



Wärmeverteilung mit Slurries planen

Paraffin-Wasser-Gemische transportieren Wärme und Kälte



In Heizungen und in Kühlsystemen zirkuliert für den Wärmetransport meist Wasser. Für spezielle Anwendungen könnten Dispersionen aus Paraffin und Wasser diese Aufgabe effizienter erfüllen. Die sogenannten Slurries erreichen in einem engen Temperaturbereich hohe Wärmekapazitäten. Wissenschaftler der RWTH Aachen bilden das komplexe Verhalten der Fluide in hydraulischen Netzen nach. Mit neuen Simulationsmodellen untersuchen sie die Einsatzmöglichkeiten – von der Fußbodenheizung im Einfamilienhaus bis hin zum Fernwärmenetz.

Wenn Paraffin über den Schmelzpunkt hinaus erwärmt wird, nimmt es für die Verflüssigung Wärme auf und gibt sie beim Erstarren wieder ab. Diese latente Wärmespeicherung nutzen Dispersionen aus fein verteiltem Paraffin in Wasser. In einem engen Temperaturbereich um den Schmelzpunkt übertreffen die Slurries dadurch die Wärmekapazität von Wasser um mehr als das Doppelte. Theoretisch eignen sich Paraffine, je nach chemischer Zusammensetzung, für Tiefkühltemperaturen von minus 20 bis hin zu etwa 110 °C. Bisher werden die Fluide kaum für den Wärmetransport genutzt. So sind bisher auch nur wenige langzeitstabile Produkte verfügbar und weitgehend fehlen auch Erfahrungen und Berechnungsmethoden für den praktischen Einsatz. In experimentellen und theoretischen Forschungsarbeiten haben Forscher der RWTH Aachen und des Fraunhofer Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (UMSICHT) die Grundlagen für den praktischen Einsatz deutlich verbessert. Mit neuen Versuchsapparaturen und Methoden lassen sich die Dispersionen jetzt besser charakterisieren. Auch bei der Herstellung temperaturstabiler Fluide erzielten die Wissenschaftler Fortschritte. Die hier vorgestellten Simulationen der Aachener Forscher beantworteten die Frage, bei welchen konkreten Energiesystemen sich ein Einsatz lohnen könnte. Als aussichtsreiche Kandidaten erwiesen sich Kühlanwendungen und insbesondere Fernwärmesysteme.

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Wärmenetze

Als aussichtsreich erwiesen sich die Einsatzmöglichkeiten der Paraffin-Wasser-Dispersion in Fernwärmenetzen. Dies zeigte sich exemplarisch am Fernwärmenetz des Campus Melaten, das die Forscher in Simulationen nachbildeten. Der Campus der RWTH Aachen umfasst etwa 193.000 m² Gebäudefläche. Ein Heizwerk im Norden des Campus versorgt die Gebäude mit Wärme. Es beliefert darüber hinaus weitere Verbraucher, wie zum Beispiel Laborbereiche und die Wäscherei des Universitätsklinikums. Mehrere Gaskessel leisten je nach Last bis zu 90 MW.

Das sechs Kilometer lange Fernwärmenetz bindet die Abnehmer über zwei verschiedene hydraulische Kreise an das Heizkraftwerk an. Pumpen erzeugen einen maximalen Volumenstrom von 1.000 m³/h Wasser.

Die Simulationen erfassen nur das Teilnetz, das die Raumheizungen und die Labore versorgt. Die Temperaturen in diesem Kreis betragen zwischen 90 und 130 °C. Der zweite, nicht simulierte Kreis liefert mit einer konstanten Vorlauftemperatur Wärme an das Uniklinikum Aachen. In der Simulation ist der Wärmeverbrauch von jedem Gebäude, abhängig von Umgebungstemperatur, Gebäudetyp und Gebäudegröße, als Tabelle erfasst. Den hydraulischen Kreis des Fernwärmenetzes modellierten die Wissenschaftler mit Übergabestationen, sodass die Wärme- und Druckverluste im Netzwerk berechnet werden können. Das komplette System wird durch eine Druckdifferenz an den Enden des Netzwerkes geregelt. Der absolute Druckverlust des Systems wird mithilfe von Pumpen bei konstant 2 bar gehalten.

Mit diesen Vorgaben simulierten die Forscher das Netzwerk sowohl für die Paraffin-Wasser-Dispersion als auch für Wasser. Gegenüber dem realen Fernwärmenetz reduzierten sie aber den Temperaturbereich, da sonst die maximal mögliche Phasenwechseltemperatur des Paraffins überschritten würde. Als Schmelzpunkt für die Paraffin-Wasser-Dispersion wählten sie eine Temperatur von 70 °C.

Kaum Effizienzgewinn mit Übergabestationen

Die Simulationen errechnen für die Paraffin-Wasser-Dispersion im Vergleich zu Wasser eine niedrigere Vorlauftemperatur und eine höhere Rücklauftemperatur (Abb. 2). In der Bilanz reduzieren sich die Wärmeverluste im Netz um 5 %.

Die Energieeffizienz des gesamten Systems steigt jedoch nur um 1,5 %, da die viskosere Dispersion höhere Pumpenleistungen erfordert. Deshalb und aufgrund der höheren Temperaturen im Wärmenetz liegt die exergetische Effizienz des Systems unter der des wasserbasierten Systems. Die exergetische Effizienz wird wesentlich durch den großen Temperaturunterschied zwischen Verbrennungstemperatur im Kessel und der benötigten Vorlauftemperatur bestimmt. Daher könnte sich die exergetische Effizienz der Paraffin-Wasser-Dispersion erheblich verbessern, wenn erneuerbare Energien für die Wärmeerzeugung eingesetzt würden.

Einen interessanten Effekt zeigt die Lastverteilung: Die gesamte Energieerzeugung verschiebt sich, insbesondere aber reduzieren sich die Leistungsspitzen (Abb. 4). Die Forscher sehen hier eine Möglichkeit, bei ambitionierten Projekten wie "Smart Cities", Lasten zu glätten.

Höhere Effizienz bei direkter Anbindung

Die energetische Effizienz verbessert sich, wenn Vor- und Rücklauftemperatur abgesenkt werden, da sich die Wärme-

Wärmeträger	Energieverbrauch Pumpe [MWh/a]	Wärmeverluste [%]	Energetischer Wirkungsgrad [%]	Exergetischer Wirkungsgrad [%]
Wasser	118	592	64,3	6,5
PCS – 70 °C	289	560	65,2	6,1

Abb. 1 Ohne Anpassungen im Wärmenetz verbessern PCS die Effizienz nicht.

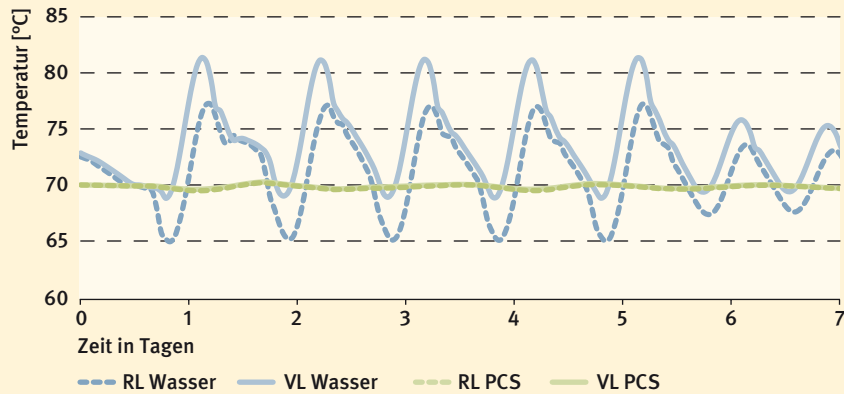


Abb. 2 Vorlauf- und Rücklauftemperaturen des Fernwärmenetzes für Wasser und für die Paraffin-Wasser Dispersion

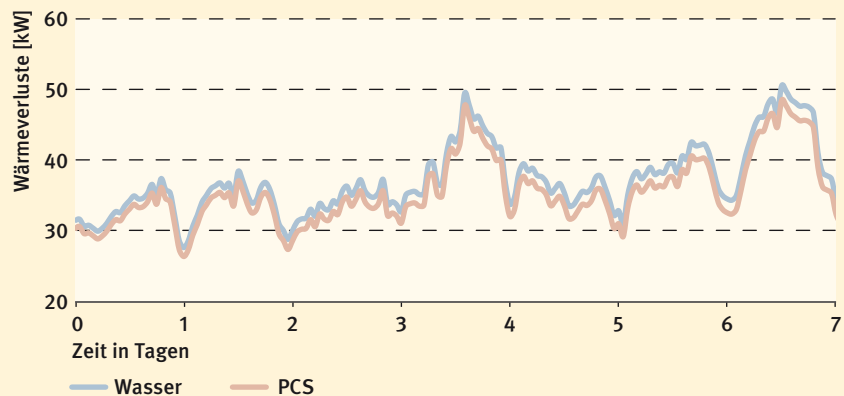


Abb. 3 Wärmeverluste des Fernwärmenetzes für Wasser und die Paraffin-Wasser Dispersion

verluste reduzieren. Grenzen setzt hier jedoch der notwendige Temperaturunterschied im Wärmeübertrager.

Deshalb überprüften die Wissenschaftler in einer weiteren Simulation die Abnahme der Wärme aus dem Wärmenetz ohne Wärmeübertrager direkt in die Fußbodenheizungen. Darauf angepasst reduzierten sie die Vorlauftemperatur und den Schmelzpunkt der Paraffin-Wasser-Dispersion auf 40 °C. Mit dieser Konfiguration stieg die Effizienz um bis zu 25 %. Die Resultate lassen sich jedoch nicht direkt auf die Praxis übertragen, da das Fernwärmenetz auf einem anderen Druckniveau betrieben wird als die Heizungssysteme in den Gebäuden. Somit muss bei jedem Verbraucher ein eigenes Pumpsystem installiert werden, das vorerst den Druck aus dem Fernwärmenetz drosselt und später im Rücklauf wieder erhöht.

Diesem zusätzlichen Aufwand stehen die eingesparten Wärmeübertrager gegenüber. Auch die großen Hauptpumpen zur Erhaltung des Druckes können entfallen. Die Auswirkungen der verschiedenen Pump- und Drucksysteme können aber nur durch weitere Untersuchungen abschließend geklärt werden.

Ein Wohnhaus wird simuliert

Ein fiktives Einfamilienhaus in der Klimaregion Aachen sollte zeigen, welche Auswirkungen Paraffindispersionen in einer Fußbodenheizung, als Sole einer



Neue Bibliotheken für Modelica

Zur Simulation der unterschiedlichen Energiesysteme nutzen die Wissenschaftler die Programmiersprache Modelica. Die Programmierumgebung ist frei verfügbar und erlaubt die Nachbildung komplexer physikalischer Systeme, unter anderem auch den Wärmetransport in hydraulischen Systemen. Paraffin-Wasser-Dispersionen haben jedoch spezielle Eigenschaften, die bisher in den Programmbibliotheken nicht erfasst waren. Die Fluide gehören zu den nicht-newtonschen Flüssigkeiten, deren Fließverhalten vom einwirkenden Druck abhängt. Auch den Phasenwechsel des Paraffins konnte die Simulation bisher nicht präzise beschreiben. Die Dispersionen neigen zur Unterkühlung, zeigen also ein unterschiedliches Verhalten beim Aufheizen und Abkühlen.

Mit einer eigens dafür konstruierten Versuchsanlage im Technikumsmaßstab ermittelten die Forscher die Eigenschaften der Dispersionen. Mit ihren Messdaten erweiterten sie die Medienbibliothek um Funktionen wie Druckverlust, Wärmeübertragung, Enthalpie, Dichte und Entropie für nicht-newtonsche Flüssigkeiten.

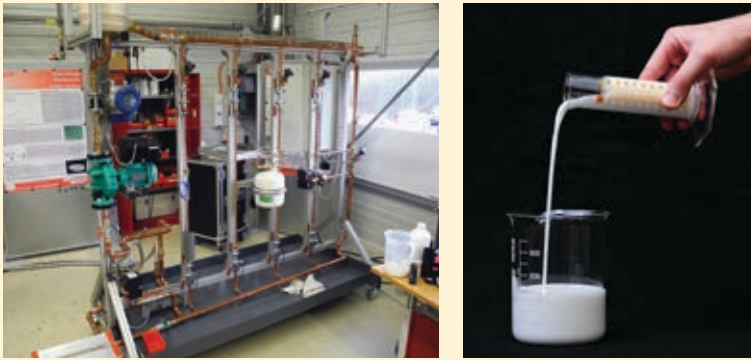


Abb. 4 Prüfstand für den Test der Dispersionen mit unterschiedlichen Komponenten der Heizungstechnik

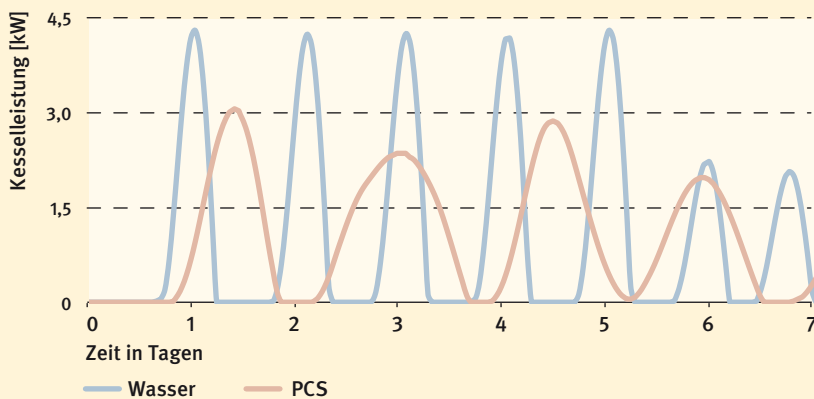


Abb. 5 Vergleich der Kesselleistung des Wärmenetzes für Wasser und die Paraffin-Wasser-Dispersion

Wärmeträger	Wärmeverluste [%]	Energetischer Wirkungsgrad [%]	Exergetischer Wirkungsgrad [%]
PCS – 70 °C	560	65,2	6,1
PCS – 40 °C	237	80,6	6,8

Abb. 6 Wärmeverluste und Wirkungsgrade bei einer direkten Heizanbindung und einer Paraffin-Wasser-Dispersion

Wärmepumpenanlage oder als Solarflüssigkeit in einer Solaranlage haben. Das Haus ist nach der Energieeinsparverordnung von 2009 gedämmt und hat mit einer Wohnfläche von 132 m² eine Normheizlast von 5 kW. Simuliert wurden jeweils charakteristische Perioden verschiedener Jahreszeiten: 10 Tage im Februar mit einer geringen Sonneneinstrahlung, 10 Tage im April mit hoher Sonneneinstrahlung und mittleren Außentemperaturen sowie eine Woche im Juli mit hohen Temperaturen und hoher Sonneneinstrahlung. Bei dem Vergleich der Dispersionen als Alternative zu Wasser, betrachteten die Wissenschaftler neben der energetischen auch die exergetische Effizienz. Diese bewertet zum Beispiel den Stromverbrauch der Umwälzpumpen für die unterschiedlich viskosen Medien.

Fußbodenheizung

Die Fußbodenheizung untersuchten die Forscher für Vorlauftemperaturen von 46 bzw. 36 °C sowie mit unterschiedlichen Regelstrategien. Der Einsatz einer Paraffin-Wasser-Dispersion führt nur bei der niedrigen Vorlauftemperatur und geringen Massenströmen zu energetischen Vorteilen. Exergetisch schwinden die Vorteile gegenüber Wasser nahezu gänzlich. Als positiver Nebeneffekt verminderte die höhere Speicherkapazität der Slurries die Takung der Heizung.

Wärmepumpen profitieren nicht

In dem Aachener Modellbeispiel änderte sich die Effizienz einer monovalenten Wärmepumpe nur geringfügig, wenn die Sole der Erdsonden durch die Paraffin-Wasser-Dispersion ersetzt wird. Die Durchströmung der Sonden kann wegen der höheren Wärmekapazität des Fluids auf ein Drittel gesenkt werden. Die Arbeitszahl verbesserte sich jedoch auch unter optimierten Bedingungen mit angepassten Masseströmen um weniger als 1 %.

Solaranlage steigert Deckungsgrad im Winter

Das Referenzhaus wurde nun mit Flachkollektoren in Verbindung mit einem Wärmespeicher ausgestattet. Wenn die Heizleistung nicht ausreicht, kann ein zugeschalteter elektrischer Warmwasserbereiter den Bedarf decken. Theoretisch sollte die höhere Wärmekapazität des Fluids den Kollektorwirkungsgrad deutlich steigern, da die Temperatur im Kollektor sinkt. Tatsächlich steigt der solare Deckungsgrad im Winter um bis zu 19 %. In der Übergangszeit verbessert er sich jedoch nicht, da der Phasenwechsel im Arbeitsfluid nur unvollständig stattfindet. Dies bestätigen auch experimentelle Untersuchungen. Die Forscher kommen zu dem Schluss, dass die Dispersionen nur dann sinnvoll eingesetzt werden können, wenn die Kollektortemperaturen nicht stark schwanken.

Kühldecken werden leistungsfähiger

Den Einsatz der Dispersionen in Kühlsystemen modellierten die Forscher am Beispiel einer 10 m² großen Kühldecke. Diese führt die aufgenommene Wärme nachts über eine Solarkollektorfläche ab. Die Simulationen belegen, wie sensibel die Effizienz der Slurries von einer optimalen Systemauslegung abhängt: Wenn der Schmelzbereich der Paraffin-Wasser-Dispersion bei 22 °C liegt, steigt die Kühlkapazität des Systems um 20 %. Bei niedrigeren Schmelzpunkten sinkt die energetische Effizienz jedoch bis unter die von Wasser, da die Dispersion in der Nacht nicht mehr komplett erstarren kann.



Aus der Forschung in die Praxis

Paraffin-Slurries beginnen, den Weg aus der Forschung in den praktischen Einsatz zu finden. Voraussetzung ist, dass stabile Dispersionen für unterschiedliche Temperaturbereiche zu konkurrenzfähigen Herstellungskosten verfügbar sind. Die Kühlung eines realen Gebäudes erprobten die Forscher am Counter Entropie Haus. Das 46 m² große Solarhaus war als Wettbewerbsbeitrag Aachener Studenten zum Solar Decathlon 2012 im sommerlichen Madrid errichtet worden. Die gesamte Wohnfläche des Gebäudes ist mit einer Decke aus Kühlsegeln ausgestattet. Tagsüber nimmt eine Paraffin-Wasser-Dispersion die Wärme aus den Räumen auf und speichert sie in drei Tanks. In der Nacht führen die Solarkollektoren die gespeicherte Wärme ab. Das Kühlkonzept ging auf und die Paraffin-Wasser-Dispersion erwies sich als stabil.

Mittlerweile bieten die Forscher des Fraunhofer Umsicht maßgeschneiderte Dispersionen für den Kälte- und Wärmetransport unter dem Markennamen CryoSol®plus an. Eine Variante der Fluide wurde für Temperaturen zwischen 5 und 20 °C als Alternative zu Kaltwasser in Kühlsystemen entwickelt. In anderer Zusammensetzung decken die Dispersionen den Temperaturbereich von 25 bis 45 °C ab und sollen Niedertemperaturwärme transportieren oder speichern.

Auch Wissenschaftler des Fraunhofer ISE arbeiten an neuen Paraffin-Dispersionen mit Phasenwechseltemperaturen zwischen 6 und 30 °C. Das Bundeswirtschaftsministerium fördert das Projektes KOLAN in der Forschungsinitiative Energiespeicher. Die Forschungsarbeiten laufen bis September 2016. Die Wissenschaftler wollen kostengünstige Phasenwechsel-Emulsionen mit hoher Speicherkapazität und guter Stabilität entwickeln. Die Emulsionen werden in einer Pilotanlage bei Imtech Deutschland GmbH unter realen Bedingungen getestet und bewertet.

Impressum

Projektorganisation
Bundesministerium
für Wirtschaft und Energie (BMWi)
11019 Berlin

Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich GmbH
Dr. Hendrik Wust
52425 Jülich

Förderkennzeichen
0327471A,B

ISSN
0937 - 8367

Herausgeber
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut
für Informationsinfrastruktur GmbH
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

Autor
Dr. Franz Meyer

Urheberrecht
Titelbild und
alle weiteren Abbildungen:
RWTH Aachen.
E.ON Energieforschungszentrum

Eine Verwendung von Text und
Abbildungen aus dieser Publikation ist
nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion
gestattet. Sprechen Sie uns an.

Projektbeteiligte

- » **Experimentelle Erprobung und Simulationen:** RWTH Aachen. E.ON Energieforschungszentrum, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Müller, Pooyan Jahangiri
- » **Entwicklung von Paraffin-Wasser Dispersionen:** Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen, Dr.-Ing. Clemens Pollerberg

Links und Literatur

- » Müller, D.; Jahangiri, P.; Knels, A. u. a.: Emulsionen aus Paraffinen und Wasser für Anwendungen in Versorgungssystemen der Gebäudetechnik in Kombination mit Reibungsminderern bei der Energieverteilung. Abschlussbericht Eneff:Wärme. FKZ 0327471A/B. RWTH Aachen University. E.ON Energieforschungszentrum Lehrstuhl für Gebäude- und Raumklimatetechnik (Hrsg.); Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Oberhausen (Hrsg.). Juli 2014
- » E.ON Energieforschungszentrum, RWTH Aachen, www.eonerc.rwth-aachen.de
- » Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, www.umsicht.fraunhofer.de/

Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Phasenübergang speichert Wärme. BINE-Projektinfo 16/2012
- » Latentwärmespeicher in Gebäuden. BINE-Themeninfo I/2009
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter www.bine.info/Projektinfo_18_2015

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter www.bine.info/abo

Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?
Wir helfen Ihnen weiter:

0228 92379-44
kontakt@bine.info

BINE Informationsdienst
Energieforschung für die Praxis
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages