

Raumheizung mit Solarkollektoren und Jahreswärmespeicher

Heizanlage mit Speicher zur Beheizung von Einzelgebäuden ohne Einsatz konventioneller Heizmaterialien

Es ist bekannt, daß Strahlungsenergie der Sonne zur Raumheizung Verwendung finden kann. Man bedient sich in zahlreichen gegenwärtig ausgeführten Bauwerken der sogenannten passiven Solararchitektur, vorgestellt z.B. in [1; 6; 7; 8]. Nachteil dieser Konzepte ist durchweg, daß in unseren Breiten nicht die gesamte Heizleistung aufgebracht wird. Zusatzheizungen und Heizmaterial bleiben weiterhin notwendig.

Ziel der in folgendem Beitrag dargelegten Überlegungen war es, den Jahreswärmespeicher bei vertretbarem Aufwand so zu gestalten und einzusetzen, daß er in relativ kleinen Bauwerken ganzjährig solares Heizen ohne nennenswerte Zusatzenergie (1 bis 3%) möglich macht. Das System sollte einfach, robust und wartungsarm sein, sowie mit herkömmlichen, ökologisch unbedenklichen und preiswerten Materialien erstellt werden können.

Dipl.-Phys. Michael Wittig, Branitz (Cottbus)

Gegenwärtiger Stand

Gedanken an Jahreswärmespeicher als Element kleinerer Bauwerke wurden wegen unökonomischer Randbedingungen immer wieder verworfen, d.h. noch nicht realisiert. Bodenspeicher, wie sie in [2 u. 3] vorgestellt wurden, verlieren einen großen Teil der gespeicherten Wärme an das umgebende Erdreich, wodurch zusätzliche Kollektorflächen installiert werden müssen. Gänzlich unisolierte Bodenspeicher sind außerdem an bestimmte Standorte mit ruhendem Grundwasser gebunden, da andernfalls die Wärme mit dem Wasser abströmt.

Sehr große unisolierte Jahreswärmespeicher mit dementsprechend geringem Oberflächen/Volumen-Verhältnis zur Fernbeheizung ganzer Städte, wie in Kungälv (Schweden) angelegt [6], erscheinen aussichtsreich wenn das Grundwasser gehalten wird.

In [3 u. 4] ist der Speicher zentral im Haus angeordnet, allerdings ohne die nötigen Vorkehrungen zur saisonalen Wirksamkeit. Der dort vorgeschlagene Speicher dürfte allenfalls wenige Wochen überbrücken und wäre möglicherweise in etwas südlicheren Ländern einsetzbar.

Die in [3] vorgeschlagenen verstellbaren Isolierwände erscheinen unzweckmäßig und vermindern den Wohnkomfort.

Der Einsatz von Wärmepumpen in aktiven Systemen erfordert größeren technischen Aufwand und weiterhin erhebliche Anteile hochwertiger Betriebsenergie in der Größenordnung von 30%. Für Raumheizungen braucht darauf künftig kaum zurückgegriffen zu werden.

Allgemeine Charakteristik der Anlage

Um ein Gebäude ausreichend mit Wärme zu versorgen, muß das Heizsystem in der Lage sein, die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste auszugleichen. Die dafür in der Heizperiode notwendige Wärme soll auf zwei Wegen bereitgestellt werden.

– Über große südorientierte, doppelt verglaste Wand- und Dachflächen wird Warmluft erzeugt und im Haus den Speichermassen zugeführt. Die innere Baumasse und das Inventar dienen der Kurzzeit-Wärmespeicherung (für zwei bis drei Tage).

Wände und Decken sind zum Teil als Hohlkörper ausgebildet, um eine Luftzirkulation führen zu können. Auf diese Weise ist das System in der Lage, Direktstrahlungsanteile in der Heizperiode mit großem Wirkungsgrad zu nutzen.

– Das solare Energieangebot ist aber in mitteleuropäischen Wintern zu gering und unausgeglichen, um so bei ökonomisch vertretbarer Wärmedämmung die volle Heizlast zu tragen. Den Fehlbetrag deckt ein Wärmespeicher, der im Frühjahr und Sommer über die Kollektorflächen aufgeladen und in der Heizperiode bei Bedarf entladen wird (Jahreswärmespeicher, saisonaler Speicher).

An einen solchen Speicher müssen folgende Anforderungen gestellt werden:

- genügende Kapazität bei minimalem Volumen,
- gutes Wärmehaltvermögen und
- vertretbarer Aufwand.

Latentwärmespeicher sind nicht in ausreichender Attraktivität verfügbar. Es müssen daher herkömmliche sensible Speichermedien eingesetzt werden.

Eine große volumenbezogene Wärmekapazität haben Wasser (4,2 kJ/l · K), Eisen (3,7) und Stein (1,8). Eisen entfällt wegen zu hoher Kosten. Wasser bringt Korrosions- und Kondensationsprobleme. Auch ist die Ladetemperatur begrenzt.

Wegen der guten Verfügbarkeit und Unkompliziertheit beim Dauereinsatz in Kombination mit Luft als Trägermedium ist Stein gut geeignet. Die geringere Kapazität wird zum Teil durch höhere Ladetemperaturen ausgeglichen. Außerdem wirkt sich ein Mehrbedarf an Speichervolumen nur geringfügig auf die Speicherabmessungen aus. (Eine Volumenverdopplung ergibt sich beim Würfel schon durch eine Kantenstreckung um den Faktor 1,26.)

Die Wärmeverluste aus dem Jahreswärmespeicher können durch folgende Maßnahmen minimiert werden:

- Günstiges Volumen-Oberflächen-Verhältnis,
- gute Wärmedämmung,
- Nutzung der abfließenden Wärme zur Raumheizung,
- geringe Temperaturgradienten.

Um diese Punkte zu berücksichtigen, muß der Speicher folgende Konstruktionsmerkmale aufweisen:

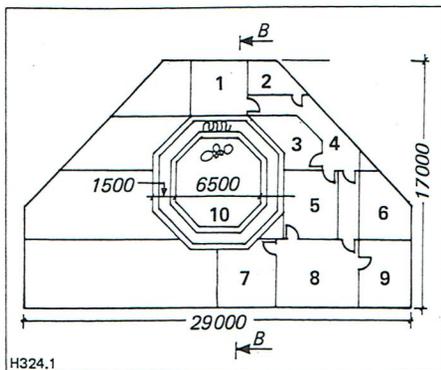


Bild 1: Grundriß des Hypokaustenhauses

- | | |
|---------------|------------------------|
| 1 Treppenhaus | 5 Küche |
| 2 Kammer | 6 Schlafzimmer |
| 3 Bad/WC | 7 bis 9 Wohnzimmer |
| 4 Flur | 10 Jahreswärmespeicher |

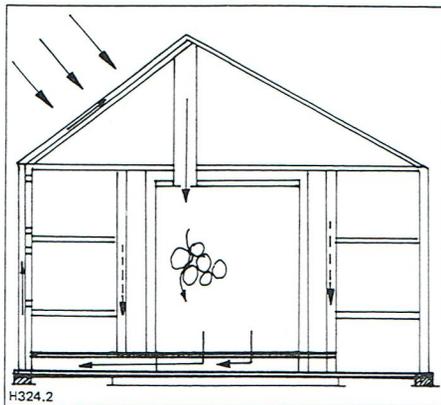


Bild 2: Schnitt B aus Bild 1 Hypokaustenhaus

- Möglichst groß, mehrere Wohnungseinheiten versorgend, zylindrische Grundform, Höhe und Durchmesser gleich,
- gute mit Al-Folie verspiegelte Dämmschicht, gestopft in zweischaliger Speicherhülle,
- zentrale Anordnung im Gebäude,
- die äußere Wand der Hülle ist durchströmbar und wird als primärer Kurzzeitspeicher genutzt.

Die in den Übergangszeiten und im Winter durch anfallende Direktstrahlung im Kollektor erwärmte Luft strömt zuerst von oben nach unten durch die Speicherhülle, dann von unten nach oben durch Innenwände und zuletzt wieder nach unten durch die Außenwände, um anschließend, sehr weit abgekühlt den Kollektor wieder zu erreichen. So wird die äußere Speicherhülle nach Möglichkeit auf höherem Temperaturniveau gehalten, wodurch sich der Gradient verringert. Der zweite Vorteil dieses Verfahrens ergibt sich mit dem höheren Wirkungsgrad durch die dem Kollektor zugeführte, möglichst stark abgekühlte Luft.

Ausführungsbeispiel

Die kleinste nach dem angedeuteten Prinzip effektiv funktionierende Einheit ist das im folgenden vorgestellte „Hypokaust-

stenhaus“ mit vier Wohneinheiten. Die Abmessungen gehen aus den Bildern 1 und 2 hervor. Der Speicher mit einem Durchmesser und einer Höhe von je 7 m ist zentral über die zwei Etagen des zweigeschossigen Doppelhauses eingebaut und mit staubfreiem Steinschutt der Korngröße 200 mm gefüllt. Die Isolation, die allseitig noch etwa 1 m aufrägt, nimmt auch einen Teil des Kellers und des Dachbodens in Anspruch.

Jede Wohnung hat zum Speicher hin einen offenen Kreislauf, der eine flinke Beheizung gestattet. So läßt sich bei Bedarf ein Wärmedefizit automatisch oder von Hand rasch ausgleichen. Trennwände im Speicher und separate Kanäle können garantieren, daß Luft- und Schallübertragungen zwischen den verschiedenen Wohnungen vermieden werden.

Das Haus ist frontal nach Süden ausgerichtet. Die Kollektorfläche, mit 180 m² Wand und 210 m² Dach unter einem Winkel von 41° zur Horizontalen, wird vom Keller bis zum First durchgängig geführt und doppelt verglast. Einen Schnitt durch das Kollektordach bzw. die -wand zeigen die Bilder 3 und 4.

Die Wände und Decken des Hauses sind durchströmbar aufgebaut und so verbunden, daß die erwärmte Luft wie oben beschrieben strömen kann. Das Schwerkraftprinzip oder Lüfter im First sorgen für den Umlauf. Die südorientierten Räume sind über Wanddurchbrüche direkt vom Kollektor aus beheizbar.

Die Anordnung der Räume ist im Ausführungsbeispiel nach ihrer Bestimmung so vorgesehen, daß Transmissionswärmeverluste gering bleiben. Kühlere Räume sind weiter außen und im Norden angeordnet; wärmere südlich bzw. zentral. Anforderun-

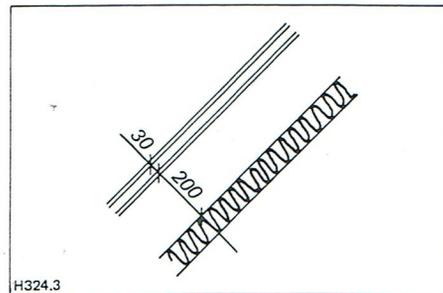


Bild 3: Schnitt durch Kollektor-Dach

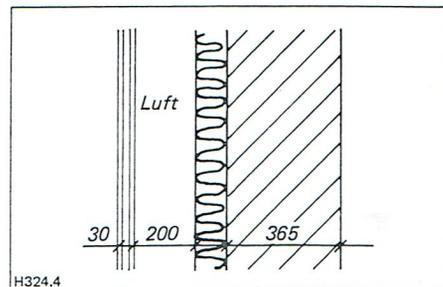


Bild 4: Schnitt durch Kollektor-Wand mit Doppelverglasung

gen an die Dämmwerte der Wände sind im Süden hoch ($k = 0,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$), in nördlichen Richtungen relativ unkritisch. Die Dimensionierung des gesamten Systems wurde als Energiebilanz über ein eigens dazu entwickeltes Rechenprogramm durchgeführt. Bild 5 zeigt den errechneten Temperaturverlauf im Speicher für ein Normaljahr.

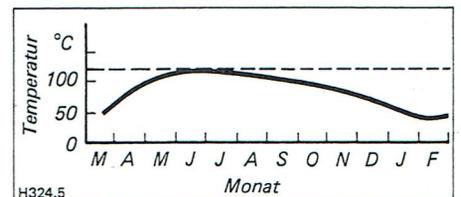


Bild 5: Jahresgang der Speichertemperatur

Da der Speicher zwischen März und August geladen werden kann, ist ein wetterbedingter Ausfall der Anlage extrem unwahrscheinlich.

Betriebsweisen und Zustände des Beispielsystems

Das System spricht nur auf solare Direktstrahlung an. Diffuse Strahlung bei bedecktem Himmel allein genügt im allgemeinen nicht, um Beiträge zur Beheizung zu liefern.

a) Direktheizung im Winter

Die im Kollektor beheizte Luft wird über entsprechende Klappen und Wanddurchbrüche direkt in die angrenzenden Räume geleitet. Öffnungen in Fußbodenhöhe gestatten den Rückfluß und somit die Zirkulation. Diese Betriebsart gestattet eine nahezu sofortige Beheizung der Räume bei Sonnenschein. Die Klappen sind so zu stellen, daß sie ein weiteres Aufsteigen der Luft im Kollektor verhindern und gleichzeitig die Wanddurchbrüche freigeben, die sonst durch sie dicht und dämmend verschlossen sind. Diese Klappen sind nur in einer gewissen Breite auf der Kollektorwand angeordnet. Dadurch kann b) parallel betrieben werden:

b) Kurzzeitspeicherheizung im Winter

Die gesamte (oder bei Nutzung der Möglichkeit a) ein großer Teil) der im Kollektor gewonnenen aufsteigenden Warmluft wird vom First abgesaugt und dann auf die am Schluß des zweiten Kapitels beschriebene Weise durch die Wände geleitet. In der Baumasse kann so die Heizenergie für zwei bis drei Tage festgelegt werden. Die Beheizung der Räume erfolgt hierbei über Niedrigtemperatur-Strahlungswärme.

c) Heizung aus dem Jahresspeicher im Winter

Scheint die Sonne in bestimmten Perioden nicht ausreichend oft, so wird aus dem Jahresspeicher geheizt. Das geschieht über Luftkanäle im offenen Kreislauf mit Schwerkraftantrieb.

Tabelle 1: Verschiedene Größen im Jahresverlauf in °C bzw. 1000 kWh

Monat	TE	SW	GS	LS	SL	QL
März	81	11,8	1,4	4,7	0,3	4,3
April	113	13,3	1,3	3,8	0,8	4,3
Mai	124	13,2	1,2	2,5	1,2	2,5
Juni	128*)	13,3	1,2	1,6	1,3	1,7
Juli	126	11,9	1,1	1,2	1,4	1,1
August	122	11,6	1,1	1,5	1,4	0,9
September	114	10,5	1,2	2,4	1,3	0,5
Oktober	105	6,1	1,3	3,6	1,2	0,1
November	95	2,7	1,4	4,5	1,1	0
Dezember	74	2,0	1,4	5,8	0	-2,3
Januar	57	2,9	1,4	6,3	0	-1,9
Februar	63	6,5	1,4	5,9	0,4	1,2

*) Kleinere Schrittweiten von z.B. zwei Tagen ergeben den realistischen Wert um 120 °C. Die Auswirkung der Schrittweite auf die Endtemperatur vom Februar ist aber gering.

TE Speichertemperatur

SW Über den Kollektor maximal gewinnbare Energie

GS Gewinnsumme (Geräteleistung, Körperwärme, Lüftungswärmerückgewinn)

LS Lastsumme (Transmission, Lüftung, Warmwasser)

SL Transmissionsverluste des Speichers

QL Speicherwärmeabfluß (positiv = wird geladen; negativ = wird entladen)

d) Laden des Jahresspeichers

Vorzugsweise werden wegen des höheren Wirkungsgrades die Varianten a) und b) eingestellt. Sobald aber im Frühjahr das Angebot an Energie den Bedarf übersteigt, wird die Differenz dem Speicher zugeführt. Oft kann der Ladevorgang schon im Februar beginnen. Von Bedeutung ist dabei immer der Direktstrahlungsanteil um die Mittagszeit, da hier die nötige Intensität erreicht wird.

Die im Kollektor zwischen Keller und First aufsteigende Warmluft wird von oben nach unten durch den Speicher geführt und dann erneut zum Kollektor geleitet. Zum Antrieb sind Lüfter erforderlich. Dieser Prozeß beginnt, sobald die Kollektorlufttemperatur die Speichertemperatur übersteigt. Im Juni hat der Jahresspeicher gewöhnlich seine maximale Temperatur von ca. 120 Grad erreicht. Sie muß über den Sommer nur gehalten werden. Eine weitere Aufheizung ist kaum möglich, da die Transmissionsverluste an der Kollektorschleife durch die hohe Temperatur dem Gewinn die Waage halten. Ein ausreichendes Aufladen des Speichers ist noch möglich, wenn man erst im Juni damit beginnt.

An geeigneter Stelle wird im Speicher oder in Speichernähe ein Wassererhitzer angebracht, wodurch auch der Warmwasserbedarf über das System gedeckt werden kann. Im Sommer steht Warmwasser in nahezu beliebiger Menge zur Verfügung, zur

Heizperiode ist es bei der vorliegenden Dimensionierung auf 50 l pro Person und Tag bei 40 °C limitiert.

e) Klimatisierung

Der sommerliche Wärmeeintrag durch Kollektorwände und Speicher muß durch entsprechende kühlende Lüftung ausgeglichen werden. Dazu wird die Kaminwirkung der Kollektorwände genutzt, zu Zeiten, zu denen der Speicher wegen mangelnder Strahlungsintensität nicht geladen werden kann, z.B. auch abends und nachts nach Sonnentagen.

Die Luft wird durch einen längeren Erdkanal aus einem kleinen Koniferenbestand angesaugt, durch die Räume geführt, zieht im Kollektor hinauf und strömt zum Schluß am First ins Freie.

f) Lüftung im Winter

Zur Verringerung der Lüftungswärmeverluste wird die zugeführte Frischluft mit der Abluft vorgewärmt. Das geschieht im Gegenstromverfahren in dem unter e) beschriebenen Erdkanal. Der Antrieb der Lüftung kann durch den Wind und bei Windstille elektrisch geschehen.

Abschätzung der Energiebilanz des vorgestellten Ausführungsbeispiels mit Hilfe des erwähnten Rechenprogramms

Folgende Beträge wurden in der Bilanz berücksichtigt:

Energieverluste

- Transmission Wand, Dach, Keller,
- Transmission Fenster,
- Lüftungswärme,
- Warmwasserabfluß

Energiegewinne

- intern: Geräte-Abwärme, Körperwärme der Bewohner, Lüftungswärmerückgewinn,
- über Kollektorflächen.

Zu Zeiten anfallender Direktstrahlung wurde auch der diffuse Anteil einbezogen. Außerdem wurde die Möglichkeit untersucht, durch eine südlich vorgelagerte Wasserfläche reflektierte Anteile zu gewinnen. Da letztere Beiträge aber nur gering sind, wurde diese Möglichkeit in die gegebene Gesamtbilanz nicht aufgenommen.

Im Programm vorgebar sind die Parameter des Hauses, Lage und Orientierung, sowie die Verschattung durch Randbebauung (Horizonthöhe), außerdem die wahrscheinliche jahreszeitliche Lufttemperatur, die Sonnenstundenwahrscheinlichkeit und der jahreszeitliche Trübungsfaktor der Luft, alles langjährige Mittel aus Wertertafeln.

Das Programm rechnet in zwei grundlegenden Schleifen. Die äußere berechnet die Bilanz für z.B. einen Monat (anhand

eines repräsentativen Tages), die innere simuliert den Tageslauf mit variablem Sonnenstand in Stundenschritten.

Die Schrittweite der äußeren Schleife kann variiert werden. Hier werden zunächst die mittlere äußere Lufttemperatur und die davon abhängigen im Zeitraum konstanten Energieverluste bzw. -gewinne berechnet, anschließend über die innere Schleife der Gewinn, der sich während des täglichen Sonnenlaufs über die Kollektorfläche erzielen läßt.

Es folgt die Bilanz, die über die Einstellung des jeweiligen Betriebszustandes entscheidet.

Schließlich wird daraus der Gang der Speichertemperatur im Jahreslauf errechnet. In *Tabelle 1* sind für die voreingestellten Parameter jeden Monat die berechneten Werte angegeben. *Bild 5* zeigt den theoretischen

Tabelle 2: Summen über ein Jahr in kWh

Verluste	43 618
Warmwasserverl.	8 640
Lüftungsverl.	10 155
Transmission Speicher	10 318
Gewinne (intern)	15 444
Strahlensumme	225 741
max. gewinnbar	105 878
vom 1. 11. bis 31. 1. max. gewinnbar	7 600
Speicherladefluß	16 569

schen Verlauf der Speichertemperatur graphisch. *Tabelle 2* zeigt die Jahressummen der verschiedenen Größen.

Geht man davon aus, daß an der Kollektoroberfläche pro Jahr insgesamt 230 000 kWh Strahlungsenergie anstehen und alle Verluste (44 000 kWh) abzüglich der internen Gewinnsumme (15 000 kWh) damit ausgeglichen werden, so ergibt sich ein Nutzungsgrad der verfügbaren Energie von rund 13%. [H 324]

Literaturangaben

[1] Huber, J.; u. S. Oberländer: 18 Niedrigenergiehäuser im Vergleich. In *Sonnenenergie & Wärmepumpe* Jg. 13 Heft 3 (1988), S. 35.
 [2] Patentschrift DE 2748727 A1 (F28D).
 [3] Patentschrift DE 2547387 C2 (F24D 11/00).
 [4] Patentschrift DE 2808814 A1 (F24D 11/00).
 [5] Patentschrift AT 382232 B (F24J 2/42).
 [6] Lund, P. D.: Nordic Workshop on computational methods of seasonal storage solar heating systems. NBS-workshop, June 12-13, 1987.
 [7] Ohlwein, K.: Das Sonnenhaus von nebenan. Bauverlag GmbH Wiesbaden u. Berlin 1986.
 [8] Ruske, W.: Planen und Bauen mit natürlichen Baustoffen, GLAS. WEKA-Fachverlage GmbH & Co. KG, Verlag für Baufachliteratur, Kissing 1988.