_Q \cdot V_Q \cdot \rho \cdot c_p$	W	7164 W	284 W	3.97%	
$P_W = dT_W \cdot V_W \cdot \rho \cdot c_p$	W	33600 W	87 W	0.26%	
$P_{ZW} = dT_{ZW} \cdot V_{ZW} \cdot \rho \cdot c_p$	W	9100 W	274 W	3.01%	
$COP_H = P_H / P_E$	-	4.725	0.09	1.94%	
$W_H = P_H \cdot dt_H$	kWh	9.45 kWh	0.12 kWh	1.24%	
$W_Q = P_Q \cdot dt_H$	kWh	7.16 kWh	0.28 kWh	3.97%	
$W_W = P_W \cdot dt_W$	kWh	5.60 kWh	0.05 kWh	0.87%	
$W_{ZW} = P_{ZW} \cdot dt_2$	kWh	9.10 kWh	0.27 kWh	3.01%	
$W_E = P_E \cdot dt_2 \quad (P_E = 2000)$	kWh	2.00 kWh	0.03 kWh	1.51%	
$W_E = P_E \cdot dt_3 \quad (P_E = 500)$	kWh	2.00 kWh	0.06 kWh	3.00%	
$W_E + W_Q$	kWh	9.45 kWh	0.29 kWh	3.03%	
$W_E + W_{Q-} - W_H$	kWh	(9.4 -9.4)	0.31 kWh	3.27%	
$COP_W = W_W / W_E \quad (P_E = 2000 \text{ W})$	-	2.8	0.07	2.38%	
$COP_W = W_W / W_E \quad (P_E = 500 \text{ W})$	-	2.8	0.09	3.13%	
$dT_H = T_{HV} - T_{HR}$	K	9 K	0.1 K		1)
$dT_Q = T_{QV} - T_{QR}$	K	2.7 K	0.1 K		1)
$dT_W = T_{WA} - T_{WE}$	K	40 K	0.2 K		2)
$dT_{ZW} = T_{ZWV} - T_{ZWR}$	K	6 K	0.1 K		1)
$\rho \cdot c_p \text{ Wasser}$	kJ/m3/°C	4200	4.2		3)
$\rho \cdot c_p \text{ Solegemisch}$	kJ/m3/°C	3980	39.8		4)
PE	W	2000 W	+/- 30.1 W		
PE	W	500 W	+/- 15.0 W		
PE2	W	500 W	+/- 5.0 W		
PE _{Ex}	W	140 W	+/- 3.0 W		
Zeit1: (z.B. Warmwasserentnahme), dt_1	sec	600 s	5 s	0.83%	5)
Zeit2: (z.B. Heizen), dt_2	sec	3600 s	5 s	0.14%	5)
Zeit3: (z.B Speicher Nachladen), dt_3	sec	14400 s	5 s	0.03%	5)
V_H	m3/h	0.90 m3/h	0.0047 m3/h	0.53%	
V_Q	m3/h	2.40 m3/h	0.0243 m3/h	1.01%	
V_W	m3/h	0.72 m3/h	0.0073 m3/h	1.02%	
V_{ZW}	m3/h	1.30 m3/h	0.0326 m3/h	2.50%	

1) Alle Tempfühler im Wasserbad verglichen und auf Mittelwert korrigiert: --> $dT < +/- 0.1 \text{ K}$

2) Infolge grosser Spreizung: Absolute Genauigkeit hat Einfluss: --> $dT < +/- 0.2 \text{ K}$

3) 0.1% Fehler wegen Interpolation

4) 1% Fehler: Unzuverlässige Angaben zu den Eigenschaften von Glykol

5) Abtastezeit 5 Sekunden. Bei kurzen Zeitfenstern kann dies in der Bilanzierung zu Fehlern führen

Anhang 3 Genauigkeit berechneter Grössen

EN255-2 Messung am System "Alternativ". Auf Standard-(WPZ) und Spezialprüfstand

			B5/W35		B0/W35		B-5/W35		B5/W50		B0/W50		B-5/W50	
			WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	W	10596		9477	9603	8406		10444		9282		8110	
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	W	2098		2112	2115	2133		3002		3025		3048	
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	W	0		0	0	0		0		0		0	
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	W	8624		7497	7651	6362		7700		6484		5250	
P _E +P _{Ex} +P _Q -P _H	dP	W	126		132	163	89		258		228		188	
(P _E +P _{Ex} +P _Q -P _H) / (P _E +P _{Ex} +P _Q)	dP	%	1.17		1.37	1.67	1.05		2.41		2.39		2.27	
P _H / P _E	COP vor Upkorr	-	5.05		4.49	4.54	3.94		3.48		3.07		2.66	
Gütegrad		%	41.2		44.7	45.1	46.3		43.6		43.7		42.6	
Anteil UP Quelle	P _{UPQ}	W	55		56	56	58		55		56		58	
Anteil UP Heizung	P _{UPH}	W	12		11	11	11		11		11		11	
COP EN255	COP_{EN255}	-	4.90		4.35	4.40	3.82		3.40		3.00		2.60	
φ Temp. Heizungsvorlauf	T _{HV}	°C	35.10		35.06	35.01	34.98		50.12		50.08		50.09	
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C	24.96		25.86	25.73	26.89		39.95		41.06		42.22	
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	5.00		-0.01	-0.03	-4.95		4.99		0.03		-5.01	
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	1.41		-3.14	-3.22	-7.60		1.79		-2.68		-7.20	
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.902		0.890	0.893	0.897		0.891		0.892		0.895	
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.200		2.200	2.201	2.201		2.200		2.200		2.200	

EN255-2 Messung am System "Gleichzeitig". Auf Standard-(WPZ) und Spezialprüfstand

			B5/W35		B0/W35		B-5/W35		B5/W50		B0/W50		B-5/W50	
			WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial	WPZ	Spezial
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	W	10344	10294	9015	9031	7883	7957	9719	9707	8604	8597	7574	7557
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	W	1970	1925	2001	1958	2035	1991	2846	2819	2900	2854	2953	2899
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	W	0	148	0	149	0	152	0	148	0	149	0	152
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	W	8524	8390	7132	7076	5948	5959	7095	7003	5937	5879	4852	4777
P _E +P _{Ex} +P _Q -P _H	dP	W	150	168	119	152	101	144	222	263	233	285	231	272
(P _E +P _{Ex} +P _Q -P _H) / (P _E +P _{Ex} +P _Q)	dP	%	1.43	1.61	1.30	1.66	1.26	1.78	2.23	2.63	2.64	3.20	2.96	3.47
P _H / P _E	COP _{vor Upkorr}	-	5.25	5.35	4.50	4.61	3.87	4.00	3.41	3.44	2.97	3.01	2.56	2.61
Gütegrad		%	42.5	43.4	45.0	46.1	45.8	47.3	42.9	43.3	42.6	43.1	41.2	41.7
Anteil UP Quelle	P _{UPQ}	W	20	20	20	20	21	21	17	17	17	17	19	19
Anteil UP Heizung	P _{UPH}	W	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COP EN255	COP_{EN255}	-	5.20	5.29	4.46	4.56	3.83	3.95	3.39	3.42	2.95	2.99	2.55	2.59
φ Temp. Heizungsvorlauf	T _{HV}	°C	35.03	34.91	35.00	35.03	35.04	34.99	50.10	49.97	50.18	49.97	50.16	49.89
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C	24.82	24.73	26.11	26.08	27.26	27.11	40.47	40.32	41.63	41.42	42.63	42.37
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	5.08	4.93	0.04	-0.02	-4.98	-5.07	5.06	4.93	0.04	-0.05	-4.97	-5.09
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	1.89	1.78	-2.64	-2.68	-7.22	-7.31	2.40	2.30	-2.20	-2.26	-6.79	-6.89
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.874	0.872	0.875	0.872	0.875	0.873	0.875	0.873	0.874	0.873	0.873	0.873
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.439	2.440	2.439	2.440

Anhang 5 EN255-2-Messung: Messwerte und Auswertung des System "Gleichzeitig"

Prüfling: Alternativ
Betriebsart: Nur Warmwasser
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 1			Phase 4, Teilzyklus 2			Phase 5		
			Summe	nur WW	nur Heiz	Summe	nur WW	nur Heiz	Summe	nur WW	nur Heiz
Startzeit	Start	Datum	12.11.02	18:15:14		13.11.02	19:24:15		14.11.02	20:54:05	
Stopzeit	Stop	Datum	13.11.02	19:24:15		14.11.02	20:54:05		14.11.02	21:15:55	
Zieldauer	Zeit	min	1'509.00	21.17		1'529.83	20.25		21.83	5.42	
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	23.17	21.17		22.25	20.25		6.42	5.42	
Betrieb Heizungs Pumpe	UP_H	min	0.00	0.00		0.00	0.00		0.00	0.00	
Betriebszeit Kompressor	KO	min	21.17	21.17		20.25	20.25		5.42	5.42	
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	21.17	21.17		20.25	20.25		5.42	5.42	
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00		0.00	0.00		21.83	5.42	
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	1.449	1.337		1.381	1.284		0.182	0.181	
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	1.825	2.003		1.736	1.903		0.585	0.627	
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh									
Warmwasserentnahme	W _W	kWh							12.110	2.727	
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	0.058	3.790		0.054	3.804		0.499	2.000	
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	4.726	5.677		4.680	5.638		5.472	6.945	
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW									
φ Warmwasserentnahme	P _W	kW							33.281	30.208	
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _W)	W _{BA}	kWh	3.274	3.340		3.117	3.187		-11.344	-1.920	
Bil.r. (W _E +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	100.00	100.00		100.00	100.00		-1'479.18	-237.70	
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	0.00	0.00		0.00	0.00		66.67	15.10	
Effizienz (W _E +W _Q)/W _E	E _{ein}	-	2.26	2.50		2.26	2.48		4.22	4.47	
Anteil WW: (W _W /(W _W +W _H))	WW%	%							100.00	100.00	
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l							265.07	65.89	
φ Temp. Heizungs vorlauf	T _{HV}	°C									
φ Temp. Heizungs rücklauf	T _{HR}	°C									
φ Temp. Quellen vorlauf	T _{QV}	°C	-0.01	-0.01		-0.01	-0.01		0.15	0.18	
φ Temp. Quellen rücklauf	T _{QR}	°C	-1.97	-2.38		-1.96	-2.36		-2.14	-2.73	
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C							54.38	50.63	
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C							15.06	14.96	
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m³/h									
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m³/h	2.194	2.197		2.192	2.195		2.173	2.183	
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m³/h							0.728	0.730	
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.01	20.01		20.01	20.02		20.19	20.23	
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	44.90	44.13		42.64	43.86		43.99	44.14	
Energieabgabe an Zwischenkreis	W _{ZW}	kWh	2.653	2.653		2.520	2.520		1.070	1.070	
φ Leistung Zwischenkreis	P _{ZW}	kW	7.521	7.521		7.468	7.468		11.855	11.855	
Bilanzrest W _E + W _Q - W _H - W _{ZW}	W _{BA}	kWh	0.621	0.687		0.596	0.666		-0.303	-0.263	
Bilanzrest W _{ZW} - W _W	W _{BA}	kWh	2.653	2.653		2.520	2.520		-11.040	-1.657	
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _{ZW})/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	18.96	20.56		19.14	20.91		-39.56	-32.53	
Bilanzrest (W _{ZW} - W _W)/W _{ZW}	W _{Br}	%	100.00	100.00		100.00	100.00		-1031.56	-154.81	
Effizienz (W _H +W _{ZW})/W _E		-	1.83	1.98		1.82	1.96		5.89	5.93	
φ Volumenstrom Zwischenkreis	V _{ZW}	m³/h	1.290	1.290		1.280	1.280		1.264	1.264	
φ Temperatur Zwischenkreis vorlauf	T _{ZWV}	°C	56.89	56.89		57.07	57.07		31.49	31.49	
Max. Temperatur Zwischenkreis vorlauf	max. T _{ZWV}	°C	62.76	62.76		62.76	62.76		58.07	58.07	
Min. Temperatur Zwischenkreis vorlauf	min T _{ZWV}	°C	23.65	23.65		23.36	23.36		25.17	25.17	
φ Temperatur Zwischenkreis rücklauf	T _{ZWR}	°C	51.77	51.77		51.95	51.95		23.01	23.01	
Max. Temperatur Zwischenkreis rücklauf	max T _{ZWR}	°C	56.97	56.97		56.92	56.92		26.53	26.53	
Min. Temperatur Zwischenkreis rücklauf	min T _{ZWR}	°C	36.35	36.35		38.04	38.04		16.33	16.33	
φ Temperatur Speicher 1	T _{S1}	°C	52.86	51.44		52.89	51.42		53.38	46.55	
Max. Temperatur Speicher 1	max T _{S1}	°C	55.91	55.06		56.00	54.84		55.86	53.95	
Min. Temperatur Speicher 1	min T _{S1}	°C	49.73	49.73		49.71	49.71		32.63	32.63	

Anhang 7 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/*, Teil 2

Prüfling: Alternativ
Betriebsart: Winter, 0/35
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 1				Phase 2, Teilzyklus 1				Phase 2, Teilzyklus 2				Phase 2, Teilzyklus 3				Phase 3			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	15.11.02 00:39:16				15.11.02 01:56:56				15.11.02 03:06:26				15.11.02 04:18:16				15.11.02 05:29:41			
Stopzeit	Stop	Datum	15.11.02 01:56:56				15.11.02 03:06:26				15.11.02 04:18:16				15.11.02 05:29:41				16.11.02 08:37:01			
Zeitdauer	Zeit	min	77.67	77.67			69.50	54.08	15.42		71.83	57.00	14.83		71.42	56.42	15.00		1'627.33	79.92	1'547.42	
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	77.67	77.67			60.42	54.08	6.33		71.83	57.00	14.83		71.42	56.42	15.00		1'627.33	79.92	1'547.42	
Betrieb Heizungspumpe	UP_H	min	0.00	0.00			15.42	0.00	15.42		14.83	0.00	14.83		15.00	0.00	15.00		1'547.42	0.00	1'547.42	
Betriebszeit Kompressor	KO	min	77.67	77.67			58.42	54.08	4.33		71.83	57.00	14.83		71.42	56.42	15.00		1'627.33	79.92	1'547.42	
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	77.67	77.67			54.08	54.08	0.00		57.00	57.00	0.00		56.42	56.42	0.00		79.92	79.92	0.00	
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00			15.00	0.00	15.00		15.00	0.17	14.83		15.00	0.00	15.00		19.67	19.67	0.00	
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	3.924	3.924			2.863	2.706	0.156		3.400	2.865	0.535		3.367	2.827	0.540		58.744	4.084	54.661	
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	8.611	8.611			6.438	6.027	0.411		8.150	6.319	1.832		8.103	6.251	1.852		205.062	8.768	196.833	
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh					1.025		1.025		2.391		2.391		2.604		2.604		247.648		247.648	
Warmwasserentnahme	W _W	kWh					8.558		8.558		8.475	0.094	8.381		8.506		8.506		8.634	8.634		
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	3.031	3.031			2.471	3.003	0.608		2.840	3.016	2.166		2.829	3.007	2.159		2.166	3.066	2.119	
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	6.653	6.653			6.393	6.686	3.896		6.808	6.651	7.409		6.808	6.648	7.408		7.581	6.583	7.632	
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW					3.988		3.988		9.670		9.670		10.417		10.417		9.602		9.602	
φ Warmwasserentnahme	P _W	kW					34.234		34.234		33.899	33.805	33.900		34.025		34.025		26.342	26.342		
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	12.535	12.535			-0.283	8.733	-9.016		0.685	9.090	-8.404		0.359	9.078	-8.719		8.064	4.218	3.846	
Bil.r. (W _E +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	100.00	100.00			-3.04	100.00	-1588.61		5.93	98.98	-355.05		3.13	100.00	-364.58		3.05	32.82	1.53	
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{eff}	-	0.00	0.00			3.35	0.00	61.33		3.20	0.03	20.12		3.30	0.00	20.59		4.36	2.11	4.53	
Effizienz (W _E +W _Q)/W _E	E _{eff}	-	3.19	3.19			3.25	3.23	3.63		3.40	3.21	4.42		3.41	3.21	4.43		4.50	3.15	4.60	
Anteil WW: (W _W)/(W _H +W _W)	WW%	%					89.31		89.31		78.00	100.00	77.81		76.56		76.56		3.37	100.00		
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l					180.66		180.66		180.57	2.02	178.54		180.69		180.69		236.19	236.19		
φ Temp. Heizungsvorlauf	T _{HV}	°C					29.61		29.61		35.13		35.13		35.84		35.84		35.02		35.02	
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C					25.69		25.69		25.69		25.69		25.70		25.70		25.72		25.72	
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	-0.01	-0.01			-0.13	-0.12	-0.19		-0.06	-0.01	-0.25		-0.06	0.00	-0.26		-0.08	-0.03	-0.08	
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-2.78	-2.78			-2.79	-2.90	-1.82		-2.89	-2.78	-3.34		-2.89	-2.77	-3.35		-3.24	-2.77	-3.26	
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C					55.79		55.79		55.41	55.01	55.42		55.52		55.52		46.47	46.47		
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C					15.06		15.06		15.03	14.97	15.03		15.01		15.01		15.03	15.03		
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h					0.885		0.885		0.885		0.885		0.888		0.888		0.892		0.892	
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.201	2.201			2.199	2.201	2.185		2.201	2.201	2.199		2.200	2.201	2.199		2.201	2.201	2.201	
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h					0.723		0.723		0.722	0.728	0.722		0.723		0.723		0.721	0.721		
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02	20.02			20.07	20.05	20.17		20.05	20.03	20.13		20.06	20.03	20.15		20.02	20.03	20.02	
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	45.65	45.65			45.43	45.42	45.44		45.19	45.16	45.28		45.13	45.14	45.09		45.16	44.38	45.20	
Energieabgabe an Zwischenkreis	W _{ZW}	kWh	11.712	11.712			8.174	8.174			8.573	8.573			8.473	8.473			11.853	11.853		
φ Leistung Zwischenkreis	P _{ZW}	kW	9.048	9.048			9.068	9.068			9.024	9.024			9.011	9.011			8.899	8.899		
Bilanzrest W _E + W _Q - W _H - W _{ZW}	W _{Ba}	kWh	0.823	0.823			0.102	0.559	-0.457		0.587	0.611	-0.024		0.393	0.606	-0.213		0.445	0.999	3.846	
Bilanzrest W _{ZW} - W _W	W _{Ba}	kWh	11.712	11.712			-0.384	8.174	-8.558		0.099	8.479	-8.381		-0.034	8.473	-8.506		3.219	3.219	0.000	
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _{ZW})/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	6.56	6.56			1.09	6.40	-80.56		5.08	6.65	-1.00		3.43	6.67	-8.89		1.83	7.77	1.53	
Bilanzrest (W _{ZW} - W _W)/W _{ZW}	W _{Br}	%	100.00	100.00			-4.70	100.00			1.15	98.90			-0.40	100.00			27.15	27.15		
Effizienz (W _H +W _{ZW})/W _E	-	-	2.98	2.98			3.21	3.02	6.56		3.22	2.99	4.47		3.29	3.00	4.83		4.42	2.90	4.53	
φ Volumenstrom Zwischenkreis	V _{ZW}	m3/h	1.341	1.341			1.333	1.333			1.325	1.325			1.312	1.312			1.306	1.306		
φ Temperatur Zwischenkreisvorlauf	T _{ZVV}	°C	46.56	46.56			46.25	46.25			46.46	46.46			46.44	46.44			47.54	47.54		
Max. Temperatur Zwischenkreisvorlauf	max. T _{ZVV}	°C	62.95	62.95			61.71	61.71			62.12	62.12			62.23	62.23			62.91	62.91		
Min. Temperatur Zwischenkreisvorlauf	min T _{ZVV}	°C	20.41	20.41			24.64	24.64			24.59	24.59			24.60	24.60			33.04	33.04		
φ Temperatur Zwischenkreisrücklauf	T _{ZVR}	°C	40.71	40.71			40.34	40.34			40.51	40.51			40.47	40.47			41.61	41.61		
Max. Temperatur Zwischenkreisrücklauf	max T _{ZVR}	°C	57.19	57.19			56.10	56.10			56.41	56.41			56.37	56.37			57.02	57.02		
Min. Temperatur Zwischenkreisrücklauf	min T _{ZVR}	°C	20.02	20.02			16.48	16.48			16.37	16.37			16.46	16.46			28.39	28.39		
φ Temperatur Speicher 1	T _{S1}	°C	37.62	37.62			54.97	54.73	55.83		53.93	53.54	55.46		54.28	53.93	55.58		52.37	44.21	52.79	
Max. Temperatur Speicher 1	max T _{S1}	°C	55.11	55.11			56.00	55.13	56.00		55.62	54.93	55.62		55.75	55.03	55.75		55.84	54.95	55.84	
Min. Temperatur Speicher 1	min T _{S1}	°C	20.09	20.09			54.43	54.43	55.12		53.12	53.12	54.65		53.54	53.54	54.80		37.36	37.36	49.67	

Anhang 8 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/W35, Teil 1

Prüfling: Alternativ
Betriebsart: Winter, 0/35
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 1				Phase 4, Teilzyklus 2				Phase 5			
Summe			nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	16.11.02 08:37:01				17.11.02 11:27:51				18.11.02 14:07:16			
Stopzeit	Stop	Datum	17.11.02 11:27:51				18.11.02 14:07:16				18.11.02 14:29:01			
Zeitdauer	Zeit	min	1'610.75	23.75	1'587.00		1'599.42	23.42	1'576.00		21.75	6.42	15.33	
Betrieb Quellpumpe	UP_Q	min	1'601.67	23.75	1'577.92		1'599.42	23.42	1'576.00		21.75	6.42	15.33	
Betrieb Heizpumpe	UP_H	min	1'587.00	0.00	1'587.00		1'576.00	0.00	1'576.00		15.33	0.00	15.33	
Betriebszeit Kompressor	KO	min	1'599.58	23.75	1'575.83		1'599.42	23.42	1'576.00		21.75	6.42	15.33	
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	23.75	23.75	0.00		23.42	23.42	0.00		6.42	6.42	0.00	
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		21.75	6.42	15.33	
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	57.045	1.468	55.577		56.997	1.451	55.546		0.758	0.212	0.546	
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	202.872	2.346	200.527		202.884	2.303	200.561		2.720	0.825	1.894	
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	252.164		252.164		252.132		252.132		2.669		2.669	
Warmwasserentnahme	W _W	kWh									11.997	3.276	8.721	
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	2.125	3.708	2.101		2.138	3.718	2.115		2.091	1.982	2.137	
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	7.600	5.926	7.625		7.611	5.901	7.636		7.503	7.716	7.413	
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	9.534		9.534		9.599		9.599		10.444		10.444	
φ Warmwasserentnahme	P _W	kW									33.094	30.634	34.124	
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	7.753	3.813	3.940		7.749	3.754	3.995		-11.188	-2.239	-8.949	
Bil.r. (W _E +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	2.98	100.00	1.54		2.98	100.00	1.56		-321.69	-215.86	-366.67	
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{ab}	-	4.42	0.00	4.54		4.42	0.00	4.54		19.34	15.45	20.85	
Effizienz (W _E +W _Q)/W _E	E _{an}	-	4.56	2.60	4.61		4.56	2.59	4.61		4.59	4.89	4.47	
Anteil WW: (W _W)/(W _H +W _W)	WW%	%									81.80	100.00	76.57	
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l									262.15	77.44	184.71	
φ Temp. Heizungsvorlauf	T _{AV}	°C	34.96		34.96		35.02		35.02		35.75		35.75	
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{AR}	°C	25.72		25.72		25.72		25.72		25.71		25.71	
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	-0.07	0.03	-0.07		-0.08	0.03	-0.09		-0.18	-0.02	-0.25	
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-3.23	-2.44	-3.24		-3.25	-2.42	-3.27		-3.31	-3.24	-3.34	
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C									54.44	51.41	55.71	
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C									15.03	14.95	15.06	
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.892		0.892		0.891		0.891		0.898		0.898	
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.201	2.201	2.201		2.201	2.202	2.201		2.199	2.200	2.198	
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h									0.723	0.724	0.723	
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02	20.02	20.02		20.02	20.03	20.02		20.24	20.35	20.20	
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	44.91	44.49	44.92		43.09	40.92	43.12		40.57	40.55	40.58	
Energieabgabe an Zwischenkreis	W _{ZW}	kWh	3.205	3.205			3.132	3.132			1.105	1.105		
φ Leistung Zwischenkreis	P _{ZW}	kW	8.096	8.096			8.026	8.026			10.337	10.337		
Bilanzrest W _E + W _Q - W _H - W _{ZW}	W _{Ba}	kWh	4.548	0.609	3.940		4.617	0.622	3.995		-0.297	-0.068	-0.228	
Bilanzrest W _{ZW} - W _W	W _{Ba}	kWh	3.205	3.205	0.000		3.132	3.132	0.000		-10.891	-2.171	-8.721	
Bilanzrest (W _E +W _Q -W _H -W _{ZW})/(W _E +W _Q)	W _{Br}	%	1.75	15.96	1.54		1.78	16.56	1.56		-8.53	-6.58	-9.36	
Bilanzrest (W _{ZW} - W _W)/W _{ZW}	W _{Br}	%	100.00	100.00			100.00	100.00			-985.20	-196.35		
Effizienz (W _H +W _{ZW})/W _E	-	-	4.48	2.18	4.54		4.48	2.16	4.54		4.98	5.21	4.89	
φ Volumenstrom Zwischenkreis	V _{ZW}	m3/h	1.296	1.296			1.295	1.295			1.275	1.275		
φ Temperatur Zwischenkreisvorlauf	T _{ZWV}	°C	56.19	56.19			56.39	56.39			30.34	30.34		
Max. Temperatur Zwischenkreisvorlauf	max. T _{ZWV}	°C	62.45	62.45			62.50	62.50			49.82	49.82		
Min. Temperatur Zwischenkreisvorlauf	min T _{ZWV}	°C	32.81	32.81			33.35	33.35			24.86	24.86		
φ Temperatur Zwischenkreisrücklauf	T _{ZWR}	°C	50.73	50.73			50.94	50.94			23.07	23.07		
Max. Temperatur Zwischenkreisrücklauf	max T _{ZWR}	°C	56.68	56.68			56.80	56.80			25.20	25.20		
Min. Temperatur Zwischenkreisrücklauf	min T _{ZWR}	°C	32.19	32.19			31.06	31.06			16.57	16.57		
φ Temperatur Speicher 1	T _{S1}	°C	52.82	51.22	52.84		52.78	51.29	52.80		53.40	47.75	55.76	
Max. Temperatur Speicher 1	max T _{S1}	°C	55.96	54.86	55.96		55.90	55.05	55.90		55.92	54.88	55.92	
Min. Temperatur Speicher 1	min T _{S1}	°C	49.63	49.63	49.65		49.61	49.61	49.64		32.44	32.44	54.95	

Anhang 9 Messresultate System "Alternativ", Betriebspunkt B0/W35, Teil 2

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Sommer
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 1				Phase 2, Teilzyklus 1				Phase 2, Teilzyklus 2				Phase 2, Teilzyklus 3				Phase 3			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	23.12.02 10:44:09				23.12.02 16:14:44				23.12.02 21:03:59				24.12.02 01:57:14				24.12.02 06:49:14			
Stopzeit	Stop	Datum	23.12.02 16:14:44				23.12.02 21:03:59				24.12.02 01:57:14				24.12.02 06:49:14				24.12.02 16:27:49			
Zeitdauer	Zeit	min	330.58	330.58			289.25	286.83			293.17	290.75			292.00	289.58			578.58	347.83		
Betrieb Quellpumpe	UP_Q	min	330.58	330.58			286.83	286.83			290.75	290.75			289.58	289.58			347.83	347.83		
Betrieb Heizungspumpe	UP_H	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betriebszeit Kompressor	KO	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	330.58	330.58			286.83	286.83			290.75	290.75			289.58	289.58			347.83	347.83		
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00			10.00	7.58			10.00	7.58			10.00	7.58			12.92	12.92		
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	2.785	2.785			2.491	2.490			2.513	2.512			2.500	2.500			2.970	2.949		
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.893	0.893			0.775	0.775			0.785	0.785			0.782	0.782			0.939	0.939		
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	2.679	2.679			2.250	2.250			2.289	2.289			2.299	2.299			2.924	2.924		
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh																				
Warmwasserentnahme	W _W	kWh					5.532	4.231			5.555	4.248			5.553	4.251			6.718	6.718		
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _{El}	kW	0.506	0.506			0.517	0.521			0.514	0.518			0.514	0.518			0.308	0.509		
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162		
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	0.486	0.486			0.471	0.471			0.472	0.472			0.476	0.476			0.504	0.504		
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW																				
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW					33.190	33.475			33.329	33.608			33.320	33.631			31.208	31.208		
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	6.357	6.357			-0.017	1.284			0.032	1.339			0.028	1.331			0.115	0.094		
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _{Ex} +W _Q)	W _{Br}	%	100.00	100.00			-0.30	23.28			0.58	23.97			0.50	23.84			1.68	1.38		
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	0.00	0.00			2.22	1.70			2.21	1.69			2.22	1.70			2.26	2.28		
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{in}	-	2.28	2.28			2.21	2.21			2.22	2.22			2.23	2.23			2.30	2.31		
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%					100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00		
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l					117.49	89.90			118.13	90.20			117.87	90.25			152.83	152.83		
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{AV}	°C																				
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{AR}	°C																				
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	-0.10	-0.10			-0.08	-0.08			-0.08	-0.08			-0.08	-0.08			-0.08	-0.08		
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-0.28	-0.28			-0.26	-0.26			-0.26	-0.26			-0.26	-0.26			-0.27	-0.27		
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C					55.27	55.49			55.31	55.50			55.31	55.50			52.80	52.80		
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C					15.09	14.94			15.04	14.92			15.06	14.92			14.99	14.99		
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m ³ /h																				
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m ³ /h	2.440	2.440			2.440	2.440			2.440	2.440			2.440	2.440			2.440	2.440		
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m ³ /h					0.705	0.711			0.709	0.714			0.707	0.714			0.710	0.710		
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.02		
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	44.59	44.59			45.13	45.13			45.41	45.41			44.78	44.77			44.69	45.00		
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	2.617	2.617			2.338	2.337			2.356	2.356			2.349	2.349			2.770	2.770		
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.475	0.475			0.489	0.489			0.486	0.486			0.487	0.487			0.478	0.478		
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	0.168	0.168			0.153	0.153			0.156	0.156			0.151	0.151			0.201	0.179		
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	0.030	0.030			0.028	0.032			0.028	0.032			0.027	0.031			-0.170	0.031		
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00	0.00			2.37	1.81			2.36	1.80			2.36	1.81			2.43	2.43		
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-																				

Anhang 10 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 1

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Sommer
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 1				Phase 4, Teilzyklus 2				Phase 4, Teilzyklus 3				Phase 4, Teilzyklus 4				Phase 4, Teilzyklus 5			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	24.12.02 16:27:49				24.12.02 20:56:09				25.12.02 01:35:57				25.12.02 06:52:07				25.12.02 12:38:12			
Stopzeit	Stop	Datum	24.12.02 20:56:09				25.12.02 01:35:57				25.12.02 06:52:07				25.12.02 12:38:12				25.12.02 18:40:17			
Zeitdauer	Zeit	min	268.33	32.25			279.75	32.75			316.17	34.58			346.08	34.25			362.08	35.75		
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	32.25	32.25			32.75	32.75			34.58	34.58			34.25	34.25			35.75	35.75		
Betrieb Heizungspumpe	UP_H	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betriebszeit Kompressor	KO	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	32.25	32.25			32.75	32.75			34.58	34.58			34.25	34.25			35.75	35.75		
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	0.324	0.303			0.327	0.304			0.346	0.320			0.349	0.320			0.362	0.332		
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.087	0.087			0.088	0.088			0.093	0.093			0.093	0.093			0.097	0.097		
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	-0.122	-0.122			-0.156	-0.156			-0.203	-0.203			-0.173	-0.173			-0.173	-0.173		
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh																				
Warmwasserentnahme	W _W	kWh																				
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	0.073	0.564			0.070	0.557			0.066	0.555			0.061	0.561			0.060	0.557		
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162		
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	-0.226	-0.226			-0.285	-0.285			-0.352	-0.352			-0.302	-0.302			-0.291	-0.291		
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW																				
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW																				
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	0.290	0.269			0.260	0.237			0.236	0.210			0.269	0.240			0.285	0.255		
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _{Ex} +W _Q)	W _{Ba}	%	100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00		
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{in}	-	0.89	0.89			0.79	0.78			0.68	0.66			0.77	0.75			0.79	0.77		
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%																				
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l																				
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{HV}	°C																				
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C																				
φ Temp. Quellenanlauf	T _{QV}	°C	-0.10	-0.10			-0.07	-0.07			-0.11	-0.11			-0.11	-0.11			-0.08	-0.08		
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-0.02	-0.02			0.04	0.04			0.02	0.02			0.01	0.01			0.04	0.04		
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C																				
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C																				
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m³/h																				
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m³/h	2.439	2.439			2.439	2.439			2.439	2.439			2.439	2.439			2.439	2.439		
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m³/h																				
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.01		
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	45.12	44.64			44.43	44.28			44.19	44.08			44.12	44.29			44.68	44.89		
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	0.285	0.285			0.285	0.285			0.302	0.302			0.303	0.302			0.314	0.313		
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.529	0.530			0.521	0.521			0.523	0.524			0.529	0.529			0.526	0.526		
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	0.039	0.018			0.042	0.020			0.044	0.018			0.047	0.018			0.048	0.019		
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	-0.457	0.034			-0.450	0.036			-0.457	0.032			-0.469	0.031			-0.466	0.031		
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-																				

Anhang 11 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 2

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Sommer
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 6				Phase 4, Teilzyklus 7				Phase 4, Teilzyklus 8				Phase 5			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	25.12.02 18:40:17				26.12.02 00:52:54				26.12.02 07:12:34				26.12.02 13:33:49			
Stopzeit	Stop	Datum	26.12.02 00:52:54				26.12.02 07:12:34				26.12.02 13:33:49				26.12.02 13:47:09			
Zeitdauer	Zeit	min	372.58	36.75			379.67	36.25			381.25	35.92			13.33	10.75		
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	36.75	36.75			36.25	36.25			35.92	35.92			10.75	10.75		
Betrieb Heizungspumpe	UP_H	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betriebszeit Kompressor	KO	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00		
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	36.75	36.75			36.25	36.25			35.92	35.92			10.75	10.75		
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			13.33	10.75		
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	0.373	0.342			0.374	0.339			0.368	0.334			0.098	0.098		
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.099	0.099			0.098	0.098			0.097	0.097			0.029	0.029		
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	-0.196	-0.196			-0.160	-0.160			-0.200	-0.200			0.019	0.019		
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh																
Warmwasserentnahme	W _W	kWh													7.278	5.879		
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	0.060	0.559			0.059	0.561			0.058	0.558			0.442	0.547		
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162			0.162	0.162		
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	-0.320	-0.320			-0.265	-0.265			-0.334	-0.334			0.106	0.106		
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW																
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW													32.749	32.811		
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	0.276	0.246			0.312	0.277			0.264	0.231			-7.131	-5.733		
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +E _{Ex} +W _Q)	W _{Br}	%	100.00	100.00			100.00	100.00			100.00	100.00			-4'880.31	-3'929.20		
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			74.14	60.02		
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{an}	-	0.74	0.72			0.83	0.82			0.72	0.69			1.49	1.49		
Anteil WW: W _W /(W _W +W _H)	WW%	%													100.00	100.00		
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l													158.34	128.59		
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{1W}	°C																
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{1R}	°C																
φ Temp. Quellanlauf	T _{QV}	°C	-0.07	-0.07			-0.08	-0.08			-0.10	-0.10			-0.01	-0.01		
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	0.05	0.05			0.02	0.02			0.03	0.03			-0.05	-0.05		
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C													54.38	54.33		
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C													15.08	14.94		
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m³/h																
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m³/h	2.439	2.439			2.439	2.439			2.439	2.439			2.438	2.438		
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m³/h													0.713	0.718		
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02	20.02			20.02	20.02			20.02	20.01			20.07	20.07		
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	44.80	44.50			43.60	43.17			42.82	42.63			42.82	42.93		
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	0.323	0.322			0.320	0.319			0.315	0.315			0.092	0.092		
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.526	0.526			0.528	0.528			0.525	0.525			0.509	0.511		
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	0.050	0.020			0.054	0.020			0.052	0.019			0.006	0.006		
P _E -P _{E2}	ΔP _E	kW	-0.466	0.033			-0.469	0.033			-0.468	0.032			-0.067	0.036		
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00	0.00			79.20	64.25		
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-																

Anhang 12 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/*, Teil 3

Prüfung: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W35
 Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 1			Phase 2, Teilzyklus 1			Phase 2, Teilzyklus 2			Phase 2, Teilzyklus 3			Phase 3			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	27.12.02 09:36:26				27.12.02 13:18:26				27.12.02 16:28:51				27.12.02 19:41:01			
Stopzeit	Stop	Datum	27.12.02 13:18:26				27.12.02 16:28:51				27.12.02 19:41:01				27.12.02 22:53:01			
Zeitdauer	Zeit	min	222.00		222.00	190.42	2.33	188.08	192.17	2.33	189.83	192.00	2.33	189.67	469.00		233.92	235.08
Betrieb Quellpumpe	UP_Q	min	222.00		222.00	190.42	2.33	188.08	192.17	2.33	189.83	192.00	2.33	189.67	469.00		233.92	235.08
Betrieb Heizpumpe	UP_H	min	222.00		222.00	190.42	2.33	188.08	192.17	2.33	189.83	192.00	2.33	189.67	469.00		233.92	235.08
Betriebszeit Kompressor	KO	min	222.00		222.00	190.42	2.33	188.08	192.17	2.33	189.83	192.00	2.33	189.67	469.00		233.92	235.08
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	222.00		222.00	188.08	0.00	188.08	189.83	0.00	189.83	189.67	0.00	189.67	235.08		0.00	235.08
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00		0.00	10.00	2.33	7.67	10.00	2.33	7.67	9.92	2.25	7.67	12.83		0.00	12.83
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	9.717		9.717	8.386	0.078	8.308	8.447	0.078	8.369	8.460	0.079	8.381	18.047		7.739	10.308
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.557		0.557	0.478	0.006	0.472	0.482	0.006	0.476	0.482	0.006	0.476	1.171		0.581	0.590
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	30.854		30.854	26.248	0.295	25.953	26.519	0.297	26.223	26.498	0.298	26.200	60.243		27.605	32.638
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	33.417		33.417	28.676	0.358	28.318	28.943	0.358	28.586	28.921	0.355	28.566	70.783		35.410	35.373
Warmwasserentnahme	W _W	kWh				5.626	1.291	4.335	5.584	1.242	4.342	5.603	1.258	4.345	6.760			6.760
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _{El}	kW	2.626		2.626	2.642	2.008	2.650	2.637	2.000	2.645	2.644	2.038	2.651	2.309		1.985	2.631
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.151		0.151	0.151	0.149	0.151	0.151	0.149	0.151	0.151	0.149	0.151	0.150		0.149	0.151
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	8.339		8.339	8.271	7.580	8.279	8.280	7.625	8.288	8.281	7.660	8.288	7.707		7.081	8.330
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	9.032		9.032	9.036	9.193	9.034	9.037	9.194	9.035	9.038	9.126	9.037	9.055		9.083	9.028
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW				33.758	33.196	33.929	33.506	31.938	33.983	33.899	33.549	34.002	31.606			31.606
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	7.710		7.710	0.809	-1.270	2.079	0.921	-1.219	2.140	0.916	-1.230	2.146	1.918		0.516	1.402
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _{Ex} +W _Q)	W _{Br}	%	18.75		18.75	2.31	-335.36	5.99	2.60	-320.82	6.10	2.59	-321.22	6.12	2.41		1.44	3.22
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	3.44		3.44	4.09	21.11	3.93	4.09	20.56	3.93	4.08	20.35	3.93	4.30		4.58	4.09
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{ein}	-	4.23		4.23	4.19	4.85	4.18	4.20	4.89	4.19	4.19	4.83	4.18	4.40		4.64	4.22
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%				16.40	78.31	13.28	16.17	77.65	13.19	16.23	78.00	13.20	8.72			16.05
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l				118.50	27.24	91.26	117.32	25.98	91.34	117.85	26.51	91.34	151.91			151.91
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{HV}	°C	34.94		34.94	34.94	35.13	34.94	34.94	35.05	34.94	34.94	35.15	34.94	34.96		34.99	34.93
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C	26.02		26.02	26.02	26.06	26.02	26.02	25.97	26.02	26.02	26.12	26.02	26.02		26.02	26.02
φ Temp. Quellenanlauf	T _{QV}	°C	-0.09		-0.09	-0.10	-0.10	-0.10	-0.09	-0.13	-0.09	-0.07	-0.05	-0.07	-0.08		-0.07	-0.09
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-3.22		-3.22	-3.20	-2.95	-3.21	-3.20	-2.99	-3.20	-3.18	-2.93	-3.18	-2.98		-2.73	-3.22
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C				55.84	55.78	55.86	55.73	55.20	55.89	55.93	56.00	55.90	53.13			53.13
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C				15.01	15.29	14.93	15.07	15.50	14.93	14.99	15.21	14.92	15.03			15.03
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.875		0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.874	0.875	0.875	0.873	0.875	0.875		0.875	0.875
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.440		2.440	2.440	2.440	2.440	2.440	2.439	2.440	2.440	2.441	2.440	2.440		2.440	2.440
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h				0.711	0.701	0.714	0.704	0.668	0.715	0.713	0.707	0.715	0.710			0.710
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02		20.02	20.02	20.07	20.02	20.03	20.00	20.03	20.02	20.01	20.02	20.02		20.02	20.02
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	42.63		42.63	43.11	42.64	43.11	43.36	43.45	43.36	42.87	43.15	42.86	42.31		42.54	42.09
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	2.046		2.046	1.800	0.000	1.800	1.809	0.001	1.808	1.812	0.001	1.811	2.179		0.001	2.178
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.553		0.553	0.574	0.070	0.574	0.571	0.492	0.571	0.573	0.563	0.573	0.556		0.422	0.556
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	7.671		7.671	6.586	0.078	6.508	6.638	0.077	6.561	6.648	0.078	6.569	15.868		7.738	8.130
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	2.073		2.073	2.068	1.938	2.076	2.066	1.908	2.074	2.071	1.476	2.078	1.753		1.563	2.075
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00		0.00	3.13	13219.53	2.41	3.09	1816.93	2.40	3.09	1610.35	2.40	3.10		0.00	3.10
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-	4.36		4.36	4.35	4.58	4.35	4.36	4.64	4.36	4.35	4.52	4.35	4.46		4.58	4.35

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W35
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 1			Phase 4, Teilzyklus 2			Phase 4, Teilzyklus 3			Phase 4, Teilzyklus 4			Phase 4, Teilzyklus 5								
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi					
Startzeit	Start	Datum	28.12.02 06:42:03			28.12.02 10:56:03			28.12.02 15:08:28			28.12.02 19:55:18			29.12.02 01:10:21								
Stopzeit	Stop	Datum	28.12.02 10:56:03			28.12.02 15:08:28			28.12.02 19:55:18			29.12.02 01:10:21			29.12.02 06:48:41								
Zeitdauer	Zeit	min	254.00		236.92	17.08	252.42		236.33	16.08	286.83		270.92	15.92	315.00		298.75	16.25	338.33		320.92	17.42	
Betrieb Quellpumpe	UP_Q	min	254.00		236.92	17.08	252.42		236.33	16.08	286.83		270.92	15.92	315.00		298.75	16.25	338.33		320.92	17.42	
Betrieb Heizpumpe	UP_H	min	254.00		236.92	17.08	252.42		236.33	16.08	286.83		270.92	15.92	315.00		298.75	16.25	338.33		320.92	17.42	
Betriebszeit Kompressor	KO	min	254.00		236.92	17.08	252.42		236.33	16.08	286.83		270.92	15.92	315.00		298.75	16.25	338.33		320.92	17.42	
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	17.08		0.00	17.08	16.08		0.00	16.08	15.92		0.00	15.92	16.25		0.00	16.25	17.42		0.00	17.42	
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	8.572		7.816	0.756	8.514		7.799	0.715	9.648		8.936	0.712	10.609		9.882	0.727	11.370		10.595	0.775	
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.631		0.588	0.043	0.627		0.587	0.040	0.713		0.673	0.040	0.783		0.742	0.041	0.841		0.797	0.044	
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	30.187		27.892	2.295	29.975		27.821	2.154	34.005		31.873	2.132	37.317		35.142	2.176	40.063		37.732	2.331	
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	38.345		35.772	2.573	38.082		35.662	2.420	43.250		40.857	2.393	47.518		45.073	2.446	51.005		48.384	2.621	
Warmwasserentnahme	W _W	kWh																					
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _{El}	kW	2.025		1.979	2.657	2.024		1.980	2.667	2.018		1.979	2.684	2.021		1.985	2.686	2.016		1.981	2.671	
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	7.131		7.064	8.061	7.125		7.063	8.036	7.113		7.059	8.036	7.108		7.058	8.033	7.105		7.055	8.030	
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	9.058		9.059	9.037	9.052		9.054	9.028	9.047		9.049	9.021	9.051		9.052	9.031	9.045		9.046	9.030	
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW																					
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	1.046		0.525	0.521	1.035		0.545	0.489	1.115		0.625	0.491	1.191		0.693	0.498	1.269		0.740	0.529	
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +W _{Ex} +W _Q)	W _{Bf}	%	2.66		1.45	16.85	2.65		1.51	16.82	2.51		1.51	17.01	2.44		1.51	16.92	2.43		1.51	16.79	
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	ε _{aus}	-	4.47		4.58	3.40	4.47		4.57	3.38	4.48		4.57	3.36	4.48		4.56	3.36	4.49		4.57	3.38	
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	ε _{ein}	-	4.60		4.64	4.09	4.59		4.64	4.07	4.60		4.64	4.05	4.59		4.63	4.05	4.60		4.64	4.06	
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%																					
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l																					
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{HV}	°C	34.96		34.97	34.93	34.96		34.96	34.91	34.95		34.95	34.96	34.96		34.96	34.96	34.95		34.95	34.92	
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C	26.02		26.02	26.01	26.02		26.02	26.00	26.02		26.02	26.05	26.02		26.02	26.04	26.02		26.02	26.01	
φ Temp. Quellenanlauf	T _{QV}	°C	-0.10		-0.10	-0.20	-0.09		-0.08	-0.21	-0.10		-0.09	-0.20	-0.09		-0.08	-0.18	-0.10		-0.09	-0.21	
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-2.78		-2.75	-3.23	-2.77		-2.73	-3.23	-2.77		-2.74	-3.22	-2.76		-2.74	-3.20	-2.77		-2.74	-3.22	
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C																					
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C																					
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.874	0.875		0.875	0.874	0.875		0.875	0.875	
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h																					
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02		20.02	20.03	20.02		20.02	20.02	20.02		20.02	20.02	20.02		20.02	20.03	20.03		20.03	20.04	
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	42.39		42.36	42.83	43.71		43.69	43.90	44.25		44.25	44.15	44.26		44.26	44.35	44.15		44.16	43.96	
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	0.182		0.000	0.182	0.173		0.000	0.173	0.174		0.001	0.173	0.178		0.000	0.178	0.190		0.000	0.189	
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.637		0.352	0.638	0.641		0.070	0.644	0.654		0.633	0.654	0.654		0.141	0.657	0.651		0.281	0.652	
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	8.390		7.815	0.575	8.341		7.799	0.542	9.473		8.935	0.539	10.431		9.882	0.549	11.180		10.594	0.586	
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	1.388		1.628	2.018	1.383		1.910	2.023	1.364		1.346	2.030	1.366		1.844	2.029	1.366		1.700	2.019	
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-	4.57		4.58	4.48	4.57		4.57	4.46	4.57		4.57	4.44	4.56		4.56	4.45	4.56		4.57	4.47	

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W35
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teiltzyklus 6				Phase 4, Teiltzyklus 7				Phase 4, Teiltzyklus 8				Phase 4, Teiltzyklus 9				Phase 5			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	29.12.02 06:48:41				29.12.02 12:46:01				29.12.02 18:59:41				30.12.02 01:22:24				30.12.02 07:47:24			
Stopzeit	Stop	Datum	29.12.02 12:46:01				29.12.02 18:59:41				30.12.02 01:22:24				30.12.02 07:47:24				30.12.02 08:00:34			
Zeiddauer	Zeit	min	357.33								382.67				385.00				13.17			
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	357.33		338.92	18.42	373.67		354.75	18.92	382.67		363.75	18.92	385.00		365.75	19.25	13.17		2.42	10.75
Betrieb Heizungs Pumpe	UP_H	min	357.33		338.92	18.42	373.67		354.75	18.92	382.67		363.75	18.92	385.00		365.75	19.25	13.17		2.42	10.75
Betriebszeit Kompressor	KO	min	357.33		338.92	18.42	373.67		354.75	18.92	382.67		363.75	18.92	385.00		365.75	19.25	13.17		2.42	10.75
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	18.42		0.00	18.42	18.92		0.00	18.92	18.92		0.00	18.92	19.25		0.00	19.25	10.75		0.00	10.75
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	13.17		2.42	10.75
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	12.008		11.187	0.821	12.552		11.710	0.843	12.876		12.032	0.844	12.930		12.073	0.857	0.556		0.080	0.476
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.888		0.842	0.046	0.929		0.881	0.047	0.951		0.904	0.047	0.957		0.908	0.048	0.033		0.006	0.027
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	42.341		39.877	2.464	44.299		41.765	2.534	45.308		42.776	2.532	45.566		42.983	2.582	1.763		0.305	1.458
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	53.880		51.114	2.767	56.386		53.545	2.841	57.709		54.864	2.845	58.021		55.126	2.895	1.985		0.368	1.617
Warmwasserentnahme	W _W	kWh																	7.319		1.356	5.963
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	2.016		1.980	2.676	2.016		1.981	2.673	2.019		1.985	2.676	2.015		1.980	2.672	2.533		1.992	2.654
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.150		0.149	0.151
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	7.110		7.060	8.027	7.113		7.064	8.036	7.104		7.056	8.031	7.101		7.051	8.048	8.034		7.583	8.136
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	9.047		9.049	9.014	9.054		9.056	9.013	9.048		9.050	9.024	9.042		9.043	9.024	9.047		9.144	9.025
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW																	33.352		33.665	33.281
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{ba}	kWh	1.357		0.792	0.565	1.393		0.811	0.582	1.426		0.848	0.578	1.431		0.838	0.593	-6.952		-1.333	-5.620
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +E _{Ex} +W _Q)	W _{br}	%	2.46		1.53	16.95	2.41		1.49	17.01	2.41		1.52	16.89	2.41		1.50	16.99	-295.62		-340.24	-286.71
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	4.49		4.57	3.37	4.49		4.57	3.37	4.48		4.56	3.37	4.49		4.57	3.38	16.74		21.50	15.94
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{an}	-	4.60		4.64	4.06	4.60		4.64	4.06	4.59		4.63	4.06	4.60		4.64	4.07	4.23		4.88	4.12
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%																	78.66		78.64	78.67
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l																	157.69		28.52	129.17
φ Temp. Heizungsvorlauf	T _{HV}	°C	34.96		34.96	34.92	34.96		34.96	34.92	34.95		34.95	34.94	34.95		34.95	34.93	34.95		35.02	34.93
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{HR}	°C	26.02		26.02	26.01	26.02		26.02	26.02	26.02		26.02	26.02	26.02		26.02	26.02	26.01		25.98	26.01
φ Temp. Quellenvorlauf	T _{QV}	°C	-0.09		-0.09	-0.20	-0.09		-0.08	-0.19	-0.10		-0.10	-0.17	-0.09		-0.09	-0.18	-0.02		-0.07	-0.01
φ Temp. Quellerücklauf	T _{QR}	°C	-2.76		-2.74	-3.21	-2.76		-2.74	-3.21	-2.77		-2.75	-3.19	-2.76		-2.74	-3.20	-3.04		-2.92	-3.07
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C																	54.94		55.98	54.70
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C																	14.98		15.24	14.92
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.874		0.874	0.874	0.875		0.875	0.875	0.874		0.874	0.874	0.874		0.874	0.874	0.874		0.874	0.874
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h																	0.719		0.708	0.721
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.02		20.02	20.03	20.02		20.02	20.03	20.03		20.03	20.03	20.02		20.02	20.03	20.07		20.00	20.09
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	43.83		43.84	43.72	43.80		43.80	43.96	44.24		44.24	44.23	44.55		44.52	45.02	45.30		45.13	45.34
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	0.200		0.001	0.199	0.206		0.001	0.205	0.205		0.001	0.204	0.210		0.000	0.209	0.106		0.000	0.106
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.647		0.633	0.647	0.650		0.492	0.651	0.647		0.563	0.647	0.651		0.281	0.653	0.589		0.070	0.593
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	11.809		11.186	0.623	12.346		11.709	0.637	12.671		12.031	0.640	12.720		12.072	0.648	0.449		0.080	0.369
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	1.369		1.348	2.029	1.365		1.488	2.022	1.372		1.422	2.029	1.364		1.699	2.020	1.944		1.921	2.061
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	68.82		13884.96	56.12
Effizienz W _H /(W _E -W _{E2})	E	-	4.56		4.57	4.44	4.57		4.57	4.46	4.55		4.56	4.45	4.56		4.57	4.47	4.42		4.60	4.38

Anhang 15 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W35, Teil 3

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W50
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 1				Phase 2, Teilzyklus 1				Phase 2, Teilzyklus 2				Phase 2, Teilzyklus 3				Phase 3			
Summe			nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	31.12.02 09:34:32				31.12.02 12:37:22				31.12.02 15:14:57				31.12.02 17:54:52				31.12.02 20:34:12			
Stopzeit	Stop	Datum	31.12.02 12:37:22				31.12.02 15:14:57				31.12.02 17:54:52				31.12.02 20:34:12				01.01.03 03:38:10			
Zeitdauer	Zeit	min	182.83	182.83	157.58	2.25	155.33	159.92	2.25	157.67	159.33	2.25	157.08	423.92	229.50	194.42						
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	182.83	182.83	157.58	2.25	155.33	159.92	2.25	157.67	159.33	2.25	157.08	423.92	229.50	194.42						
Betrieb Heizungs Pumpe	UP_H	min	182.83	182.83	157.58	2.25	155.33	159.92	2.25	157.67	159.33	2.25	157.08	423.92	229.50	194.42						
Betriebszeit Kompressor	KO	min	182.83	182.83	157.58	2.25	155.33	159.92	2.25	157.67	159.33	2.25	157.08	423.92	229.50	194.42						
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	182.83	182.83	155.33	0.00	155.33	157.67	0.00	157.67	157.08	0.00	157.08	194.42	0.00	194.42						
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00	0.00	10.00	2.25	7.75	10.08	2.25	7.83	10.00	2.25	7.75	12.75	0.00	12.75						
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	10.634	10.634	9.198	0.108	9.090	9.324	0.108	9.216	9.292	0.108	9.184	22.330	11.007	11.322						
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.459	0.459	0.395	0.006	0.390	0.401	0.006	0.396	0.400	0.006	0.394	1.058	0.570	0.488						
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	22.850	22.850	19.515	0.248	19.268	19.771	0.248	19.524	19.717	0.250	19.467	46.668	22.466	24.202						
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	26.084	26.084	22.498	0.322	22.176	22.807	0.327	22.480	22.717	0.324	22.393	60.746	33.036	27.710						
Warmwasserentnahme	W _W	kWh			5.655	1.239	4.416	5.712	1.242	4.470	5.665	1.246	4.419	6.806		6.806						
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _E	kW	3.490	3.490	3.502	2.870	3.511	3.498	2.886	3.507	3.499	2.868	3.508	3.160	2.878	3.494						
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.151	0.151	0.151	0.149	0.151	0.151	0.149	0.151	0.151	0.149	0.151	0.151	0.149	0.151						
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	7.499	7.499	7.430	6.602	7.442	7.418	6.602	7.430	7.425	6.657	7.436	6.605	5.873	7.469						
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	8.560	8.560	8.566	8.593	8.566	8.557	8.708	8.555	8.555	8.631	8.553	8.558	8.637	8.552						
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW			33.930	33.037	34.189	33.990	33.125	34.238	33.989	33.225	34.211	32.031		32.031						
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{ba}	kWh	7.858	7.858	0.955	-1.200	2.156	0.977	-1.207	2.185	1.027	-1.207	2.233	2.503	1.007	1.496						
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +E _{Ex} +W _Q)	W _{br}	%	23.15	23.15	3.28	-332.66	7.50	3.31	-334.07	7.50	3.49	-332.68	7.69	3.57	2.96	4.15						
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{abs}	-	2.45	2.45	3.06	14.50	2.93	3.06	14.49	2.92	3.05	14.60	2.92	3.03	3.00	3.05						
Effizienz (W _E +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{abs}	-	3.19	3.19	3.16	3.35	3.16	3.16	3.34	3.16	3.16	3.37	3.16	3.14	3.09	3.18						
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%			20.09	79.36	16.61	20.03	79.18	16.59	19.96	79.38	16.48	10.08		19.72						
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l			118.68	26.15	92.52	119.46	25.94	93.52	118.57	26.09	92.48	151.42		151.42						
φ Temp. Heizungsanlauf	T _{stV}	°C	49.86	49.86	49.88	49.91	49.88	49.86	50.11	49.86	49.86	49.97	49.86	49.90	49.94	49.86						
φ Temp. Heizungsrücklauf	T _{stR}	°C	41.37	41.37	41.38	41.39	41.38	41.37	41.47	41.37	41.38	41.41	41.37	41.37	41.37	41.38						
φ Temp. Quellenanlauf	T _{QV}	°C	-0.09	-0.09	-0.08	-0.10	-0.08	-0.09	-0.09	-0.09	-0.10	-0.01	-0.10	-0.09	-0.09	-0.10						
φ Temp. Quellenrücklauf	T _{QR}	°C	-2.91	-2.91	-2.87	-2.58	-2.88	-2.88	-2.57	-2.88	-2.89	-2.51	-2.89	-2.58	-2.30	-2.91						
φ Temp. Warmwasserausstritt	T _{WA}	°C			55.91	55.42	56.05	56.03	55.72	56.11	56.01	55.73	56.09	53.60		53.60						
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C			15.03	15.40	14.93	15.01	15.32	14.93	15.01	15.30	14.93	14.99		14.99						
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m³/h	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875	0.875						
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m³/h	2.440	2.440	2.440	2.442	2.440	2.440	2.442	2.440	2.440	2.441	2.440	2.440	2.440	2.440						
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m³/h			0.712	0.697	0.716	0.711	0.692	0.716	0.711	0.696	0.716	0.713		0.713						
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.04	20.04	20.06	20.10	20.06	20.05	20.09	20.05	20.05	20.06	20.05	20.04	20.04	20.04						
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	46.50	46.50	46.15	46.17	46.15	45.90	45.88	45.90	45.71	45.63	45.71	45.62	45.66	45.58						
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	1.812	1.812	1.594	0.000	1.594	1.613	0.000	1.613	1.611	0.000	1.611	1.936	0.001	1.936						
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.595	0.595	0.616	0.141	0.616	0.613	0.070	0.614	0.615	0.141	0.615	0.597	0.492	0.597						
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	8.822	8.822	7.604	0.107	7.496	7.711	0.108	7.603	7.681	0.107	7.574	20.393	11.007	9.387						
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	2.895	2.895	2.886	2.730	2.895	2.885	2.816	2.893	2.884	2.727	2.893	2.563	2.386	2.897						
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00	0.00	3.55	6343.13	2.77	3.54	12719.97	2.77	3.52	6379.25	2.74	3.52	0.00	3.52						
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-	2.96	2.96	2.96	3.00	2.96	2.96	3.02	2.96	2.96	3.02	2.96	2.98	3.00	2.95						

Anhang 16 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 1

Prüfling: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W50
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

Phase 4, Teilkzyklus 1					Phase 4, Teilkzyklus 2					Phase 4, Teilkzyklus 3					Phase 4, Teilkzyklus 4					Phase 4, Teilkzyklus 5				
Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi		Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	
01.01.03 03:38:10					01.01.03 07:43:25					01.01.03 11:41:40					01.01.03 16:28:40					01.01.03 21:51:10				
01.01.03 07:43:25					01.01.03 11:41:40					01.01.03 16:28:40					01.01.03 21:51:10					02.01.03 03:33:11				
245.25	232.00	13.25	238.25		225.92	12.33	287.00		274.50	12.50	322.50		309.92	12.58	342.00		329.33	12.67						
245.25	232.00	13.25	238.25		225.92	12.33	287.00		274.50	12.50	322.50		309.92	12.58	342.00		329.33	12.67						
245.25	232.00	13.25	238.25		225.92	12.33	287.00		274.50	12.50	322.50		309.92	12.58	342.00		329.33	12.67						
245.25	232.00	13.25	238.25		225.92	12.33	287.00		274.50	12.50	322.50		309.92	12.58	342.00		329.33	12.67						
13.25	0.00	13.25	12.33		0.00	12.33	12.50		0.00	12.50	12.58		0.00	12.58	12.67		0.00	12.67						
0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00						
11.934	11.135	0.799	11.598		10.853	0.746	13.943		13.186	0.757	15.629		14.871	0.757	16.583		15.821	0.762						
0.610	0.576	0.033	0.592		0.561	0.031	0.713		0.682	0.031	0.801		0.770	0.032	0.850		0.818	0.032						
24.233	22.682	1.551	23.530		22.092	1.438	28.233		26.794	1.439	31.675		30.228	1.448	33.577		32.116	1.461						
35.268	33.381	1.887	34.252		32.496	1.756	41.232		39.454	1.778	46.291		44.503	1.788	49.123		47.323	1.799						
2.920	2.880	3.620	2.921		2.882	3.628	2.915		2.882	3.632	2.908		2.879	3.611	2.909		2.882	3.608						
0.149	0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151						
5.928	5.866	7.022	5.926		5.867	6.996	5.902		5.857	6.909	5.893		5.852	6.903	5.891		5.851	6.920						
8.628	8.633	8.545	8.626		8.630	8.543	8.620		8.624	8.537	8.612		8.616	8.525	8.618		8.622	8.524						
1.508	1.012	0.496	1.469		1.010	0.459	1.657		1.208	0.449	1.815		1.366	0.449	1.886		1.432	0.455						
4.10	2.94	20.82	4.11		3.01	20.70	3.86		2.97	20.16	3.77		2.98	20.06	3.70		2.94	20.18						
2.96	3.00	2.36	2.95		2.99	2.36	2.96		2.99	2.35	2.96		2.99	2.36	2.96		2.99	2.36						
3.08	3.09	2.98	3.08		3.09	2.97	3.08		3.08	2.94	3.08		3.08	2.95	3.08		3.08	2.96						
49.93	49.94	49.83	49.93		49.94	49.78	49.93		49.94	49.86	49.92		49.92	49.87	49.93		49.93	49.85						
41.37	41.37	41.35	41.37		41.38	41.30	41.38		41.38	41.39	41.37		41.37	41.42	41.37		41.37	41.39						
-0.09	-0.08	-0.20	-0.09		-0.08	-0.23	-0.10		-0.09	-0.22	-0.10		-0.09	-0.22	-0.08		-0.08	-0.23						
-2.31	-2.29	-2.84	-2.32		-2.29	-2.86	-2.31		-2.29	-2.81	-2.31		-2.29	-2.81	-2.29		-2.27	-2.83						
0.875	0.875	0.875	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.874	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875						
2.440	2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440						
20.04	20.04	20.03	20.03		20.03	20.03	20.04		20.04	20.03	20.03		20.03	20.03	20.03		20.03	20.03						
45.24	45.25	45.03	44.91		44.91	44.80	44.83		44.83	44.80	44.95		44.95	45.02	45.13		45.12	45.40						
0.161	0.001	0.160	0.151		0.000	0.151	0.148		0.000	0.148	0.149		0.000	0.149	0.150		0.000	0.150						
0.728	0.422	0.730	0.731		0.070	0.735	0.707		0.070	0.712	0.706		0.070	0.710	0.707		0.281	0.710						
11.774	11.134	0.639	11.447		10.853	0.595	13.795		13.186	0.608	15.480		14.871	0.608	16.432		15.821	0.612						
2.191	2.458	2.890	2.190		2.812	2.892	2.208		2.812	2.920	2.202		2.809	2.900	2.202		2.601	2.898						
0.00	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00						
3.00	3.00	2.95	2.99		2.99	2.95	2.99		2.99	2.92	2.99		2.99	2.94	2.99		2.99	2.94						

Anhang 17 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 2

Prüfung: Gleichzeitig
Betriebsart: Winter, B0/W50
Bemerkungen: Entnahme 60% Nennvolumen

			Phase 4, Teilzyklus 6				Phase 4, Teilzyklus 7				Phase 4, Teilzyklus 8				Phase 4, Teilzyklus 9				Phase 5			
			Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi	Summe	nur WW	nur Heiz	Kombi
Startzeit	Start	Datum	02.01.03 03:33:11				02.01.03 09:17:46				02.01.03 15:15:16				02.01.03 21:20:41				03.01.03 03:35:03			
Stopzeit	Stop	Datum	02.01.03 09:17:46				02.01.03 15:15:16				02.01.03 21:20:41				03.01.03 03:35:03				03.01.03 03:48:18			
Zeitdauer	Zeit	min	344.58		331.75	12.83	357.50		344.00	13.50	365.42		351.25	14.17	374.33		360.25	14.08	13.25		2.42	10.83
Betrieb Quellenpumpe	UP_Q	min	344.58		331.75	12.83	357.50		344.00	13.50	365.42		351.25	14.17	374.33		360.25	14.08	13.25		2.42	10.83
Betrieb Heizungs Pumpe	UP_H	min	344.58		331.75	12.83	357.50		344.00	13.50	365.42		351.25	14.17	374.33		360.25	14.08	13.25		2.42	10.83
Betriebszeit Kompressor	KO	min	344.58		331.75	12.83	357.50		344.00	13.50	365.42		351.25	14.17	374.33		360.25	14.08	13.25		2.42	10.83
Betrieb WW-Aufbereitung	WW_B	min	12.83		0.00	12.83	13.50		0.00	13.50	14.17		0.00	14.17	14.08		0.00	14.08	10.83		0.00	10.83
Warmwasserentnahme	WW_E	min	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	13.25		2.42	10.83
Elektrische Energieaufnahme	W _E	kWh	16.705		15.933	0.773	17.330		16.520	0.810	17.728		16.878	0.850	18.172		17.326	0.847	0.753		0.116	0.636
Elektrische Energieaufnahme extern	W _{Ex}	kWh	0.856		0.824	0.032	0.888		0.854	0.034	0.908		0.872	0.036	0.930		0.895	0.035	0.033		0.006	0.027
Energieaufnahme aus Quelle	W _Q	kWh	33.780		32.299	1.481	35.052		33.496	1.556	35.769		34.138	1.631	36.692		35.066	1.626	1.551		0.267	1.284
Energieabgabe Heizung	W _H	kWh	49.427		47.605	1.822	51.284		49.363	1.921	52.417		50.400	2.017	53.713		51.715	1.998	1.897		0.347	1.551
Warmwasserentnahme	W _W	kWh																	7.334		1.335	5.999
φ elektrische Leistungsaufnahme	P _{El}	kW	2.909		2.882	3.612	2.909		2.881	3.601	2.911		2.883	3.598	2.913		2.886	3.608	3.409		2.889	3.525
φ elektrische Leistungsaufnahme extern	P _{Ex}	kW	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.149		0.149	0.151	0.150		0.149	0.151
φ Leistungsaufnahme aus Quelle	P _Q	kW	5.882		5.842	6.922	5.883		5.842	6.914	5.873		5.831	6.908	5.881		5.840	6.927	7.024		6.640	7.110
φ Leistungsabgabe Heizung	P _H	kW	8.606		8.610	8.521	8.607		8.610	8.538	8.607		8.609	8.543	8.609		8.613	8.512	8.591		8.606	8.588
φ Warmwasserentnahme	P _{WE}	kW																	33.211		33.152	33.224
Bilanzrest (W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)	W _{Ba}	kWh	1.914		1.451	0.463	1.985		1.507	0.478	1.987		1.488	0.499	2.081		1.571	0.510	-6.894		-1.292	-5.602
(W _E +W _{Ex} +W _Q -W _H -W _W)/(W _E +E _{Ex} +W _Q)	W _{Br}	%	3.73		2.96	20.25	3.73		2.96	19.94	3.65		2.87	19.84	3.73		2.95	20.35	-294.98		-331.47	-287.68
Effizienz (W _H +W _W)/W _E	E _{aus}	-	2.96		2.99	2.36	2.96		2.99	2.37	2.96		2.99	2.37	2.96		2.98	2.36	12.26		14.45	11.86
Effizienz (W _H +W _{Ex} +W _Q)/W _E	E _{an}	-	3.07		3.08	2.96	3.07		3.08	2.96	3.07		3.07	2.96	3.07		3.08	2.96	3.10		3.35	3.06
Anteil WW: W _W /(W _H +W _W)	WW%	%																	79.45		79.39	79.46
Warmwasserentnahmemenge	VE _W	l																	157.80		27.82	129.98
φ Temp. Heizungs vorlauf	T _{IV}	°C	49.92		49.92	49.87	49.91		49.92	49.87	49.92		49.92	49.90	49.92		49.92	49.87	49.88		50.08	49.84
φ Temp. Heizungs rücklauf	T _{IR}	°C	41.38		41.37	41.41	41.37		41.37	41.40	41.38		41.37	41.43	41.38		41.37	41.43	41.36		41.54	41.32
φ Temp. Quellen vorlauf	T _{QV}	°C	-0.09		-0.09	-0.22	-0.09		-0.08	-0.21	-0.09		-0.09	-0.20	-0.09		-0.09	-0.23	-0.03		-0.10	-0.01
φ Temp. Quellen rücklauf	T _{QR}	°C	-2.30		-2.28	-2.82	-2.30		-2.28	-2.81	-2.30		-2.28	-2.80	-2.30		-2.28	-2.83	-2.67		-2.60	-2.69
φ Temp. Warmwasseraustritt	T _{WA}	°C																	54.81		55.33	54.70
φ Temp. Warmwassereintritt	T _{WE}	°C																	15.07		15.68	14.93
φ Volumenstrom Heizung	V _H	m3/h	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875	0.875		0.875	0.875
φ Volumenstrom Quelle	V _Q	m3/h	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.440	2.439		2.439	2.440	2.440		2.440	2.440	2.440		2.440	2.441
φ Volumenstrom Warmwasser	V _W	m3/h																	0.715		0.691	0.720
φ Lufttemperatur	T _L	°C	20.03		20.03	20.03	20.03		20.03	20.03	20.03		20.03	20.02	20.02		20.02	20.03	20.09		19.96	20.12
φ relative Luftfeuchte	F _L	%	45.87		45.85	46.40	46.81		46.79	47.18	45.79		46.01	40.32	38.84		38.92	36.81	36.59		36.69	36.57
Energieaufnahme WW-Kompressor	W _{E2}	kWh	0.152		0.000	0.152	0.159		0.001	0.159	0.164		0.001	0.163	0.165			0.165	0.112		0.001	0.112
φ Leistung WW-Kompressor	P _{E2}	kW	0.706		0.281	0.709	0.704		0.563	0.705	0.691		0.422	0.692	0.701			0.701	0.617		0.422	0.618
W _E -W _{E2}	ΔW _E	kWh	16.553		15.933	0.621	17.170		16.519	0.651	17.564		16.878	0.686	18.008		17.326	0.682	0.641		0.116	0.525
P _E - P _{E2}	ΔP _E	kW	2.203		2.600	2.903	2.204		2.319	2.895	2.220		2.461	2.906	2.212			2.907	2.792		2.467	2.907
Effizienz W _W /W _{E2}	E	-	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0.00			0.00	65.36		2278.91	53.74
Effizienz W _W /(W _E -W _{E2})	E	-	2.99		2.99	2.93	2.99		2.99	2.95	2.98		2.99	2.94	2.98		2.98	2.93	2.96		2.99	2.95

Anhang 18 Messresultate System "Gleichzeitig", Betriebspunkt B0/W50, Teil 3

Auswertung nach EN255-3

Betriebspunkt			System "Alternativ"		System "Gleichzeitig"		
			B0/*	B0/W35	B0/*	B0/W35	B0/W50
Leistungsanteil externe Heizungs-UP	W		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Leistungsanteil externe Quelle-UP	W		56.4	56.4	32.8	1.5	1.5
Nennvolumen des Wasserspeichers	V_n	l	300	300	200	200	200
Volumen des entnommenen Warmwassers	V_t	l	178.95	180.69	117.87	117.85	118.57
Wärmeinhalt der entnommenen Warmwassermenge	Q_t	kWh	8.40	8.51	5.55	5.60	5.66
Entnahmedauer und Nachheizzeit für die Entnahme	t_t	min	71.33	71.42	292.00	192.00	159.33
Effektive Energieaufnahme während der Entnahmedauer	W_{et}	kWh	2.81	2.88	2.66	2.19	1.75
Leistungszahl für die Entnahme von Brauchwarmwasser	COP_t	-	3.06	3.02	2.36	2.70	3.38
Bezugs-Warmwassertemperatur während der Entnahme	T_{WB}	°C	55.44	55.52	55.31	55.93	56.01
Carnotwirkungsgrad	COP_C	-	9.83	9.80	9.80	9.76	9.74
Gütegrad	N_W	-	0.31	0.31	0.24	0.28	0.35
Warmwasserleistung	P_W	W	7'069	7'147	1'141	1'751	2'133
Effektive Energieaufnahme während der Bereitschaftsperiode	W_{es}	kWh	1.40	1.47	1.56	0.91	0.70
Messzeit für die Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode	t_s	h	25.50	26.66	24.93	24.98	24.03
Effektive Leistungsaufnahme während der Bereitschaftsperiode	P_{es}	W	55.0	55.3	62.4	36.3	29.3
Anzahl der Arbeitszyklen während der Bereitschaftsperiode	n_s	-	1	1	4	4	4
Aufheizzeit	t_h	min	78.75	77.67	330.58	222.00	182.83
Effektive Energieaufnahme während der Aufheizperiode	W_{eh}	kWh	3.95	4.00	2.97	2.48	1.98
Maximal nutzbare Warmwassermenge bei einer einzelnen Entnahme	V_{max}	l	420.60	416.64	252.75	254.18	254.72
Wärmeinhalt der maximal entnommenen Warmwassermenge	Q_{max}	kWh	12.11	12.00	7.28	7.32	7.33
Bezugs-Warmwassertemperatur	θ'_{wh}	°C	47.11	46.47	52.80	53.13	53.60
Bezugs-Warmwassertemperatur	θ''_{wh}	°C	54.38	54.44	54.38	54.94	54.81
Bezugs-Warmwassertemperatur	θ_{wr}	°C	50.74	50.46	53.59	54.03	54.21
Wassereintrittstemperatur	T_{WE}	°C	14.99	15.01	15.06	14.99	15.01
Quellentemperatur	T_{QV}	°C	-0.02	-0.06	-0.08	-0.07	-0.10

Anhang 19 Detaillierte Auswertung nach EN255-3

		Phase 2, Zeitdauer immer ganzer Zyklus				Phase 4, jeweils nur Zeitraum Nachladen			
		Zyklus 1	Zyklus 2	Zyklus 3		Zyklus 5	Zyklus 6	Zyklus 7	Zyklus 8
Total elektrische Leistung gemessen	W	517	514	514		557	559	561	558
Zuschlag Leistung UP Sole Grundbetrag	W	20	20	20		20	20	20	20
Zuschlag Leistung UP Sole Warmwasser	W	13	13	13		13	13	13	13
Zuschlag Leistung UP Heizkreis	W	0	0	0		0	0	0	0
Abzug Bereitschaftsaufwand	W	62	62	62		62	62	62	62
Elektrische Leistung Total	W	487	484	484		527	529	531	528
Elektrische Leistung für WW	W	487	484	484		527	529	531	528
Elektrische Teilleistung PE2	W	485	482	483		526	526	528	525
Zuschlag Leistung UP Sole Grundbetrag	W	20	20	20		20	20	20	20
Zuschlag Leistung UP Sole Warmwasser	W	13	13	13		13	13	13	13
Zuschlag Leistung UP Heizkreis	W	0	0	0		0	0	0	0
Zuschlag Magnetventil	W	15	15	15		15	15	15	15
Zuschlage Steuerung	W	6	6	6		6	6	6	6
Abzug Bereitschaftsaufwand	W	62	62	62		62	62	62	62
Elektrische Leistung für WW	W	476	473	474		517	518	520	517
Differenz	W	11	11	10		10	12	12	11
Differenz	%	2.2%	2.3%	2.1%		1.9%	2.2%	2.2%	2.2%

Anhang 20 Vergleich der elektrischen Messgrößen in "Nur Warmwasser"-Betrieb"