



# IEA Heat Pump Programme

---

IEA HPP Annex 28

## **Prüfmethoden und Berechnungsverfahren für den Jahresnutzungsgrad von kombiniert arbeitenden Wärmepumpensystemen für Heizung und Warmwasser**

Ausgearbeitet von

**Carsten Wemhöner**                      **FHNW**

**Thomas Afjei**                              **FHNW**

Fachhochschule Nordwestschweiz

Hochschule für Architektur, Bau und Geomatik

Institut Energie am Bau

St. Jakobs-Str. 84, CH – 4132 Muttenz

carsten.wemhoener@fhnw.ch

Im Rahmen des Wärmepumpen-Programms (HPP)  
der Internationalen Energie-Agentur (IEA)

---

Zusammenfassung

## Motivation für den IEA HPP Annex 28

Welches Heiz- und Warmwassersystem ist das Beste für meinen Anwendungsfall?

Obwohl diese Frage sehr fundamental erscheint, ist es immer noch nicht einfach, sie zu beantworten, da einheitliche, normierte Kennzahlen im Hinblick auf den Energieverbrauch – oder besser Normrechenverfahren zur Berechnung dieser Kennzahlen – für einen transparenten Vergleich von Heiz- und Warmwassersystemen nach wie vor fehlen, insbesondere auf internationaler Ebene.

Vor diesem Hintergrund wurde der IEA HPP Annex 28 mit dem englischen Originaltitel

"Test procedure and seasonal performance calculation for residential heat pumps with combined space and domestic hot water heating"

im Januar 2003 im Rahmen des Wärmepumpen-Programms (HPP) der Internationalen Energie-Agentur (IEA) mit den neun Teilnehmerländern AT, CA, CH, DE, FR, JP, NO, SE und USA gestartet. Der Annex 28 wurde auf Initiative des Bundesamtes für Energie (BFE) lanciert, und die Projektleitung wurde vom Institut Energie am Bau (IEBau) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) (vormals Institut für Energie (IfE) der Fachhochschule Beider Basel (FHBB)) durchgeführt. Der Annex 28 wurde Ende 2005 abgeschlossen.

Das Ziel des Annex 28 ist, die Lücke dieser fehlenden, international einheitlichen Rechenverfahren für Wärmepumpen zu schliessen und umfassende Prüf- und Rechenmethoden zur Berechnung des Jahresnutzungsgrads (engl. Seasonal Performance Factor (SPF)) zu erarbeiten, insbesondere auch für den kombinierten Betrieb von Wärmepumpen zur Heizung und Warmwasseraufbereitung. Unter dem Rechenverfahren ist dabei ein "Handrechenverfahren" zu verstehen, das ohne umfangreichen Computereinsatz durchführbar und daher für die Normung und Energienachweise geeignet ist. Das Prüfverfahren liefert die für das Rechenverfahren notwendigen Produktkenngrossen. Beide Ergebnisse dienen als Empfehlung für internationale Normungsorganisationen.

Der besondere Schwerpunkt des Annex 28 liegt dabei auf Wärmepumpensystemen mit kombiniertem Betrieb einschliesslich Wärmepumpenkompaktgeräten für Niedrigenergie- und Passivhäuser, aber Kennzahlen wie der Jahresnutzungsgrad sind darüber hinaus auch für den Vergleich mit anderen Heizsystemen anwendbar.

In der Tat ist der Jahresnutzungsgrad die Ausgangsgrösse für weitergehende Kennzahlen, etwa den Primärenergiebedarf oder die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die beispielsweise für den Vergleich von Heiz- und Warmwassersystemen im Rahmen der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie ("Directive on the Energy Performance of Buildings", EPBD) verwendet werden. Im Rahmen der Richtlinie wird zurzeit ein umfangreiches Normenwerk entwickelt, das den Vergleich der unterschiedlichen Systeme erlaubt, um die Einführung und Umsetzung der Richtlinie in den EU-Mitgliedsstaaten zu unterstützen. Als EFTA-Mitglied muss die Schweiz die CEN-Normen der EPBD implementieren. Die Gebäudeenergie-richtlinie umfasst darüber hinaus einen Gebäudeenergieausweis, der die Kennzahlen in Form eines Labels einordnet und visualisiert, so dass anhand des Energieausweises bei Eigentümer- oder Mieterwechsel die energetische Qualität des Gebäudes beurteilt werden kann. Zusätzlich enthält der Gebäudeenergieausweis auch Verbesserungspotenziale. Die Einführung eines Gebäudeenergieausweises ist für die Schweiz nicht obligatorisch, wird aber zurzeit diskutiert.

Besonders neue Entwicklungen von Wärmepumpensystemen mit kombinierter Heizung und Warmwassererzeugung werden von den bestehenden Prüf- und Rechennormen nicht abgedeckt. Daher gibt es vielfältige Anwendungsfelder für die im Rahmen des Annex 28 entwickelten Prüfmethode und Rechenverfahren:

- Hersteller haben klare Richtlinien, welche technischen Daten sie für ihre Geräte bereitstellen müssen
- Planer bekommen die Möglichkeit an die Hand, unterschiedliche Systemlösungen im Planungsprozess energetisch zu vergleichen
- Energielabels oder Verordnungen zum Gebäudeenergieverbrauch brauchen eine Kenngrösse wie den Jahresnutzungsgrad zur Definition von Anforderungen

Notwendige Grundlage von alledem sind einheitliche Prüf- und Rechenverfahren. Damit werden auch Handelsbeschränkungen und Wettbewerbsbehinderungen abgebaut und das Kundenvertrauen und die Kundensicherheit verbessert, indem dem Endnutzer eine Vergleichsmöglichkeit im Hinblick auf Energieverbrauch und Umweltverträglichkeit an die Hand gegeben wird. Letztendlich kann durch die entstehende bessere Markttransparenz ebenfalls die technologische Weiterentwicklung der Geräte stimuliert werden.

## Task 1: Stand der Technik (Markt und Normung)

Ausgangspunkt der Arbeit des IEA HPP Annex 28 war eine Marktanalyse von marktgängigen und sich in der Entwicklung befindenden kombinierten arbeitenden Wärmepumpensystemen. Darüber hinaus wurde der Status-quo in der Normung von Wärmepumpen sowohl auf internationaler Ebene für Europa, Nordamerika und Japan als auch auf nationaler Ebene der Teilnehmerländer analysiert, mit besonderem Augenmerk auf fehlende Normen oder Vorschriften im Hinblick auf kombinierten Betrieb.

Die Ergebnisse ergaben, dass der europäische Markt hauptsächlich von alternativ arbeitenden Wärmepumpen dominiert wird, Geräten also, bei denen die Wärmepumpe von Heiz- auf Warmwasserbetrieb umgeschaltet wird und jeweils nur Heiz- oder nur Warmwasserwärme erzeugt wird (klassische Systemkonfiguration: Wärmepumpe mit Beistellboiler). Allerdings gibt es in verschiedenen europäischen Ländern auch Wärmepumpen mit Simultanbetrieb, also Wärmepumpen, die Wärme für das Heiz- und Warmwassersystem gleichzeitig zur Verfügung stellen. Dies geschieht z. B. mittels eines Enthitzers oder durch Kondensatunterkühlung. In Schweden, Norwegen, Frankreich und Österreich setzen verschiedene marktgängige Systeme einen Enthitzer zur Warmwassererzeugung ein. Weitere Systeme mit kombiniertem Betrieb sind in Entwicklung.

Auf Ebene der Europäischen Normung gibt es jeweils Normen für die Prüfung des Heiz- und Warmwasserbetriebs, es fehlen jedoch Verfahren für den kombinierten Betrieb. Ein einheitlicher Berechnungsansatz für den Jahresnutzungsgrad existiert bisher nicht, wird aber im Rahmen der EPBD zurzeit entwickelt.

Der nordamerikanische Markt ist dominiert von Wärmepumpen mit Simultanbetrieb, hauptsächlich Luft-Luft Systeme mit Enthitzer zur Warmwasserbereitung. Normen zur Prüfung und Berechnung für den Einzelbetrieb liegen vor, und für die spezielle Systemkonfiguration Luft-Luft Wärmepumpe mit Enthitzer gibt es auch eine Norm für den kombinierten Betrieb.

In Japan wurde im Jahr 2003 ein alternativ arbeitendes System für Boden- und Warmwasserheizung auf den Markt gebracht. Darüber hinaus zeigen CO<sub>2</sub>-Wärmepumpen-Warmwassererwärmer, sog. Eco-Cute Systeme, in den letzten Jahren ein hohes Marktwachstum. Normen für diese Warmwassererwärmer sind in Bearbeitung, der kombinierte Betrieb, weder alternativ noch simultan, ist allerdings noch nicht durch Normen abgedeckt.

Die Ergebnisse der Marktrecherche (Task 1) wurden in einem detaillierten Zwischenbericht für das Executive Committee des Wärmepumpenprogramms im März 2004 zusammengestellt.

### Schlussfolgerungen aus der Marktrecherche

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde beschlossen, den kombinierten Betrieb durch eine Erweiterung der bestehenden Normung zu integrieren.

- Die Systemgrenze wurde um den Erzeuger, die Wärmepumpe, und die angeschlossenen Speicher und Nachheizsysteme gelegt, da viele Kompaktsysteme diese Komponenten in einem Gehäuse vereinen. Diese Systemgrenze ist auch zum Rechenschema der EU Richtlinie EPBD konsistent und entspricht hier den Untersystemen "Erzeugung" und "Speicherung", siehe Fig. 1.

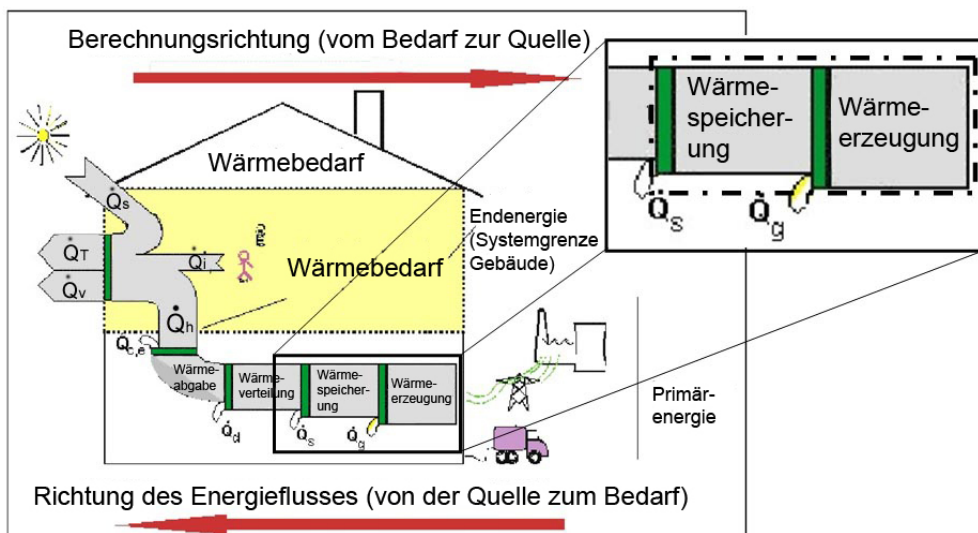


Fig. 1: Rechenschema der EU Gebäuderichtlinie (EPBD)

- Bezüglich der Prüfmethode wurde ein Black-Box Ansatz beschlossen, d.h. nur Messgrößen, die an der Systemgrenze ausgewertet werden können, werden benutzt. Der Black-Box Ansatz ist in Fig. 2 dargestellt.

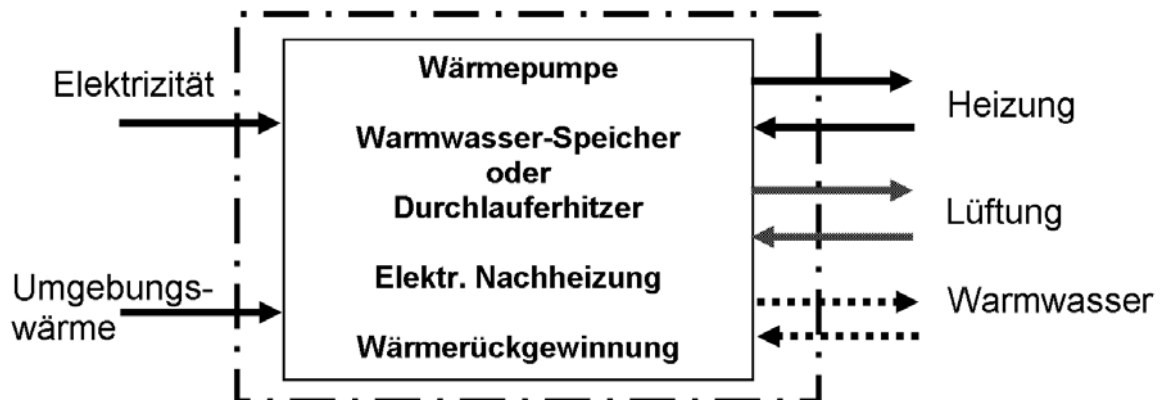


Fig. 2: Black-Box Prüfung

Dieser Ansatz vereinfacht die einheitliche Behandlung unterschiedlicher Systemkonfigurationen, wie sie in der Marktrecherche gefunden wurden. Hoch integrierte Kompaktsysteme, die in genau dieser Konfiguration auch als Einheit ausgeliefert werden, werden dabei einem Systemtest unterzogen, während für andere Systeme auch ein komponentenbasierter Test möglich ist.

- Als Rechenmethode wurde ein Temperaturklassenansatz, eine sog. Bin-Verfahren, gewählt, da dies den besten Kompromiss zwischen der Genauigkeit der Resultate und den Rechenaufwand im Sinne eines Handrechenverfahrens darstellt. Darüber hinaus ist das Verfahren schon für einzelne Betriebsarten (z.B. nur Heizbetrieb) in der amerikanischen Normung und in einzelnen nationalen europäischen Richtlinien anzutreffen, so dass darauf aufgebaut werden kann.

## Task 2: Prüfmethode

Zur Entwicklung der Prüfmethode wurden verschiedene Systeme mit kombiniertem Betrieb sowohl für Alternativbetrieb als auch für Simultanbetrieb nach bestehenden Normen und neuen Ansätzen aus Normvorschlägen, die sich in der Vernehmlassung befinden, geprüft. Die Beurteilung von gerade eingeführten Normen wie der Wärmepumpen-Prüfnorm EN 14511 und von Normansätzen in der Vernehmlassung, etwa den europäischen Zapfprofilen für den Test von Warmwassersystemen, wird in die entsprechenden Arbeitsgruppen der Normengremien eingebracht.

Die Auswertung der durchgeführten Norm-Prüfungen hat bestätigt, dass der alternativ kombinierte Betrieb mit der Anwendung der beiden bestehenden Normen für die Einzelbetrieb Heizung und den Einzelbetrieb Warmwassererzeugung abgedeckt werden kann, da bei Alternativbetrieb die Wärmepumpe entweder auf das Heizsystem oder das Warmwassersystem arbeitet. Daher ändert sich das Wärmepumpenkennfeld im Vergleich zum Einzelbetrieb nicht und es sind keine weiteren Tests erforderlich.

Für den Simultanbetrieb reichen die bestehenden Prüfungen hingegen nicht, da sich hier bei gleichzeitiger Wärmeerzeugung für beide Systeme das Kennfeld der Wärmepumpe ändert. Daher wurden die bestehenden Prüfungen um eine weitere ergänzt, bei dem das Warmwasserzapfprogramm der Einzelbetriebsprüfung bei laufendem Heizbetrieb durchgeführt wird. So ergeben sich insgesamt drei Wärmepumpenkennfelder, jeweils eins für die beiden Einzelbetriebsarten und eins für den kombinierten Simultanbetrieb. Dies ist sinnvoller als eine Aufteilung des Simultanbetriebs in Heizung und Warmwasser, da durch den Black-Box Ansatz eine Allokation der gesamthaft gemessenen elektrischen Energie auf die einzelnen Betriebsarten nicht möglich ist.

Letztendlich ist auch der Gesamtjahresnutzungsgrad für beide Betriebsarten die massgebliche Kennzahl, so dass der kombinierte Betrieb als eigene Betriebsart mit eigenem Kennfeld behandelt werden kann. Dies vereinfacht die Auswertung der kombinierten Prüfung erheblich.

## Task 3: Rechenverfahren

Wie bereits erwähnt wird für die Rechnung das sog. Bin-Verfahren verwendet. Das Prinzip ist in Fig. 3 für den alternativen Heiz- und Warmwasserbetrieb dargestellt. Die Summenhäufigkeit der Aussenluft-

temperatur wird dabei in Temperaturklassen eingeteilt, sog. Temperaturbins. Im Zentrum jedes Bins wird ein Arbeitspunkt im Hinblick auf die aktuelle Leistung und den COP der Wärmepumpe unter den an diesem Punkt gegebenen Betriebsbedingungen (Quelle, Senke) ausgewertet. Die Informationen über Leistung und COP werden dem Kennfeld aus der Normprüfung entnommen. Es ist daher sinnvoll, die Arbeitspunkte an bekannten Prüfpunkten zu wählen. Es wird die Näherung getroffen, dass der Arbeitspunkt die Betriebsbedingungen für den gesamten Bin charakterisiert. Die Binfläche entspricht Heizgradstunden und ist dem Energiebedarf im entsprechenden Temperaturbereich proportional.

Wird nun der jeweilige COP an den Arbeitspunkten mit den entsprechenden Energieanteilen gewichtet - damit also ermittelt, mit welcher Effizienz die jeweiligen Energiemengen erzeugt werden - und anschliessend aufsummiert, so liefert die Summation den Jahresnutzungsgrad.

Installierte Nachheizsysteme können ebenfalls mit den jeweiligen Flächen im Summenhäufigkeitsdiagramm ausgewertet werden, in Fig. 3 die Fläche BU, die von den Auslegungsbedingungen - hier durch den Bivalenzpunkt ausgedrückt - und der Betriebsart - hier Parallelbetrieb von Wärmepumpe und Nachheizung - definiert wird. Die lineare Begrenzung stellt dabei eine Näherung dar. Gleichzeitig wird jedoch eine Laufzeitüberprüfung vorgenommen, da die Laufzeit der Wärmepumpe nicht länger als die Binzeit werden kann. Falls die Annahme einer senkrechten Begrenzung zu grob ist, wird die Nachheizenergie über die Laufzeitüberprüfung korrigiert.

Für den Warmwasserbetrieb kann eine ganz ähnliche Rechnung auf Grundlage des Kennfeldes der Warmwasserprüfung, die z.B. in Europa nach EN 255-3 durchgeführt wird, aufgestellt werden. Der Gesamtjahresnutzungsgrad kann dann durch Gewichtung der Einzeljahresnutzungsgrade der jeweiligen Betriebsarten mit der Energiemenge bestimmt werden. Mit diesem Vorgehen kann der Alternativbetrieb bewertet werden.

Im Simultanbetrieb hingegen unterscheiden sich die Leistungs- und COP-Werte von den Einzelbetriebsarten. Daher wird ein dritter Betriebsmodus mit eigenem Kennfeld in die Betrachtung eingeführt. Die Auswertung, wie viel Energie im kombinierten Betrieb erzeugt wird, erfolgt über die erforderliche Laufzeit der Wärmepumpe für die jeweilige Betriebsart, die mit Hilfe des Energiebedarfs und der Wärmepumpenleistung aus dem Kennfeld berechnet werden kann.

Der Gesamtjahresnutzungsgrad wird daraufhin für drei Betriebsarten gewichtet, den Heizeinzelbetrieb, den Warmwassereinzelbetrieb und den kombinierten Betrieb.

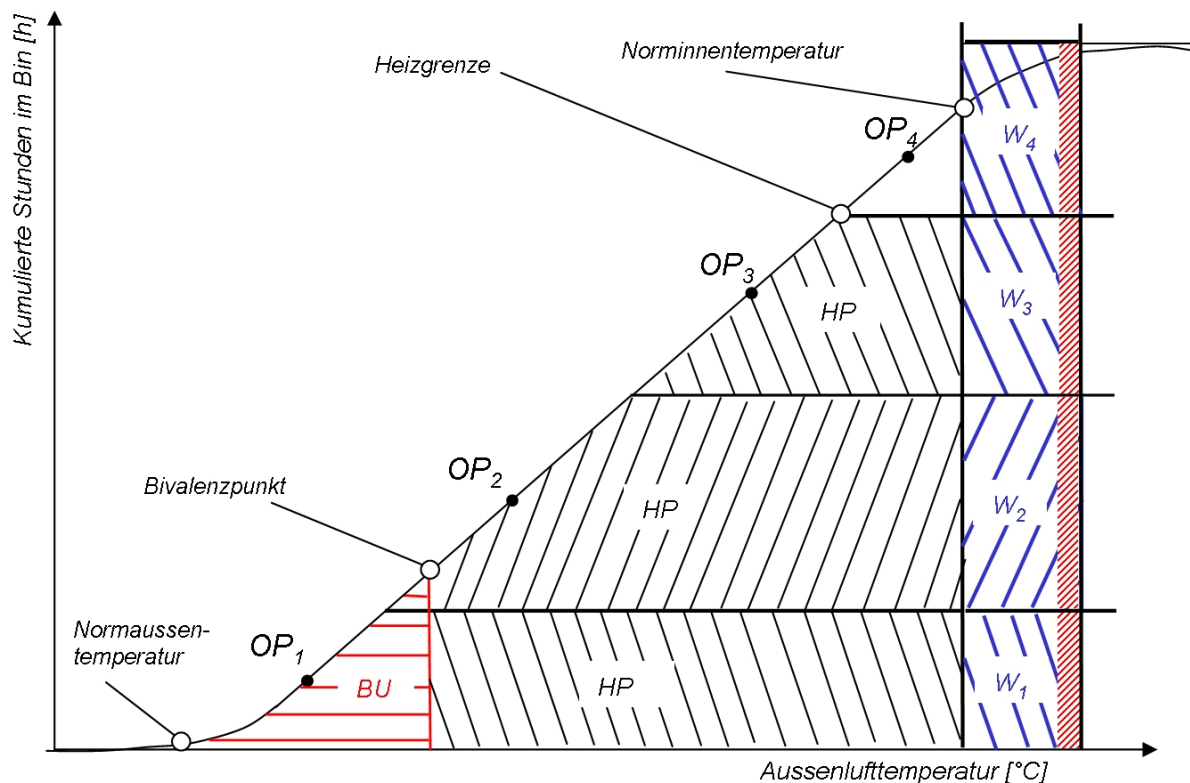


Fig. 3: Prinzip der Bin-Methode für alternativen Heiz- und Warmwasserbetrieb für Parallelbetrieb der Nachheizung

Naturgemäss werden für eine Handrechnung Vereinfachung in Kauf genommen werden müssen, um die Rechnung überschaubar zu halten. Eine Vereinfachung bezieht sich auf die Auswertung der Summenhäufigkeit, die in erster Näherung durch Heizgradstunden und damit eine reine Aussentemperaturabhängigkeit des Energiebedarfs impliziert. In Niedrigenergie- oder Passivhäuser, die in grösserem Umfang passive Solargewinne nutzen, wird diese Näherung ungenauer, da die Verteilung des Energiebedarfs gegebenenfalls von der Aussentemperaturverteilung abweicht. Dies kann über eine entsprechende Anpassung der Heizgrenze abhängig von den genutzten Gewinnen berücksichtigt werden. Eine weitere Näherung ist, dass Effekte der Regelung nicht detailliert ausgewertet werden können. Insbesondere die im kombinierten Betrieb erzeugte Energie kann auch von den Reglereinstellungen beeinflusst werden. Diesem Umstand ist mit der Einführung eines Faktors Rechnung getragen worden, der allerdings abhängig von der Systemkonfiguration für typische Regelfälle bestimmt werden muss. Des Weiteren können Regelungseinstellungen für Hilfsaggregate, z.B. die Pumpen, nicht immer exakt wiedergegeben werden, sondern es müssen Standardsituationen angenommen werden.

### **Validierung der Prüf- und der Rechenmethode**

Um die Prüfmethode für den Simultanbetrieb zu validieren, ist der Test für eine simultan arbeitende Abluftwärmepumpe durchgeführt worden. Das Prüfprozedere lieferte repräsentative und reproduzierbare Werte. Allerdings brauchen einzelne Prüfpunkte lange Prüfzeiten, was jedoch für einen fairen Vergleich der Systeme unerlässlich scheint. Darüber hinaus kann es notwendig sein, die Testmethode abhängig von der Systemkonfiguration leicht anzupassen.

Die Validierung der Rechenmethode wurde anhand der im Annex 28 vermessenen Feldanlagen durchgeführt. Die Ergebnisse der Auswertung einen ersten Eindruck der zu erwartenden Übereinstimmung von Messung und Rechnung. Drei erdreichgekoppelte Wärmepumpen mit Direktverdampfung wurden bezüglich des Heizbetriebs und ein Kompaktgerät und eine Sole-Wasser Wärmepumpe wurden bezüglich Heiz- und Warmwasserbetrieb ausgewertet. Abweichung für den Gesamtjahresnutzungsgrad zwischen den Berechnungen und den Feldmessungen liegen im Bereich von  $\pm 6\%$ . In Anbetracht der Vereinfachungen im Rechenverfahren sind diese Werte zufriedenstellend und unterstreichen die Anwendbarkeit der Methodik.

Aufgrund der Vielzahl der marktgängigen Systemkonfigurationen konnten im Rahmen des Annex 28 nur ein Ausschnitt untersucht werden. So war auch eine Validierung einer simultan arbeitenden Anlage aufgrund fehlender Feldmessungen nicht möglich. Eine eingehende Validierung ist daher eine zukünftige Aufgabe.

### **Implementierung der Resultate**

Da die Ergebnisse des IEA HPP Annex 28 Empfehlungen für internationale Normenorganisationen darstellen, hat die Umsetzung der Ergebnisse schon während der Laufzeit des Projekts begonnen.

Bei der Revision und Weiterentwicklung der Berechnungsnormen im Rahmen der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie EPBD, bei der u.a. Heiz- und Warmwasserrechnungsnormen entwickelt werden, ist der Ansatz für die Rechenmethodik in den Entwurf für die Wärmepumpennorm prEN 15316-4-2 (früher prEN 14335) integriert worden. Die Norm befindet sich zurzeit in der Schlussabstimmung. Eine Einführung ist Ende 2007 zu erwarten. Deutschland hat bereits eine leicht modifizierte Version des europäischen Entwurfs des Rechenverfahrens aus dem IEA HPP Annex 28 in die nationale Norm DIN V 18599 zur Umsetzung der EPBD in Deutschland integriert, bei der die Rechnung auf Monatsbasis durchgeführt wird. Die deutsche Norm ist Ende 2005 in die Vernehmlassung gegangen.

Ergebnisse zur Prüfmethode fliessen in die Arbeitsgruppe CEN/TC 113/WG 10 zur Revision der Warmwasserprüfung unter Leitung des Schweizer Wärmepumpentestzentrums WPZ in Buchs ein. Die Gruppe hat im April 2006 die Arbeit aufgenommen. Gegebenenfalls wird eine weitere Arbeitsgruppe gegründet, die speziell den kombinierten Betrieb behandelt.

Die Implementierung der Ergebnisse für Lüftungskompaktgeräte mit Wärmepumpe ist noch etwas offen, da es zurzeit keine Arbeitsgruppe des CEN für Kompaktgeräte gibt. Da allerdings der Marktanteil von Niedrigenergiebauten und damit auch für Kompaktgeräte beständig zunimmt, gibt es einen grossen Bedarf nach einer einheitlichen Regelung für die Prüfung und Berechnung. In naher Zukunft soll im Rahmen der Revision der Lüftungsprüfung eine gemeinsame CEN-Arbeitsgruppe aus Lüftungs- und Wärmepumpen-Experten gegründet werden, was die Erarbeitung eines kohärenten Prüfverfahrens für Lüftungskompaktgeräte mit Wärmepumpe vereinfachen würde.

## Zusammenfassung

Der IEA HPP Annex 28 hat eine Rechenmethode zur Berechnung des Jahresnutzungsgrades von kombiniert arbeitenden Wärmepumpensystemen für Heizung und Warmwasser entwickelt, die auch eine Erweiterung für Wärmepumpenkompaktgeräte einschliesst. Gleichzeitig wurden angepasste Prüfverfahren zur Ermittlung der für die Rechnung notwendigen Wärmepumpenkennfelder ausgearbeitet.

Im Rahmen des Annex 28 sind insgesamt fünf Systeme inklusive Direktverdampfung, Sole-Wasser und Luft-Wasser Kompaktgeräten mit Feldmessungen verglichen worden. Diese ersten Validierungen der Rechenmethode zeigen zufriedenstellende Resultate.

Die Ergebnisse sind bereits in das entstehende europäische Normenwerk im Rahmen der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie EPBD integriert worden. Die Implementierung der Ergebnisse zur Prüfmethode erfolgt in der entsprechenden CEN Arbeitsgruppe des TC 113. Auch wenn die Entwürfe noch in der Vernehmlassung bzw. in der Diskussion sind, scheint eine einheitliche Rechenmethode, die sich auf eine angepasste Produktnorm zur Ermittlung der Kennfelder abstützt, realistisch, so dass die Zielsetzungen des IEA HPP Annex 28 damit auf europäischer Ebene erreicht wurden.

Im Hinblick auf die internationale Normung sind durch Bezug auf die Bin-Methode die Rechenansätze sehr ähnlich. Bei der Typenprüfung bestehen allerdings noch Unterschiede wegen unterschiedlicher Systeme, die die nationalen Märkte dominieren. Insofern müssten international einheitliche ISO Standards bei einer Vereinheitlichung der Prüfmethode ansetzen. Der Annex 28 hat hierzu eine detaillierte Analyse der relevanten Normen in Europa, Nordamerika und Japan geliefert, die diesen Prozess beschleunigen kann.

Weitere Informationen zum Projekt, den Teilnehmern sowie Veröffentlichungen und weitere Dokumente in Verbindung mit dem Annex 28 stehen auf der Annex-Website unter <http://www.annex28.net> zur Verfügung.

Der Schlussbericht ist beim IEA Heat Pump Centre erhältlich und kann in der Rubrik Publikationen/Berichte unter <http://www.heatpumpcentre.org> bestellt werden.