

Wärmepumpen wissenschaftlich betrachtet

Kolloquium Wärmepumpen an der TU Dresden

Das 36. Lehrgebietskolloquium der Professur für Energiewirtschaft der TU Dresden am 2. Februar 2001 befaßte sich mit eigenen Forschungsergebnissen zur Wärmepumpe und denen von Arbeitspartnern und fand in erweitertem öffentlichen Rahmen statt. Über 70 Teilnehmer, darunter namhafte Vertreter der Heizungs-, Energieversorgungs- und Kältetechnik aus Deutschland und der Schweiz, waren der Einladung gefolgt und hatten Gelegenheit, sich über interessante Entwicklungen zu informieren.

Eingangs trat Prof. Zschernig ans Pult, um die Teilnehmer unter dem Gesichtspunkt zu begrüßen, daß die Wärmepumpe mehr darstellt als nur eine speziell angewendete Kältemaschine. Sie sei vielmehr ein besonderer Systemkomplex im Wettbewerb zu anderen Heizungssystemen. Deshalb waren die folgenden Vorträge auch auf die Heizungsseite der Kältemaschine orientiert, ohne natürlich die Kälteseite als wesentlichen Faktor der Effektivität zu vernachlässigen. Es ging den ersten drei Referenten vor allem um die bessere Anpassung des mit steigendem Heizbedarf sinkenden Leistungsangebotes an den Außentemperaturverlauf durch neue Gedanken zur Anlagenschaltung und Regelung. Am Nachmittag standen dann ökologische und ökonomische Gesichtspunkte im Mittelpunkt und die TU-Versuchsanlage konnte besichtigt werden.



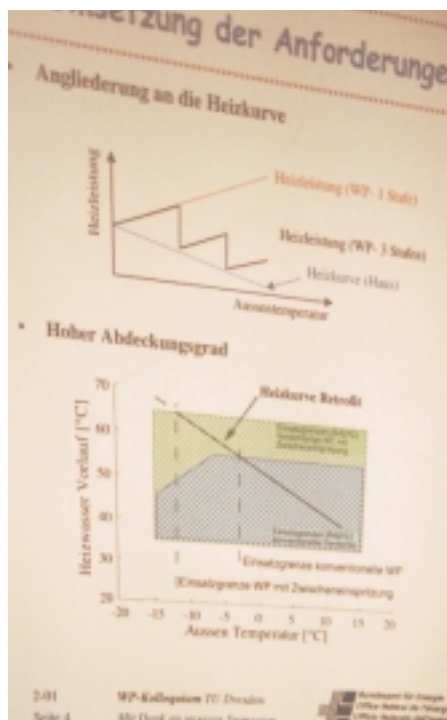
Prof. Zschernig stimmt die Teilnehmer auf das Programm des Kolloquiums ein

Den Vortragsreigen eröffnete Dipl.-Ing. M. Zehnder vom EPFL Lausanne. Er befaßte sich mit der Entwicklung von Wärmepumpen für den Sanierungsmarkt, was hohe Heizungsvorlauftemperaturen erfordert. Er ging davon aus, daß teilrenovierte Einfamilienhäuser ein Markt für Wärmepumpen sind, wenn diese monovalent mit Luft als Wärmequelle arbeiten und das Leistungsangebot der Heizkurve möglichst gut folgen können. Diese Angleichung an die Heizkurve kann mit mehrstufigen Schaltungen und Zwischeneinspritzung erreicht werden. Bei der Festlegung des optimalen Arbeitsregimes kann man in der Schweiz davon ausgehen, daß 50 % der Jahresheizarbeit im Außentemperaturbereich von -2 bis $+4^{\circ}\text{C}$ anfallen und die erforderliche Höchstleistung ca. 10 kW thermisch beträgt.

Verschiedene Schaltungen wurden aus theoretischer Sicht vorgestellt und bewertet. Das reichte von der einstufigen Lösung mit nur einem Verdichter, die bekanntermaßen einfach aufgebaut, aber mit dem Nachteil des nur monoenergetischen

Betriebes behaftet ist, über die Wärmepumpe mit Zwischeneinspritzung in den Verdichter (Economiserbetrieb) und zwei Heizstufen bis zur Wärmepumpe mit Economiserbetrieb und zusätzlichem Hilfskreis zur Verflüssigerunterkühlung. Bei der Verdichterauswahl hat der Scrollverdichter Vorzüge wegen der flacheren Liefergradkurve bei steigendem Druckverhältnis und der (zunächst nur akademisch) möglichen einfachen Einspritzung von flüssigem Kältemittel in den Verdichtungsraum während des Verdichtungs Vorganges.

Mehrere Projekte in unterschiedlichen Varianten im genannten Rahmen der Systemschaltung werden im Umfeld des EPFL Lausanne mit dem Kältemittel R 407 C verwirklicht und vom Referenten begleitet. Dazu gehören Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Projekte mit Unterkühlungshilfskreis, mit Zwischendruckkühlung und mit Economiserbetrieb. Daraus und aus den theoretischen Untersuchungen wurde folgende Perspektive formuliert:



Mit der Mehrstufigkeit ergibt sich eine bessere Anpassung an die Heizkurve und mit der Einspritzung eine Einsatzgrenzenerweiterung

Die Wärmepumpe mit Unterkühlungs-Hilfskreis hat gute Ergebnisse, aber eher bei größeren Wohnanlagen, um den Hilfsverdichter nicht zu klein wählen zu müssen. Kleine Verdichter, wie sie für Einfamilienhäuser erforderlich wären, haben zu schlechte Gütegrade.

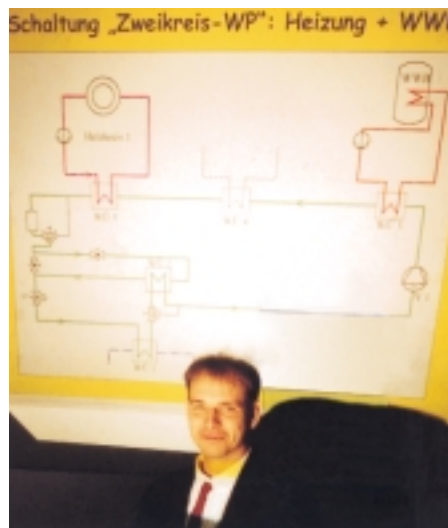
Die Wärmepumpe mit Zwischeneinspritzung kann mit guten energetischen Ergebnissen aufwarten, aber dafür vorbereitete Verdichter sind ebenso wenig wie Verdichter für den Wunschdruck 30 bar am Markt zu haben. Die Versuchsverdichter laufen außerhalb jeglicher Gewährleistung. Das ist das Dilemma so manchen Forschers, wenn wirtschaftliche Beschränkungen die Umsetzung der Ergebnisse bremsen oder verhindern.

Der erreichte COP-Wert der Musteranlagen bleibt unter dem für Förderung in Deutschland mindestens zu erreichendem Wert von 3,3. Diese Tatsache war dann auch Diskussionsgegenstand im Anschluß an den Vortrag. Ebenso wie die Frage, ob nicht die Nutzung der höheren Verdichtungstemperatur z. B. zur Brauchwassererwärmung vorteilhafter wäre als die Senkung dieser Temperatur durch die Zwischeneinspritzung.

Diese Gesichtspunkte waren nach Aussage des Referenten nicht die für die vom EPFL gewählte Arbeitsrichtung maßgebend. Man kann deshalb der Einschätzung

von Prof. Zschernig folgen, daß die ausgezeichnete theoretische Durchdringung der verschiedenen Schaltungen als akademisches Training Vorrang vor der praktischen Anwendung hatte.

Der Frage der Nutzung der höheren Verdichtungstemperatur zur Warmwasserbereitung in einer Zweikreiswärmepumpe widmete sich Dipl.-Ing. Preußner vom veranstaltenden Lehrgebiet. Unter der vielversprechenden Titelergänzung „... oder wenn die Evolution zum Sprung ansetzt“ hatte er sich dieser Thematik angenommen und teilte neue Überlegungen und Ergebnisse mit. Der Hausbewohner wünscht zwei Dinge von der Heizung: Eine warme Stube und ein warmes Bad. Der Erfüllung dieser Wünsche mittels der Wärmepumpenheizung kommt man um so näher, je dichter die Häuser gegen Wärmeverluste sind und je höher in der Folge der relative Anteil der Brauchwasserwärmemenge am Gesamtwärmebedarf des Hauses ist. Eine zweite Bedarfssstelle für Wärme höherer Temperatur ist die Tatsache, daß moderne Häuser zwar mit Fußbodenheizung ausgestattet sind, aber immer häufiger auch unter den großen Fensterflächen Konvektoren aufweisen, um die Behaglichkeitstemperatur im ganzen Raum möglichst gleichmäßig zu gewährleisten.



Dipl.-Ing. S. Preußner erläutert Funktion und Vorteile der Zweikreiswärmepumpe

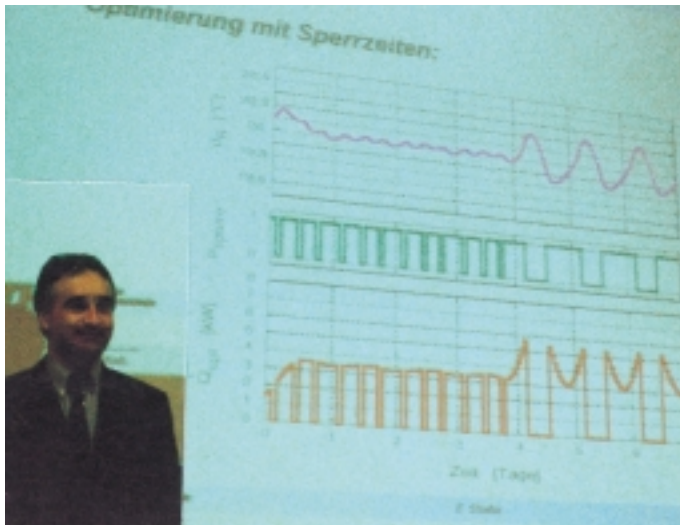
Für diese Bedingungen erweist sich die Zweikreiswärmepumpe mit Propan als Kältemittel (auch wenn Propan nicht vordergründig steht), mit Erde/Sole als Wärmequelle und mit Wasser in den beiden Heizkreisen am besten geeignet, vor allem wenn man wie Preußner empfiehlt, eine gute Unterkühlung und dadurch bedingte hohe Ansaugüberhitzung durch innere Wärmeübertragung

vorsieht. Eine so geschaffene komplexe Versuchsanlage arbeitet im Winterfall mit 35/30 °C für die Fußbodenheizung und 55/25 °C für eine oder beide Hochtemperaturanwendungen. Diese machen 35 bis 55 % der Gesamtleistung aus. Der Sommerfall beinhaltet nur die Warmwasserbereitung. Die schon genannte Leistungszahlgrenze 3,3 wird oberhalb von -5 °C Quellentemperatur erreicht bzw. überschritten, was mit Erdschichtwärme zu verwirklichen ist. Mit der Zweikreiswärmepumpe erreicht man 15 bis 20 °C bessere COP-Werte als mit der Basiswärmepumpe, und wenn die Basiswärmepumpe als Heizpumpe 100 % Jahresenergiebedarf hat, benötigt man mit der Zweikreispumpe im Winterbetrieb nur 63 % und im Sommerbetrieb nur 80 %.

Die Diskussion betraf dann folgerichtig die Propanfrage, da verschiedener Orts unverständlicherweise diesbezüglich zurückgerudert wird, wegen der amerikanischen Produkthaftungsregeln, wie man sagt. Für Preußner war das nicht deprimierend, denn er ist dabei, die Ergebnisse auf ein noch ungenannt bleiben sollendes Hochtemperaturkältemittel zu übertragen. Die von ihm vorgestellten Ergebnisse liegen durchaus im Bereich der praktischen Anwendbarkeit, die Zweikreisigkeit entspricht den Bedürfnissen der Nutzer, und – so meint der Berichterstatter – wenn man den Sommerbetrieb noch mit der Gebäudekühlung mit Erdkühle kombiniert, wird der Effekt vollkommen.

Das optimale Betreiben solcher Wärmepumpen, wie sie beschrieben worden sind, aber auch ganz normaler Geräte, erfordert eine richtige Regelung. Die „Revolution bei der Wärmepumpenregelung?“ fragte sich selbst und die Teilnehmer Dr. E. Shafai von der ETH Zürich im Titel seines Vortrages zur Impulsbreitenmodulation als Regelungsmethode.

Was verbirgt sich dahinter? Shafai verläßt die witterungsgeführte Zweipunktregelung der Rücklauftemperatur und geht zu einer umfassenden adaptiv lernenden Regelung über, welche außer der Außentemperatur als Maß für das Wetter die Wärmespeicherung bzw. die Zeitkonstante des Gebäudes, die Stromtarife, auch zeitlich veränderlich, und die Sperrzeiten einbezieht. Daraus wird jeweils der Wärmebedarf und die Leistungszahl bestimmt und daraus wiederum die für jede Bedingungskombination optimale Betriebszeit der Wärmepumpe bis zum nächsten Ausschalten und dem Wiedereinschalten. Dabei werden die Laufzeiten so vorausbestimmt, daß z. B. vor Sperrzeiten die Raumtemperatur im zulässigen Toleranz-



Dr. E. Shafai zeigt die Funktion und die Ergebnisse der pulsbreitenmodulierten Wärmepumpenregelung

bereich so weit ansteigt, daß sie nach Ablauf der Sperrzeit den zulässigen unteren Wert nicht unterschreitet. Dabei handelt es sich um extreme Spreizungen von $\pm 0,2$ K.

Die Wetterdaten des vergangenen Tages und die Wittertendenz bilden jeweils den Ausgangspunkt für die Vorgabe am aktuellen Tag. Aus der Differenz des daraus erwarteten Temperaturverlaufes wird dann die Anpassung für den Folgezyklus errechnet. Die thermischen Eigenschaften des Gebäudes werden vor Benutzung des Reglers meßtechnisch bestimmt und in das Programm eingefügt.

Noch nicht mit erfaßt wird der Strahlungsanteil, der die Wärmebilanz des Gebäudes nicht unwesentlich beeinflusst. Shafai konnte dazu auch dahingehende Ergebnisse vorweisen, daß größere Strahlungsbeiträge zum Überschreiten der eingestellten Raumtemperaturtoleranz führen.

Als Bilanz im Vergleich zu gewöhnlichen witterungsgeführten Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelungen konnte festgestellt werden, daß auch diese die Temperaturregelung wunschgemäß realisieren. Die pulsbreitenmodulierte Regelung macht das aber mit dem Ergebnis des halben Energieaufwandes für die Heizung. Bei solchen Vergleichen muß man sich natürlich immer fragen, welche Vergleichskonfiguration dem zu Grunde lag. Diese Frage kann der Berichterstatter hier leider nicht beantworten.

In der anschließenden lebhaften Diskussion wurde in Übereinstimmung mit dem Vortragenden hinsichtlich zwei schwer beherrschbarer Punkte verwiesen:

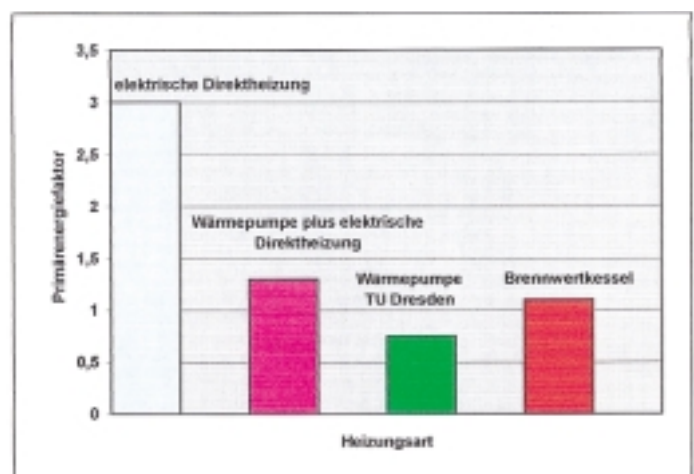
Der Wunsch nach unterschiedlicher Temperatur in den einzelnen Räumen des Gebäudes kann nur durch die konven-

tionelle Drosseleinstellung der Heizungskreise verwirklicht werden.

Die Gewohnheit der meisten Nutzer, an den Thermostaten ganz individuell zeitlich und temperaturmäßig Einstellungen vorzunehmen, bringt den Regler außer Tritt. Und diese Eingriffe werden nach Erfahrung um so häufiger vorgenommen, je mehr der Nutzer auf sparsamen Energieverbrauch orientiert ist. Ob er dabei wirklich spart, ist zwar fraglich, aber diesbezüglich lebenslang gewachsener Gewohnheit wird man nur schwer wissenschaftlich beikommen.

Im Ergebnis dieser drei zukunftsweisenden Vorträge bleibt also ein weites Feld, die Erkenntnisse umzusetzen. Wie

Der Primärenergieverbrauch verschiedener Wärmepumpen im Vergleich



wäre es z. B. mit der pulsbreitenmodulierten Zweikreiswärmepumpe? Dazu wird sicherlich vom Veranstalter später einmal zu hören sein. Anlässlich dieses Kolloquiums referierte Prof. Zschernig übergreifend zur Thematik der Wärmepumpenzukunft im ökologisch-ökonomischen Spannungsfeld. Dabei stellte er den Brennstoffverbrauch bzw. die relative

Brennstoffeneinsparung als ökologisch-ökonomisches Kriterium in den Mittelpunkt. Im Vergleich mit Brennwertkesseln, die seit vielen Jahren je Wärmeeinheit nahezu den gleichen Brennstoffverbrauch haben, weil sie mit einem Nutzungsgrad von ca. 100 % nahe an ihrer physikalischen Grenze angelangt sind, führten die Verbesserung des durchschnittlichen Kraftwerkswirkungsgrades in den neuen Bundesländern von 28 % auf 40 % und des Wärmepumpen-COP von 3,0 auf bis zu 4,5 zu einer relativen Brennstoffeinsparung bei Wärmepumpenanwendung von ca. 40 %. Und daß man heute Sole-Wasser Wärmepumpen bei Wärmequellentemperaturen von -5°C (Erdsonde im Beharrungszustand) mit Fußbodenheizung mit diesen COP-Werten betreiben kann, ist normal. Daraus folgt ein Vergleich der Primärenergiefaktoren für die verschiedenen Heizsysteme zu Gunsten der Wärmepumpe, und hinsichtlich der Lebensdauerkosten kann sich zwar der Gasbrennwertkessel mit der Wärmepumpe messen, aber nur bei Zugrundelegung der Zweikreiswärmepumpe der TU Dresden. Die Unterschiede sind allerdings nicht so wesentlich wie beim Primärenergiefaktor, aber stark abhängig von den sehr unterschiedlichen Kosten für den laufenden Preis des Brennstoffes bzw. der Elektroenergie einerseits und der Gerätebeschaffung andererseits. Insofern bildet der Primärenergiefaktor auch im Hinblick auf die Umweltbelastung eine realere Grundlage der objektiven Bewertung.

Das Kolloquium gab einen guten Einblick in die Neuerungen, mit denen man zukünftig der Wärmepumpe zu weiteren Erfolgen verhelfen kann, im Interesse unserer Umwelt und zum Nutzen für den Gebraucher.

U. A.