

# HP4Drying erfolgreich abgeschlossen

*Das transnationale Projekt «Energetische und ökonomische Optimierung von Trocknungsprozessen durch Integration von Wärmepumpen» oder kurz HP4Drying ist am 30. Juni 2016 nach über zwei Jahren Forschungsarbeit erfolgreich abgeschlossen worden. Neben dem PFI waren zwei Forschergruppen der Universität Gent und fünf weitere deutsche Forschungsstellen beteiligt, die ein breites Spektrum an Industriezweigen abdeckten. Das Projekt befasste sich mit der Integration von Wärmepumpen in Trocknungssysteme für die Sektoren Gärrest und Klärschlamm, Gewürze und Medizinpflanzen, Ziegel, Holz, Textilien und Wäschereien. Seitens des PFI wurde im Energiepark Pirmasens-Winzeln die erfolgreiche Verknüpfung von zwei Trocknungsprozessen mit einer Wärmepumpe demonstriert.*

## Projektziel

Hauptziel des Projekts war die Integration von Wärmepumpen (WP) in industrielle Trocknungsprozesse, um sie in energetischer und ökologischer Hinsicht zu optimieren. Der Schwerpunkt lag dabei auf Konvektionstrocknern, weil diese am häufigsten verwendet werden und weil sich hier die Einbindung von Wärmepumpen leichter umsetzen lässt. Im Projektverlauf wurden hierzu an verschiedenen Industriestandorten Simulationen, Demonstrationen und Fallstudien durchgeführt.

## Industrielle Anwendung

Trocknung ist ein wesentlicher Bestandteil vieler Produktionsprozesse. Daher dienen die Ergebnisse dieses sektorübergreifenden Projekts einem breiten Spektrum an Industriezweigen. Das Projektkonsortium bestand aus Forschungsinstituten mit langjähriger Erfahrung in WP- und/oder Trocknungstechnologie und KMUs aus unterschiedlichen Branchen mit praktischen Kenntnissen über die spezifischen Produktionsmethoden und die jeweiligen technischen, ökonomischen und ökologischen Anforderungen. Die deutschen Forschungsstellen deckten Trocknungsprozesse in der Holz-, Textil- und Ziegelindustrie sowie Trocknung in Wäschereien und von landwirtschaftlichen Produkten ab. Innerhalb der flämischen Nutzergruppe waren über teilnehmende Firmen zusätzliche Industriezweige vertreten.

## Funktion eines Wärmepumpentrockners

Wärmepumpen können Energie sparen, indem sie an einer Stelle Wärmeenergie entnehmen, diese auf ein höheres nutzbares Niveau anheben und an einer anderen Stelle wieder abgeben. Wie bei wärmepumpenbetriebenen Kleidentrocknern für den häuslichen Gebrauch kann die Technologie

auch bei industriellen Trocknern zum Einsatz kommen. In dieser Form spricht man von geschlossenen Trocknersystemen, da die Luft zum Trocknen, nachdem sie die Feuchtigkeit aus dem zu trocknenden Gut aufgenommen hat, diese Feuchtigkeit durch Kühlen abgibt und dann wieder für die Trocknung genutzt wird. Die Energie, die der feuchten Luft beim Abkühlen entzogen wird, wird wiederrum zum Aufheizen der jetzt kühlen, aber trocknen Luft verwendet. Abbildung 1 zeigt schematisch einen einfachen geschlossenen Wärmepumpentrockner. Geschlossene WP-Trockner haben neben der Energieeinsparung auch den Vorteil, dass Emissionen und Geruchsbelästigung reduziert werden können. Statt feuchter Abluft entsteht ein kondensierter Wasserstrom.

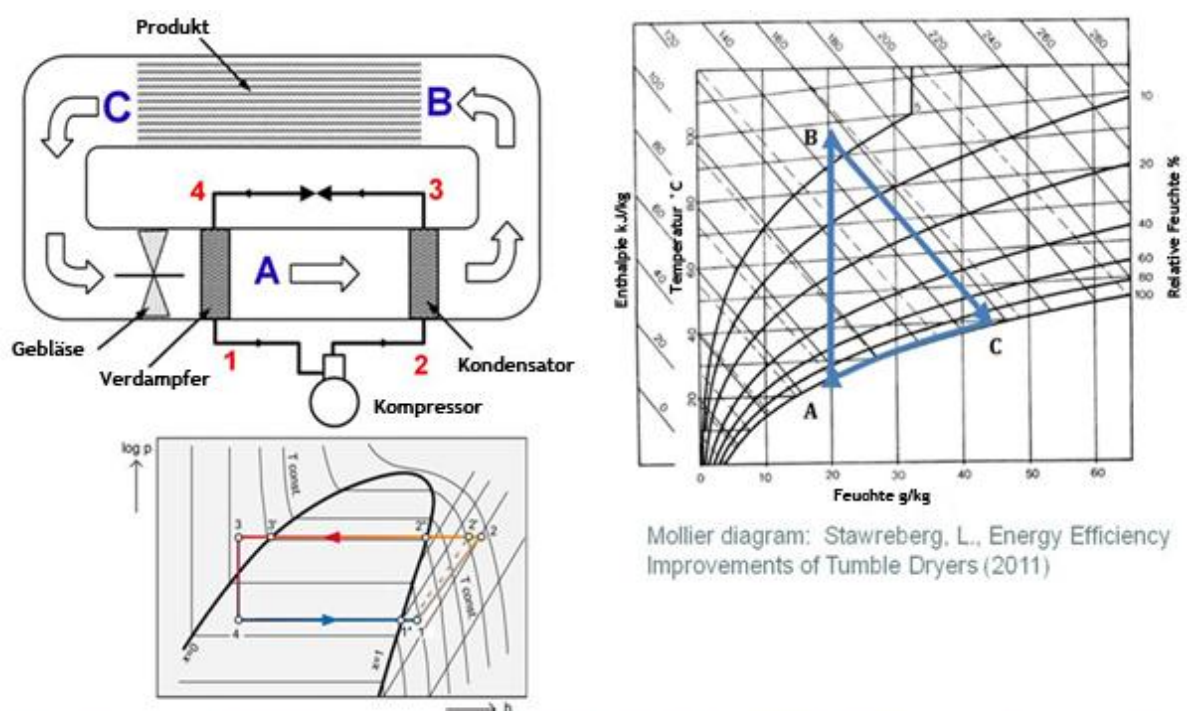


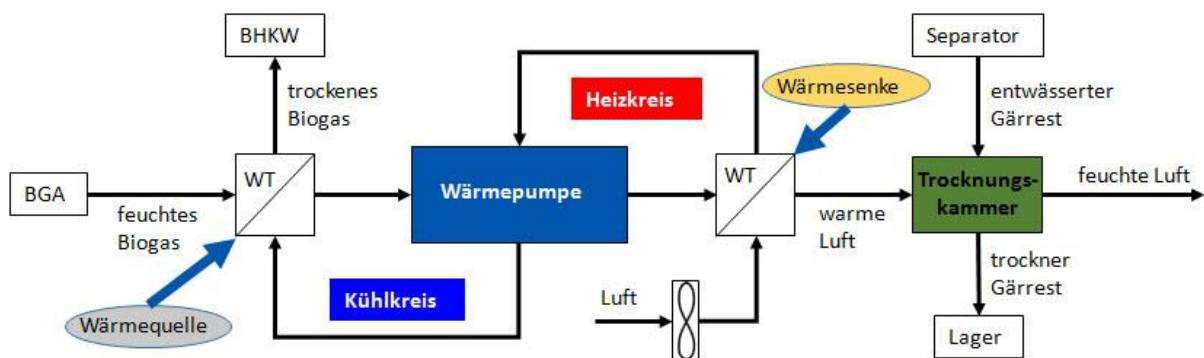
Figure drying cycle: Carrington, C. G. Heat Pump and Dehumidification Drying. Chapter 10 (pp 249-273) in Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications. DEStech Publications Inc (2007).

**Abbildung 1: Schematische Darstellung eines Wärmepumpentrockners und Darstellung der Trocknungszyklen (Mollier-Diagramm und log p-h Diagramm)**

### Umsetzung der Projektarbeiten am PFI-Energiepark

Jede beteiligte Forschungsstelle hat in diesem Projekt die Integration von Wärmepumpen für einen spezifischen Industriezweig untersucht. Das PFI konzentrierte sich auf die Trocknung von Gärrest und Klärschlamm. Mit einem Wassergehalt von über 90 % ist die Trocknung von Gärrest für die Reduktion der Lagerkapazitäten und zur Entlastung der Gärrestlogistik interessant. Ähnlich ist es bei Klärschlamm, der für eine thermische Entsorgung vorentwässert und getrocknet werden muss.

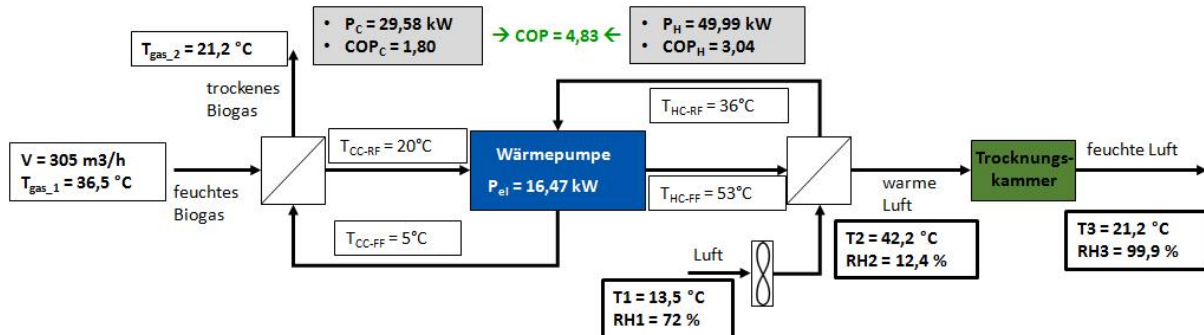
Das PFI hat im Rahmen dieses Projekts das Gärrestmanagement im Energiepark Pirmasens-Winzeln untersucht und eine Pilotanlage entwickelt. Eine thermeco2-Wärmepumpe mit einer Heizleistung von 50 kW sollte das Biogas des Fermenters von 36 °C auf 20 °C kühlen (und damit das Gas für die weitere Verwendung im Blockheizkraftwerk trocknen) und diese Wärmeenergie auf ein Temperaturniveau von 50 °C heben, um damit die Außenluft für den Trockner zu heizen. Die Wärmepumpe koppelte demnach zwei Trocknungsvorgänge, den des Biogases und den für den Gärrest. Ziel war es, aufgrund des derzeitigen Strom-/Gaspreis-Verhältnisses eine Gesamt-Leistungszahl (coefficient of performance = COP) von >3 zu erreichen. Diese gibt an, wieviel kW nutzbare thermische Leistung pro kW elektrischer Leistung generiert werden. Die Pilotanlage war als offener Trockner konzipiert, bedeutet, dass Außenluft für die Trocknung erwärmt und wieder nach außen abgelassen wurde. Die Pilotanlage verfügt weiterhin über einen Pressschneckenseparator (PSS) zur Vorentwässerung des Gärrestes. Das Trocknermodul, eigentlich für die Aufkonzentrierung der Separationsflüssigkeit gedacht, wurde für die Trocknung der separierten Feststoffe umgerüstet. Abbildung 2 zeigt eine schematische Darstellung der Pilotanlage.



**Abbildung 2: Schematische Darstellung der Pilotanlage. Die Wärmepumpe verbindet den Biogastrockner als Wärmequelle mit dem Gärresttrockner als Wärmesenke. WT = Wärmetauscher, BGA = Biogasanlage, BHKW = Blockheizkraftwerk**

Mit diesem System wurde erreicht, dass das Biogas mit einer Kühlleistung von knapp 30 kW getrocknet wurde. Der Trockner wurde mit einer Heizleistung von 50 kW versorgt. Die Wärmepumpe benötigte dafür gut 16 kW Strom. Daraus erfolgte ein COP von 4,83 für das gesamte System. Das bedeutet, dass pro kW elektrischer Leistung 4,83 kW nutzbare thermische Gesamtleistung erbracht wurden.

Abbildung 3 zeigt eine erweiterte schematische Darstellung der Pilotanlage mit den erreichten Messwerten.



**Abbildung 3: Schematische Darstellung der Pilotanlage mit Messwerten der einzelnen Stoffströme.**  
**HC = Heizkreis, CC = Kühlkreis, RF = Rücklauf, FF = Vorlauf, RH = relative Luftfeuchtigkeit,**  
**T = Temperatur, V = Volumenstrom, P = Leistung, C = kühlen, H = heizen,**  
**COP = coefficient of performance**

Mit dem System wurde erfolgreich demonstriert, wie sich eine Wärmepumpe im Biogas- und Bioraffineriebereich einsetzen lässt, um Kühl- und Heizprozesse energiesparend und mit vorteilhaftem COP zu verknüpfen. Zukünftig sollen weitere Prozessverknüpfungen am Energiepark Pirmasens-Winzeln untersucht werden.

### Schlussfolgerungen des Gesamtprojekts

Weiterhin wurden im Rahmen von Simulationen und Demonstrationen (in Labor- und Pilotmaßstab) große Energieeinsparpotentiale durch Integration von WP nachgewiesen. Die Fallstudien, besonders die, die in Flandern durch die UGent durchgeführt wurden, zeigten nicht immer die gleichen Energieeinsparungen. Der Hauptgrund lag in den teilweise hohen Temperaturniveaus der untersuchten Trocknungsprozesse (180 bis  $>220 \text{ }^\circ\text{C}$ ), die mittels derzeitiger verfügbaren WP nicht erreicht werden können.

Aufgrund der derzeit durchgeführten Wärmerückgewinnung mittels Wärmetauscher zwischen Trocknerabluft und Frischluftzufuhr muss ein hoher Temperaturlift bei offenen Trocknern realisiert werden. Dies verursacht einen niedrigen COP, der teilweise niedriger ist als das derzeitige Preisverhältnis zwischen Strom und Gas. Besonders der Gaspreis ist während der Projektlaufzeit stark gefallen, wodurch der Einsatz von elektrisch angetriebenen WPs nur schwer zu begründen ist.

Um diesem Problem zu begegnen, wurden thermisch betriebene WP mit nur geringfügigem Strombedarf betrachtet. Angepasste Wärmetransformatoren (Typ II Absorptions-Wärmepumpen) sind sehr selten auf dem Markt erhältlich. Hier sind ebenfalls die verfügbaren Temperaturniveaus zu niedrig für solche WP.

Ein weiterer Typ der untersuchten thermisch operierenden WP ist die (klassische) Kompressor-Wärmepumpe, die direkt mittels Verbrennungsmotor oder Gasturbine angetrieben wird. Zwar ist diese Technologie noch nicht sehr stark auf dem Markt vertreten, aber diese Option führte zu den aussichtsreichsten Ergebnissen.

In Flandern stehen WP unter starkem Konkurrenzdruck mit Kraft-Wärme-Kopplung, die dort durch KWK-Zertifikate stark subventioniert wird. Auch bezogen auf die Investitionen steht KWK oft als Gewinner da.

Da die untersuchten Trockner in den Fallstudien keine geschlossenen Systeme waren, konnten nicht alle Vorteile der Integration von Wärmepumpen demonstriert werden. Daraus resultiert, dass keine der untersuchten Anwendungen eine kurzfristige industrielle Realisierung erfährt, jedoch wurden die Projektergebnisse seitens der beteiligten Nutzer für die erwartete Energiewende mit höherer Besteuerung von Kohlendioxid und stark fluktuierenden Strompreisen als sehr nützlich angesehen. Darüber hinaus werden bei zukünftig geplanten Investitionen geschlossene Trocknungsanlagen in Erwägung gezogen.

### Vorstellung der Projektergebnisse vor internationalem Publikum

Eine Plattform zur Präsentation der Tätigkeiten des PFI bot sich am 23. und 24. Mai 2016 beim 4. Internationalen Symposium – Waste Heat Valorization in Industrial Processes im belgischen Kortrijk. Mit Bezug zum CORNET Projekt HP4Drying standen Anwendungen von Wärmepumpen für Trocknungsprozesse im Fokus der Veranstaltung. In diesem Zusammenhang präsentierte Dr. Michael Müller, Projektleiter in der Abteilung Biotechnologie und Mikrobiologie, das Gärrestmanagementsystem des PFI-Energieparks ([hier klicken für pdf-Download](#)). Über 90 Besucher aus Wissenschaft und Industrie nahmen an dem Symposium teil, darunter Energieberater, Systemanbieter sowie Vertreter von Universitäten und des produzierenden Gewerbes.

Die präsentierten Möglichkeiten der Energieeinsparung stießen auf großes Interesse und breite Akzeptanz. Insgesamt wurde die Tagung sehr positiv bewertet.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Das IGF-Vorhaben 112 EBG der Forschungsvereinigung Prüf- und Forschungsinstitut Pirmasens e.V. - PFI-, Marie-Curie-Straße 19, 66953 Pirmasens wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Wir bedanken uns ebenso bei den Firmen der Biogas-, Ziegel-, Textil- und Holzbranchen sowie den Firmen im Bereich der Medizin- und Gewürzpflanzen, Wäschereien, Wärmepumpen und Maschinenbau für die tatkräftige Unterstützung im Projekt.

Abschließend bedanken wir uns bei den Projektpartnern für die erfolgreiche Zusammenarbeit.



Der komplette Schlussbericht in englischer Sprache kann bei den beteiligten Forschungsstellen angefordert werden.

**Kontakt:**

Dr. Michael Müller  
EU Projektmanager  
Biotechnologie und Mikrobiologie  
Tel.: +49 6331 2490 850  
Email: [Michael.mueller@pfi-biotechnology.de](mailto:Michael.mueller@pfi-biotechnology.de)