Sommersonne für den Winter speichern - ein Traum?: saisonale Speicherung im Erdboden zur Wärmeversorgung von Siedlungen

Autor(en): **Hartmann, Peter / Juzi, Heinz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **118 (2000)**

Heft 14

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-79901

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Peter Hartmann, Heinz Juzi et al., Winterthur

Sommersonne für den Winter speichern – ein Traum?

Saisonale Speicherung im Erdboden zur Wärmeversorgung von Siedlungen

Ein Einfangen der Sonnenenergie im Sommer und deren Einspeicherung für den sonnenarmen Winter schwebt den Menschen schon seit langer Zeit vor. Früher standen die entsprechenden technischen Mittel nicht zur Verfügung. Die letzten Jahre haben jedoch neue Erkenntnisse zur Entwicklung und Auslegung solcher Systeme hervorgebracht. Neben Systemen, welche spezielle Wärmeträgermedien wie Wasser verwenden, besteht auch die Möglichkeit, das Erdreich selbst als Speichermedium zu verwenden.

Bei der vorliegenden Projektstudie «Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdboden zur Wärmeversorgung von grösseren Überbauungen» verzichtete man bewusst auf die Möglichkeit des Einsatzes von Wärmepumpen zum Anheben der Nutzungstemperatur. Nur das oberflächennahe Erdreich sollte als Speichermedium eingesetzt werden. Die Projektziele sind nachfolgend genannt (BFE-Forschungsprojekt 18 543):

- Die Idee der saisonalen Speicherung von Sonnenenergie im Erdboden zur Wärmeversorgung von grösseren Siedlungen ist auf ihre Machbarkeit in schweizerischen Verhältnissen zu überprüfen.
- Das Gesamtkonzept soll im Hinblick auf eine möglichst effiziente Ausnutzung der solaren Energie optimiert werden.

Es geht also bei dieser Forschungsarbeit darum, das Potential einer verstärkten Nutzung der thermischen Solarenergie mittels Saisonpeicherung auszuloten. Auslöser für diese Arbeit bilden die CO_2-Problematik, die Begrenztheit der fossilen Energiereserven sowie die Problematik der Nuklearstromerzeugung.

Mitarbeit am BFE Forschungsprojektes

Das Projekt «Saisonale Speicherung von Sonnenenergie im Erdboden zur Wärmeversorgung von grösseren Überbauungen» ist Teil des BFE-Foschungsprogrammes «Wärmespeicherung». Programmleiter: Jean Christophe Hadorn, Lausanne, und Bereichsleiter Alfons Hintermann, BFE

Selbstverständlich wäre die Ausmessung des realen Verhaltens eines solchen Speichers an einer Siedlung wünschbar, doch muss dies einer zweiten Phase vorbehalten bleiben.

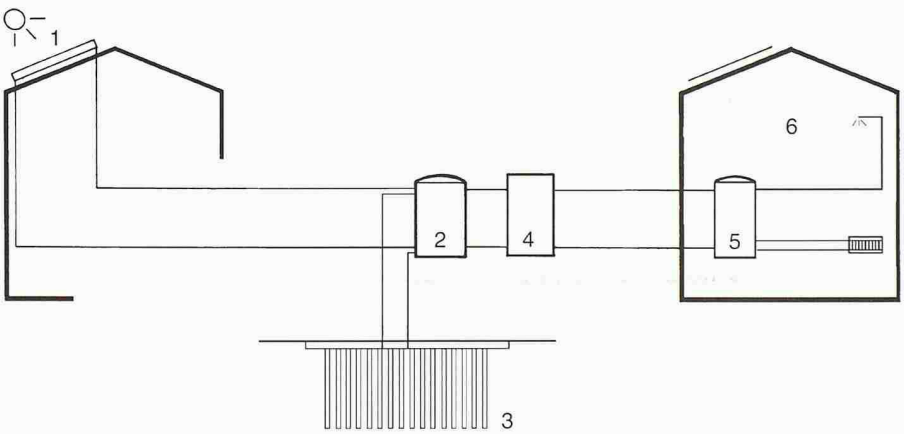
Das Prinzip der oberflächennahen Erdspeicher: Diffusivspeicher

In der Broschüre «Geothermie, praktische Nutzung von Erdwärme», BFE 1998, ist eine Anzahl von Prinzipien dargestellt, um frei verfügbare Energie (Solarwärme, Erdwärme) zur Nutzung heranzuziehen und um solche Energien auch für bestimmte Zeit einzuspeichern.

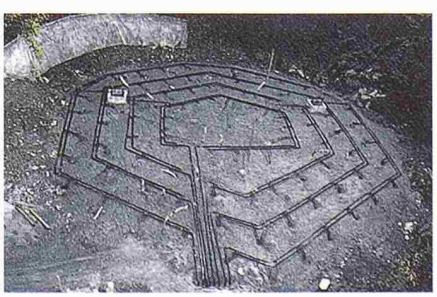
Hier beschränken wir uns bewusst auf die sogenannten Diffusivspeicher, welche ein oberflächennahes Volumen von einigen tausend Kubikmetern Erdreich als Speicher einsetzen (Bild 1): Die Kollektorenfelder (etwa 20 m^2 pro Wohneinheit) gewinnen Solarwärme und speisen diese entweder direkt zum Verbraucher (Heizung oder Warmwasser-Erwärmung) oder in den Erdspeicher ein (Bild 2).

Der Erdspeicher besteht aus einer grossen Zahl von Wärmetauscher-Rohren, die bis in eine Tiefe von 20 bis 30 m reichen. Der Speicher ist in der Regel nicht allseitig wärmegedämmt, sicher aber oberseitig.

«Vermittler» zwischen Kollektoren, Speicher und Verbraucher spielt der sogenannte Pufferspeicher. Als Zusatzwärmequelle dient eine Feuerung (nach Möglichkeit eine Holzfeuerung). Die Wärmeverteilung zwischen den Komponenten übernimmt ein Nahwärme-Verbundsystem. Schliesslich wird die Wärme zu Heiz- und Warmwasserzwecken mittels



1
Saisonspeicheranlage mit Kollektoren und einem oberflächennahen Erdspeicher für eine Siedlung. Legende: 1 Kollektorfeld; 2 Pufferspeicher (Kurzzeitspeicher); 3 Erdspeicher/Diffusivspeicher (Saisonaler Speicher); 4 Ergänzender Wärmeerzeuger; 5 Wärmeübergabestation im Gebäude (für WW- und Heizung); 6 Verbraucher



2
Aufsicht auf ein Feld von vertikalen Erdwärmesonden, wie sie prinzipiell zum Einsatz kämen

Wärmeübergabestationen an die Gebäude abgegeben.

Ergebnisse der Untersuchung

Die wünschbaren Senkungen des Verbrauches nicht erneuerbarer Energien bei Wohnbauten beginnt bei der möglichst weitgehenden Senkung des Bedarfs durch «konventionelle» Wärmeschutzmassnahmen und sinnvolle Energiegewinne; Erst in zweiter Linie folgt die Konzeption erwähnter Speichersysteme. Die nachfolgend beschriebenen Optimierungsbestrebungen ordnen sich diesem Prinzip stets unter. Selbstverständlich gelingen Bedarfssenkungen weit einfacher bei Neubauten als bei Altbauten mit ihren diversen Limitierungen (räumliche Eingrenzung, eventuell geschützte Fassade, vorgegebene Orientierung, Fenstergrössen und vieles anderes mehr).

Grundvoraussetzungen für den Bau von Diffusivspeichern

Das Gesetz verbietet Speicher in Grundwasserschutzzonen, zudem müssen weitere Randbedingungen berücksichtigt werden:

- *Minimale Siedlungsgrösse*: Der Wirkungsgrad von oberflächennahen Erdspeichern nimmt wegen des ungünstigen Verhältnisses von Oberfläche zu Inhalt mit kleiner werdendem Volumen ab. Dieser Sachverhalt ist in Bild 3 für zylindrische Speicher mit einem Verhältnis Höhe/Durchmesser = 1 dargestellt. Speicher mit einem Volumen von weniger als 5000 m^3 sind in der Regel nicht mehr tragbar, da der Systemwirkungsgrad unter 40% beträgt. Der Wirkungsgrad grösserer Speicher steigt immerhin über 50%. Eine Wohnsiedlung mit kostenoptimaler Saisonspeicheranlage muss deshalb eine minimale Grösse, respektive einen minimalen Jahresenergieverbrauch aufweisen. Dieser Minimalverbrauch liegt in der Schweiz bei sanierten Altbausiedlungen bei ungefähr 1000 MWh/Jahr, für Neubausiedlungen bei etwa 600 MWh/Jahr.
- *Vermeidung von Wärmeverlusten durch Grundwasserströme*: Grundwasserströme mit einer Fliessgeschwindigkeit von mehr als 5–10 m pro Jahr erhöhen die Wärmeverluste eines Speichers massiv und reduzieren damit den solaren Deckungsgrad der Gesamtanlage. Die hydrogeologischen Rahmenbedingungen des Erdreichs an möglichen Standorten von Erdspeichern sind deshalb sorgfältig zu untersuchen und führen zu unterschiedlichen Speichertypen (Bild 4).

Beschreibung des Vorgehens und die Darstellung der Resultate

Die Resultate des genannten Forschungsprojektes werden hier folgendermassen dargestellt:

- Potential und grundsätzliche Kennwerte von Saisonspeichersystemen bei Neu- und sanierten Altbauten
- Merkmale günstiger Subsysteme (Solaranlage, Erdspeicher, Pufferspeicher, Verbundnetz, Wärmeverteilung, und Wärmeabgabe, Warmwasser-Versorgung)
- Kerndaten einer optimierten Saisonspeicheranlage, in einer sanierten Siedlung der 70er-Jahre. (Am Schluss des Artikels wird dies an einem Typbeispiel exemplarisch dargestellt.)

Kosten der Wärmeversorgung, gewählte Randbedingungen

Die Gesamtkosten (Kapitalkosten, Wartungs-, Bedienungs- und Unterhaltskosten, Energiekosten, Umweltkosten) der Wärmeversorgung einschliesslich den zusätzlichen Wärmeschutzmassnahmen wurden auf der Basis folgender Annahmen ermittelt:

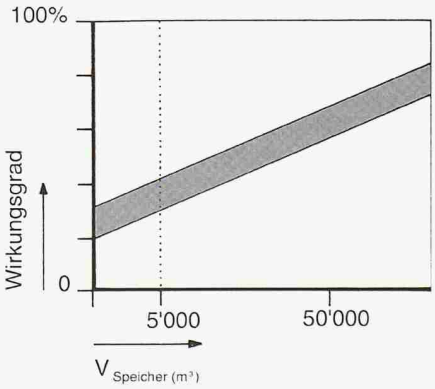
- Zinssatz (pro Jahr): 5%
- Energiekosten Heizöl: 3,0 Rp./kWh
- jährliche Energiepreissteigerung: 1,5%
- Umweltkosten Heizöl: 4,5 Rp./kWh (externe Kosten)

Nutzungsdauer der Anlagekomponenten:

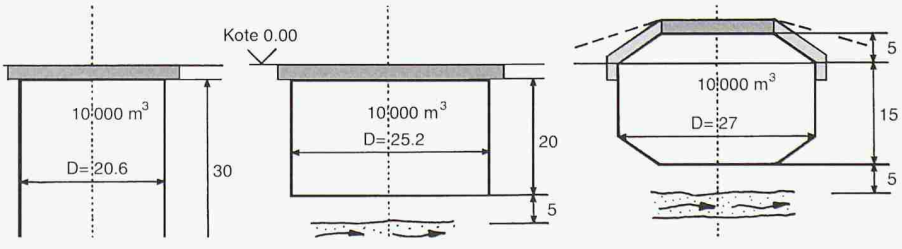
- Kollektoranlage 20 Jahre
- Erdspeicher 50 Jahre
- übrige Komponenten gemäss Richtlinie AFB (Amt für Bundesbauten)

Eine Altbau- und eine Neubausiedlung

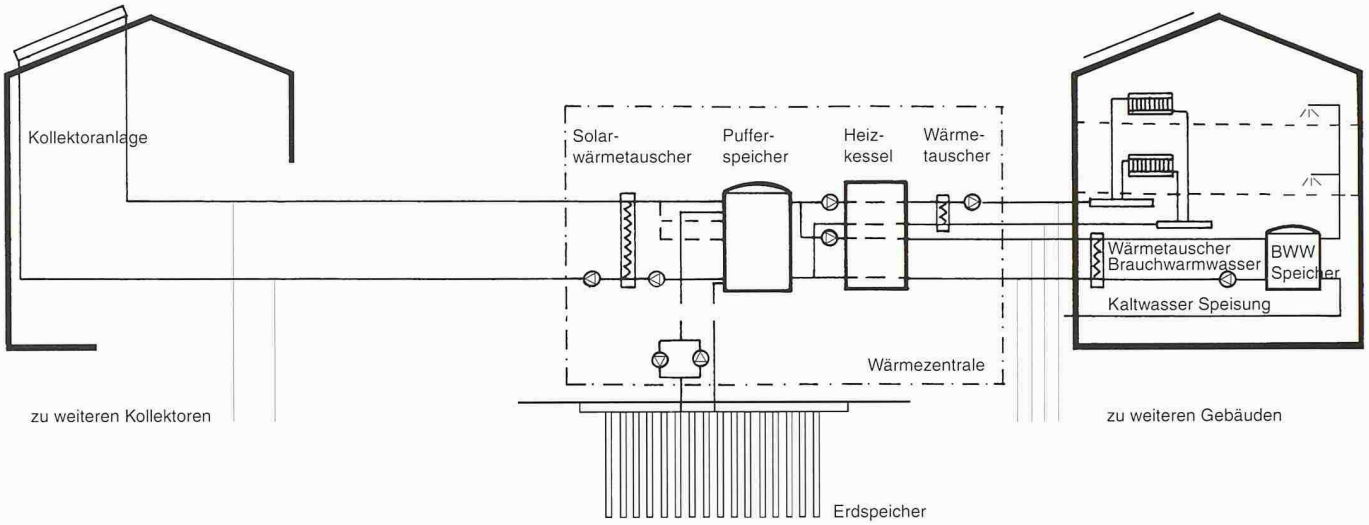
Grundsätzlich soll bei Altbauten der Energieverbrauch für Wärmezwecke



3
Speicherwirkungsgrad in Funktion des Speichervolumens Vs (Höhe/Durchmesser = 1, Dicke der Wärmedämmung an der Speicheroberseite: 0,3 m)



4
Typische Formen von drei gleich grossen Speichern in unterschiedlichen hydrogeologischen Verhältnissen. Typ A: Geeignet für Böden ohne nennenswerte Grundwasserströme; Typ B: Geeignet für Böden mit stärkeren Grundwasserströmen unterhalb –25 m; Typ C: Geeignet für Böden mit stärkeren Grundwasserströmen unterhalb –20 m. Legende: Wärmedämmung und Humusschicht an der Speicheroberseite (0,3 m und 0,7 m); Wasserführende Bodenschicht, Fliessgeschwindigkeit > 5 bis 10 m pro Jahr; H = Höhe des Speichers D = Durchmesser des Speichers



5
Detailskizze des gewählten Anlagekonzeptes

möglichst unter die gesetzliche Limite gesenkt werden. Anschliessend kann durch eine Saisonspeicheranlage der Restbedarf in der Regel zu etwa 50–55 % mit erneuerbarer Energie gedeckt werden.

Für Neubauten liegen die Verhältnisse in zweierlei Hinsicht günstiger: der Energieverbrauch ist ohnehin tiefer als bei Altbauten; auch erfolgt der Heizbetrieb mit tieferer Vorlauftemperatur. Von diesem Verbrauch können schliesslich gegen 70% mit erneuerbarer Energie gedeckt werden, also ein höherer Anteil.

Selbstverständlich verursachen diese Speichersysteme nicht unerhebliche Erstinvestitionen. Vergleicht man jedoch die jährlichen Gesamtkosten für Wärmeversorgung und zusätzlichem Wärmeschutz mit denjenigen konventioneller Wärmeversorgungskonzepte, so fallen die Mehrkosten moderat aus. Die Mehrkosten betragen zirka Fr. 350.- (700.-) pro Jahr für eine Altbauwohnung und zirka Fr. 300.- (550.-) pro Jahr für eine Neubauwohnung. Die Zahlenwerte in den Klammern entsprechen den Mehrkosten ohne Berücksichtigung der externen Brennstoffkosten.

Subsysteme

Die Subsysteme (Bild 5) ergeben gute Resultate, wenn sie die nachfolgend beschriebenen Merkmale aufweisen:

Solaranlage

Die Solaranlage bei effizienten Anlagen besteht aus mehreren grossflächigen Kollektormodulen, die möglichst auf den Dächern der Wohnblöcke, vorzugsweise nach Süden exponiert, aufgestellt werden.

Bei Neubauten ist der Einbau von Solardächern (Grossflächige Kollektorfelder, die gleichzeitig die Wetterschutzfunktion des Daches übernehmen) anzustreben. Diese bilden Absorberfläche und Dachkonstruktion in einem. Technisch und wirtschaftlich am günstigsten sind einfachverglaste Absorber. Die erforderliche Kollektorenfläche hängt vom Wärmebedarf (Heizung und Brauchwarmwasser) und vom gewünschten Deckungsgrad ab. Der Nettoertrag von einem Quadratmeter Kollektorfläche liegt bei Kollektoren in Koppelung mit Saisonspeichern zwischen 0,29 und 0,35 MWh/Jahr, dies entspricht ungefähr 30–35 kg Heizöl pro Quadratmeter und Jahr.

Erdspeicher

Der Langzeit-Erdspeicher besteht aus vertikal angeordneten Wärmetauschern, die mit Bohr- oder Rammtechnik eingetieft werden. Kostengünstiger ist die Rammtechnik. Sie kann aber nur bei weicheren Böden angewendet werden, die in der Schweiz vorwiegend im Verlandungsgebiet ehemaliger Seen vorkommen (also nicht sehr häufig angetroffen wird). Der Abstand zwischen den Wärmetauschern liegt bei 2 bis 2,5 m. Die Wärmetauscherrohre bestehen aus korrosionsfestem Polybuten-Kunststoff, der bei den vorgesehenen Betriebsbedingungen über eine Lebensdauer von mehr als 50 Jahren aufweist. Die Wärmetauscher werden entweder in Doppel-U-Rohr- oder Dreifach-U-Rohr-Ausführung gefertigt. Das erforderliche Speichervolumen liegt im Bereich von 5 bis 8 m^3/m^2 Kollektorfläche.

Pufferspeicher

Der Pufferspeicher (Wasserspeicher) befindet sich im Zentrum der Anlage und stellt eine Art Energiedrehscheibe im System dar. Neben seiner Aufgabe als Kurzzeitspeicher (dem Ermöglichen einer kontinuierlichen Beladung des Erdspeichers und dem Bereitstellen einer angemessenen Energiereserve für die Warmwassererwärmung) hat er in effizienter Art das Sammeln und Verteilen der ein- und ausgehenden Energieströme zu bewerkstelligen. Das erforderliche Wasserspeichervolumen beträgt rund 0,1m^3/m^2 Kollektorfläche.

Nahwärme-Verbundnetz

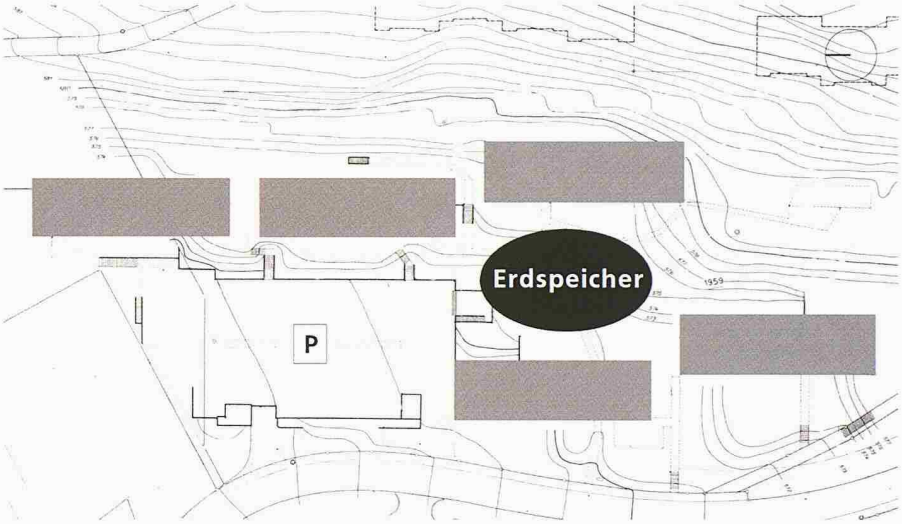
Das Leitungsnetz zwischen den Kollektorfeldern und der Speicheranlage sowie zwischen Pufferspeicher und den Verbrauchern ist als sogenanntes 4+2 Leiternetz aufgebaut: das heisst es weist je einen separaten Vor- und Rücklauf für Heizung und Brauchwarmwasser auf und ebenso für die Solaranlage. Auf diese Weise ist es möglich, jeden einzelnen Kreislauf mit dem bestmöglichen Temperaturniveau zu fahren.

Heizwärmeverteilung und Wärmeabgabe

Um eine möglichst hohe Ausbeute der solaren Energie zu erreichen ist es wichtig, Vor- und Rücklauf der Heizung auf tiefem Temperaturniveau zu betreiben, was mit einer sorgfältig ausgelegten Niedertemperaturheizung erreicht werden kann.

Warmwasser Versorgung

Die Warmwasser Versorgung besteht pro Gebäude aus dezentral angeordneten Wasserspeichern, die sich kontinuierlich über Plattenwärmetauscher laden. Auch hier wird durch eine zweckmässige Anlagendimensionierung eine möglichst tiefe Rücklauftemperatur zum Pufferspeicher gewährleistet (Bild 5).



6
Situation mit Platzierung des Erdspeichers

7
Westfassade nach der Sanierung



Beispiel einer Saisonspeicherung in einer Altbau-Siedlung in Wettswil

Die Siedlung Wettswil im Kanton Zürich ist typisch für die 70er-Jahre. Sie wurde kürzlich von den Architekten Marianne Burkhalter und Christian Sumi saniert. Bei der Sanierung waren für die Haustechnik keine aussergewöhnlichen Massnahmen geplant. Die Studie der Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW) zeigt, wie für diese Siedlung eine Saisonspeicheranlage dimensioniert werden müsste, welche Probleme hierbei entstehen könnten und welche Kosten zu erwarten sind.

Konventionelle Sanierung

Die Überbauung wurde 1996 energetisch saniert und räumlich erweitert. Bei der Sanierung wurde das Einsteinmauerwerk mit einer hinterlüfteten Eternitfassade und mit einer Wärmedämmung versehen. Gleichzeitig wurden die alten, kleinen Balkone abgebrochen und durch neue, den Baukörpern vorgelagerte, durchgehende Balkone ersetzt. Dadurch vergrösserte sich auch der Wohnraum jeder Wohnung. Durch die Sanierung reduzierte sich der Heizenergiebedarf um 45%. Diese Verringerung entspricht einer typischen Sanierung. Es besteht eine zentrale Heizungsanlage (nach wie vor überdimensioniert) mit einem Wärmeverbundsystem. Weiterreichende Sanierungsmöglichkeiten wie eine besser gedämmte Gebäudehülle (Wärmebedarfsreduktion um weitere 30% des ursprünglichen Wertes) oder eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung wurden nicht genutzt.

Sanierungsszenario: Saisonspeicher

Bei einer Sanierung mit Saisonspeicheranlage müsste der Wärmeschutz

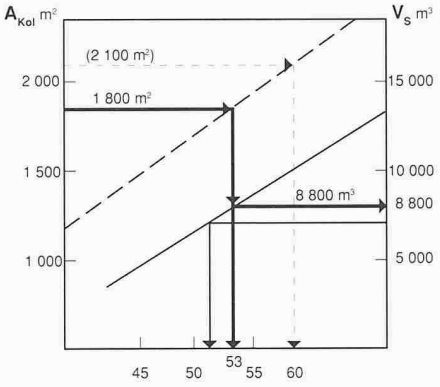
Eckdaten der Altbausiedlung Wettswil mit Saisonspeicherszenario

- 135 Wohneinheiten à 104 m²
- Energiebezugsfläche: 14 000 m²
- Jährlicher Energiebedarf Wärme gemäss gesetzlicher Vorschrift etwa 1356MWh/a
- Jährlicher Energiebedarf Wärme mit Zusatzwärmedämmung: 1000 MWh/a davon solare Deckung: etwa 54% möglich; fossile Deckung: 46%

Notwendige Komponenten:

- Kollektoren 1800 m²
- Erdspeicher 8800 m³
- Pufferspeicher 180 m³

Investitionsmehrkosten1 von ungefähr 2,1 Mio. Fr., das heisst pro Wohnung etwa Fr. 15500 (Einschliesslich zusätzlichem Wärmeschutz)



8

Das Bild bezieht sich auf das Beispielszenario der Altbausiedlung Wettswil. Legende: «Anwendungfenster» saisonale Speicherung, Typsiedlung Altbau (QW,G =1006 MWh/a); A_{Kol} = Fläche Sonnenkollektoren; V_S = notwendiges Erdspeichervolumen; SF = solare Deckungsrate

über das gesetzliche Mass verbessert werden. Nur so ist es möglich, ohne grössere Mehrkosten für neue Heizkörper die Heizungsvorlauftemperatur massiv abzusenken.

Für die Installation einer Kollektoranlage steht auf den Dächern nur eine eingeschränkte Nutzfläche zur Verfügung: Zusätzliche Kollektoren könnten auf der Überdachung der Parkplätze installiert werden. Dadurch stünde genug Kollektorfläche zur Verfügung, um den Saisonspeicher zu beladen (Kennwerte siehe Kasten).

Für die Installation des Erdspeichers bestehen verschiedene Möglichkeiten. Am besten geeignet erscheint die Platzierung des Speichers (Bilder 6 und 7) zwischen den Gebäuden an einer Stelle, wo die Verluste (Speicher und Transport) möglichst gering bleiben. Die Speicherverluste könnten dabei zum Teil durch die umliegenden Häuser aufgenommen werden.

Folgerungen und Ausblicke

Zu Beginn der Projektarbeit war zwar bekannt, dass in anderen Ländern vergleichbare Systeme bereits in Betrieb sind. Weitere Details wie etwa der Anwendungsbereich in der Schweiz, die Art und Grösse der Siedlungen, die geologischen Voraussetzungen und die Systemkosten waren ungeklärt. Im Verlauf der Arbeit ist zum Ausdruck gekommen, dass das beschriebene Konzept besonders bei Altbausiedlungen Vorteile bietet. Es kann im Rahmen einer ohnehin durchzuführenden Sanierung eine namhafte Senkung des Bedarfs an nicht erneuerbaren Energien erreicht werden.

Die Bewohner solcher Siedlungen werden weder beim Bezug des Warmwassers noch beim Betrieb der Heizung Unterschiede feststellen zu einer konventionell beheizten Anlage. Da die Zusatzkosten in der gleichen Grössenordnung liegen wie die heutigen, sehr tiefen Heiz- und Warmwasserkosten, kann ein solches System bei einem Pilotprojekt nicht ohne besondere Zusatzfinanzierung betrieben werden kann. Die anfängliche Hoffnung, die solare Deckung so gearteter Siedlungen sehr hoch zu treiben (möglichst in den Bereichen von etwa 90%, was keine Zusatzheizung nötig macht) hat sich komplett zerschlagen (Bild 8).

Abschliessend soll betont werden, dass mit einer Pilotanlage und der entsprechenden mehrjährigen Evaluation heute gestartet werden sollte, wenn entsprechende Erfahrungen mittelfristig zur Verfügung stellen sollen. Theoretische Berechnungen zeigen, dass es ungefähr fünf Jahre dauert, bis sich der thermische Gleichgewichtszustand im «Erdspeicher» und seiner Umgebung einpendelt. Eine Studie dieser Art böte im Vergleich zum jährlichen Energiebudget der Schweiz oder zu den noch weit kostenintensiveren Folgen der globalen Ressourcenprobleme einen wertvollen Baustein.

Adresse der Verfasser:
Werner Dubach, Prof., ehemaliger Dozent ZHW, Häringstrasse 20, Zürich; ZHW Winterthur: *Hans Fuchs*, Prof., *Peter Hartmann*, Prof. Dr., *Heinz Juzi*, Prof. Dr., *Hannes Wanner*, Dr., *Rolf Wellauer*, dipl. Ing. Dozent, *Norbert Hilber*, Projektassistent, *Kurt Müller*, Projektassistent, ZHW Winterthur, 8401 Winterthur und *Daniel Pahud*, Dr., EPFL, LASEN, Lausanne