



Kapillarrohrmattensystem zur effektiven Nutzung von Solarenergie und Erdwärme

Siegfried Rolle, Roy-Oliver Adams, Marko Friedemann, Henner Hoppe, Michael Jergović

1. Vorbetrachtungen zur Energieeinsparung

Mit nahezu 30 % Endenergieverbrauch liegen die Haushalte in gleicher Größenordnung, wie der Verkehr oder die Industrie und sind damit ein bedeutender Faktor bei allen Energiebetrachtungen. Zwei Drittel dieser Energie werden zu Heizzwecken eingesetzt. [1] Fortschritte bei der Nutzung alternativer Energien insbesondere CO₂-neutraler Systeme und energiesparender Technologien sind daher von großem Interesse.

In diesem Artikel wird eine Möglichkeit der Nutzung von Solarwärme unter Einbeziehung von saisonalen Speichern beschrieben. Der Einsatz eines flüssigkeitsdurchströmten Kapillarrohrmattensystems aus Kunststoff in Gebäuden ermöglicht eine Reihe effektiver Lösungen zum Wärmeübergang sowohl zur Kühlung als auch zur Heizung. Das Gesamtsystem thermischer Solarkollektor, Wärmeübergang (Heizung/Kühlung), Wärmepumpe und saisonaler Speicher im Gebäude bietet gute Bedingungen für ein energiesparendes Temperaturmanagement.

Vorausgesetzt werden alle Maßnahmen zur Energieeinsparung am Gebäude gemäß der 2. Novellierung der Wärmeschutzverordnung von 1995, die technisch gegenwärtig relativ unproblematisch umgesetzt werden können.

2. Energiekonzept

2.1 Beschreibung des Installationsbeispiels

Die Ausführung eines Installationsbeispiels wurde in einem Musterhaus (Fertigteilhaus der Firma Ekofors Fabriks AB, Schweden, Standort: Oranienburg) realisiert, welches im folgenden beschrieben wird. Auf bautechnische Einzelheiten soll hier nicht eingegangen werden.

Die wichtigsten Daten des Gebäudes:

4 Personenhaushalt

Wohnfläche:		95 m ²
Außenfassade:	Erdgeschoß	≈ 90 m ²
	Dachgeschoß	≈ 39 m ²
Fensterfläche:		≈ 42 m ²
Dachfläche:		≈ 120 m ²
Dachneigung:		45°

k-Werte ausgewählter Bauelemente:

Außenwand	Erdgeschoß	0,25 W/m ² K
Giebelseite	Dachgeschoß	0,25 W/m ² K
Dach		0,23 W/m ² K
Fenster, Fenstertüren		1,50 W/m ² K
Haustür		1,00 W/m ² K

Der Wandaufbau besteht im wesentlichen aus einem außenliegenden Klinkermauerwerk mit darunterliegender Holz/Mineralwolle-Sandwichwand.

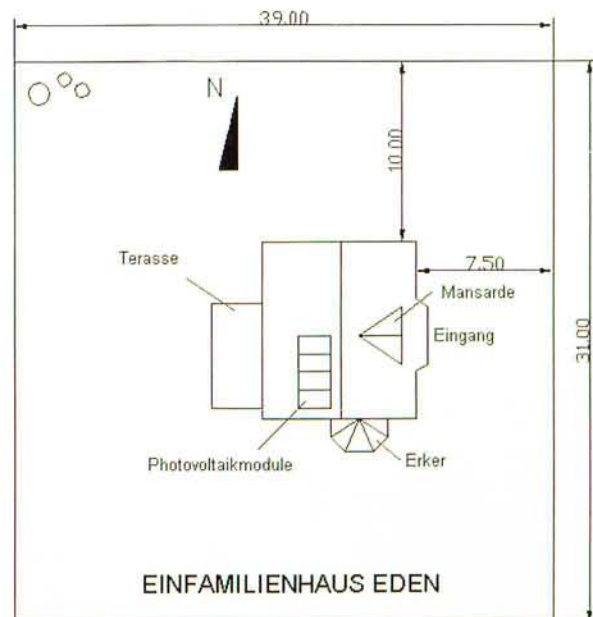


Bild 1: Lageskizze mit örtlichen Gegebenheiten des Musterhauses

2.2 Basiskomponenten

2.2.1 Kapillarrohrmattensystem

Zum Einsatz kommt das flüssigkeitsdurchströmte Kapillarrohrsystem CLINA® der Firma Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH Berlin, welches in Form von Matten aus Polypropylen hergestellt wird. Dieses System wird insbesondere zum Kühlen von Industriegebäuden über 15 Jahre angewendet.

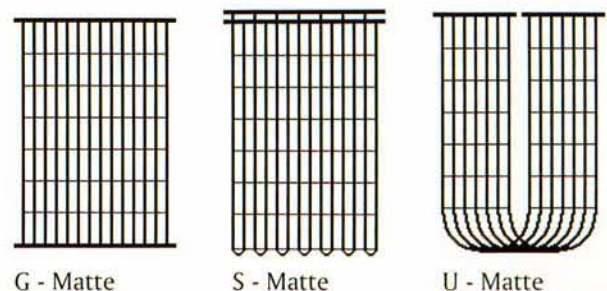


Bild 2: Konfektionierte Kapillarrohrmattentypen

Zwischen zwei Stammrohren (Vor- und Rücklauf) mit einem Durchmesser von 20 mm befinden sich die Kapillarröhrchen (Außendurchmesser 3,4 mm, Innendurch-



messer 2,3 mm) in verschiedenen Verlegearten (Kapillarrohrmattentypen, siehe Bild 2). Die Abstände der Röhren sind vom Mattentyp abhängig und können auch individuell variiert werden. Die maximale Kapillarrohrlänge sollte aus strömungstechnischen Gründen 12 m nicht überschreiten.

Das Kapillarrohrmattensystem ist äußerst flexibel und kann den verschiedenen Gegebenheiten der Einsatzorte sehr gut angepaßt werden. Durch die geringen Einbauhöhen (ca. 30 mm an den Sammlern bzw. ca. 10 mm an den Kapillaren) können die Matten im Fußboden, in der Decke, an Wänden und im Dachbereich angebracht werden.

Die relativ geringen Abmessungen der Vorlauf- und Rücklaufkapillare ermöglichen eine höhere Anzahl von Kapillaren pro Fläche im Mattensystem anzuordnen. Dadurch ergibt sich ein sehr günstiges Verhältnis von Wärmeübergangsfläche zu bedeckter Gesamtfläche bei minimaler Baudicke. Für Standardmatten (siehe Bild 3) beträgt dieses Verhältnis 0,74 (74 %) im Vergleich zu 0,40 (40 %) bei konventionellen Fußbodenheizungen (siehe Bild 4).

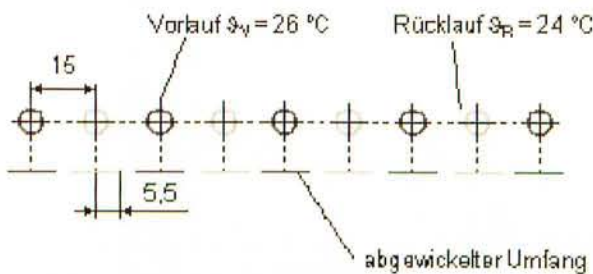


Bild 3: Wärmeübergangsflächen beim Kapillarrohrmattensystem (Schnitt, schematisch)

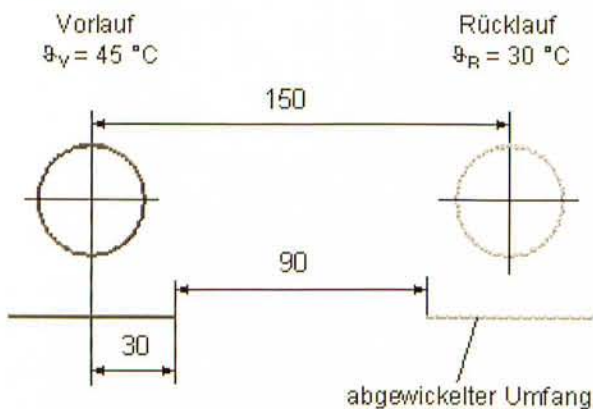


Bild 4: Wärmeübergangsflächen bei einer konventionellen Fußbodenheizung (Schnitt, schematisch)

Durch diese vorteilhaften Flächendaten kann im Fall der Heizung mit diesem System die Vorlauftemperatur gesenkt werden. Die Nutzung niedriger Wärmepotentiale, wie sie z. B. im Erdreich vorhanden sind, kommt so in den Bereich der Wirtschaftlichkeit. Für eine Wohnraumerwärmung auf 20°C bei angenommener Außentemperatur von -14°C reicht unter den gegebenen Bedingungen und einer Fußbodenverlegung im gesamten Raum

eine Vorlauftemperatur von ca. 30°C . Bei Standardfußbodenheizungen liegt dieser Wert bei ca. 45°C .

Für den Betrieb des Kapillarrohrmattensystems ist die korrosionsfreie Auslegung des Flüssigkeitskreislaufes zu beachten. Korrosionsprodukte würden zu Verunreinigungen in der Flüssigkeit führen, die die Kapillaren verstopfen können. Im Leitungsbereich können Kunststoffe eingesetzt werden. Die Armaturen (z. B. Pumpen) sollten aus Bronze bestehen. Mit einem geringen Aufpreis ist diese Anforderung realisierbar. Sollten Kapillaren beschädigt werden, z. B. bei Arbeiten am Fußboden oder an den Wänden, werden die betroffenen Stellen verschweißt. Diese zwar dauerhaft ausfallende Kapillare, beeinflusst das Gesamtsystem aber praktisch nicht, da nur ein kleiner Flächenanteil betroffen ist.

Im betrachteten Anwendungsfall wurden die Kapillarrohrmatten wie folgt installiert:

Erdgeschoß:	in allen Räumen im Fußboden	S-Matte
Dachgeschoß:	Kinder- und Schlafzimmer	
	in Wand, Dachschräge und Decke	G-Matte
	Bad im Fußboden	S-Matte
	in der Wand	G-Matte
	Flur im Fußboden	S-Matte
Dach:	direkt unter den Dachziegeln	G-Matte

Das Kapillarrohrmattensystem läßt sich auch an ein vorhandenes Heizsystem (Öl, Gas usw.) anschließen, als separater Regelkreis mit Wärmetauscher und einem Mischventil zur Temperaturbegrenzung auf maximal 40°C , jedoch ohne Kühlung.

2.2.2 Saisonaler Erdspeicher

Der saisonale Erdspeicher befindet sich im Bodenbereich des Hauses und ist in mehrere Speicherbereiche untergliedert (siehe Bild 5). Es ist ein Niedrigtemperaturspeicher, da seine Arbeitstemperatur bei maximal 30°C liegt. [2]

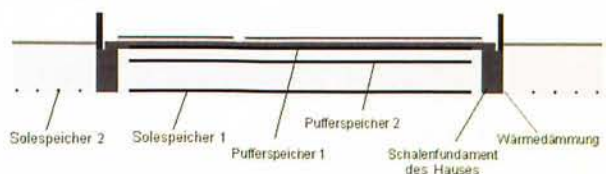


Bild 5: Querschnitt durch den Fundamentbereich des Hauses mit verschiedenen Speicherbereichen

Für Heizungszwecke muß der gesamte Erdspeicher mit einer Wärmepumpe gekoppelt werden. Der Wärmetransport erfolgt durch ein Wasser-Glykol-Gemisch in Polyäthylenschläuchen von 40 mm Querschnitt in vier separaten Kreisen. *Pufferspeicher 1* befindet sich direkt in der Fundamentplatte, *Pufferspeicher 2* ca. 35 cm tiefer in der Aufschüttung. Hier soll die überschüssige Wärme der Solarflachkollektoren zwischengespeichert werden. Sie kann bei Heizbedarf wieder abgenommen werden, entweder direkt oder mit Unterstützung der Wärmepumpe.



Die *Solespeicher 1* und *2* befinden sich in ca. 1 m Tiefe, der *Solespeicher 1* unterhalb des Hauses und *Solespeicher 2* außerhalb der Hausfläche. In diesen oberflächennahen Bereichen wird die Temperatur des Erdreiches wesentlich durch solare Einstrahlung, Abstrahlung, Konvektion, Niederschläge und nur gering durch Wärmeleitung aus dem Erdinneren bestimmt. Eine völlige Entkopplung von den atmosphärischen Vorgängen ist erst unterhalb 10 m Tiefe zu erwarten. Damit ist die Temperatur des Erdreiches zwar an die jeweilige Außentemperatur gekoppelt, eine ausreichende Pufferung ist jedoch vorhanden. Im Winter liegt die Temperatur des Bodens überwiegend oberhalb der Lufttemperatur, so daß das Erdreich als Wärmereservoir für eine Wärmepumpe genutzt wird. Im Sommer liegt die Bodentemperatur überwiegend unterhalb der Lufttemperatur (Wärmesenke) und wird direkt zum Kühlen der Räume genutzt.[3] [4]

2.2.3 Flachkollektor und Wärmepumpe

Zur Unterstützung der Gewinnung thermischer Solarenergie sind auf der Westseite des Daches vier Flachkollektoren (UFE SOLAR Eurostar SC 24) installiert worden. Jeder Kollektor hat eine Absorberfläche von 2,1 m².

Die eingesetzte Wärmepumpe der Firma Turbovent Schweden arbeitet mit einer Leistungsaufnahme von 1,4 kW und einer -abgabe von 8,0 kW. Die Leistungszahl beträgt unter Normbedingungen 4,5.

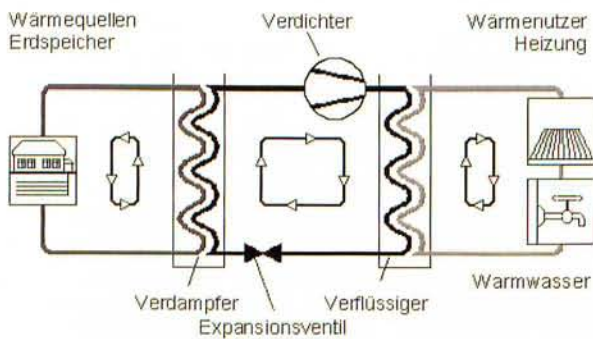


Bild 6: Prinzipieller Aufbau der Wärmepumpenanlage

Die Wärme, die sich auf einem unteren Temperaturniveau (Erdspeicher) befindet, wird durch Zufuhr von Energie auf ein höheres Temperaturniveau gebracht. Im Verdampfer entzieht das Arbeitsmittel des Kreisprozesses dem durch eine Pumpe geförderten Massenstrom der Wärmequelle (Erdspeicher) die zur Verdampfung notwendige Wärme. Der Verdichter saugt die Dämpfe aus dem Verdampfer ab und erhöht den Druck sowie die Temperatur unter Einwirkung von elektrischer Energie. Im Verflüssiger kondensieren die erhitzten Dämpfe und geben dabei die dem Erdspeicher entzogene Wärme an die Wärmenutzungsanlage (Heizung und Warmwasser) ab. [5]

2.3 Energiemanagement

2.3.1 Jahreszeitliche Abhängigkeit der Betriebszustände

Das Betriebsjahr wird in zwei Perioden eingeteilt, die folgende Betriebszustände aufweisen (Tafel 1):

Jahreszeitliche Betriebsarten	Betriebszustand
Sommerbetrieb	1. Bereitstellung von Warmwasser 2. Kühlen des Dachgeschosses mit Erdspeicher Sole 2 3. Wärmespeicherung in Pufferspeicher 1 und 2
Winterbetrieb	1. Bereitstellung von Warmwasser 2. Heizen der Räume mit Erdspeicher Sole 1 und den Pufferspeichern 3. Wärmespeicherung in Pufferspeicher 1 und 2

Tafel 1: Betriebszustände in einem Betriebsjahr

Das solare Energieangebot wird über das gesamte Jahr genutzt. Flachkollektoren und Kapillarrohrmatten nehmen die Wärme auf. Je nach Bedarf und Energieniveau wird sie verteilt bzw. gespeichert. Liegt die in den Kollektoren erreichte Temperatur unter dem Bedarfsniveau, aber über einem Speicherniveau, so kann diese Wärmeenergie dem entsprechenden Speicher zugeführt werden und steht der Wärmepumpe zur Verfügung.

Aus der Vielzahl der regelungstechnisch möglichen Zustände, werden die Hauptarbeitsregime im folgenden beschrieben. (vgl. Bilder 7 bis 10, aus Gründen der Übersichtlichkeit sind jeweils nur die in Betrieb befindlichen Teilkreise dargestellt)

2.3.2 Wärmespeicherung

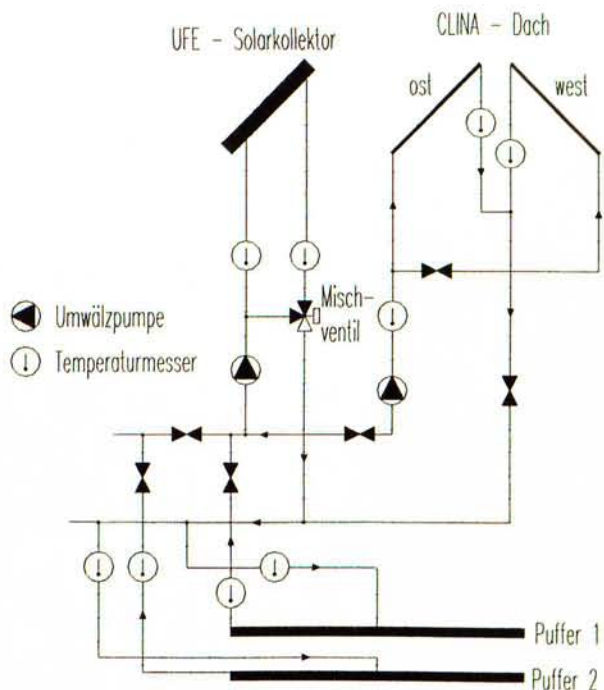


Bild 7: Schema der Wärmegewinnung mit Solarkollektoren und Kapillarrohrmatten

Flachkollektoren und Kapillarrohrmatten im Dach nehmen insbesondere in den Sommermonaten mehr Wärme von der Sonne auf als im Hausbetrieb benötigt wird. Sie wird in den *Pufferspeichern 1* und *2* zwischengespeichert und steht dem System jederzeit zur Verfügung (s. Bild 7).

2.3.3 Warmwasserbereitung und Heizen

Das Regelungssystem ist auf Warmwasservorrang ausgelegt, d. h. im Sommer wie im Winter wird das vorgeählte Temperaturniveau des Brauchwassers aufrechterhalten. Das Schema der Brauchwassererwärmung über das System Wärmepumpe/Wärmetauscher und die Sensorik ist im Bild 8 dargestellt.

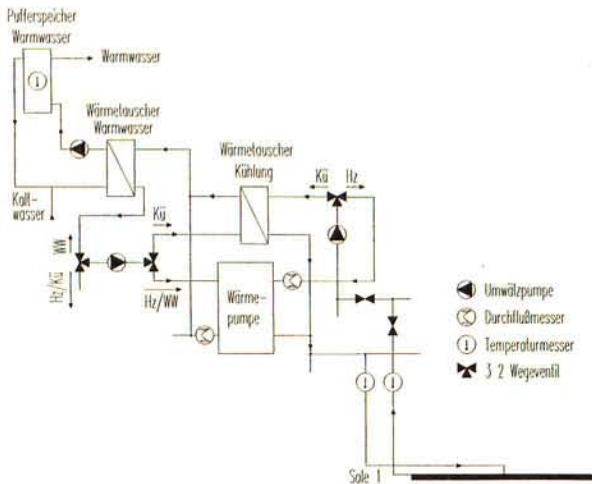


Bild 8: Schema der Brauchwassererwärmung

Wird keine Energie für die Warmwasserbereitung benötigt, kann diese bei Bedarf für die Raumheizung verwendet werden. Bild 9 zeigt das entsprechende Schema einschließlich der Meßstellen. In jedem Raum ist ein Thermostat installiert, das eine individuelle Raumtemperierung ermöglicht. Die Heizkreisverteiler regulieren den Wärmeträgerstrom. Der „Pufferspeicher Heizen“ ist aufgrund der Betriebsenergieversorgung der Wärmepumpe notwendig. Diese wird vom Energieversorgungsunternehmen zweimal pro Tag für eine Stunde abgeschaltet. In dieser Zeit wird die benötigte Wärmeenergie aus diesem Pufferspeicher entnommen.

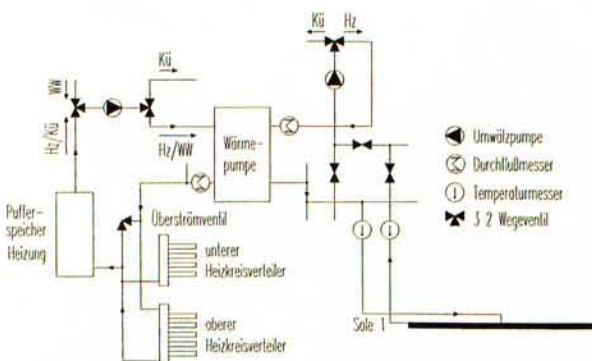


Bild 9: Schema der Gebäudeheizung

2.3.4 Kühlen

Um Kondenswasserbildung zu vermeiden, ist im größten Raum des Dachgeschosses ein Taupunktfühler installiert. Dieser signalisiert eine Taupunktunterschreitung

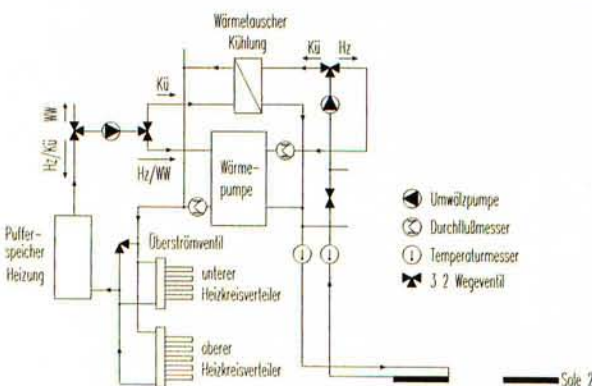


Bild 10: Schema der Kühlung des Dachgeschosses

und veranlaßt die Regelung die Raumkühlung einzustellen bis die Kondensation der in der Luft befindlichen Feuchtigkeit an den zu kühlen Wänden aufhört.

2.3.5 Meßdatenerfassung und Auswertung

Zur detaillierten Einschätzung der Wirksamkeit der einzelnen Betriebszustände der Regelung wie auch des Gesamtverhaltens des Systems „Haus“ soll ein umfangreiches Meßsystem installiert werden. Um die verschiedenen in dieser Pilotanlage enthaltenen Komponenten in ihrem funktionellen Zusammenspiel in den jeweiligen Betriebszuständen zu optimieren ist eine Meßwert-erfassung vorgesehen. An den erforderlichen Meßstellen im Fundamentbereich, welche nicht mehr zugänglich sind, wurde die Sensorik bereits eingebaut (siehe Bild 11).

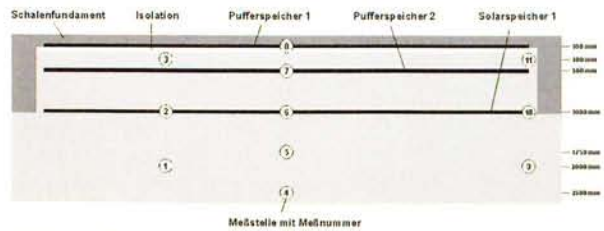


Bild 11: Meßwertfassung am Erdspeicher

Gegenwärtig werden die restlichen Temperaturfühler und Durchflußmesser in den Räumen, sowie die Strahlungssensorik im Dachbereich installiert und durch Meßboxen der Firma L & P Electronic GmbH aus Frankfurt/Oder ergänzt. Die Datenaufzeichnung und -verwaltung, die grafische Darstellung der Meßwerte und -ergebnisse sowie die Auswertung erfolgen über einen Personalcomputer. Auf der Grundlage der erhaltenen Daten soll eine Modellbildung insbesondere des Verhaltens der Erdspeicher ermöglicht werden. Ziel ist es, über die Simulation von Anlagenstrukturen ein Planungsinstrument für derartige Energiesysteme zu erhalten und die jeweiligen Regelungsaufgaben zu optimieren.

3. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Mittelpunkt steht das günstige Systemverhalten durch den Einsatz der Kapillarrohrmatten. Sie weisen eine große spezifische Oberfläche auf und ermöglichen geringe Vorlauftemperaturen beim Heizen von Räumen. Damit werden auch Energiequellen mit niedrigen Energie-(Temperatur-)niveaus interessant. Der Einsatz einer Wärmepumpe bietet sich an. Die Möglichkeit der Raumkühlung mit einfachster, praktisch wartungsfreier Anlagentechnik ist ein weiterer Aspekt, der hier nur qualitativ berücksichtigt wird.

Für diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung soll der Vergleich mit einer klassischen Fußbodenheizung auf Gasbasis herangezogen werden (siehe Tafel 2).



Kriterium	Gasheizung, Kollektorheizkörper	Kapillarrohrmattensystem, Wärmepumpe (SOLARKON)
Ausstattung/ Qualität		
Fußbodenheizung	Zusatz	Standard
Strahlungsoberflächen in Wand oder Decken	nicht vorgesehen bzw. nicht möglich	Standard
Kühlung im System über Decke oder Wand	nicht möglich	Standard
Brauchwassererwärmung zu 60% über Solarenergie	Aufpreis ca. 8.500,- DM	Aufpreis ca. 4.500,- DM
Heizungsunterstützung zu 25% über Solarenergie	Aufpreis ca. 25.000,- DM	Aufpreis ca. 8.500,- DM
Haltbarkeit Heizkörper-flächen	10 - 15 Jahre	50 - 70 Jahre
Haltbarkeit Wärmeerzeuger	8 - 10 Jahre	15 Jahre
Wartungsintervall	Jährlich	3 - 5 Jahre

Heizkostenschätzung Neubau 130 m² Wohnfläche

Wärmebedarf Heizung	17.000 kWh	15.000 kWh
Wärmebedarf Warmwasser	2.000 kWh	2.000 kWh
Erdwärme	-	12.750 kWh
Energieverbrauch	27.143 kWh	4.250 kWh
Energiekosten pro Jahr	1.929 DM	620 DM
CO ₂ -Emission	5157 kg	646 kg

Systemkosten

Investitionssumme	19.500 DM	31.000 DM
Zinssatz (10 Jahre fest)	7,20 %	4,85 % (erfordert)
Laufzeit	29 Jahre	20 Jahre
Zins und Tilgung pro Jahr	1.599 DM	1.910 DM
Heizkosten pro Jahr	1.929 DM	620 DM
Wartung pro Jahr	350 DM	150 DM
Schornsteinfeger pro Jahr	150 DM	-
Förderung	-	4.000 DM (8 Jahre à 500 DM)
Gesamtausgaben pro Jahr	3.988 DM	2.180 DM

Tafel 2: Vergleich einer konventionellen Fußbodenheizung mit der SOLARKON Heizung

4. Zusammenfassung

In diesem Pilotprojekt für das Wärmemanagement im Wohnbereich ist ein Kapillarrohrmattensystem mit Wärmepumpe, Erdspeicher und Solarkollektor zum Einsatz gekommen. Als Wärmetauscher eingesetzt können mittels des Kapillarrohrmattensystems Räume ohne größeren technischen Aufwand im Winter beheizt und im Sommer gekühlt werden.

Durch die vorteilhaften Abmessungen des Kapillarrohrmattensystems ergibt sich ein sehr günstiges Verhältnis von Wärmeübergangsfläche zu bedeckter Gesamtfläche bei minimaler Baudicke, d. h. das System zeichnet sich durch eine hohe Leistungsdichte aus. Damit gelingt es, die Nutzung der Erdwärme sowie auch einen geringeren Wärmeeintrag bei Unterstützung durch eine Wärmepumpe wirtschaftlich zu gestalten.

Die Flexibilität und die geringe Einbauhöhe erleichtern den Einbau des Mattensystems. Da sich die Kapillarrohrmatten im Fußboden-, Wand- und Deckenbereich sowie in den Dachschrägen befestigen lassen, ist die Installation nicht nur an einen bestimmten Ort im Raum gebunden.

Nach Abschluß der Installationsarbeiten für die Meß- und Auswertungstechnik soll eine computergestützte Optimierung sowie die Simulation und die Modellierung von modifizierten Anlagen ermöglicht werden.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zeigen, daß die vorgestellte Anlage durchaus konkurrenzfähig ist. Die An-

schaffungskosten sind zwar gegenüber anderen Heizsystemen etwas höher, man sollte jedoch nicht außer acht lassen, daß die jährlichen Betriebskosten für Schornstein, Brennstoff usw. entfallen.

Als Marktvorteile dürften sich erweisen, daß sich ganzjährig ein behagliches Raumklima einstellen läßt und die gesamte Anlage schadstofffrei sowie nahezu wartungsfrei arbeitet.

Literaturverzeichnis

- [1] K. Heinloth, Die Energiefrage, Handbuch Umweltwissenschaften, 1. Auflage, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/Wiesbaden 1997
- [2] H. Schulz, Wärme aus Sonne und Erde, ökobuch Verlag, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Staufen 1995
- [3] V. Quasching, Regenerative Energiesysteme, Technologie-Berechnung- Simulation, 1. Auflage, Carl Hanser Verlag München Wien 1998
- [4] H. Elhasnaoui, Design of a Central Solar Heating Plant with Seasonal Storage – a Thesis Outline University of Massachusetts 1990
- [5] H. Kirn, Wärmepumpen, Band 5: Wärmequellen und Wärmespeicher, 1. Auflage, Verlag C. F. Müller GmbH, Karlsruhe 1983

Verfasser

Prof. Dr. rer. nat. Siegfried Rolle

Dipl.-Ing. Michael Jergović

Dipl.-Ing. Henner Hoppe

Technische Fachhochschule Wildau

Fachbereich Ingenieurwesen/Wirtschaftsingenieurwesen

Tel. (0 33 75) 507-145

Dipl.-Ing. (FH) Roy-Oliver Adams

Dipl.-Ing. (FH) Marko Friedemann

SOLARKON GmbH i.G.

16230 Blütenberg

Tel. (0 33 34) 5 91 51