

Notwendigkeit und einige Grundlagen

Speicherung

von Sonnenenergie

Von Dipl.-Chem. Klaus Roters, München

Die Vorräte an fossilen und nuklearen Brennstoffen sind begrenzt, ihre Verwendung ist problematisch. Deshalb ist eine rasche Verbreitung der Solartechnik und eine möglichst umfassende Nutzung der unerschöpflichen und umweltfreundlichen Energiequelle Sonne dringend erforderlich. Gerade in unseren Breiten fallen jedoch Angebot der Sonnenenergie und wesentlicher Bedarf an dezentraler Energie im Niedertemperaturbereich, vor allem an Raumheizwärme, zeitlich stark auseinander. Deshalb konzentriert sich die Sonnenenergienutzung derzeit auf den Brauchwasser- und Heizenergiebedarf im Sommer und in der Übergangszeit. Schwieriger ist die Nutzung der Sonnenenergie im Winter. Zentrales Problem der Sonnenenergienutzung ist daher die Speicherung. Durch Kurzzeitspeicher kann das Sonnenenergieangebot an den tageszeitlichen Rhythmus des Bedarfs angepaßt werden. Die Langzeitspeicherung über mehrere Monate ist dagegen notwendig, wenn wir in absehbarer Zeit nicht mehr auf fossile und nukleare Brennstoffe zurückgreifen können.

Angesichts dieser prekären Situation sollten – dies sei einleitend hervorgehoben – wesentlich mehr öffentliche Mittel für die Erforschung der Speichertechnik zur Verfügung gestellt werden.

Im Programm Energieforschung und Energietechnologien der Bundesregierung für 1977 bis 1980 über 6,532 Mrd. DM entfallen allerdings nach wie vor mehr als zwei Drittel, nämlich 4,532 Mrd. DM, auf die Kernenergieforschung, während für die gesamte Solarforschung mit 127 Mill. DM gerade 2 %, für die Windenergieforschung mit 23 Mill. DM gar nur 0,3 % des Gesamtbudgets bereitgestellt werden ¹⁾.

Spätestens mit der Installation einer Solaranlage für Heizzwecke sollte für eine optimale Wärmedämmung des Hauses gesorgt werden. Bild 1 zeigt die Verteilung von Wärmeangebot und Wärmebedarf für ein Modellhaus in München ²⁾. Es ist ein zweistöckiges Einfamilienhaus mit 125 m² Wohnfläche, 50 m² Kollektorfläche mit 45° Dachneigung, einem Jahreswärmebedarf von 16 000 kWh und einem Wasserspeicher von 20 m³ Inhalt. Ein Haus mit diesen Charakteristiken hat in den Monaten November bis März noch ein Wärmedefizit von 4 000 kWh, das durch Fremdenergie oder Langzeitspeicherung gedeckt werden muß.

Bild 1 deutet auch das Überangebot an Sonnenenergie während der Sommermonate an. Angesichts der be-

grenzten Vorräte an fossilen und nuklearen Brennstoffen und aus ökologischen Gründen müssen alle Anstrengungen unternommen werden, den Wärmebedarf für Brauchwasser und Raumheizung durch Speicherung des Solarwärmeüberschusses und durch Nutzung der Abwärme der Kraftwerke ganzjährig zu decken.

Welche Möglichkeiten der Energiespeicherung existieren zu welchen Kosten? In welche Richtungen müssen die Bemühungen der Wissenschaftler, Ingenieure und Politiker gehen, um den Wärmebedarf für Brauchwasser und Raumheizung ganzjährig bereitzustellen?

Wärme kann in zwei verschiedenen Formen gespeichert werden, und zwar als fühlbare Wärme oder als latente Wärme.

Speicherung fühlbarer Wärme

Wird die Temperatur eines Stoffes durch Wärmezufuhr ohne Änderung des Aggregatzustandes erhöht, so kann die zugeführte Wärme beim Abkühlen wieder genutzt werden. Dies bezeichnet man als Speicherung fühlbarer Wärme.

Einen Anhaltswert für die Wärmespeicherung mit festen und flüssigen Materialien gibt das Gesetz von *Dulong-Petit*, das besagt, daß das Produkt aus der spezifischen Wärme und Atommasse, abgesehen von wenigen Ausnahmen, 6,2 cal · gr⁻¹ · Mol⁻¹ beträgt.

Ein Wärmespeichersystem besteht aus den drei Komponenten Speichermedium, Behälter für die Isolierung, Wärmetransportanlagen. Die Leistungsfähigkeit eines Speichers wird bestimmt

von der Zahl der möglichen Speicherzyklen, der Speicherkapazität, der Dauer der Ladung und Entladung, dem Temperaturbereich des Speichermediums, Verlusten und eventuellem Verbrauch an Hilfsenergien (z.B. für Pumpen).

Die Dauer, für die eine Wärmemenge gespeichert werden kann, wird vorgegeben durch folgende Gleichung:

$$T - T_u = (T_o - T_u) e^{-t/\tau} \quad (I)$$

- T_o = Anfangstemperatur des Speichers
- T = Speichertemperatur nach der Zeit t
- T_u = Umgebungstemperatur (wird als konstant angenommen)
- τ = Zeitkonstante der Selbstentladung
- t = Zeitvariable

Das Problem der Selbstentladung eines Speichers fühlbarer Wärme kann verglichen werden mit der Entladung eines elektrisch aufgeladenen Kondensators über einen Widerstand. Mit größerem Volumen des Speichers wird die Zeitkonstante der Selbstentladung größer. Die Bedeutung der Ladungszahl – sie gibt an wie oft pro Jahr der theoretische Wärmeinhalt eines Speichers umgesetzt wird – für die Kosten des Speichers geht aus Bild 2 hervor. Zur Optimierung eines Speichers muß ein Kompromiß zwischen großer Ladungszahl und großen Dimensionen gefunden werden.

Die Speicherung fühlbarer Wärme stellt i. a. die geringsten Anforderungen an das Speichermedium. Das Material sollte eine große spezifische Wärmekapazität, große Dichte, geringen Dampfdruck und geringe Kosten haben. Zudem darf es den Behälter nicht angreifen und muß chemisch stabil sein. Diesen Anforderungen genügt Wasser im Bereich von 0 bis 100 °C von allen Materialien am besten.

Doch selbst bei Verwendung von Wasser ist es aus ökonomischen und ökologischen Erwägungen (Abwärme, Materialaufwand) nicht sinnvoll, für jedes einzelne Haus Jahresspeicher, die nur mit Sonnenenergie beschickt werden, entwickeln zu wollen.

Die vorausgegangenen Erläuterungen und die Veröffentlichungen von Prof. G. Schöll ³⁾ führen zu folgender Forderung: Es müssen große Warmwasserspeicher gebaut und mit möglichst vielen Wärmeerzeugern (Häuser mit Kollektoren im Sommer) und Wärmeverbrauchern (die gleichen Häuser im Winter) verbunden werden. Es muß näher untersucht werden, ob dieser Vorschlag dazu führen könnte, eine Gemeinde ganzjährig mit Solarwärme für Heizung und Brauchwasser zu versorgen.

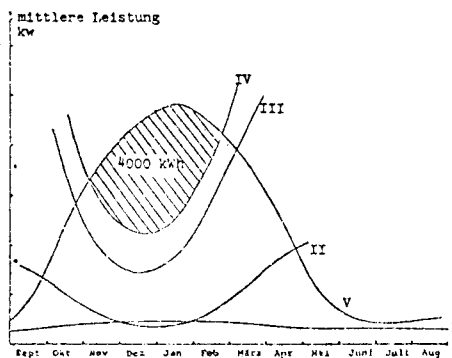


Bild 1: Bilanz des Energiebedarfs für ein Modellhaus in München 48° n. B. (Böck)

- I interne Wärmezeugung
- II Einstrahlung durch Fenster
- III vom Kollektor gesammelte Energie
- IV Summe I – III
- V gesamter Bedarf

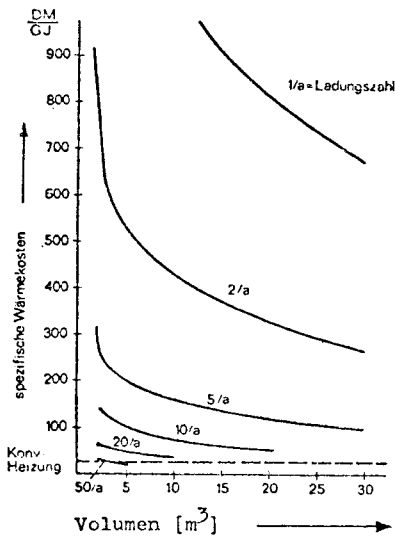


Bild 2: Spezifische Wärmekosten aus Solarspeichern (nur Speicheranteil) (Dietrich)

Latente Wärmespeicherung

Wird ein Stoff bei Zu- oder Abfuhr von Wärmeenergie in einen anderen Aggregatzustand umgewandelt, so bezeichnet man die dazu notwendige spezifische Umwandlungswärme als Latentwärme. Eine Aussage über die Größenordnung der Schmelzwärme einer Substanz macht die *Richardson-Regel*:

$$RT_{schm} \leq Q_s \leq 1,5 RT_{schm}$$

R = allgemeine Gaskonstante = 8,3 · kJ/K · KMol
 T_{schm} = Temperatur des Schmelzpunktes
 Q_s = Schmelzwärme

Substanzen, die latente Wärme speichern, sollten folgenden Anforderungen genügen:

- 1) Schmelzwärme, Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit sollten groß, Volumenänderung beim Schmelzen, Dampfdruck bei steigender Temperatur und Viskositätsänderungen gering sein.
- 2) Die chemische und physikalische Wechselwirkung zwischen Speichermedium und Behälter muß ebenso wie chemischer Zerfall oder Verunreinigung minimiert werden.

- 3) Verunreinigungen des Speichermediums dürfen nicht zu gefährlichen Situationen (z. B. Giftigkeit) führen.
- 4) Das Material muß möglichst billig sein.

Bei der Latentwärmespeicherung müssen außerdem folgende Aspekte beachtet werden. Unterkühlungseffekte, Impfung der Speichermedien, Stratifikation, Zyklenzahl und Wärmetauscher. Diese Gesichtspunkte wurden von *M. Telkes* 4) und *N. Laing* 5) diskutiert. Bild 3 und Tabelle 1 geben einen vergleichenden Überblick über potentiell geeignete Speichermaterialien.

Chemische Speicher

Chemische Speicher bieten Möglichkeiten, die die Wärmespeicherung nicht aufweist:

- Langzeitspeicherung ohne Wärmeverlust
- Speicherung bei hoher Energiedichte
- Entnahme der gespeicherten thermischen Energie bei Temperaturen oberhalb der Eingabetemperatur.

1. Photosynthese

Bei der Photosynthese wird Sonnenenergie in chemische Energie umgewandelt und als solche gespeichert. Diesen Vorgang, den die Natur täglich demonstriert und der dem Menschen die gesamten Vorräte an fossilen Brennstoffen geschenkt hat, versuchen Wissenschaftler gezielt einzusetzen, um einen Beitrag zur Energieversorgung zu leisten.

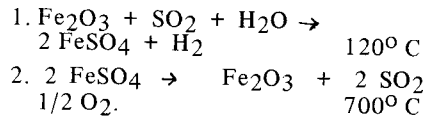
2. Thermochemische Speichersysteme

Im elementarsten Fall thermochemischer Energiespeicherung wird eine Verbindung AB bei erhöhter Temperatur in die Produkte A und B übergeführt.



(Eine spontane Spaltung AB ist zur Verbesserung des Wirkungsgrades wünschenswert.) Die Produkte können einzeln gespeichert und später unter Rückgewinnung der eingegebenen Energie wieder zur Reaktion gebracht werden.

Das System AB könnte z. B. H₂O sein. Insbesondere der entstehende Wasserstoff ist als Energieträger sehr geeignet. H₂O kann bei einer Temperatur von ca. 2 500 °K in einem Schritt gespalten werden. Diese hohe Temperatur kann vermieden werden, wenn man die Spaltung über einen Mehrstufenprozeß führt. Weltweit werden diese als thermochemische Kreisprozesse bezeichneten Reaktionssequenzen untersucht 6). Es sei hier nur eine Reaktionsfolge genannt:



Thermochemisch betriebene Wärmepumpe und andere neue Konzepte

Es gibt auch die Möglichkeit, Wärmepumpen durch thermochemische Prozesse zu betreiben 7). Auf diese und andere neuartige Speicherkonzepte, z. B. "Thermobeton", wird auf der Tagung "Heizen mit Sonne III - Speicherung" (vgl. S.) im einzelnen eingegangen.

Literatur:

- (1) Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977 - 1980, Herausg. BMFT
- (2) H. Böck: Wärmebilanz eines Wohnhauses. Unveröff. Facharbeit Sektion Physik, Universität München, 1975
- (3) G. Schöll: VDI Bericht 223, S. 33-38, 1974
- (4) M. Telkes: Klima und Kälte Ingenieur, 11, 1974
- (5) N. Laing: VDI-Bericht 223, 49-65, 1974
- (6) Energiequellen für morgen? Teil II: Nutzung der solaren Strahlungsenergie
- (7) Sharing the sun! Vol. 8: Storage, Water heater, Data Communication Education. A Joint Conference of the American Section of the International Solar Energy Society and the Solar Energy Society of Canada, Aug. 15-20, 1976, Winnipeg

| Zusammensetzung mol % | FP °C | D 25°C g/cm³ | D FP(fest) g/cm³ | D FP(flüssig) g/cm³ |
|-------------------------------------|-------|--------------|-------------------|---------------------|
| 58 KF/35NaF/7MgF ₂ | 685 | | | 2.090 |
| 52 LiF/35NaF/13CaF ₂ | 615 | 2.82 | 2.63 ⁺ | 2.225 |
| 65 NaF/23CaF ₂ /12LiF | 745 | 2.97 | 2.77 | 2.370 |
| 67 LiF/33MgF ₂ | 746 | 2.88 | 2.63 ⁺ | 2.305 |
| 75 NaF/25MgF ₂ | 832 | 2.94 | 2.69 | 2.190 |
| 62.5 NaF/22.5MgF ₂ /15KF | 809 | 2.85 | 2.65 | 2.110 |
| 46 LiF/44NaF/10MgF ₂ | 632 | 2.81 | 2.61 | 2.105 |
| 60 LiF/40NaF | 652 | 2.72 | 2.50 | 1.930 |
| 12 NaF/40KF/44LiF/4MgF ₂ | 449 | | | 2.160 |

Tabelle 1: Eutektische Fluoridmischungen mit Schmelzpunkt und Dichten

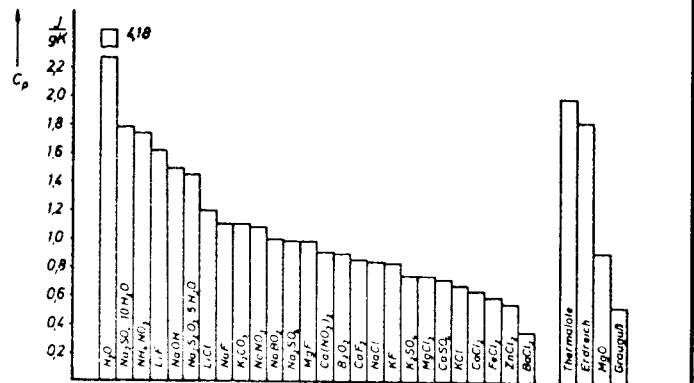


Bild 3: Vergleich der Wärmekapazität pro Volumeneinheit (Schröder)