

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 95 (2003)  
**Heft:** 3-4

**Artikel:** Forschungsprogramm Umgebungswärme des BFE  
**Autor:** Zogg, Martin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-939443>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Kernkraftwerken, ersetzt werden. Als Beispiele seien die Kraftwerke Klosters und Küblis im Prättigau erwähnt, wo in den wasserarmen Wintermonaten praktisch die gesamte verfügbare Wasserkraft zur Bahnstromproduktion genutzt wird.

Nachdem sich der zunehmende Traktionsenergiebedarf auch mit der Installation von Bahnstrommaschinen in verschiedenen Wasserkraftwerken der Allgemeinversorgung immer noch nicht vollständig decken liess, musste in einem vierten Massnahmenbündel zum Bau von Frequenzumformeranlagen geschritten werden. Als Beispiele seien die grossen Umformerwerke von Zürich-Seebach, Rapperswil, Giubiasco und Kerzers sowie von Wimmis für die Speisung der Lötschbergbahn erwähnt. Diese Einrichtungen ermöglichen die Umformung von Dreh- in Einphasenwechselstrom, wodurch das Bahnstromversorgungssystem an das Überlandnetz der Allgemeinversorgung angekoppelt ist. Die über diese Kopplungsstellen ins Bahnnetz eingespeiste Energie muss natürlich ebenfalls aus der Produktion der Kernkraftwerke aufgebracht werden.

Seit 1984 hat sich der Energiebedarf des schweizerischen Schienenverkehrs um 540 Mio. kWh auf 2698 Mio. kWh oder um 25% erhöht. Die unaufhaltsame Bedarfssteigerung hat die SBB zum engagierten Mitmachen an der Ausarbeitung der so genannten Zehnwerkeberichte veranlasst. In diesem Rahmen hat die Elektrizitätswirtschaft seit den 60er-Jahren die zukünftige Entwicklung des Landesbedarfes an elektrischer Energie periodisch geschätzt und gestützt darauf die

Investitionsprogramme für den Ausbau der Stromproduktion erstellt. Mit dem Näherücken der Vollausschöpfung der nutzbaren Wasserkräfte musste man sich nach neuen Möglichkeiten zur inländischen Stromerzeugung umsehen. Sowohl aus wirtschaftlichen als namentlich auch aus ökologischen Gründen wurde die nukleare Stromerzeugung dem Bau von mit Kohle, Erdöl oder Erdgas befeuerten Wärmekraftwerken vorgezogen. Mit ihrer Beteiligung an den beiden Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt wirkten die SBB am Aufbau des schweizerischen Kernkraftwerkparkes aktiv mit. Durch das Aufkommen eines wachsenden Widerstandes gegen den Bau von Kernkraftwerken sah sich die Elektrizitätswirtschaft Ende der 70er-Jahre gezwungen, zur Sicherstellung der Deckung des weiterhin zunehmenden Strombedarfes Erzeugungsdisponibilitäten im Ausland zu beschaffen. Zur Hauptsache erfolgte dies im Rahmen von Abkommen über den Erwerb von Produktionsanteilen aus dem französischen Kraftwerkpark, der bekanntlich zum weit überwiegenden Teil aus Kernkraftwerken besteht. Für das Jahr 2002 zeigt die Stromerzeugung Frankreichs folgendes Bild:

Kernkraftwerke	415,5 Mrd. kWh	78%
Mit fossilen Brennstoffen befeuerte Wärmekraftwerke	52,9 Mrd. kWh	10%
Wasserkraftwerke	<b>64,5 Mrd. kWh</b>	<b>12%</b>
	532,9 Mrd. kWh	

Mit ihrer Beteiligung an den beiden zu diesem Zweck gegründeten Gesellschaften «Aktiengesellschaft für Kernenergiebeteiligungen (AKEB), Luzern», sowie «Energiefinanzierungs AG (ENAG), Schwyz», haben

sich auch die SBB bei der Beschaffung von Atomstrom aus Frankreich tatkräftig engagiert. Mittlerweile sind die SBB offenbar zu einer anderen Beurteilung ihres zukünftigen Strombedarfes gelangt, was letzthin im Verkauf ihrer Anteile an den beiden schweizerischen Kernkraftwerken Gösgen und Leibstadt öffentlich zum Ausdruck kam. Wie sich dieser Entscheid mit der neuen Zielvorgabe des Bundes an die SBB verhält, wonach die Schiene im Personen- und insbesondere im Güterverkehr substantielle Marktanteilsgewinne realisieren soll, wird die Zukunft weisen. Bemerkenswerterweise haben die SBB lediglich ihre schweizerischen Kernkraftquoten veräussert, während die fortgesetzte Partizipation an der nuklearen Stromerzeugung in Frankreich anscheinend ganz gut ins Energiekonzept unserer Staatsbahn passt.

Zusammenfassend ist Folgendes festzuhalten: Das komplexe System der Bahnstromversorgung ist mit dem Kraftwerkpark der Allgemeinversorgung auf mannigfache Weise eng verzahnt. Der Betrieb des schweizerischen Schienennetzes stützt sich daher gleichermassen auf den helvetischen Mix von 60% Wasserkraft und 40% Kernenergie ab wie die Behaglichkeit in der guten Stube und wie das reibungslose Funktionieren der zahllosen Industrie-, Gewerbe- und Dienstleistungsbetriebe unseres Landes.

Anschrift des Verfassers

Walter Pfeiffer, lic. oec. HSG, Chrüzlibergweg 6, CH-5432 Neuenhof.

## Forschungsprogramm Umgebungswärme des BFE

■ Martin Zogg

### Lärmreduktion bei Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen – Grundlagen und Massnahmen

Über die Hälfte der neuen Kleinwärmepumpen mit Wärmeleistungen bis 25 kW nutzt Umgebungsluft als Wärmequelle. Besonders in dicht besiedelten Gebieten haben diese Luft/Wasser-Wärmepumpen vereinzelt zu Beanstandungen der Lärmemissionen geführt. Im Rahmen eines Forschungsprogramms wurden nun die Lärmquellen von Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen analysiert und ein Leitfaden für Hersteller und Planer zur lärmarmen konstruktiven Gestaltung solcher Anlagen mit einer grossen Zahl konkreter Massnahmen ausgearbeitet.

Die Einführung in die theoretischen Grundlagen der Akustik führt zum Verständnis der Möglichkeiten zur Lärmreduktion von Wärmepumpenanlagen. Sie erlaubt auch eine Prognose der Wirksamkeit einzelner und kombinierter Massnahmen zur Reduktion der Schallemissionen durch die Berechnung der Schallausbreitung im Freien und des Beurteilungslärmpegels. Auch die wesentlichen Richtlinien zur Messung der Schallemissionen werden zusammengestellt.

Wissenslücken wurden durch eigene Messungen geschlossen (Beispiel im Bild 1).

Rund 90% der Lärmemissionen werden durch die Ventilatoren zur Umwälzung der Umgebungsluft verursacht. Als wichtigs-

te Massnahmen zur Reduktion des Ventilatorlärms werden vorgeschlagen:

- Sorgfältige Wahl des Ventilators (Ventilortyp für möglichst geringe Umfangsgeschwindigkeit, Betriebspunkt auf der Ventilatorcharakteristik möglichst am Schalleistungsminimum, spezielle Schaufelformen für geringen Schalleistungsspiegel – leider noch nicht im Handel: unregelmässiger Schaufelabstand am Umfang).
- Verbesserung der Strömungsführung in Ventilatornähe (Einlaufdüse, keine Strömungshindernisse und genügend grosse Krümmungsradien der Kanäle vorab auf der Ventilatoreintrittsseite, Einbauanweisungen der Hersteller beachten).



- Geringeren Druckverlust der Luftkanäle anstreben (Luftgeschwindigkeit 3...4 m/s, nach Axialventilatoren Leiteinbauten statt übliche Kanaldiffusoren – verursachen allerdings auch zusätzliche Geräusche), Querschnittsfläche der Luftschächte für Ein- und Austritt >140% der freien Kanalquerschnittsfläche, strömungsoptimale Schutzgitter.
- Schalldämpfende Wirkung von 90°-Krümmern, Luftschächten (besonders wirksam mit einer horizontalen Zwischenwand) und starken Querschnittssprüngen nutzen.
- Bei starker Tonhaltigkeit (Geräusche mit hörbarem Einzelton, insbesondere durch Ventilatoren verursacht) Einbau von Resonanzschalldämpfern.
- Isolation der Luftkanäle mit wenigstens 50 mm dicken schallabsorbierenden Materialien.

Der Arbeitsmittelkompressor ist die zweitwichtigste Wärmequelle. Zur Reduktion des Kompressorlärms werden die folgenden Massnahmen ausführlich beschrieben:

- Akustische Kapselung (Schallabsorption durch Auskleidung mit schallabsorbierendem Material auf der Innenseite der gegen aussen möglichst dichten Schallschutzhauben).
- Gute ein- bis zweistufige Körperschallisolation.

Schliesslich sind auch die Kältemittelteilungen zu beachtende Lärmemissionsquellen. Deshalb ist auch bei diesen eine Körperschallisolation notwendig.

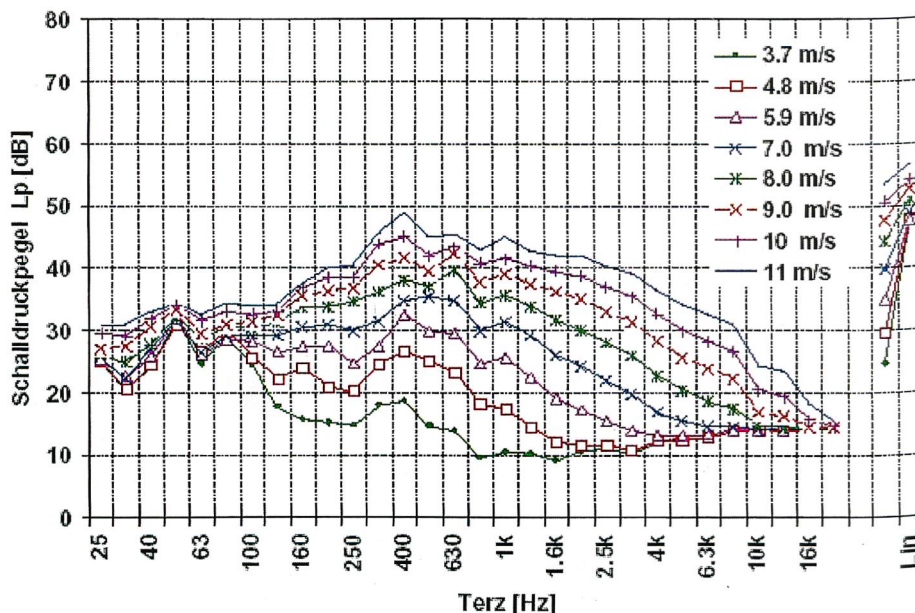
Die vorgeschlagenen Massnahmen werden im Schlussbericht durch zahlreiche Skizzen, Diagramme und Messergebnisse illustriert.

#### Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt

H. R. Graf: Lärmreduktion bei Luft/Wasser-Wärmepumpenanlagen – Grundlagen und Massnahmen, Schlussbericht, Bundesamt für Energie 2002. Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte». Bestellung der schriftlichen Fassung unter der Projektnummer 85355 bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch)

### Verbesserung des Abtauens bei luftbeaufschlagten Verdampfern, Phase 2: Bewertung der Abtauprozesse

Der Energieaufwand zur Abtauung der Verdampfer von Wärmepumpen mit Luft als Wärmequelle ist mit einer Grössenordnung von 10% des Bedarfs an elektrischer Energie beträchtlich. Ziel dieses Vorhabens ist das



**Bild 1. Messung der Strömungsgeräusche von Wetterschutzgittern im Akustiklabor. Schalldruckspektren in einem Abstand von einem Meter in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit im freien Querschnitt [aus Schlussbericht].**

Aufzeigen und Erproben von Lösungen zur Reduktion des Abtauenergieaufwands. In der Phase 1 dieses Vorhabens wurden die wichtigsten Abtauprozesse theoretisch analysiert. In der Phase 2 wurde nun ein energetischer und wirtschaftlicher Vergleich zwischen den Abtauprozessen durchgeführt. Dazu wurden am Wärmepumpentestzentrum Töss (WPZ) durchgeführte Standardmessungen nach EN-255 herangezogen und durch weitere Messungen im Labor und im Feld ergänzt. Aus den WPZ-Prüfprotokollen wurden sechs Wärmepumpen mit Prozessumkehr (PU) und sieben Wärmepumpen mit Heissgasabtauung (HG) ausgewertet. Bei der Auswahl dieser Wärmepumpen wurde auf moderne Konstruktionen (ab Jahrgang 1996) und auf deren Marktbedeutung geachtet. Für die Wärmepumpen mit PU wurden zusätzlich Druckverlust, Leckage und Wärmedurchgang an den für die Umschaltung benötigten Vierwegeventilen gemessen. Weiter wurde die nicht unbedeutende Abtauung durch freie Konvektion der Umgebungsluft (Naturabtauung) während der Stillstandszeiten experimentell untersucht.

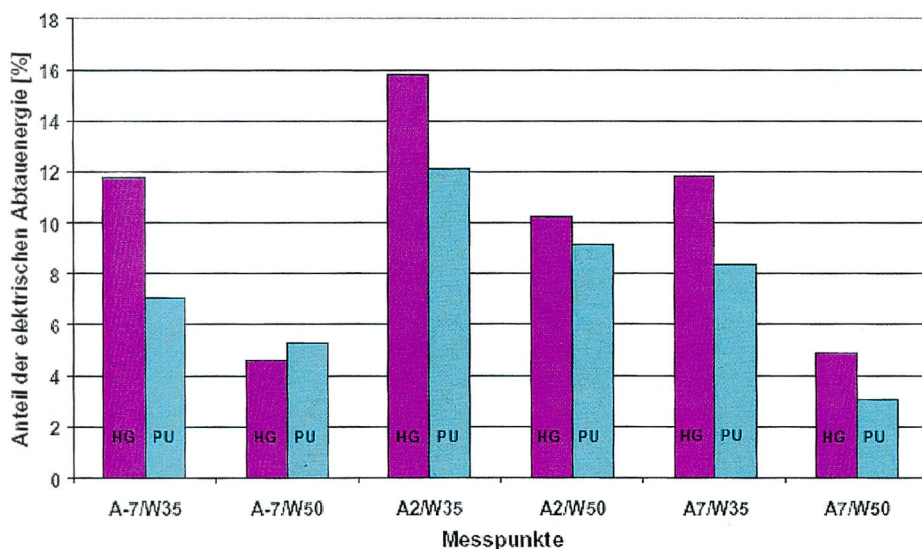
In der Untersuchung werden oft vernachlässigte Effekte, wie das Wiederaufheizen des Wärmeverteilsystems und des Kondensators nach der Abtauung durch Prozessumkehr sowie der zusätzliche Druckverlust, die Leckage und der Wärmedurchgang im Vierwegeventil berücksichtigt.

Das Bild 2 zeigt die aus den Messungen berechneten Abtaueraufwände unter Berücksichtigung dieser Effekte für die am WPZ gemessenen Betriebspunkte der Wärmepumpe. Der Bedarfsanteil an elektrischer Energie erreicht bei der Prozessumkehr 3%

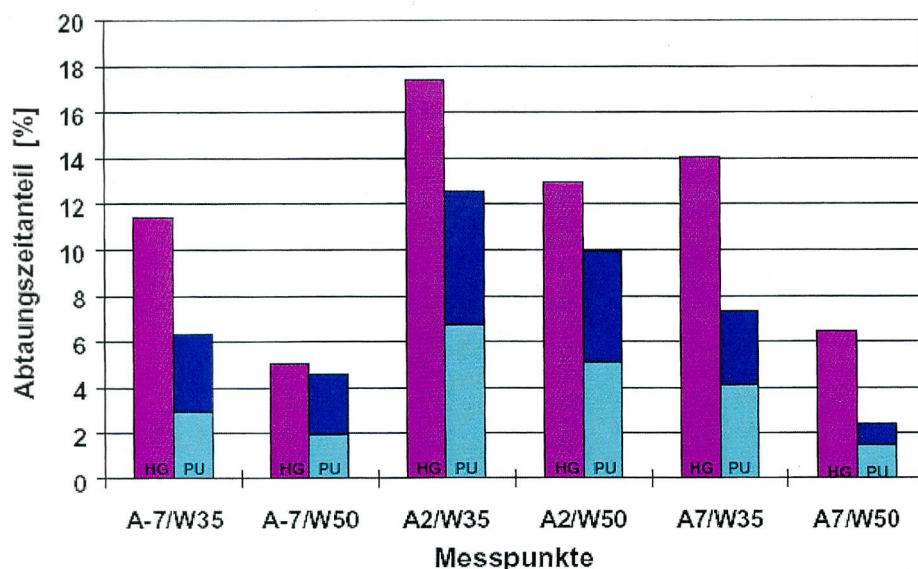
bis 12% und bei der Heissgasabtauung 4,5% bis 15,5% der für den Heizbetrieb benötigten elektrischen Energie. Dies bestätigt – auch bei Berücksichtigung der oben erwähnten Effekte – die energetische Überlegenheit der Prozessumkehr. Sie ist aber doch nicht so bedeutend, wie oft angenommen wird. Der Energiebedarf zum Kompressorantrieb während der eigentlichen Abtauung erreicht bei der Prozessumkehr je nach Temperaturhub eben nur rund 30% bis 55% des gesamten Energiebedarfs zur Abtauung. Der Rest dient der Wiederaufheizung des Heizungskreislaufs nach dem Abtauen (Anteil 25% bis 45%) und zur Deckung der oben erwähnten Verlustquellen des Vierwegeventils (Anteil 10% bis 30%). Die Untersuchungen zeigten weiter, dass die effektiv zugeführte Abtauwärme bei Aussentemperaturen um 2 °C rund das Doppelte und bei Aussentemperaturen um –7 °C rund das Vierfache der zum Schmelzen des Eisansatzes benötigten Wärme beträgt. Es gibt also insbesondere auf der Steuerungsseite noch ein erhebliches Einsparpotenzial!

Das Bild 3 zeigt die aus den Messungen ermittelten Zeitanteile für die Abtauung an der Wärmepumpenbetriebszeit mit effektiver Wärmeabgabe (Heizzeit). Bei der Prozessumkehr erkennt man zwar einen sehr kurzen Zeitanteil für die Abtauung. Zum Wiederaufheizen des während des Abtauens abgekühlten Wärmeverteilsystems wird nochmals eine Zeitperiode in der gleichen Grössenordnung wie die Abtauzeit benötigt. Bei der Interpretation der Bilder 2 und 3 ist zu beachten, dass für einzelne Messpunkte nur Messergebnisse an wenigen Wärmepumpen zur Verfügung standen. Dadurch entstanden grosse statistische Unsicherheiten, die auch





**Bild 2.** Anteil der zum Abtauen benötigten elektrischen Energie am elektrischen Energieaufwand für den Heizbetrieb ohne Berücksichtigung der Abtauung durch freie Konvektion bei höheren Lufttemperaturen. Mittelwerte der ausgemessenen Wärmepumpen. HG = Heissgasabtauung, PU = Abtauung durch Prozessumkehr [aus Schlussbericht].



**Bild 3.** Zeitanteile für die Abtauung an der Heizbetriebszeit ohne Berücksichtigung der Abtauung durch freie Konvektion bei höheren Lufttemperaturen. Mittelwerte der ausgemessenen Wärmepumpen ohne Berücksichtigung der Abtauung durch freie Konvektion bei höheren Lufttemperaturen. HG = Heissgasabtauung, PU = Abtauung durch Prozessumkehr (unten eigentlicher Abtauvorgang, oben Wiederaufheizen des Heizungssystems) [aus Schlussbericht].

die unerwarteten Tendenzen beim Messpunkt A-7/W50 (mit nur drei Maschinen) erklären.

Im Projekt wurden auch die folgenden unkonventionellen Lösungen näher untersucht:

- Abtauung über einen flüssigen Wärmeträger mit der Wärme aus dem Heizungsverteilsystem (wie beispielsweise bei der Swiss Retrofit Heat Pump) und
- Abtauung durch die Raumluft am Aufstellungsort von Wärmepumpen mit kleiner Wärmeleistung (Luftabtauung).

Da bei der Swiss Retrofit Heat Pump nur Feldmessungen vorliegen, ist die Vergleichbarkeit mit den oben gezeigten Ergebnissen nicht gegeben. Die Luftabtauung ist interessant, wenn erhebliche Beeinträchtigungen des Raumklimas am Wärmepumpenstandort keine Rolle spielen. Das geschickte Prinzip einer Wärmezufuhr von der Luftseite her könnte durch eine Zwangsförderung der Umgebungsluft zur Abtauung bei Temperaturen über 0 °C vermehrt genutzt werden. Der Bericht streift auch die noch nicht realisierten Vorschläge eines Abtauens

mit dem Wärmeinhalt des Kältemittels oder die Verhinderung der Eisbildung durch Absorption der Luftfeuchte in Lithiumchlorid.

Bei Umgebungslufttemperaturen über 0 °C erfolgt die Abtauung teilweise auch durch freie Konvektion der Umgebungsluft während der Wärmepumpenstillstandszeiten. Der Anteil dieser «Naturabtauung» reduziert den Unterschied der energetischen Effizienz zwischen Prozessumkehr und Heissgasabtauung, weil die indirekten Verluste der Prozessumkehr auch bei der Naturabtauung auftreten. Die Naturabtauung wurde deshalb für eine handelsübliche Wärmepumpe für einige Betriebspunkte unter Laborbedingungen gemessen. Selbstverständlich nimmt der Anteil des durch Naturabtauung geschmolzenen Eises an der Gesamtabtauung mit länger werdender Stillstandszeit zu. Bei Vorlauftemperaturen von 35 °C wurde bei einer Aussentemperatur von 7 °C nach 2 Stunden Stillstandszeit ein Abtauanteil durch die Naturabtauung von 42% gemessen. Bei der für den Jahresbetrieb einer Wärmepumpe interessanteren Aussentemperatur von 2 °C erreicht dieser Anteil nach 2 Stunden Stillstandszeit nur noch 14%. Vor dem Beginn des Abschmelzens muss die Eisschicht auf Schmelztemperatur erwärmt werden. Dies dauerte bei einer Aussentemperatur von 7 °C wenige Minuten, bei einer Aussentemperatur von 2 °C aber ganze 1,5 Stunden (tiefere Eistemperaturen, geringeres treibendes Temperaturgefälle)! Für allgemeine Aussagen zum Einfluss der Naturabtauung sind weitere Untersuchungen nötig.

Im Bericht wird auch die Wirtschaftlichkeit der Abtauprozesse untersucht. Erstaunlicherweise ergibt die Heissgasabtauung über 15 Jahre Betriebszeit etwa gleiche Gesamtkosten wie die Prozessumkehr. Sehr gut schneidet die – allerdings mit dem Nachteil einer erheblichen Beeinflussung des Raumklimas verbundene – Luftabtauung ab. Schliesslich werden im dem Bericht auch die betrieblichen Vor- und Nachteile der verschiedenen Abtaumethoden gegenübergestellt.

#### Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt

S. Bertsch, M. Ehrbar, P. Hubacher: Verbesserung des Abtauens bei luftbeaufschlagten Verdampfern, Phase 2: Bewertung der Abtauprozesse, Schlussbericht, Bundesamt für Energie 2002. Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte». Bestellung der schriftlichen Fassung unter der Projektnummer 84217 bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch)



## Auslegen von Erdwärmesonden – Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge

Das im Auftrag des BFE entwickelte PC-Programmmodul EWS zeichnet sich als Folge einer geschickten Kombination von analytischer Rechnung im Fernbereich und numerischer Rechnung im Nahbereich der Sonde durch sehr kurze Rechenzeiten aus. Es kann deshalb in Simulationsprogrammen wie WPCalc integriert werden. EWS berücksichtigt nur den zweidimensionalen Wärmefluss um die Erdwärmesonde. Zur Überprüfung der Ergebnisse dieses Programms wurden die damit gewonnenen Ergebnisse für das Fallbeispiel einer 265 m tiefen Doppel-U-Erdwärmesonde mit jenen des aufwendigen dreidimensionalen numerischen Simulationsprogramms FRACTure verglichen. Dabei ergab sich in dem für die Auslegung von Wärmepumpenanlagen interessierenden Langzeitbereich eine sehr gute Übereinstimmung der mit den beiden Programmen berechneten Austrittstemperaturen des Wärmeträgers aus der Erdwärmesonde. Die Validierung wird in einem laufenden PSEL<sup>1</sup>-Projekt nun noch durch Messungen an der ausgeführten Erdwärmesonde mit einer Tiefe von 265 m fortgesetzt.

Zum Auffinden der optimalen Erdwärmesondenlänge wurden für die Wärmepumpenanlage eines Wohnhauses mit gegebenem Wärmebedarf und Wärmeverteilsystem (bei 0 °C: Heizleistungsbedarf 19 kW, Vorlauftemperatur 35 °C) die Varianten gemäss der

Tabelle 1 durchgerechnet. Dabei wurden nebst dem Wärmetransport auch der Druckverlust in den Sonden und die Kosten berücksichtigt. Bei richtiger Wahl des Volumensstroms in den Sonden (Druckverlust!) erwiesen sich Anlagen mit einer tiefen Erdwärmesonde anstelle einer entsprechenden Zahl kürzerer Erdwärmesonden als energetisch effizienter und als kostengünstiger. Mit einer tiefen Erdwärmesonde konnte die Jahresarbeitszahl gegenüber den Anlagevarianten 2 bis 4 mit entsprechend kürzeren Erdwärmesonden mit einem Sondenabstand von 5 m um 3,3% (Variante 2) bis 7,4% (Variante 4) gesteigert werden. Bei einem Sondenabstand von 7,5 m betrug die Verbesserung der Jahresarbeitszahl mit einer tiefen Erdwärmesonde noch 2,4% bis 5,1%.

In der Studie wurden auch der Einfluss der Erdoberflächentemperatur, der Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs und der Grundwassereinfluss auf den Wärmeentzug durch Erdwärmesonden untersucht. Sie zeigte einen erheblichen Einfluss der Erdoberflächentemperatur. Es ist somit bei der Planung von Erdwärmesondenanlagen wichtig, diese sorgfältig zu ermitteln. In höheren Lagen sind entsprechend längere Erdwärmesonden nötig. Die Zunahme der Wärmeentzugsleistung mit zunehmender Wärmeleitfähigkeit des Erdbodens wurde im Fallbeispiel mit rund 15% pro 1 W/mK errechnet. Beim Vorhandensein einer Grundwasserströmung wird das Temperaturfeld in der Umgebung einer Erdwärmesonde wesentlich beeinflusst: Für die Abhängigkeit der Entzugsleistung von

einer Grundwasserströmung ist nebst der Fließgeschwindigkeit vor allem das Verhältnis der Dicke (Mächtigkeit) der Grundwasserführenden Schicht (Aquifer) zur Erdwärmesondenlänge wesentlich. Einen deutlich geringeren Einfluss hat die Tiefe des Aquifers. Da dem Planer über diese Einflussgrößen in den seltensten Fällen hinreichend genaue Angaben zur Verfügung stehen, wird es hier beim Wärmepumpenbetrieb im Falle des Vorkommens von Grundwasserströmen bei einer geschenkten zusätzlichen Effizienz bleiben.

### Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt

S. Signorelli, Th. Kohl: Validieren des Programms EWS und Optimieren der Erdwärmesondenlänge, Schlussbericht, Bundesamt für Energie 2002. Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte». Bestellung der schriftlichen Fassung unter der Projektnummer 81047 bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, 071 440 02 55, enet@temas.ch

## Wärmepumpe mit ölfreien Radialkompressoren – Machbarkeitsstudie

Für die hohen Temperaturhübe des Sanierungsmarktes würden zweistufige Wärmepumpen zu höherer energetischer Effizienz führen, als sie mit den jüngst entwickelten Retrofit-Wärmepumpen mit Zwischenansaugung möglich ist. Diese Idee scheiterte aber bisher an der Migration des Schmieröls zwischen den beiden Kompressoren. Mit dem neuen Vorschlag einer zweistufigen Kompression mit ölfreien Radialkompressoren wäre dieses Problem grundsätzlich zu lösen. Eine Machbarkeitsstudie zeigte, dass eine solche Lösung vielversprechend ist. Als Arbeitsmittel erwiesen sich das synthetische Kältemittel R134a wie auch Propan als geeignet. Die rechnerischen Abschätzungen wurden vorerst für R134a durchgeführt. Sie ergaben für eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit 10 kW Heizleistung bei A2/W50 für beide Radialverdichter rund 20 mm Aussendurchmesser. Diese müssen je nach Arbeitsbereich mit Drehzahlen von 120 000 bis 220 000 Umdrehungen pro Minute (!) angetrieben werden.

Der hochwirksame, drehzahlvariable Permanentmagnetmotor (elektrischer Wirkungsgrad mit Frequenzumformer um 90%)

Variante	Anzahl Sonden	Sondenlänge [m]	Aussendurchmesser der Sonde [m]
1	1	300	40
2	2	150	32
3	3	100	32
4	6	50	32

Tabelle 1. Untersuchte Varianten für die Beheizung eines Wohnhauses.

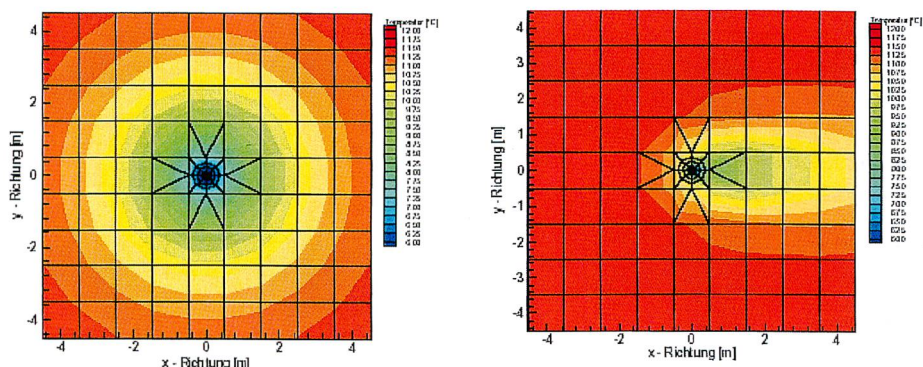


Bild 4. Einfluss der Grundwasserströmung auf die Temperaturverteilung in der Umgebung einer Erdwärmesonde. Links ohne, rechts mit Grundwasserströmung [aus Schlussbericht].

<sup>1</sup> PSEL: Projekt- und Studienfonds der Elektrizitätswirtschaft



und die beiden Laufräder sind auf einer Welle angeordnet. Diese drehen in Gaslagern, welche das Arbeitsmittel als Schmiermedium verwenden. Falls die sehr engen Toleranzen im Mikrometer-Bereich zu einem günstigen Preis realisiert werden könnten, ergäben diese Verdichter isentrope Wirkungsgrade von 65% bis 81% (75% am Auslegungspunkt A2/W50). Das Erreichen der Retrofit-Anforderung einer Vorlauftemperatur von 60 °C bei einer Umgebungslufttemperatur von -12 °C scheint problemlos möglich.

Mit diesem Kompressor liessen sich Kleinwärmepumpen mit einem bisher unerreichten Gütegrad von rund 50% bauen. Ein wesentlicher Vorteil einer Wärmepumpe mit Radialkompressoren ist auch die den konventionellen Wärmepumpen entgegengesetzte Leistungscharakteristik:

Die Wärmeleistung nimmt nämlich mit zunehmendem Temperaturhub bedarfsgerecht zu. Für die Realisierung des zweistufigen Radialkompressors ist aber noch ein erheblicher Entwicklungsaufwand nötig. In einem nächsten Schritt müsste ein Funktionsmuster mit vorerst einem Laufrad gebaut und ausgemessen werden. Es ist zu hoffen, dass sich ein namhafter Hersteller für diesen Vorschlag begeistern lässt.

#### **Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt**

*J. Schiffmann: Compresseur radial pour pompe à chaleur bi-étagée, rapport final, Office fédéral de l'énergie 2002 (französisch; Zusammenfassung deutsch). Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte». Bestellung der schriftlichen Fassung unter der Projektnummer 85701 bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch)*

#### **Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen**

Nach einer Evaluation der häufigsten Schaltungen von Kleinwärmepumpenanlagen mit Heizleistungen bis 25 kW wurden in Zusammenarbeit mit wesentlichen Wärmepumpenanbietern sieben Schaltungen im Hinblick auf gute Praxistauglichkeit, hohe Energieeffizienz und hohe Zuverlässigkeit ausgewählt: Diese Standardschaltungen wurden für Luft und Erdreich als Wärmequellen, unterschiedliche Vorlauftemperaturen der hydraulischen Wärmeverteilung (35 °C bis 45 °C für Neubauten, 55 °C bis 65 °C für Sanierungen), mit und ohne zusätzliche Warmwasserbereitung durch Computersimulationen eingehend

untersucht. Sie wurden nach den Kriterien Komfort, Jahresnutzungsgrad, Betriebskosten und Robustheit gegenüber Störungen optimiert. Die Computersimulationen des Gesamtsystems Wärmequelle-Wärmepumpe-Wärmespeicher-Wärmeverteilsystem-Gebäude zeigten Möglichkeiten und Grenzen des Betriebs von Wärmepumpenanlagen ohne Wärmespeicher auf. Weiter wurden die bezüglich Strombedarf und Behaglichkeit optimale Dimensionierung der Anlagen inklusive Wärmespeicher, der maximale Anteil von Thermostatventilen für den Betrieb ohne Überströmventile sowie die optimale Warmwasserbereitung mit der Wärmepumpe untersucht. Die Simulationen führten zu einfachen Anhaltswerten für das optimale Serien- und Parallelspeichervolumen und verdeutlichten, dass die Norm SIA 384/2 bei einem Niedrigenergie-EFH einen um rund 20% zu hohen Wärmeleistungsbedarf ergibt und die danach eingestellte Heizkurve entsprechend zu hoch ist.

In der separaten tabellarischen Planungshilfe führt eine praxisnahe, einfach anwendbare Anleitung durch die vollständige Auslegung effizienter, kostengünstiger und zuverlässiger Wärmepumpenheizungen. Dabei wird vom Wärmebedarf des Gebäudes und dem verwendeten Wärmeverteilsystem (Fussbodenheizung bei Neubauten, Radiatoren bei Sanierungen) ausgegangen. Dann wird der Planer anhand einfacher Kriterien zur Auswahl der zweckmässigsten Schaltung aus den total sieben Standardschaltungen nach dem Prinzip «so einfach wie möglich, aber so aufwendig wie für ein einwandfreies Funktionieren unbedingt nötig» angeleitet. Anschliessend erfolgt schrittweise eine vollständige Dimensionierung der Wärmepumpenanlage (Wärmequelle, Wärmepumpe, Wärmespeicher, Umwälzpumpen, Rohrleitungen) bis zu Anweisungen für die Anordnung der Temperaturfühler, zur Reglereinstellung, zur Inbetriebnahme und zur Betriebsoptimierung. In der Planungshilfe findet man laufend Hinweise auf Hintergrundinformationen im Anhang.

Die neue Planungshilfe bedeutet einen wesentlichen Schritt zur Reduktion der verwirrenden Zahl existierender Schaltungen. Sie führt mit einem minimalen Planungsaufwand zu effizienten, kostengünstigen und betriebssicheren Wärmepumpenheizungen. Sie trägt auch zu einer besseren Vergleichbarkeit von Angeboten verschiedener Lieferanten bei. Es ist zu hoffen, dass die leicht anwendbare Planungshilfe rasch Eingang in die Praxis finden wird und dass dort nur noch die empfohlenen BFE-Standardschaltungen anzutreffen sind.

#### **Ausführlicher Schlussbericht zu diesem BFE-Forschungsprojekt**

*H. R. Gabathuler, H. Mayer, Th. Afjei: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen, Teil 1: Planungshilfe, Schlussbericht auf deutsch, Bundesamt für Energie 2002, ENET-Nr. 78949-1.*

*P. Renaud, H. R. Gabathuler, H. Mayer, Th. Afjei: Schémas standards pour petites installations de pompes à chaleur, 1<sup>re</sup> partie: fiches techniques, rapport final en français, l'Office fédéral de l'énergie 2002, ENET-N° 78949-2.*

*Th. Afjei, U. Schonhardt, C. Wernhöner, G. Zweifel, M. Achermann, R. von Euw, U. Stöckli, P. Renaud: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen, Teil 2: Grundlagen und Computersimulationen, Schlussbericht, Bundesamt für Energie 2002, ENET-Nr. 78949-3.*

*Download aus [www.waermepumpe.ch/fe](http://www.waermepumpe.ch/fe) Rubrik «Berichte». Bestellung der schriftlichen Fassung bei ENET, Egnacherstrasse 69, 9320 Arbon, 071 440 02 55, [enet@temas.ch](mailto:enet@temas.ch)*

Anschrift des Verfassers

Prof. Dr. Martin Zogg, Kirchstutz 3, CH-3414 Oberburg.

