

Jahresbericht 2003, 8. Dezember 2003

Projekt

Verbesserung des Abtauens bei luftbeaufschlagten Verdampfern

Autor und Koautoren	Ehrbar Max, Hubacher Peter
beauftragte Institution	ARGE Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Hubacher Engineering, Engelburg
Adresse	Werdenbergstrasse 4, 9471 Buchs
Telefon, E-mail, Internetadresse	081-755 33 96, ehrbarmax@ntb.ch , www.ntb.ch
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	44'181/150'166
Dauer des Projekts (von – bis)	1.5.03-30.6.04

ZUSAMMENFASSUNG

Luft-Wasser-Wärmepumpen liegen gegenüber Sole-Wasser- und Wasser-Wärmepumpen bezüglich Arbeitszahl deutlich tiefer. Eine Möglichkeit, die Arbeitszahlen der LW-Maschinen an diejenigen der SW-Maschinen anzugleichen, liegt in der Verbesserung der Abtauung.

Die bereits abgeschlossenen Phasen 1 und 2 zeigten, dass einiges Verbesserungspotential da ist, das in Phase 3 vertieft angegangen werden soll.

Bis dato wurden einerseits Prüfstandsmessungen durchgeführt mit dem Ziel, die optimalen Bedingungen für eine effiziente Heissgasabtauung zu eruieren. Damit sollen den Herstellern gezielte Informationen für die Auslegung der Heissgasabtauung in die Hand gegeben werden.

Andererseits wurden vier Anlagen mit Prozessumkehrabtauung im Feld messtechnisch ausgerüstet. Deren Messungen laufen seit November 03. Für eine Feldmessung vorbereitet wurde auch eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Luftabtauung. Diese Abtauart verspricht einen sehr niedrigen Abtaubedarf, hat aber möglicherweise betriebliche Nachteile, was durch die Feldmessung abgeklärt werden soll.

Des weiteren wurden die Abtauzeiten und Abtauleistungen von sechs Luft-Wasser-Maschinen mit Prozessumkehr-Abtauung analysiert. Diese Maschinen dienen als Referenz für den Vergleich zwischen den Messungen nach Prüfnorm EN255 und den Feldbedingungen. Im Projekt FAWA hat es sich nämlich gezeigt, dass die effektiven Abtauenergieverbräuche im Feld geringer sind als gemäss Typenprüfungen.

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

Projektziele

Bei luftbeaufschlagten Verdampfern von Wärmepumpen und Kältemaschinen muss der Eisansatz periodisch abgetaut werden. Abtauverfahren und Abtausteuern lassen Raum für energetische und betriebliche Optimierungen offen. Diese Untersuchung bezweckt eine eingehende Analyse und Bewertung von vorhandenen Abtauverfahren, sowie von neuen Ideen zur Abtauung. Das Projekt teilt sich in drei Phasen. In der ersten Phase wurde eine Übersicht und Bewertung der gängigen Abtauverfahren erstellt. Des Weiteren wurden die direkten und indirekten Aufwände für die Heissgasabtauung und die Abtauung mit Prozessumkehr identifiziert. Bei der zweiten Phase wurden die bekannten Abtauprozesse genauer untersucht. Einerseits wurden die Messdaten von WPZ-Prüfungen hinsichtlich Abtauung genauer analysiert und zusätzlich der indirekte Energieaufwand mit Prüfstandmessungen an Vierwegventilen untersucht. Weiter wurde die Naturabtauung an einer Wärmepumpe in der Klimakammer und parallel dazu in Feldmessungen untersucht.

In der dritten Phase sollen nun die gefundenen Ansätze erhärtet werden und zuhanden der Hersteller Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Dazu sind weitere experimentelle Untersuchungen notwendig. Als Hauptthemen sind die Naturabtauung, ein optimales Energiemanagement bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt sowie die Leistungssteigerung bei der Heissgasabtauung, die Luftabtauung vorgesehen. Im weiteren ist die Erarbeitung von neuen Abtaustrategien, basierend auf den bisherigen und noch vorgesehenen experimentellen Untersuchungen, ein wichtiger Bestandteil dieser Phase 3.

Zielsetzungen für die Phase 3:

- a) Experimentelle Untersuchung der Naturabtauung. Die Naturabtauung ist sehr komplex, es sollen die wichtigsten Parameter, die Einfluss auf den Energieaufwand haben, vertieft untersucht werden. Ziel: Strategien zum Einbezug der Naturabtauung zwecks Reduktion des Abtauaufwandes.
- b) Experimentelle Untersuchung des Energiemanagements und Feldversuche bei der Abtauung, insbesondere mittels Einsatz des Ventilators, wenn die Lufttemperatur höher ist als die Temperatur des vereisten Verdampfers (oberhalb des Gefrierpunkts). Ziel: Strategien zum Einbezug des Verdampfer-Ventilators zwecks Reduktion des Abtauaufwandes.
- c) Erarbeitung neuer Strategien für die Steuerung der Abtauung, basierend auf den experimentellen Versuchen und den bisherigen Erkenntnissen auf der Basis der Erkenntnisse von Pos. a) und b).
- d) Effizienzsteigerung der Abtauleistung bei Heissgasabtauungen, speziell ist der Einfluss der Hochhaltung des Kondensationsdrucks zu untersuchen.
- e) Experimentelle Untersuchung der in Phase 2 erwähnten Luftabtauung, insbesondere sind die Funktion sowie die energetischen Einflüsse innerhalb eines Gebäudes (EFH) mit einzubeziehen (Wärmeklau!).
- f) Feldmessungen an fünf Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Prozessumkehr-Abtausystemen, dabei geht es um die Erfassung der effektiven Abtauzeiten und -zyklen. Diese Messungen sind in der Phase 2 teilweise missraten.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Stand der Arbeiten per 31.12.2003 (Uebersicht)

Das Projekt begann gemäss Vertrag 150'166 am 1.5.03. Im Arbeitsplan der Offerte sind 6 Teilschritte vorgesehen. Der Stand dieser 6 Teilschritte zeigt sich wie folgt:

- | | |
|--|---|
| a) Experimentelle Untersuchung der Naturabtauung.... | Vorversuche. Da die Klimakammer wegen Umbaus ab August 03 nicht mehr zur Verfügung stand, mussten diese Messungen zeitlich nach hinten gerückt werden. |
| b) Experimentelle Untersuchung des Energiemanagements und Feldversuche.... | Noch nicht in Angriff genommen. |
| c) Erarbeitung neuer Strategien für die Steuerung der Abtauung.... | Noch nicht in Angriff genommen. Kann sinnvollerweise erst bearbeitet werden, wenn die Ergebnisse aus den experimentellen Untersuchungen vorliegen. |
| d) Effizienzsteigerung der Abtauleistung bei Heissgasabtauung.... | Diese Messungen wurden zwischen Mai und Juli 03 in der Klimakammer ausgeführt. Die Messungen wurden bis heute nicht vollständig ausgewertet, da der mit dem Projekt betraute Mitarbeiter per Ende Juli 03 aus den Diensten des NTB ausschied und ein passender Nachfolger erst auf den 1.2.04 gefunden werden konnte. |
| e) Experimentelle Untersuchung der in Phase 2 erwähnten Luftabtauung... | Objekt bestimmt. Messkonzept steht. Wird anfangs Januar 04 installiert. |
| f) Feldmessungen an fünf Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Prozessumkehr-Abtausystem.... | 4 Anlagen instrumentiert. Messungen laufen. Keine Auswertungen der Messungen. Hingegen wurden als Referenz 6 Anlagen, die im WPZ Töss gemessen wurden, bezüglich Abtauzeiten und Abtauleistungen ausgewertet. Die Feldmessungen sollen die Abweichungen zwischen den Tössmessungen und den Feldmessungen aufzeigen. |

Stand der Arbeiten bis 31.12.03, Details

Zu Punkt a) Naturabtauung

Bei Quellentemperaturen über 0°C taut die Eisschicht auf den Verdampferlamellen während der Stillstandszeiten teilweise auf natürlichem Wege ab. Dies geschieht durch Wärmezufuhr aus der Quellenluft. Es stellt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Abtauanteil durch Naturabtauung, Lufttemperatur und Stillstandszeit. Erste Messungen dazu wurden bereits im Projekt Abtauen 2 gemacht. Diese Untersuchungen werden auf dem Prüfstand gemacht, indem die anfallende Kondensatmenge in einem Messbehälter aufgefangen wird. Es wird der Zusammenhang zwischen Kondensatmenge und Zeit nach dem Abstellen ermittelt. Diese Messung funktioniert sehr gut. Abb. 1 zeigt ein Beispiel einer solchen Messung.

Es hat sich gezeigt, dass erst nach einiger Zeit wirklich Wasser vom Verdampfer abzutropfen beginnt. Die Beobachtungen an einer handelsüblichen Wärmepumpe zeigten, dass das Eis

zunächst zwar schmilzt, jedoch als Eismatsch an den Lamellen kleben bleibt. Erst nach einiger Zeit (bei 2°C Lufttemperatur sind es etwa 1.5 h) erscheinen die ersten Wassertropfen in der Auffangwanne.

Es werden noch bedeutend mehr Messungen benötigt, um einen allgemeinen Zusammenhang zwischen natürlicher Abtaumenge und den bestimmenden Hauptparametern Lufttemperatur und Stillstandzeit zu gewinnen.

Kondensatausscheidung im Arbeitspunkt A2/W35 (HD-Hochhaltung)

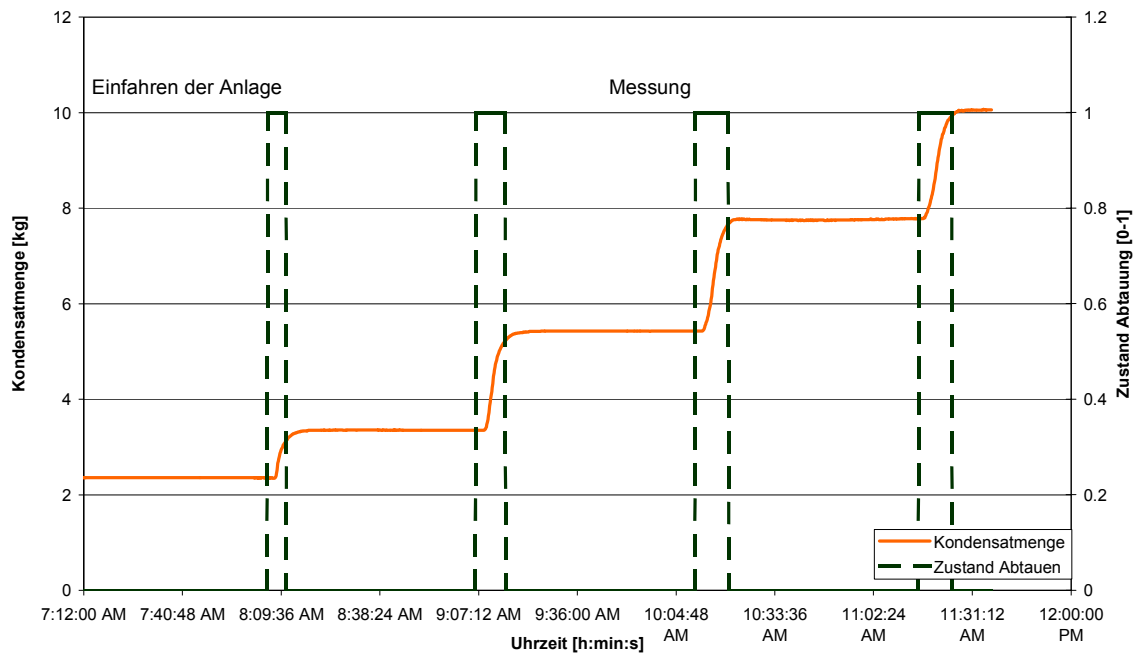


Abb. 1: Anfallende Kondensatmenge als Funktion der Zeit

Zu Punkt d) Effizienzsteigerung der Abtauleistung bei Heissgasabtauung

Die Streuung bei den Abtauleistungen von Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Heissgasabtauung ist gross. Als Basis dienen uns Typenprüfungen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Streuung bei den Abtauzeiten und den Abtauleistungen. Sie zeigen teilweise auch, dass die Abtauleistungen sehr tief liegen. Abb. 2 zeigt die Auswertungen anhand von Typenprüfungen für 6 Maschinen.

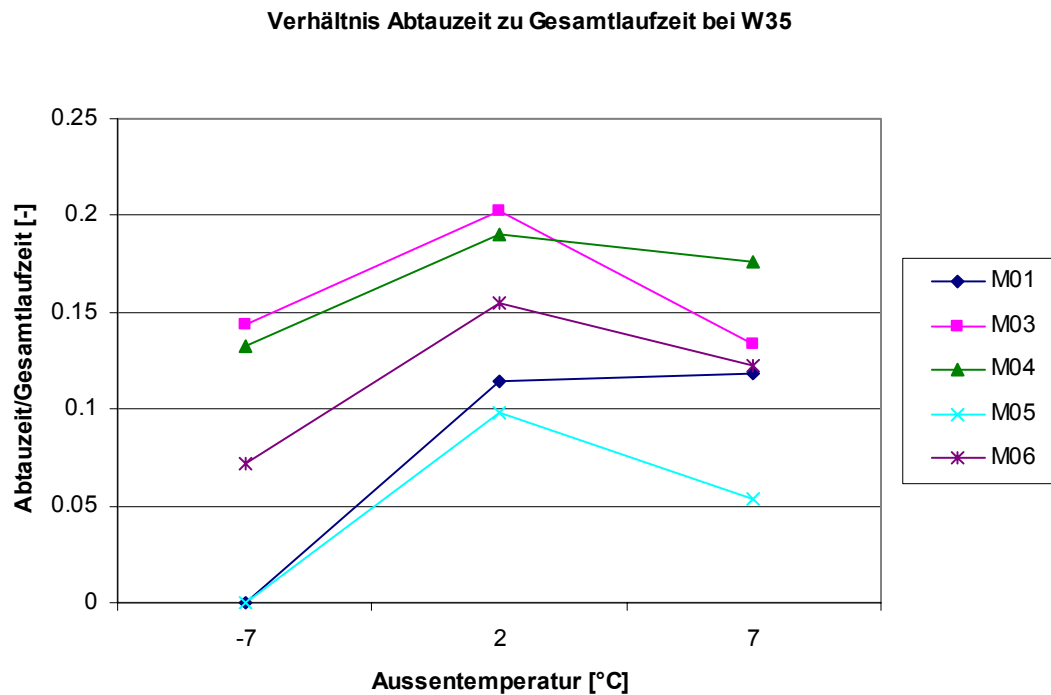


Abb. 2: Relative Abtauzeiten der Heissgasabtauung bei Dauerbetrieb (Typenprüfungen EN 255) für die Vorlauftemperatur 35°C.

Die Abtauzeiten sind bei Heissgasabtauung erfahrungsgemäss wesentlich länger als bei Prozessumkehr. Dies rührt davon her, dass die Abtauleitungen sehr gering sind. Abb.3 zeigt die Abtauleistung für die ausgewerteten 6 Maschinen.

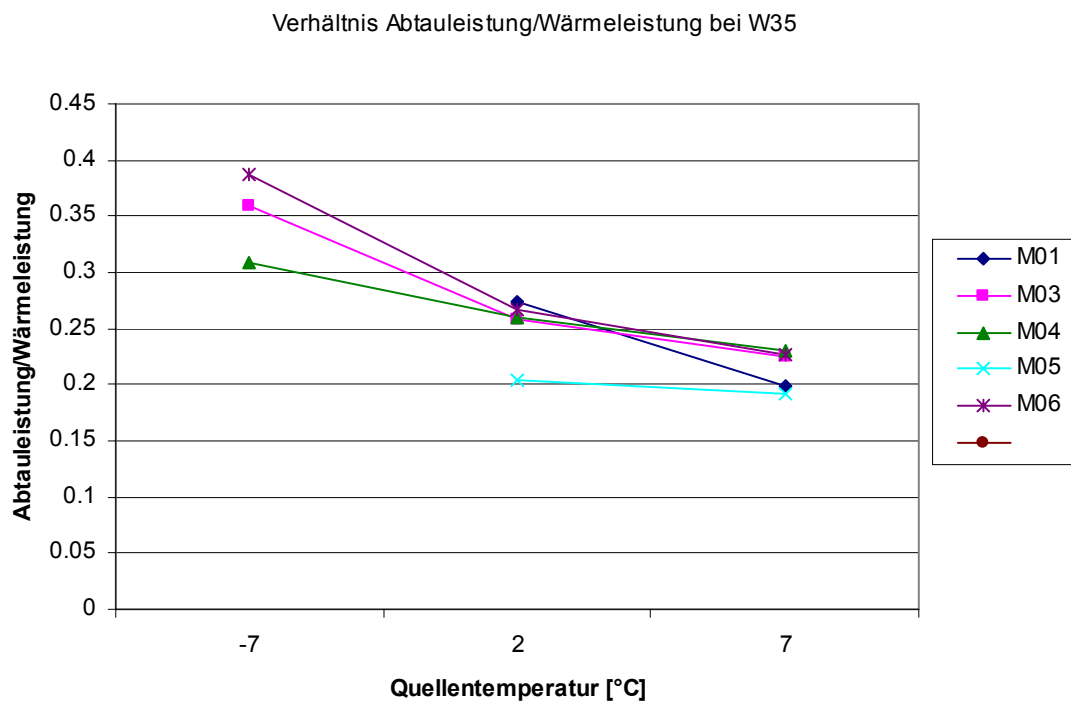


Abb. 3: Relative Abtauleistungen für 6 Luft-Wasser-Wärmepumpen mit Heissgasabtauung (Typenprüfungen nach EN 255). Vorlauftemperatur 35°C (W35).

Es ist ein Ziel dieser Arbeit, Empfehlungen abzugeben, wie man die Abtauleistung bei Heissgasabtauung erhöhen und damit die Abtauzeit verkürzen kann. Folgende Massnahmen werden ins Auge gefasst:

- **Normalanordnung:** Bei dieser Anordnung sind die zusätzlich eingebauten Magnetventile vor dem Kondensator und in der Bypassleitung vor dem Verdampfer stromlos (d.h. offen). Die WP wird normal betrieben.
- **Rückschlagklappe:** Bei dieser Variante soll die Kältemittelmigration in die Heissgasleitung während der Heizphase unterdrückt werden. Zu diesem Zweck wird die Heissgasleitung während des Heizbetriebes an beiden Enden mit einem Magnetventil verschlossen (Normales Abtau-MV und zusätzlich eingebautes MV in der Heissgasleitung). Die Ansteuerung erfolgt über den Signalausgang für die Abtauung.
Umgehung der Tropfwanne: Bei dieser Anordnung wird die Tropfwanne nicht über das Heissgas während der Abtauung beheizt sondern über ein elektrisches Heizband (50W, 220V). Im vorliegenden fall kam es zu keinerlei Problemen mit der Vereisung der Maschine, obwohl die Leistung des Heizbandes relativ klein ist.
- **Hochdruck-Hochhaltung:** Um die Kompressorleistung während der Abtauung zu steigern wird ein Magnetventil vor dem Kondensator in die Heissgasleitung eingebaut. Dadurch kann ein hoher Enddruck der Verdichtung erreicht werden. Steigt der Druck auf ein zu hoher Niveau, wird das Kältemittel mittels des Pressostat gesteuerten Magnetventils in den Kondensator abgelassen.

Vergleich der Abtauvarianten:

Vergleich der Abtaudauer mit der Standardvariante

$$(T_{\text{Abt, Variante}} / T_{\text{Abt, Standard}} * 100\%)$$

	A7/W35	A2/W35	A-7/W35	A2/W50
Normal	100.0	100.0	100.0	100.0
Rückschlag	-	100.6	-	-
Umgehung	81.7	96.2	102.4	87.9
Hochdruck	70.1	65.7	94.1	106.8

Abtaudauer bezogen auf die Kondensatmenge:

$$t_{\text{Abt, spez}} = t_{\text{Abt}} / m_{\text{Kond}}$$

Normalanordnung

A-7/W35	A2/W35	A7/W35	A-7/W50	A2/W50	A7/W50
[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]
544	252	199	298	182	148

Rückschlagklappe in der Bypassleitung

A-7/W35	A2/W35	A7/W35	A-7/W50	A2/W50	A7/W50
[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]
	233				

Umgehung der Tropfwanne

A-7/W35	A2/W35	A7/W35	A-7/W50	A2/W50	A7/W50
[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]
514	243	156		156	

Hochdruckhochhaltung

A-7/W35	A2/W35	A7/W35	A-7/W50	A2/W50	A7/W50
[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]	[s/kg]
451	247	155		157	

Verhältnis der auf die Kondensatmenge bezogene Abtaudauer:

$$t_{\text{Abt, spez, Variante}} / t_{\text{Abt, spez, Normal}} [\%]$$

	A-7/W35	A2/W35	A7/W35	A-7/W50	A2/W50	A7/W50
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Normal	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Rückschlag		92.2				
Umgehung	94.4	96.3	78.5		85.8	
Hochdruck	82.8	97.9	77.9		86.3	

Die Messungen erfolgten bei den Arbeitspunkten A-7/W35; A2/W35; A7/W35 sowie bei A-7/ W50; A2/W50; A7/W50 wobei nur die Normalanordnung in allen Arbeitspunkten durchgemessen worden ist.

Die Auswertung zeigt, dass zwar eine Verbesserung möglich ist, aber die Normalanordnung in diesem Falle nicht extrem schlecht dasteht. In den einzelnen Arbeitspunkten sind beim Verhältnis der Kondensatmenge bezogen auf die Abtaudauer doch beachtliche Differenzen vorhanden.

Die Zusammenstellung ist im Anhang „Vergleich der Abtauvarianten“ zu finden. Ebenfalls ist ein Diagramm mit dem Verlauf der Kondensatausscheidung (Abb. 1) und ein weiteres mit dem Verlauf der Verdampfungstemperatur für die Messungen mit HD-Hochhaltung bei A2/W35 (Abb. 2) im Anhang beigelegt.

Abb. 4 zeigt an einem gemessenen Beispiel den Temperaturverlauf des Sauggases am Ausgang aus dem Verdampfer gezeigt.

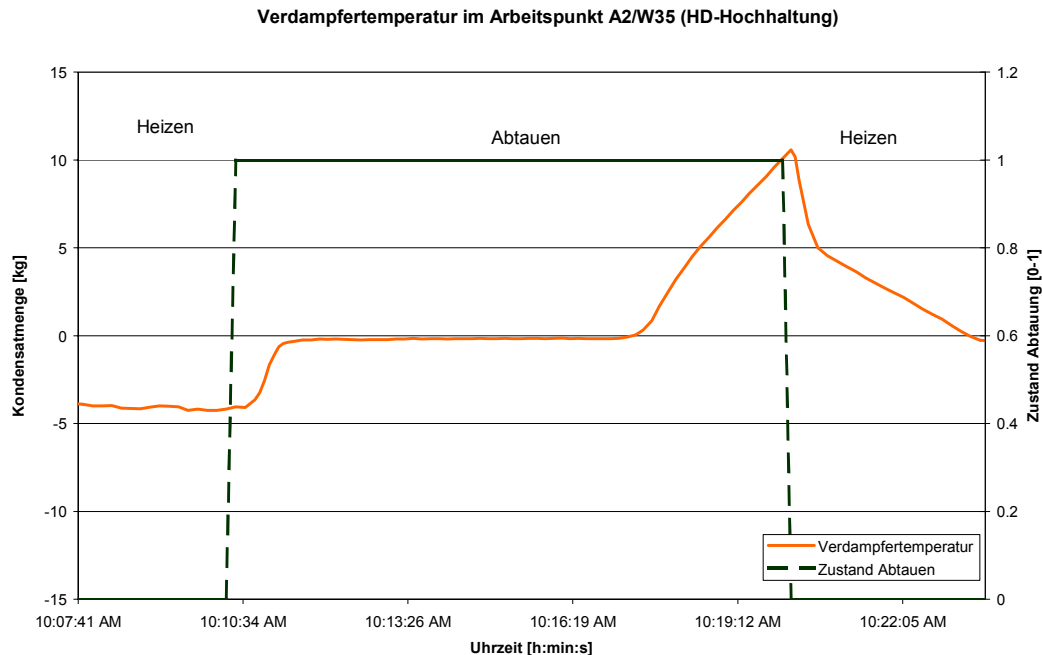


Abb. 4: Beispiel eines gemessenen Temperaturverlaufs des Sauggases am Ausgang aus dem Verdampfer

Zu Punkt e) Experimentelle Untersuchung der in Phase 2 erwähnten Luftabtauung

Da dieses System noch nicht sehr oft und nur von einem Hersteller eingesetzt wird, musste zuerst ein geeignetes Objekt gefunden werden.

In der Zwischenzeit wurde das Objekt bestimmt und die Vorbereitungen für den Einbau der Messeinrichtungen durchgeführt. Der Einbau erfolgt in den nächsten zwei Wochen, so dass die Umgebungstemperaturen für die Messungen günstig sein werden.

Zu Punkt f) Feldmessungen an 7 Luft/Wasser-Wärmepumpen mit Prozessumkehr-Abtausystem

Die Feldmessungen mit PU-Abtausystem sind zur Zeit an vier Anlagen eingerichtet. Diese Messungen laufen bereits seit Anfangs November 2003. Drei weitere Anlagen werden bis Ende Januar 2004 messtechnisch eingerichtet und bis ca. Ende April 2004 gemessen.

Wir haben als „Standortbestimmung“ 6 Wärmepumpen mit Prozessumkehr aus Typenprüfungen bezüglich Abtauzeiten und Abtauleistungen untersucht. Diese Auswertungen haben zum Ziel: a) als Referenz für die Feldmessungen zu dienen. Wir möchten die Abweichungen der Abtauung zwischen Feldeinsatz und Typenprüfungen eruieren. Daraus können Erfahrungswerte für die Umrechnung von Typenprüfungen auf die realen Feldrandbedingungen gewonnen werden. b) den Herstellern eine Vergleichsbasis für ihre eigenen Maschinen zu liefern. Es werden zusätzlich noch

Auswertungen der Typenprüfungen für die 7 Feldmaschinen gemacht, um einen unmittelbaren Vergleich zwischen Typenprüfung und Feldmessung zu erhalten.

Verhältnis Abtauzeit zu Gesamtlaufzeit bei W35

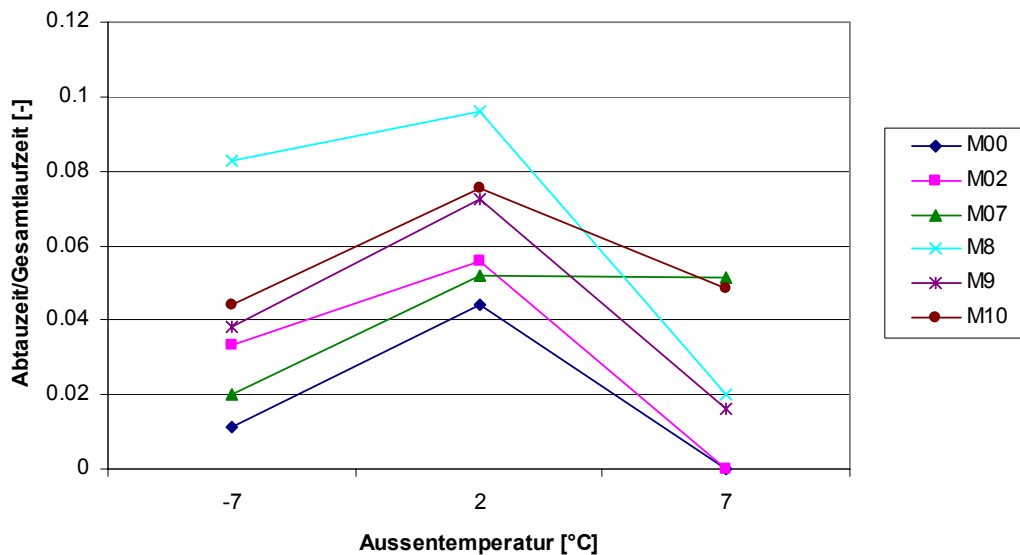


Abb. 5: Verhältnis von Abtauzeit zu Gesamtlaufzeit für 6 Wärmepumpen mit Prozessumkehr-Abtauung (Typenprüfungen nach EN 255).

Wir stellen ganz allgemein fest, dass es kaum statistisch relevante Auswertungen von Wärmepumpenverhalten gibt. Dies hat sich gerade beim Projekt FAWA deutlich gezeigt, wo sich dieses Bedürfnis öfters gezeigt hat.

Verhältnis Abtauleistung/Wärmeleistung bei W35

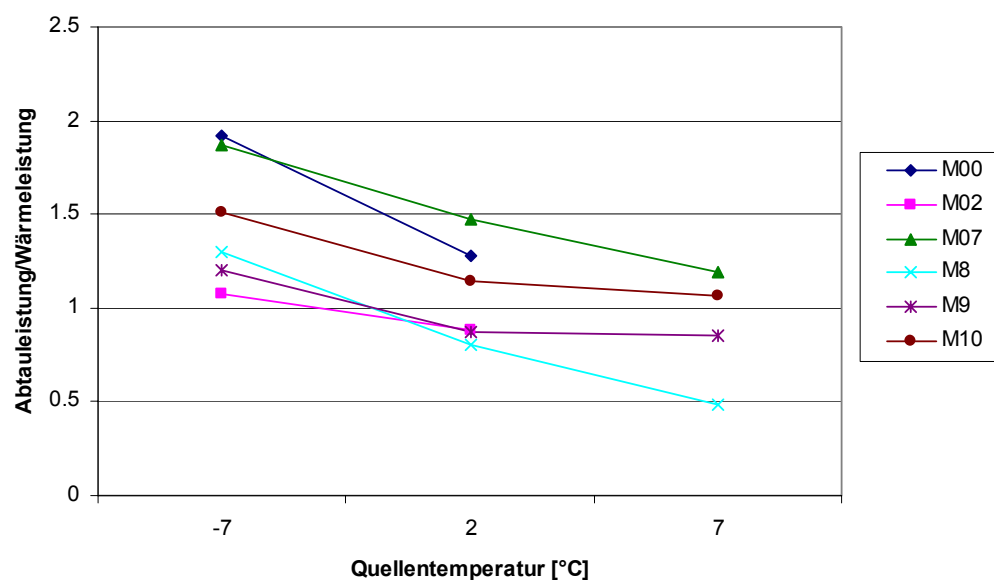


Abb. 6: Verhältnis der Abtauleistung zur Heizleistung über alle 6 Wärmepumpen für Vorlauftemperatur 35 °C (Typenprüfungen EN 255, Dauerbetrieb)

An einer Anlage wurden erste Messresultate aus den Feldmessungen ausgewertet. Da diese ersten Resultate von nur einer Anlage stammen, können noch keine gesicherten Schlüsse gezogen werden. Ein Vergleich ist jedoch noch zu früh.

Nationale Zusammenarbeit

Der Projektleiter ist Mitglied der Begleitgruppe des Projektes „Luftkühleroptimierung durch Reduktion von Eis- und Frostbildung“ (BFE-Projekt 100'059/150'060).

Internationale Zusammenarbeit

Keine.

Bewertung 2003 und Ausblick 2004

Aufgrund der etwas speziellen Situation mit dem Prüfstandumbau für das WPZ und dem gleichzeitigen Engagement beider beteiligten Autoren bei diesem Umbau mussten die Prüfstandmessungen nach hinten geschoben werden. Dazu kommt noch, dass der massgebliche Sachbearbeiter per Ende Juli 03 das NTB verlies und kein geeigneter Nachfolger gefunden werden konnte. Ab 1.2.04 steht nun ein neuer Mitarbeiter zur Verfügung, der die notwendigen Voraussetzungen für eine speditive und fachkundige Arbeit mitbringt und bei diesem Projekt eingesetzt wird.

Referenzen

Keine.