

Berechnungen für einen Kurzzeit- und einen Langzeitspeicher zur Nutzung der Sonnenenergie

Beispiele für Speichergrößen

Von Ing. (grad.) Michael Brähler und Ing. (grad.) Walter Herget, Eichenzell

Nur in wenigen Ausnahmefällen – z.B. bei der Beheizung von Schwimmbädern – ist es ausreichend, die Sonnenenergie zeitgleich zu nutzen. Selbst eine über die Sommermonate betriebene Warmwasserversorgung kommt ohne Speicherung nicht aus. Zum einen, weil der Warmwasserbedarf zum großen Teil morgens und abends anfällt, also zu Zeitpunkten, zu denen die Sonne nicht scheint oder zumindest nicht ihre volle Wärmeleistung erbringt, zum anderen, damit man auch einen Regentag ohne zusätzliche Energiequellen überbrücken kann.

Während aber die Kurzzeitspeicherung geradezu Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit der meisten Solaranlagen ist, ist es beim heutigen Stand der Entwicklung nur schwer möglich, auch mit der Langzeitspeicherung die Schwelle der Wirtschaftlichkeit zu erreichen. In jedem Fall ist eine Optimierung von Kollektor- und Speicherleistung unter Berücksichtigung der Anwendung notwendig. Im folgenden geben wir einen ersten Überblick und einige vereinfachte Berechnungsbeispiele zur Wahl der Speichergröße.

Wasserspeicher

Die einfachste und immer noch billigste Methode ist nach wie vor die Speicherung durch Wasser. Die überschüssige Energie der Sonnenkollektoren wird in einem Behälter gespeichert, der im Kellergeschoß oder im Erdreich errichtet wird.

Wasser hat eine spezifische Wärmekapazität von $1000 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Trotz der guten Speichereigenschaften ergibt sich bei dem Wärmebedarf eines Einfamilienhauses ein gewaltiger Speicherinhalt. Der Wasserspeicher ist zwar eine praktikable Lösung für das Überbrücken einiger sonnenarmer Tage; für die

Langzeitspeicherung sind zu einem wirtschaftlichen Betrieb weitere Anwendungsbereiche jedoch andere Lösungen erforderlich.

Wasser und Steine als Speicher

In Amerika verwendet man häufig einen Wärmespeicher, der im Zusammenwirken mit einer Warmluftheizung gute Erfolge erzielt hat. Um einen kugelförmigen Tank werden mehrere Kubikmeter Kieselsteine gleicher Größe in einem Raum aufgeschüttet. Das im Sommer erwärmte Wasser des Speichers heizt auch die Steine auf. Zum Teil werden auch direkt Luftkollektoren verwendet. Während der Heizperiode kann durch den Steinspeicher Kaltluft geblasen werden. An den Gesteinsschichten erwärmt sich die Luft, wird oben wieder zusammengeführt und als Warmluft zu den Wohnräumen geleitet.

Da sich in Mitteleuropa die Warmluftheizung nicht durchgesetzt hat, ist dieses System auf unsere Verhältnisse nicht direkt übertragbar. In abgewandelter Form ergibt sich jedoch eine gute Möglichkeit, einen Speicherbehälter mit Granitsteinen aufzufüllen und sie von dem Wärmeträgermedium umspülen zu lassen. Dabei wird die Wärme auf die Steine übertragen. Im Winter kann man sie dann wieder herausziehen und nutzen. Die Schüttung kann in einem Kellerraum oder unter dem Haus vorgenommen werden. Oder man lagert den Wasserbehälter im Erdreich. Das Speichergestein muß allerdings unbedingt vor Oberflächen- und Grundwasser geschützt werden!

Tabelle 1: Spezifische Speicherspeicherungswerte von 00°C bis 100°C

Sand	ca.	$308 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Ziegelstein	ca.	$350 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Stein	ca.	$540 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Beton	ca.	$560 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Wasser	ca.	$1000 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$
Salze	ca.	$6000 \text{ kcal/m}^3 \text{ } ^\circ\text{C}$

Latentspeicher

Salze wie z.B. Sulfatdekahydrat eignen sich wegen ihres hohen Wärmespeicherwertes (vgl. Tabelle 1), der rund um das sechsfache höher liegt als der des Wassers, besonders als Speichermedium. Man nutzt die Eigenschaften der Aggregatzustände, speziell der des Schmelzpunktes von 32°C , aus und ändert dabei die innere Energie des Systems durch Erhöhung der potentiellen und kinetischen Energie seiner Moleküle und Atome. Die Änderung der inneren Energie können wir auch als Speicherkapazität bezeichnen. Der Abbruch der Wärme erfolgt mittels Katalysatoren oder durch Unterkühlung.

Salze bieten zudem die Möglichkeit, Energie auch bei konstanter, dem Verwendungszweck optimal angepaßter Temperatur zu speichern. Dieses Speichersystem ist jedoch heute noch nicht für die Praxis geeignet, da Probleme der Aggressivität, der Giftigkeit und der Entwicklung von Gasen noch nicht endgültig gelöst sind. Da Salze eine hohe spezifische Wärmekapazität besitzen und somit geringe Baugrößen des Speichers erreicht werden können, wird in Forschung und Entwicklung verstärkt auf diesem Gebiet gearbeitet. Die Anforderungen an ein Speichersystem sind:

- temperaturfest für die maximale, geplante Temperatur
- korrosionsbeständig gegenüber dem Speichermedium
- druckbeständig im Minimum für den statischen Druck der Anlage
- hohe Speicherkapazität
- geringer Raumbedarf
- gute Isolierung
- billiges Speichermedium
- Regulierbarkeit.

Tagesverbrauch

Der durchschnittliche Tagesverbrauch an Warmwasser ist nicht generell festzulegen. Um bei den nachfolgenden Überlegungen einen Überblick zu bekommen, nehmen wir ein Einfamilienhaus mit einem 4-Personenhaushalt als Grundlage. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch von 55 Liter pro Tag und Person ergibt sich also ein Tagesverbrauch von 220 Liter.

Temperaturen

Normalerweise genügen für den Haushalt Temperaturen von 40°C . Eine Ausnahme bildet nur die Temperatur für Spülzwecke. Sie liegt bei ca. 50°C . Über diese Temperatur geht man zweckmäßigerweise auch nicht hinaus.

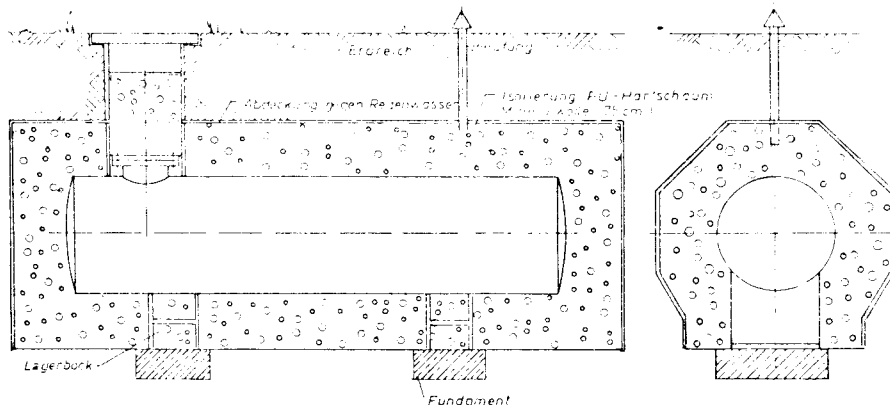


Bild 1: Wärmespeicherlagerung im Erdreich

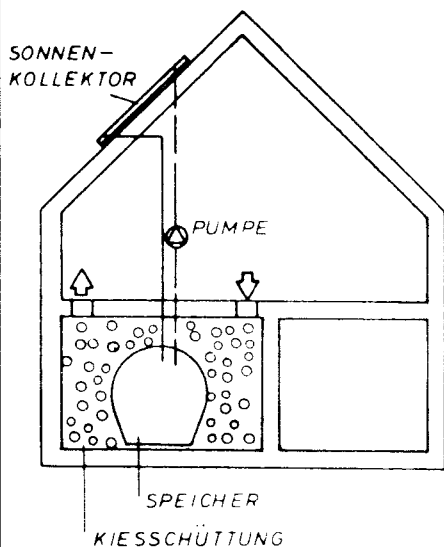


Bild 2: Warmluftheizung über das Medium Kies und den Kollektor-Speicher-Kreislauf mit Wasser

da bei Temperaturen über 60°C die Gefahr von Korrosionsschäden in allen aus Stahl gefertigten Anlageteilen erheblich zunimmt.

Kurzzeitspeicher

Der Kurzzeitspeicher kann für einige Stunden oder Tage Wärme liefern und in den Sommermonaten über Schlechtwetterperioden den Wärmebedarf decken. Die Größe des Kurzzeitspeichers errechnet sich aus dem Warmwasserbedarf und der durchschnittlichen Speicherdauer. Für das Kurzzeitspeichersystem eignet sich bereits ein vergrößerter Warmwasserboiler mit entsprechendem Inhalt und Isolation.

Die nutzbare Wärmemenge jedes Speichers ist ja bekanntlich kleiner als seine Kapazität, da nicht nur der durch den zeitlichen Verlauf bedingte Wärmeverlust durch Leitung nach außen geht, sondern auch Niedrigtemperatur-Energie schlecht wirtschaftlich nutzbar zu machen ist.

Wenn wir unseren Speicher mit einer elektrischen Batterie vergleichen, dann ist die Zeitkonstante der Entladung von geometrischen und materialspezifischen Faktoren abhängig, z.B. vom Speicherinhalt, von der Isolations-schicht, vom Wärmespeicherwert des Speichermediums und von der Wärmeleit-zahl des Isolationsmaterials. Die meisten installierten Solaranlagen sind heute mit Kurzzeitspeichern ausgerüstet, was sich für ihren Anwendungsbereich bewährt hat.

Berechnungsbeispiel:

Speichervolumen = Dauer · Verbrauch
 Speicherdauer = Eine Nacht und ein Tag
 Verbrauch = 220 Liter pro Tag
 Dauer = 1,5 Tage
 Speichervolumen = 330 Liter

Dieses Speichervolumen läßt sich sehr leicht verwirklichen.

Um den Speicher aufzuheizen, benö-

tigt man eine Wärmemenge Q, die sich wie folgt berechnet: Wirkungsgrad durch Wärmeverluste = 0,9

Auslegung eines Kurzzeit-speichers

Für die Auslegung eines Kurzzeitspeichers nehmen wir nun zweckmäßigerweise den Energiebedarf für eine Nacht und den darauffolgenden Tag als Speicherkapazität an. Die Häufigkeit von zwei oder mehreren aufeinanderfolgenden Tagen mit völlig bedecktem Himmel ist zu gering, um die Speicherung eines Vielfachen des mittleren Energiebedarfs eines Tages wirtschaftlich zu rechtfertigen.

Eine größere Speicherkapazität würde außerdem eine größere Kollektorfläche erfordern, um den Speicher in den auf die schlechten Tage folgenden sonnigen Tagen genügend aufzuladen. Die zusätzliche Kollektorfläche hätte zweifellos einen niedrigen Nutzungsgrad. Da der Warmwasserspeicher die Sonnenenergie nur als spezifische Wärme speichern kann, ergibt sich bei Wasser eine direkt proportionale Speichertemperaturerhöhung. Folglich nimmt der Gesamtwirkungsgrad der Kombination Solarkollektor-Warmwasserspeicher mit steigender Temperatur stark ab.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$Q = 330 \text{ kg} \cdot 1 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} (40-10) ^\circ\text{C}$$

$$Q = 9\,900 \text{ kcal.}$$

Langzeitspeicherung

Durch die Langzeitspeicherung wird der Wärmeüberschuß des Sommers für den Winter gespeichert. Bei dieser langen Speicherdauer müssen neben der guten Isolierung noch eine Reihe wichtiger Faktoren beachtet werden.

Mit der Langzeitspeicherung steht und fällt das sog. Null-Energie-Haus, bei dem der ganzjährige Wärmebedarf voll über eine Sonnenheizung gedeckt wird.

Eine Langzeitspeicherung für Heizzwecke ist dann geeignet, wenn der Einsatz einer Fußbodenheizung (Niedertemperaturheizung mit großen Oberflächen) mit ihrem niedrigen Heizeinlauf von ca. 38 bis 40°C möglich ist. Die Wärmemenge reicht aus, um ein ganzes Haus sehr gut zu beheizen. Ist der Speicher bis auf 45°C abgekühlt, so wird das noch vorhandene Wärmepotential z.B. mit einer Wärmepumpe heruntergekühlt bis auf ca. 20°C und mit der so gewonnenen Umwandlungswärme die Heizung weiter betrieben. Eine Wärmepumpe arbeitet bei den Anfangstemperaturen mit einer guten Leistungsziffer, die jedoch mit der Temperatur im Speicher abfällt. Als Faustregel kann man sagen, daß 1 kW Energie zum Betreiben der Wärmepumpe 4kW Wärmeenergie ergibt. Die Leistungsziffer ist um so günstiger, je größer der Wärmespeicher ist.

Auslegung von Langzeitspeichern

Wenn wir uns die Sonnenangebotskurve und die Bedarfskurve in Bild 3 ansehen, dann können wir ungefähr abschätzen, daß das "Winterloch" 3,5 bis 4 Monate andauert. Dies entspricht auch der benötigten Speicherdauer eines Langzeitspeichers. Für die Wintermonate können wir einen durchschnittlichen Wärmebedarf von 11 500 kcal/h annehmen.

Um die tatsächliche Speicherkapazität des Langzeitspeichers zu errechnen, müssen wir den benötigten Wärmebedarf in den Wintermonaten (November, Dezember, Januar und Februar) ermitteln. Bei diesem Beispiel sei wieder ein Einfamilienwohnhaus mit einem 4-Personenhaushalt und einem sehr niedri-

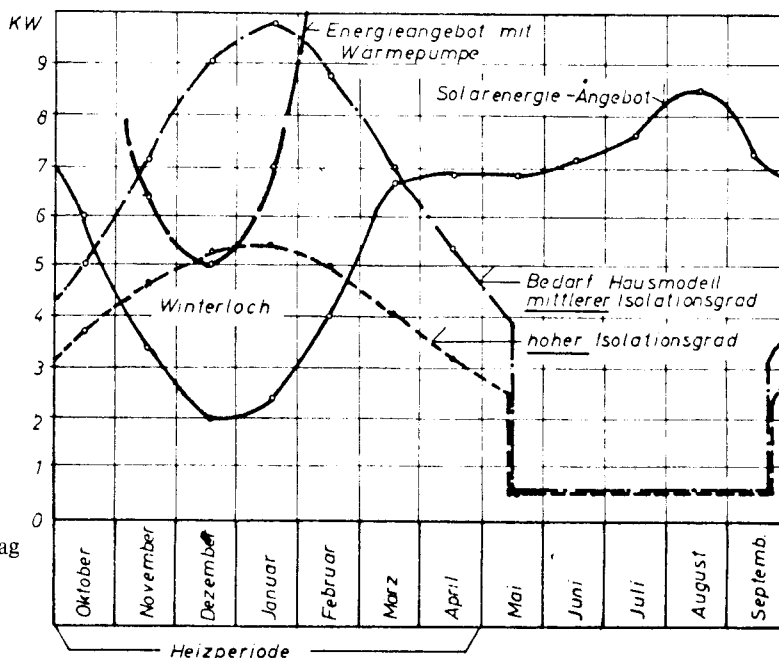


Bild 3: Das Angebot an Sonnenenergie und die Möglichkeit seiner zeitgleichen Nutzung

gen Isolationsgrad des Wohnhauses angenommen.
Wärmebedarf für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung:

$$Q = \text{Dauer} \cdot \text{spez. Wärmeverbrauch}$$

$$Q = 4 \text{ Mon.} \cdot 30 \text{ Tge} \cdot 24 \text{ h} \cdot 11500 \text{ kcal/h}$$

$$Q = 33.12 \text{ Gcal.}$$

Da unsere Sonnenkollektoren auch im Winter einen Energieanteil erbringen, müssen wir den zu erwartenden Anteil berechnen und von dem berechneten Gesamtwärmebedarf abziehen. Eine Kollektorplatte liefert uns bei einer mittleren Sonneneinstrahlung und einem geringen Wirkungsgrad eines Wintertages 300 kcal/m²·h. Umgerechnet auf eine Kollektoranzahl von sechs Platten und einer effektiven Kollektorfläche von 1,8 m² je Platte erhalten wir eine Gesamtfläche von 10,8 m². Aufgenommene Sonnenenergie je Stunde der Sonnenanlage

$$Q = q \cdot A$$

$$Q = 300 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot 10,8 \text{ m}^2 = 3240 \text{ kcal/h.}$$

Berücksichtigen wir, daß in den einzelnen Monaten nur eine geringe Sonnenscheindauer zu verzeichnen ist, dann ergeben sich für die einzelnen Monate folgende durchschnittliche Sonnenscheinstunden je Tag:

November	2 h/d
Dezember	1 h/d
Januar	2 h/d
Februar	3 h/d

Für die vier Monate ergibt sich dann eine gesamte Sonnenscheinstundenzahl von 200.

$$Q_{\text{Sonne}} = 200 \text{ h} \cdot 3240 \text{ kcal/h}$$

$$Q_{\text{Sonne}} = 648\,000 \text{ kcal}$$

Speicherwärmebedarf (Gesamtwärmebedarf - Sonnenenergie) · 1/η

$$Q_{\text{Sp}} = (33\,120\,000 \text{ kcal} - 648\,000 \text{ kcal}) \cdot 1/0,9$$

$$Q_{\text{Sp}} = 36 \text{ Gcal}$$

Erforderliches Speichervolumen:

$$Q = m \cdot c \cdot t$$

$$m = \frac{Q_{\text{Sp}}}{c \cdot \Delta t}$$

$$m = \frac{36 \cdot 10^6 \text{ kcal}}{1 \cdot (60 - 20^\circ\text{C})} = 620\,690 \text{ kg}$$

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{620\,690 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 620 \text{ m}^3$$

Dieser Speicherinhalt würde netto einen Raum mit den Abmessungen 8,52 · 8,52 · 8,52 m beanspruchen. Dieser Wert zeigt deutlich, daß eine Langzeitspeicherung bestenfalls teilweise möglich ist, da wichtige Voraussetzungen wie die Rückgewinnung der Abwärme aus den Abwässern und der Abluft sowie eine Vollisolierung fehlen.

Um noch einmal die Bedeutung eines Latentspeichers für die Zukunft herauszustreichen, wollen wir seinen Inhalt für die gleiche Speicherwärme berechnen;

$$Q = 36 \text{ Gcal}$$

$$V = 103 \text{ m}^3$$

Das entspricht einem Raumbedarf von 4,7 · 4,7 · 4,7 m oder einem Kugelbehälter von

$$V = 0,5236 \cdot d^3$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{V}{0,5236}}$$

$$d = 5,80 \text{ m}$$

Da uns zur Zeit noch keine Latentspeicher zur Verfügung stehen, bleibt also nur die Möglichkeit, einen kleinen Teil der überschüssigen Sonnenenergie über längere Zeit zu speichern.

Aufstellen eines Speichers

Die Voraussetzung für das Aufstellen eines Speichers im Keller ist ein genügendes Platzangebot. Normalerweise ist der Platz für den Brauchwasserta-gesspeicher im Heizungskeller (bei den Zentralheizungen) vorhanden bzw. der Behälter schon installiert. Ein Vorteil der unterirdischen Lagerung ist die gleichbleibende Erdtemperatur von 7

FACHLEUTE LESEN

IKZ

Wer findet heute noch die Zeit, täglich eine Fülle von Informationsmaterial gewissenhaft zu selektieren und das Lesens- und Wissenswerte anschließend auch noch zu verarbeiten? Hier hilft nur eine Konzentration auf die wichtigsten Medien, will man nicht Gefahr laufen, seine kostbare Zeit unnötig zu vertun. Die aktuelle Fachzeitschrift IKZ erscheint als offizielles Organ des Zentralverbandes und von Fachverbänden Sanitär-Heizung-Klima zweimal monatlich in einer IVW-geprüften Auflage von mehr als 14000 Exemplaren. Davon gehen weit über 12000 Exemplare bereits an feste Abonnenten. Allein schon diese große Anzahl Einzelbezieher (kein Sammelbezug!) zeigt, daß die IKZ zu den meistbeachteten Informationsträgern zu zählen ist. — Wann dürfen wir Ihnen „Ihr“ Ansichtsexemplar zusenden? Postkarte genügt. Wir antworten Ihnen umgehend.

Strobel-Verlag • 5760 Arnsberg 2

Postfach 5009 - Telefon: (02931) 1851 und 1852 - Telex: 084214

bis 10° C in Tiefen ab 5 m.
Die Erdtemperatur läßt sich nach folgender Formel errechnen:

$$t_E = (t_K \cdot t_O) \frac{h}{h_k} + t_O$$

Hierbei bedeuten:

- t_E = Temperatur des Erdreiches
- t_K = Erdtemperatur in der Tiefe h_k
- t_O = Temperatur der Oberfläche
- h = Verlegungstiefe
- h_k = Tiefe konstanter Erdtemperatur.

Ein Nachteil dieser Aufstellung liegt in den hohen Kosten für die Erdaushebung und ein feuchtigkeitsschützendes Isoliermaterial.

Wärmedämmung

Bei den hier vorgeschlagenen Speicheraufstellungen lassen sich zwei Anforderungen unterscheiden. Bei der Keller- aufstellung soll der Dämmstoff eine möglichst geringe Wärmeleitfähigkeit besitzen. Bei der Aufstellung im Freien (ober- oder unterirdisch) spielt dagegen die Haltbarkeit eine entscheidende Rolle. Der Stoff sollte besonders widerstandsfähig sein. Bei oberirdischer Aufstellung ist auch der Einfluß der Temperaturen die unter dem Gefrierpunkt liegen von Bedeutung. Hier müßte die Isolierung eventuell mit einem kälte- und feuchtigkeitsschützenden Kunststoffüberzug versehen werden.

Die heute im Handel erhältlichen Isolierstoffe besitzen durchweg eine Wärmeleitfähigkeit von $0,035 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C}$. Die Wärmedurchgangszahl ist von der Stärke der Wärmedämmung abhängig. In der Regel sind für Isolierdicken wirtschaftliche Forderungen ausschlaggebend, d.h. es wird die Isolierstärke gewählt, bei der die niedrigsten Gesamtkosten entstehen.

Setzen wir voraus, daß die gesamte, von den Kollektoren gelieferte Energie im Speicher zur Aufwärmung des Speichermediums dient. Die Wärmeverluste errechnen sich dann wie folgt.

$$Q_{ab} = A \cdot \frac{\lambda \cdot m}{\sum s_i} \cdot (t_{sp} - t_a)$$

Hierbei ist:

Q_{ab} = Wärmeabgabe des Speichers an die Umwelt

- λ_m = mittlere Wärmeleitzahl
- $\sum s_i$ = Summe für eine Wand aus i-Schichten
- A = Oberfläche des Speichers
- t_a = Umgebungstemperatur (Erdtemperatur)
- t_{sp} = mittlere Speichertemperatur
- m = Masse des Inhaltes (Speicher).

Um die obigen Überlegungen noch einmal zu verdeutlichen, wollen wir die Isolationskosten bei veränderter Isolierstärke in Abhängigkeit von den Brennstoffkosten und Wärmeverlusten aufzeichnen. Das Minimum der Summenkurve in Bild 4 gibt uns die optimale Dämmstärke an.

Rechenbeispiel

Folgende Werte wurden für ein Beispiel zugrunde gelegt:

- Rechteckwärmespeicher $V = 25 \text{ m}^3$
- Oberfläche $O = 45 \text{ m}^2$
- Isolierstoffkosten 6 DM/m^2 bei 50 mm
- $9,6 \text{ DM/m}^2$ bei 80 mm
- $13,2 \text{ DM/m}^2$ bei 110 mm
- Brennstoff (Heizöl) $H_u = 9\,200 \text{ kcal/dm}^3$

- Preis $P_{Br} = 0,35 \text{ DM/dm}^3$
- Berichtigungswerte für Heizung und Gebäude $a = 1$
- Berichtigungsfaktor für die Betriebsweise $e = 1$
- Zuschläge nach DIN 4701 $y = 0,63$
- Gesamtwirkungsgrad der Anlage 72%
- Warmwasserverbrauch 220 l/d
- Gewählte Vorlauftemperatur 45°C
- Wassereinflauftemperatur 10°C

$$Q = m \cdot c \cdot t$$

$$Q = 2\,802\,000 \text{ kcal/a}$$

Der Wärmebedarf errechnet sich aus den Temperaturen. Der Brennstoffbedarf errechnet sich nach der Formel

$$B_j = \frac{Q \cdot a \cdot e \cdot y}{H_u \cdot \eta}$$

Die sich ergebenden Werte für den Brennstoffbedarf und die Isolationskosten sind im Diagramm (Bild 4) aufgetragen. Für unseren Fall ergibt sich eine optimale Isolierstärke von 75 mm , wobei die Kosten 405 DM betragen. (Der oben angenommene Preis ist lediglich eine Rechengröße.)

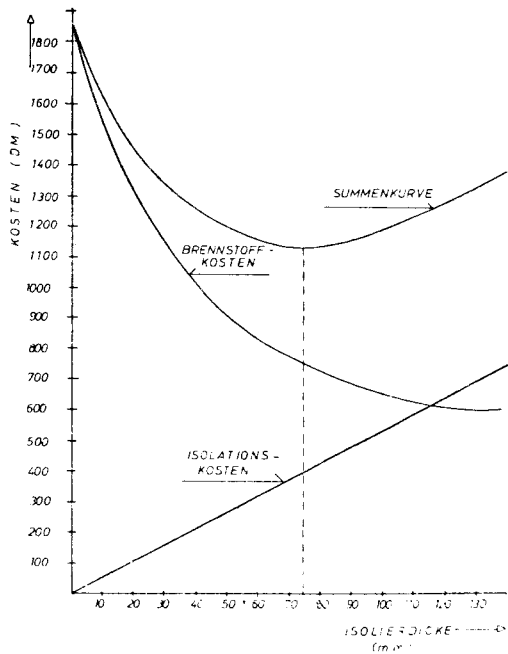


Bild 4: Ermittlung einer optimalen Isolierstärke

Walter Hergert KG

Heizung · Kälte · Klima · Solartechnik

6405 Eichenzell 4, Tel. 06659/1848

Wir produzieren: Sonnenkollektoren in versch. Ausführungen, Wärmepumpen und Schwimmhallen-Entfeuchtungsanlagen mit Wärme-Rückgewinnung.

Wir suchen: Qualifizierte Partner für Verkauf und Kundendienst in der Bundesrepublik Deutschland. Informationsmaterial und Näheres über die Partnerschaft:

Walter Hergert KG., Solartechnik Barbarastr. 14, 6405 Eichenzell 4 Telefon: 06659/1848

Mitglied der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e V (DGS)