

Hydraulikschaltungs-Varianten

Standardlösungen für Kleinwärmepumpenanlagen

Dr. Thomas Afjei, Muttenz

Im Auftrag des Bundesamts für Energie werden im Projekt Standardlösungen (STASCH) einfache Hydraulikschaltungen für Wärmepumpenanlagen bis 25 kW untersucht, um so zuverlässigere und effizientere Gesamtsysteme zu erhalten. In einer ersten Etappe wurden Hydraulikschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen anhand ihrer Praxistauglichkeit und Fehler-toleranz evaluiert. Dieser Beitrag stellt einen Zwischenbericht dar.

Insgesamt werden 7 Varianten mit verschiedenen Wärmequellen und verschiedenen Wassererwärmungsmethoden für den Neubau (Heizungs-Vorlauf um 35–45 °C) und die Sanierung (Heizungs-Vorlauf bis max. 60 °C) untersucht. Beurteilungskriterien sind: Komfort, Jahres-nutzungsgrad, Investitionskosten, Jahres-kosten und Robustheit gegenüber Stö-rungen.

- Standardschaltung 1: Ohne Speicher, nur Heizen.
- Standardschaltung 2: Ohne Speicher, Heizen und Warmwasser.
- Standardschaltung 3: Mit Serienspeicher, nur Heizen.
- Standardschaltung 4: Mit Serienspeicher, Heizen und Warmwasser.
- Standardschaltung 5: Mit Parallelspeicher, nur Heizen.
- Standardschaltung 6: Mit Parallelspeicher, Heizen und Warmwasser.
- Standardschaltung 7: Mit Kombispeicher und Sonnenkollector, Heizen + Warmwasser.

Die 7 Schaltungen werden derzeit an der Hochschule für Technik und Architektur Luzern und der Fachhochschule beider Basel in Muttenz mit der haus-technischen Bibliothek „CARNOT“ in MATLAB/SIMLUNK simuliert. Zur Verifi-kation wurden drei Anlagen entsprechend der o. g. Schemata instrumentiert. Die Messungen erfolgen in 10-Minuten-Inter-vallen, um dynamische Vorgänge zu erfassen und einen Vergleich zwischen Simulation und Praxis zu gewährleisten. Die Meßergebnisse liegen Mitte 2002 vor.

Jedes Hydraulikschema (Standardschaltung) ergibt angewandt auf einen typischen Anwendungsfall eine Standardlösung. Für die Anwendung sind 3 Fragen zu beantworten:

1. Wie erfolgt die Warmwasserbereitung?
2. Ist der Durchfluß im Großen und Ganzen konstant oder ist eine hydraulische Entkopplung notwendig?
3. Wie träge ist das Wärmeabgabesystem?

Als Hilfsmittel wird eine Auswahl-matrix verwendet. Es ist vorgesehen, die gewonnenen Erkenntnisse in Form von STASCH-Planungshilfen für Installateure als vierseitige Merkblätter abzugeben. Diese Merkblätter beinhalten 7 Schaltungen mit Dimensionierungsanleitungen für Neubauten und Sanierungen mit tieferen Heizungs-Vorlauftemperaturen. Zusätzlich ist Ende 2002 ein Merkblatt für spezielle Sanierungs-Wärmepumpen für höhere Heizungs-Vorlauftemperaturen und mit integrierter Warmwasserbereitung ge-plant.

zum Autor

Dr. Thomas Afjei*,
Fachhochschule
beider Basel
FHBB, Institut
für Energie,
CH-Muttenz



Die Projektziele

Die Zielsetzungen umfassen die Definition einer möglichst einfachen und doch effizienten Standardlösung für Klein-Wärmepumpenanlagen von 5 bis 25 kW. Die Anwendungsfälle beinhalten:

- Luft, Erdreich und Solarthermie als Wärmequelle
- Warmwassererzeugung mit der Wärmepumpe (integriert/separat) oder solar
- Neubau ($T_{VL} < 45 \text{ °C}$) und Sanierung ($T_{VL} < 60 \text{ °C}$)

Das erwartete Ergebnis ist eine Dokumentation von Standardlösungen, bestehend aus Standardschaltungen, Regelkonzepten und Dimensionierungsanleitungen für typische Anwendungsfälle.

Zwei Schritte zur richtigen Standardlösung

Das Wärmepumpen-Testzentrum in Winterthur-Töss hat auf der Wärmepumpenseite klare Verhältnisse geschaffen. Die Aufgabe von STASCH wird es sein, dies auf der Anlagenseite zu verwirklichen. Dazu werden im Wesentlichen drei Planungs-Hilfsmittel benötigt:

* Leiter des Projektteams STASCH, bestehend aus FHBB Institut für Energie, HTA Luzern, Eicher u. Pauli AG, PLANAIR SA, Gabathuler AG

1. Standardanwendungen; eine Systematik der Anwendungsfälle
2. Standardlösungen; hydraulische Schaltung + Regelkonzept + Auslegung
3. Auswahlmatrix; welche Standardschaltung ist für welche Standardanwendung wie gut geeignet?

Simulationsrechnungen mit MATLAB/SIMULINK sollen Entscheidungsgrundlagen für die optimale Auslegung und Abgrenzung der verschiedenen Hydraulikschaltungen und Regelkonzepte liefern.

Der Planer/Installateur geht in zwei Schritten vor:

1. Schritt: Auswahl der Standardlösung (= Schema + Anwendung) mit Hilfe der Auswahlmatrix
2. Schritt: Auslegung der ausgewählten Standardlösung (= Dimensionierung + Regelung)

Im Folgenden werden diese beiden Schritte, die der Planer/Installateur bei jeder Wärmepumpenanlage erneut auszuführen hat, so beschrieben, wie sie sich aus heutiger Sicht darstellen. Für die endgültige Fassung können sich noch wesentliche Änderungen ergeben.

Schritt 1: Auswahl der Standardlösung mit Hilfe der Auswahlmatrix

Standardanwendungen

Am Anfang steht immer ein ganz bestimmter Anwendungsfall (= Standardanwendung). Dafür muß die beste Schaltung (= Standardlösung) gefunden werden. Dieser Tatsache ist insbesondere auch im Hinblick auf den angepeilten Sanierungsmarkt Rechnung zu tragen.

Als erstes ist deshalb eine Systematik der Anwendungsfälle mit einer – wenn möglich nicht zu großen – Anzahl von Standardanwendungen zu erstellen. Aus heutiger Sicht genügt es für eine genügend feine Systematik, wenn drei Fragen beantwortet werden, wobei jede Frage zwei oder drei „multiple choice“ Antworten zuläßt:

1. Wie erfolgt die Warmwasserbereitung?
 - Ohne Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe
 - Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe (Solarunterstützung für Warmwasser möglich)
 - Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe mit Solarunterstützung für Heizung und Warmwasser
2. Ist der Durchfluß im Großen und Ganzen konstant oder ist eine hydraulische Entkopplung notwendig?
 - Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25 %
 - Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25 %
 - Mehrere geregelte Heizgruppen (Anteil Thermostatventile spielt keine Rolle)
3. Wie träge ist das Wärmeabgabesystem?
 - Naß verlegte Fußbodenheizung, allenfalls mit kleinem Anteil Heizkörperheizung
 - a) Trocken verlegte Fußbodenheizung oder
b) naß verlegte Bodenheizung mit wesentlichem Anteil Heizkörperheizung oder
c) reine Heizkörperheizung

Aus den drei Fragen ergeben sich maximal $3 \times 3 \times 2 = 18$ Standardanwendungen.

Standardisierte Hydraulik schemata

Die Diskussionen im Rahmen eines Workshops mit Herstellern und Projektpartnern zeigten, daß die 7 hydraulischen Schemata gemäß Bild 1 weitaus die häufigsten sind.

Auswahlmatrix

Die Auswahlmatrix gemäß Tabelle 1 ergibt sich aus Bild 1. Hierzu einige ergänzende Bemerkungen: Bewertung „☺“ beim Parallelspeicher, weil Seriespeicher bes-

ser wäre (nur eine Pumpe, einfachere Montage). Bei der Standardlösung 7 ist diese Differenzierung nicht mehr möglich, weil nur diese Standardlösung eine Solarenergienutzung für Heizung und Warmwasser zuläßt (es könnte aber trotzdem die Frage gestellt werden, ob Solarenergienutzung allein für Warmwasser nicht sinnvoller wäre)

Schritt 2: Auslegung der ausgewählten Standardschaltung

Mit Hilfe der Matrix wurde in Schritt 1 aus den vorgegebenen Standardschaltungen die voraussichtlich geeignetste ausgewählt. Damit ist aber lediglich die hydraulische Schaltung gegeben, mögliche Varianten der hydraulischen Schaltung, Regelkonzept und Auslegungshinweise, welche zur Standardlösung führen, fehlen noch. In der endgültigen Form könnten die Standardlösungen beispielsweise durch sieben Merkblätter beschrieben werden, welche die folgenden Kapitel enthalten:

- Prinzipschema der hydraulischen Schaltung mit möglichen Varianten (entsprechend Bild 1)
- Grundlagendaten (unterschiedlich für Neubau und Sanierung)
- Auswahl Varianten
- Auswahl Regelkonzept
- Auslegung

Auswahl Varianten

Auf der einen Seite gilt, je weniger Varianten, desto einfacher und sicherer wird die Anwendung der Standardschaltungen in der Praxis sein. Auf der anderen Seite wird eine minimale Anzahl von Varianten unumgänglich sein (in Bild 1 eingezeichnet):

- Elektrischer Durchlauferhitzer mit Sicherheitsventil
- Elektroheizeinsatz im Heizwasserspeicher mit Sicherheitsventil
- Seriespeicher im Vorlauf anstatt im Rücklauf
- Überströmventil
- 3 oder 4 Speicheranschlüsse beim Parallelspeicher
- Mehrere Heizgruppen mit Mischventilen
- Externer Wärmetauscher zur Wassererwärmung (nicht zusammen mit H)
- Solar-Wärmetauscher (nicht zusammen mit G)
- Elektroheizeinsatz im Wassererwärmer

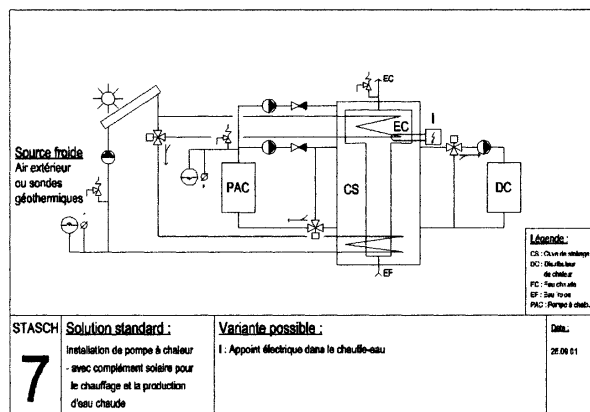
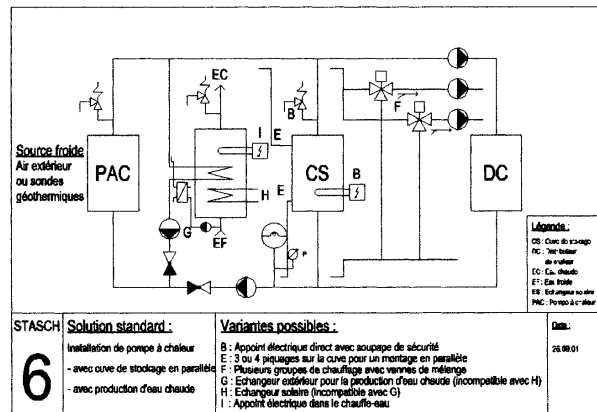
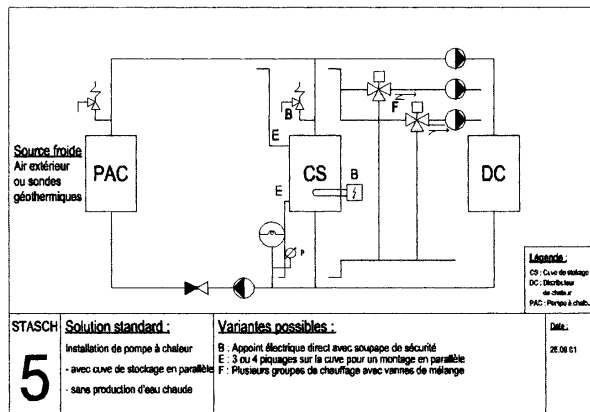
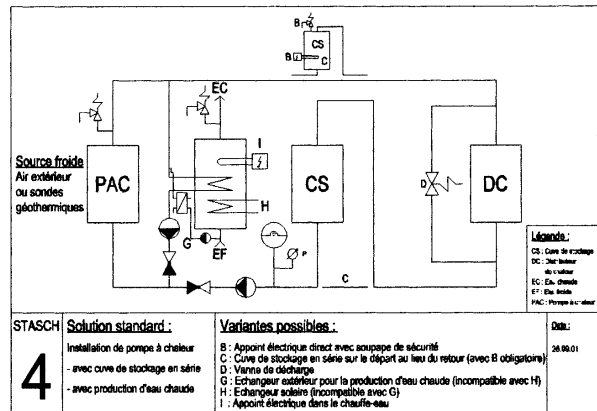
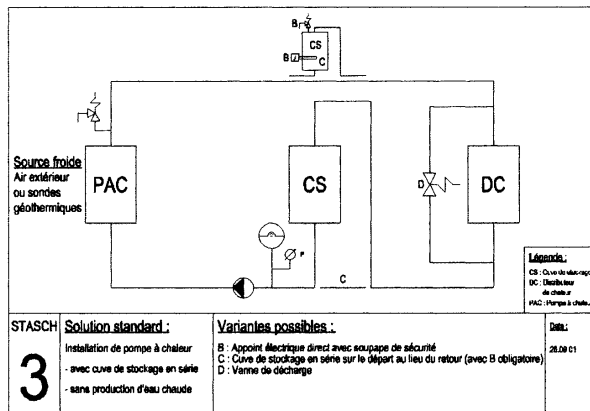
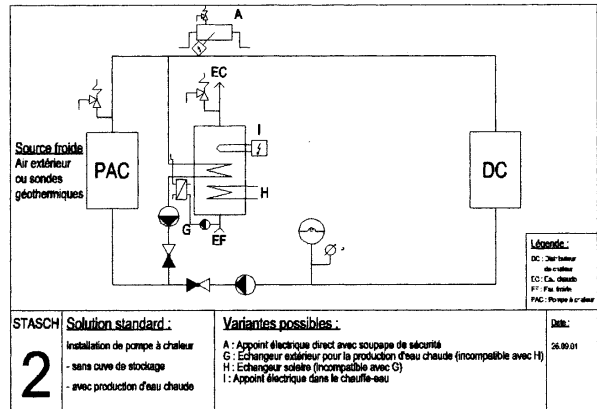
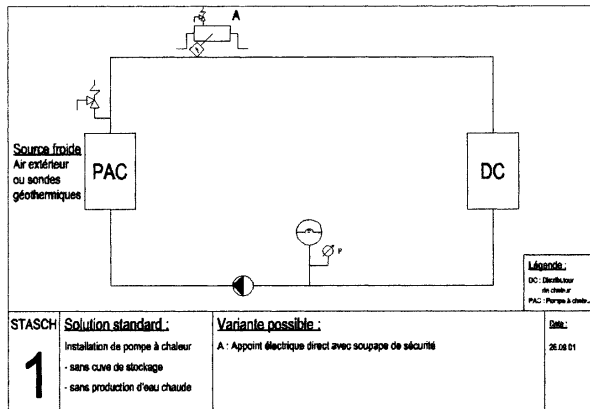


Bild 1
Hydraulikschemata für Standardlösungen

Anm.: Für Schaltung 7 steht noch eine einfachere Variante mit einem Wärmetauscher und ohne separate Pumpe zur Beheizung des obersten Speicherbereichs zur Auswahl (siehe Bild 2)

Typische Anwendungen ↓			Standardschaltungen →						
			Ohne Heizwasserspeicher		Heizwasserspeicher in Serie im Rücklauf		Heizwasserspeicher parallel		Heizwasserspeicher mit integr. Warmwasserspeicher
			ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	ohne WW-Speicher	mit WW-Speicher	
			1	2	3	4	5	6	7
O	K	N 1	☺	–	☹	–	☹	–	–
		T 2	☹	–	☺	–	☺	–	–
	V	N 3	☹	–	☺*	–	☺	–	–
		T 4	☹	–	☺*	–	☺	–	–
	E	N 5	☹	–	☹	–	☺**	–	–
		T 6	☹	–	☹	–	☺**	–	–
W	K	N 7	–	☺	–	☹	–	☹	–
		T 8	–	☹	–	☺	–	☺	–
	V	N 9	–	☹	–	☺	–	☺	–
		T 10	–	☹	–	☺	–	☺	–
	E	N 11	–	☹	–	☹	–	☺**	–
		T 12	–	☹	–	☹	–	☺**	–
S	K	N 13	–	–	–	–	–	–	☺
		T 14	–	–	–	–	–	–	☺
	V	N 15	–	–	–	–	–	–	☺
		T 16	–	–	–	–	–	–	☺
	E	N 17	–	–	–	–	–	–	☺
		T 18	–	–	–	–	–	–	☺

Wie erfolgt die Warmwasserbereitung?

O Ohne Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe

W Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe (Solarunterstützung für Warmwasser möglich)

S Warmwasserbereitung über die Wärmepumpe mit Solarunterstützung für Heizung und Warmwasser

Ist der Durchfluss einigermaßen konstant und/oder ist eine hydraulische Entkopplung notwendig?

K Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile < 25% (eher konstanter Massenstrom)

V Eine einzige geregelte Heizgruppe, Anteil Thermostatventile ≥ 25% (es muss mit stark variablem Massenstrom gerechnet werden)

E Mehrere geregelte Heizgruppen, d.h. hydraulische Entkopplung zum druckdifferenzarmen Anschluss der Heizgruppen in Beimischschaltung notwendig (auf der Sekundärseite der Heizgruppen spielt der Anteil Thermostatventile keine Rolle)

Wie träge ist das Wärmeabgabesystem?

N Nass verlegte Fussbodenheizung, allenfalls mit kleinem Anteil Heizkörperheizung

T Trocken verlegte Fussbodenheizung oder nass verlegte Fussbodenheizung mit wesentlichem Anteil Heizkörperheizung oder reine Heizkörperheizung

Empfehlungen (aus heutiger Sicht)

☺ Zur Realisierung empfohlen

☹ Bedingt zur Realisierung empfohlen

☹ Nicht zur Realisierung empfohlen

☹ Verbotene Lösung

– Nicht sinnvolle Kombination

* Variante mit Überströmventil

** Variante mit Mischventilen für mehrere Heizgruppen

Tabelle 1 Auswahlmatrix und Beispiele für eine empfohlene und verbotene Lösung

Auswahl Regelkonzept

Das Regelkonzept ist heute im Wesentlichen bereits durch die gewählte Hydraulikschaltung vorgegeben:

Standardlösung 1 + 3 – Wärmeabgabe, witterungsgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung).

Standardlösung 2 + 4 – Wärmeabgabe, witterungsgeführte Zweipunkt-Rücklauftemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung); Warmwasserbereitung, alternativ mit 100 % Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung).

Standardlösung 5 – Bei einer einzigen Heizgruppe: Wärmeabgabe, witterungsgeführte Heizwasserspeichertemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung); bei mehreren Heizgruppen (hydraulisch entkoppelt): Speicherladung, witterungsgeführte Stufenladung Heizwasserspeicher (ggf. mit Abtauungssteuerung); Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelungen.

Standardlösung 6 – Bei einer einzigen Heizgruppe: Wärmeabgabe, witterungsgeführte Heizwasserspeichertemperaturregelung (ggf. mit Abtauungssteuerung); Warmwasserbereitung, alternativ mit 100 % Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung); bei mehreren Heizgruppen (hydraulisch entkoppelt): Speicherladung, witterungsgeführte Stufenladung Heizwasserspeicher (ggf. mit Abtauungssteuerung); Wärmeabgabe, witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelungen; Warmwasserbereitung, alternativ mit 100 % Wärmepumpenleistung (ggf. mit unabhängiger Solar-Steuerung/Regelung).

Standardlösung 7 – Speicherladung mit Wärmepumpe Winter: Stufenladung des mittleren Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Durchgang, untere Pumpe in Betrieb); Speicherladung mit Wärmepumpe Sommer: Nachwärmung des oberen Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Umlenkung, obere Pumpe in Betrieb); Speicherladung Solar: Vorwärmung des untersten Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Durchgang), Erwärmung des mittleren und oberen Speicherbereichs (Dreiwegventil auf Umlenkung); Wärmeabgabe: Witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung (ggf. auch mehrere Gruppen möglich). Die in Bild 2 gezeigte Schaltung ist wesentlich einfacher aufgebaut und wird daher auch als Variante untersucht.

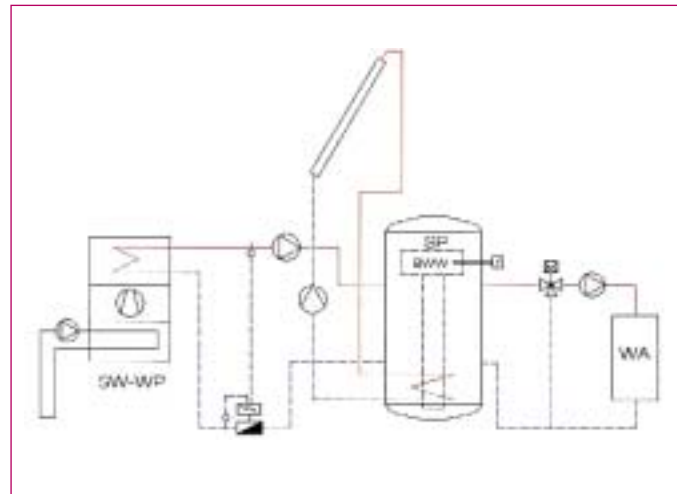


Bild 2
Einbindung des Kombispeichers bei den gemessenen Wärmepumpenanlagen mit Solarunterstützung

Zu beachten ist auch, wo Fühler und Thermostatventile eingebaut, und welche Sollwerte und Hysterese(n) im Heizungsregler eingestellt sind. Eine Einzelraumregelung mittels Thermostatventilen ist grundsätzlich bei den Schaltungen 3–7 immer möglich. Eine Raumtemperaturaufschaltung ist grundsätzlich bei allen Schaltungen möglich, allerdings nur, wenn ein geeigneter Referenzraum mit geeigneter Meßstelle gefunden werden kann (beim Mehrfamilienhaus beispielsweise kaum möglich). Die Raumtemperaturaufschaltung kann unterschiedlichen Zwecken dienen:

- Momentane Absenkung der Heizkurve (Parallelverschiebung) solange die Störung anhält.
- Sukzessive Optimierung der Heizkurve (Adaptive Heizungsregler oder sog. „Optimizer“).
- Anzeige der Raumtemperatur als Hilfsgröße zur Optimierung der Heizkurve.

Die Erfahrungen der letzten 15 Jahre mit der Raumtemperaturaufschaltung sind eher negativ. Wesentliche Vorteile der Einzelraumregelung mittels Thermostatventilen entfallen, die Raumtemperaturaufschaltung ist keine Einzelraumregelung und die Kombination von Raumtemperaturaufschaltung und Thermostatventile im Referenzraum sind tödlich. Einen geeigneten Referenzraum mit geeigneter Meßstelle zu finden ist schwierig, und die Gefahr, daß dabei Fehler passieren, ist groß. Die Nutzung der Räume kann sich ändern. Optimizer sind infolge schlechter Erfahrungen wieder weitgehend vom Markt verschwunden.

Simulationen

Die Projektgruppe entschied sich, die Simulationen auf der MATLAB/SIMULINK-Plattform durchzuführen. Ausschlaggebend dafür war die Verfügbarkeit der haustechnischen Bibliothek CARNOT (Conventional And Renewable eNergy Optimisation Toolbox), welche am Solarinstitut Jülich (SIJ) der FH-Aachen in Deutschland entwickelt und bei den Viessmann-Werken in Allendorf erfolgreich eingesetzt wird [2]. Alle vorgeschlagenen Standardlösungen 1 bis 7 gemäß Bild 1 werden simuliert.

Für die Wärmepumpe wurde ein verbessertes Modell [4] implementiert, welches auf biquadratischen Polynomen beruht, die nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate an die Datenpunkte der EN 255 [7] angepaßt werden. Das Anfahr- und Abkühlverhalten wird mit entsprechenden Zeitkonstanten als PT_1 -Glied simuliert. Bei Luft/Wasser-Wärmepumpen wird auch ein statistisches Modell zur COP-Reduktion in Funktion Quelltemperatur angewandt.

Als Gebäude wird ein Einfamilienhaus mit 4 Personen (2 Erwachsene, 2 Kinder) verwendet. Dabei ist auch von Interesse, was passieren würde, wenn sich das Benutzerverhalten ändert, wie z.B. 4 Erwachsene anstatt 2 Erwachsene/2 Kinder.

Komfortkriterien

Die Komfortkriterien oder Behaglichkeitsmaßstäbe werden nach einer von Prof. Ole Fanger statistischempirisch ermittelten Komfortformel berechnet, welche auch in der SIA180:1999 enthalten ist [3]. Die thermische Behaglichkeit eines Menschen in einem Raum hängt ab von:

- a) Den Einflüssen des Raumes:
- Raumlufttemperatur
 - mittlere Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen (Strahlungstemperatur)
 - Luftbewegung (Geschwindigkeit, Richtung, Turbulenz)
 - relative Raumluftfeuchte
- b) Den Einflüssen des Menschen:
- seiner Tätigkeit, d. h. Wärmeabgabe des Körpers in *met*
 - seiner Bekleidung, d. h. Wärmedämmwert in *clo*
 - seinem physiologischen Zustand

Die folgende empirische Formel berechnet den Prozentsatz der unzufriedenen Personen (Percentage of Persons Dissatisfied). Sie gilt für Luftgeschwindigkeiten über 0,05 m/s. Die darin enthaltene Zahl 34 bezieht sich auf die Hauttemperatur t_s bei einer leicht sitzenden Tätigkeit (1 met) mit normaler Haus- oder Arbeitsbekleidung (0.8 clo):

$$PPD = (v - 0.05)^{0.6} \cdot (3 + 37 \cdot v \cdot T_u) \cdot (34 - t_L) \text{ in } \%$$

wobei
 v mittlere Luftgeschwindigkeit in Personennähe in m/s
 T_u Turbulenzgrad, berechnet aufgrund der in 84 % der Messungen nicht erreichten Geschwindigkeit (v_{84}) und der in 50 % der Messungen erreichten oder überschrittenen Geschwindigkeit (Medianwert v_{50})
 t_L Raumlufttemperatur in °C

Nach SIA 180 sind PPD-Werte für die Zugluft bis 20 % zulässig, sofern die optimale Raumlufttemperatur eingehalten ist. Im Projekt STASCH soll die Grenze jedoch bei 10 % gezogen werden (siehe Bild 4).

Da die Luftgeschwindigkeit und der Turbulenzgrad aus der MATLAB/SIMULINK-Simulation nicht explizit hervorgehen wird, – dies wäre nur bei aufwendigen CFD-Simulationen der Fall –, werden dafür fixe Parameter angenom-

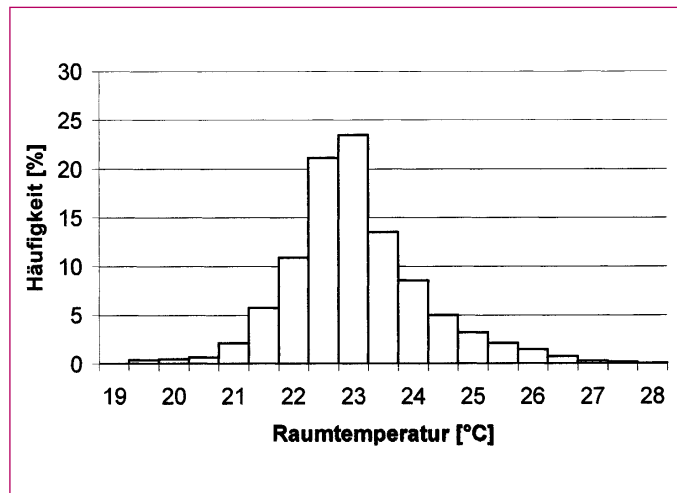


Bild 3
Temperaturverteilung im EG eines EFH in Schötz [5], Kanton Luzern

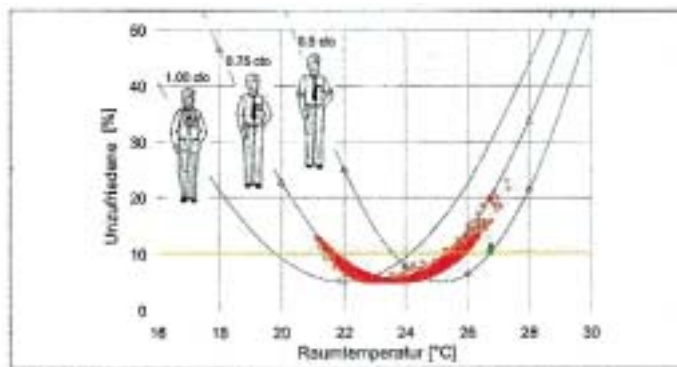


Bild 4
Anzahl Unzufriedener (PPD) bei verschiedenen Raumlufttemperaturen in einem Büro im Sommer [6]

(Anm.: 5 % Unzufriedene sind das nach O. Fanger erreichbare Optimum)

men. Die einzige verbleibende Variable ist die Raumlufttemperatur. Der PPD-Wert wird somit eine Funktion der Temperaturverteilung (Bild 3).

Ein möglicher **Komfortfaktor** ist das Verhältnis „behaglicher Stunden“ zum gesamten betrachteten Zeitraum:

$$\text{Komfortfaktor} = \frac{\text{PPD-Stunden unter } 10 \% \text{ PPD}}{\text{PPD-Stunden}}$$

Die zonenweise gebildeten Komfortfaktoren müssen dann noch für die verschiedenen thermischen Zonen gewichtet werden, da der Komfort im Hauptaufenthaltsbereich von größerer Bedeutung ist als in den Nebenräumen.

Die Definition des Komfortfaktors und die zu einem gewissen Grad willkürliche Gewichtung der thermischen Zonen sind ein Versuch, den Komfort für die verschiedenen Simulationsvarianten konsistent erfassen zu können. Er bildet neben Anlageneffizienz und Wirtschaftlichkeit ein bedeutendes Beurteilungskriterium. □

Literatur

- [1] Afjei, Th.; Schonhardt, U.; Eicher, H. P.; Erb, M.; Gabathuler, H. R.; Mayer, H.; Zweifel, G.; Achermann, M.; Renaud, P.: Standardschaltungen für Kleinwärmepumpenanlagen, Zwischenbericht im Auftrag des Bundesamts für Energie, Institut für Energie der FHBB, 7/2001, CH.
- [2] C. Wemhöner: CARNOT Blockset – Conventional And Renewable eEnergy Optimisation Toolbox, Vorstellung an der ETH Zürich am 27.9.2001, Solarinstitut Jülich – FH Aachen (DE).
- [3] SIA 180: Wärme- und Feuchteschutz im Hochbau, Ausgabe 1999, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Postfach, CH-8039 Zürich.
- [4] U. Schonhardt, Th. Afjei: Kompressionswärmepumpe mit Takt- und Frostverlusten, Modelldokumentation für Projekt STASCH im Auftrag des Bundesamts für Energie, Institut für Energie der FHBB, 1/2002, CH.
- [5] Afjei, Th.; Betschart, W.; Bonvin, M.; Geering, H. P.; Ginsburg, S.; Keller, P.; Shafai, E.; Wittwer, D.; Zweifel, G.: Kostengünstige Niedrigtemperaturheizung mit Wärmepumpe. Phase 3: Messungen an drei Funktionsmustern, Benutzereinfluss, Vergleich verschiedener Heiz- und Regelkonzepte. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung (UAW). Bundesamt für Energie (BFE), Bern, CH, 2000.
- [6] V. Dorer, A. Haas, M. Koschenz: Den Komfort planen, Gebäudetechnik 3/2001, CH.
- [7] EN 255: Luftkonditionierer, Flüssigkeitskühlsätze und Wärmepumpen mit elektrisch angetriebenen Verdichtern – Heizen, Teile 1 und 2, Ausgabe 1997, SNV, Mühlebachstrasse 54, CH-8008 Zürich.

Anzeige