



Schlussbericht 25.11.2011

UMNUTZUNG VON HEIZÖLTANKS ZU NIE- DERTEMPERATURSPEICHERN FÜR DIE SOLARTHERMISCHE ENERGIE NUTZUNG VON GEBÄUDEN

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Energie in Gebäuden
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

Spörri & Schmitter Architekten AG
Alter Schulweg 36B
5102 Rapperswil
www.spoerri-schmitter.ch

Schüpbach Engineering AG
Sägereistrasse 24
8152 Glattbrugg
www.se-ing.ch

Institut für Solartechnik SPF
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil
www.solarenergy.ch

Autoren:

Heinz Marty, Institut für Solartechnik SPF, heinz.marty@solarenergy.ch
Paul Gantenbein, Institut für Solartechnik SPF, paul.gantenbein@solarenergy.ch
Walter Schüpbach, Schüpbach Engineering AG, w.schuepbach@se-ing.ch
Marcel Spörri, Spörri & Schmitter Architekten AG, m.spoerri@spoerri-schmitter.ch

BFE-Bereichsleiter: Andreas Eckmanns

BFE-Programmleiter: Charles Filleux

BFE-Vertrags- und Projektnummer: SI/500511-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Einfamilienhaus mit Baujahr 1968 soll „energetisch“ saniert werden. Es wird untersucht, wie ein bestehender Heizöltank möglichst einfach umgenutzt und als Wärmespeicher für eine Solaranlage in das neue, eine Wärmepumpe nutzendes Heizsystem integriert werden kann. Die Hauptarbeit im diesem Projekt bestand nun darin über Simulationen herauszufinden ob sich der zum Wärmespeicher „umfunktionierte“ Heizöltank als „Niedertemperaturspeicher“ für die Wärmepumpe eignet bzw. wie die Verschaltung von thermischer Solaranlage und dem „Niedertemperaturspeicher“ sowie der Wärmepumpe gestaltet werden soll.

Die Arbeiten zeigen, dass eine Parallelschaltung von Wärmepumpe und thermischer Solaranlage energetisch besser ist als eine Serienschaltung. Dies weil bei fehlender Sonneneinstrahlung und leerem Niedertemperaturspeicher sowie gleichzeitigem Wärmebedarf dieser komplett mit elektrischer Energie gedeckt werden muss. Bei der Parallelschaltung ist hingegen die Nutzung der Umgebungsluft als Wärmequelle auch bei fehlender Solarenergie möglich und es wird nur ein Teil (je nach COP und Temperaturverhältnisse) des Energiebedarfs in Form von elektrischer Energie benötigt. Es hat sich auch gezeigt, dass der 4m^3 Tank – inklusive mit einer theoretisch möglichen Nutzung des Speicherraumes z.B. aufgefüllt mit Sand als Speichermaterial – zu klein ist um eine saisonale Versorgung des Gebäudes zu ermöglichen. Je nach Verschaltung der Komponenten ist der 4m^3 Tank bereits im Spätherbst leer. Wobei ein experimenteller Nachweis erbracht werden müsste, weil hierzu nur eine Energiebilanz („statische Rechnung“) und nicht auch eine Leistungsbilanz („dynamische Rechnung“) gemacht wurde. Damit lohnt sich der Umbau des Heizöltanks zum Wärmespeicher nicht und es wird der Bau einer Solar-Kombianlage mit 12m^2 bis 15m^2 Kollektorfläche, einem Speicher mit von 800l bis 1000l und mit einer Luft-Wasser Wärmepumpe mit einer Leistung von 5kW sowie einer PV-Anlage auf der restlichen Dachfläche empfohlen. Für einen höheren thermischen solaren Deckungsgrad empfiehlt sich auch ein Kollektorfeld mit 24m^2 und einem 1200l Speicher. Die Details sind jedoch entsprechend der lokalen Verhältnisse zu bestimmen.

SUMMARY

A single family house of construction year 1968 has to be totally renovated. In relation to the thermal energy supply of the building the concept of integrating the former oil storage tank as a solar hot water storage into the room heating and domestic hot water installation will be analysed theoretically.

The aim of the simulation work was to find out whether it will make sense to use the oil tank to store solar energy either for direct use combined with an air-water heat pump or as “the low” temperature source of the water-water heat pump.

From the energetic standpoint of view the results are showing that a parallel switching of the solar thermal energy plant and the air-water heat pump is superior compared to the serial connection of these two sources. In case of the series connection in periods of low or even no solar radiation the thermal energy has to be supplied by a public grid connected electrical heater, which in this system is a non-ecological approach. On contrary to the series connection in the parallel configuration air can be used as a heat source for the energy supply - and depending of the COP of the heat pump the use of electric energy is much lower.

The simulations of the systems with the 4m^3 oil tank as thermal energy storage are showing that, even with a still loaded tank at the end of the summer, at least in the late autumn for both configurations the tank will be empty.

It is further shown that the 4m^3 oil tank is too small for seasonal application even with the additional use and filling of the rest of the storage room of 11m^3 with sand as storage material. But a validation of these findings (additional use of the storage room) on the basis of experimental measurements is recommended because no dynamic analysis for this idea has been done.

A further use – after a careful cleaning – of the oil tank as a solar thermal energy storage tank is economically not reasonable. The installation of a solar combi-system with a collector field area of 12m^2 to 15m^2 and a storage tank volume of 800l to 1000l in combination with an air-water heat pump with a power of 5kW are recommended. A solar thermal fraction of about 28% will be reached by this system. Optional, to enhance the solar energy gain of the single family house, a PV-System can be installed and the remaining building roof area can be used for a PV-modules installation.

A higher solar thermal energy fraction of around 35% can be reached by a collector field of 24m^2 and a hot water storage volume of 1200l.

A detailed analysis of the local situation will be necessary for the design and planning process of the system.

Projektziele

1. CO₂ Reduktion durch die Dämmung: Die bestehende Gebäudehülle im Minergie- (2009) oder im Minergie-P-Standard mit Wärmedämmung ausrüsten sowie Ersatz der Ölheizungen.
2. Nutzung von Solarwärme: Durch den Bau einer thermischen Solaranlage soll Wärme für Brauchwasser und Raumheizung bereitgestellt werden.
3. Einbezug von Recycling bzw. vorhandenen Apparaten: Durch den Ersatz der Ölheizung können Erdöltanks als Wärmespeicher („Niedertemperaturspeicher“) genutzt werden.
4. Hohe COP- Werte von Wärmepumpen ohne Erdsonden: Bei geringerer Sonnenstrahlung im Winter, soll die im Niedertemperaturspeicher eingelagerte Energie mittels einer Wasser-Wasser- Wärme-pumpe entzogen werden.
5. Erarbeitung eines ökologischen Gebäudesanierungskonzeptes: Durch optimale Nutzung solarer Wärme aus Flach- und/oder Vakuumkollektoren und dem kombinierten Einsatz von Hoch- und Niedertemperaturspeichern soll der Deckungsgrad des Heizenergie- und Warmwasserbedarfs eines zu renovierenden Gebäudes möglichst hoch sein. Dabei sind ökonomische Gesichtspunkte unter Einbezug von elektrischer Energie aus PV-Modulen zu berücksichtigen.

Einleitung

Bei Renovation oder Umbau von Gebäuden mit Ölheizung, bei welchen diese durch ein anderes Heizsystem ersetzt werden soll, besteht die Optionen den Heizöltank als Wärmespeicher in das neue Heizsystem zu integrieren. Das Volumen der Heizöltanks ist mehrheitlich so dimensioniert, dass die Heizölspeicherkapazität ca. den Heizöljahresbedarf deckt. Am Beispiel eines Einfamilienhauses soll ein Konzept der Umnutzung der Öltanks zu Speichern für Solarwärme entwickelt und auf die Übertragbarkeit auf andere Objekte geprüft werden. Da die Heizöltanks mehrheitlich aus Werkstoff Stahl gefertigt wurden, ist zu erwarten, dass sie gut als Wärmespeicher für Temperaturen im Bereich von $T=0-90^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden können. Im Projekt wird ein Konzept zur Einbindung der Öltanks in das neue Gebäude-Energiesystem erarbeitet sowie ein Rohrleitungs- und Instrumentierungsschema erstellt. Auf Grund der Ergebnisse wird eine Empfehlung gemacht.

Vorbemerkungen zum Konzept und Randbedingungen

Die Umsetzung besteht nun darin, ein Heizsystem basierend aus einer thermischen Solaranlage und Wärmepumpe zu evaluieren [1, 2, 3]. Das Heizsystem soll einen hohen solaren Deckungsgrad aufweisen und nach ökologischen und ökonomischen Aspekten optimiert sein. Der Brauchwarmwasserbedarf soll auch in Wintermonaten wenn möglich vollumfänglich solar bereitgestellt werden können. Dazu ist ein Heizsystem als Ausgangslage zu definieren, welches die zentralen Komponenten thermisches Kollektorfeld (neu), der umfunktionierte Heizöltank zum Niedertemperaturspeicher (bestehend, jedoch Umbau), Brauchwarmwasser-Speicher (neu), Wärmepumpe (neu), Heizkreis und das Warmwassernetz (bestehend) enthält. Es ist angedacht, mit thermischen Kollektoren oder kombinierten PV-Thermie-Kollektoren und mit PV-Panels die Dachfläche zu bedecken. Mit Hilfe von Simulationen sollen Planungsgrößen wie Kollektorfeldgrösse und –Art sowie Brauchwarmwasser-Speichervolumen, bestimmt werden [4].

Informationen zum Untersuchungsgegenstand

Das Gebäude welches als Grundlage dient und in welchem ein solches System installiert werden soll befindet sich in Schafisheim bei Lenzburg. Die Gebäudekennwerte sind:

- Einfamilienhaus (EFH): EFH mit jährlichem Wärmebedarf für Raumwärme $Q_h=6250\text{kWh/a}$ oder $q_h=50\text{kWh/m}^2/\text{a}$ und jährlichem Energiebedarf für Warmwasser für 4 Personen gemäss SIA 380/1 von 3000 MJ/Person.
- Dachfläche: Giebelausrichtung Nord-Süd; Dachflächen nach Osten und Westen gerichtet; Dachneigung 30° ; $2*40\text{m}^2$ Bruttofläche; davon ist die Westseite (max. 40m^2) noch

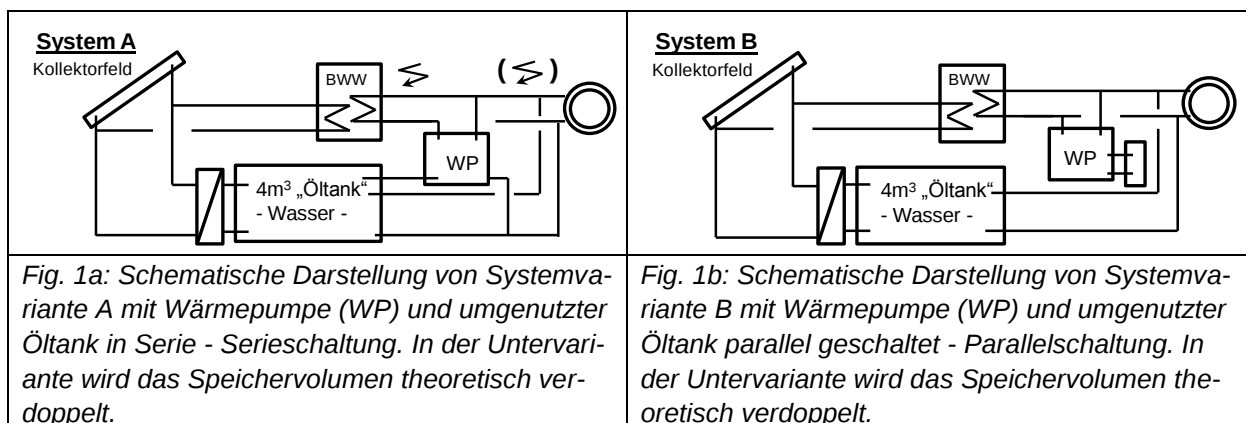
nicht belegt, die Ostseite ist jedoch bereits mit 30m² PV-Panels belegt. Obwohl die Ost-Dachseite des Objektes bereits mit 30m² PV-Modulen bestückt ist, kann diese bei Bedarf jedoch zusätzlich mit thermischen Kollektoren bestückt werden. In der Untersuchung soll daher mit 30m² Sonnenkollektoren und mit 50m² PV-Module gerechnet werden.

- Heizöltank: Zylinderförmige Struktur mit einem Volumen V=4000l, aus Baustahl ohne Innenbeschichtung, keine Wärmedämmung. Durch zusätzliches Einbringen von z.B. Sand als Speichermaterial wird das Speichervolumen theoretisch verdoppelt.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Integration und Funktion der Anlagenteile – Heizöl- und Brauchwarmwasser-Tank, Luft-Wasser-Wärmepumpe, Solaranlage

Die in der Projektdefinition offen gehaltenen Möglichkeiten der Komponenten-Verschaltung und deren Einsatz, konnten auf zwei Grundvarianten eingegrenzt werden. In einer Variante sowie deren Untervariante dient der Speicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe sowie für die Raumheizung und den Brauchwarmwassertank – Warmwasserspeicher (umgebauter Öltank) und Wärmepumpe sind in diesem System A Serie geschaltet [5]. In der zweiten Variante sowie deren Untervariante nutzt die Wärmepumpe nur die Umgebungsluft als Wärmequelle und der Öltank wird für die Raumheizung genutzt sowie zur Speisung des Brauchwarmwasserspeichers – Wärmepumpe und umgenutzter Öltank sind in diesem System B parallel geschaltet, s. Fig. 1a & 1b.



Als Randbedingung für alle Systeme wird die vollständige Nutzung der Dachfläche zur Belegung mit Solarkollektoren und PV-Module festgelegt. Die Aufteilung zwischen Solarkollektoren und PV-Module wird gegeben. Die Ideen/Funktionen der einzelnen anderen Komponenten werden in folgenden Abschnitten erklärt und die des „Öltanks“ in der Tabelle 1 schematisch dargestellt. Letztendlich wird zum Vergleich der Systeme ein Standard Solar-Wärmepumpe-Kombisystem herangezogen.

1. Heizöltank als Wärmespeicher – der Umbau muss einfach, funktional und preiswert sein. Der Heizöltank wird als Wasser-Solarwärmespeicher (WSW-Speicher) eingesetzt. Zur Be- und Entladung sind horizontal eingebaute „gelochte Rohre“ als Speichereinbauten ange-dacht und notwendig. Damit kann der Speicher über das Jahr verschiedene Funktionen übernehmen. Im Winter dient er 1. als Wärmequelle (Niedertemperatur) für Raumwärme, welche in System A über die Wärmepumpe auf entsprechendes Temperaturniveau angehoben wird. In der Heizübergangszeit dient er 2. als direkte Wärmequelle für die Raumheizung. Und im Sommer wird er zum Pufferspeicher für Solarwärme und dient 3. als Wärmequelle für Brauchwarmwasser (BWW). Für die drei Funktionen entstehen somit drei unterschiedliche Randbedingungen für den Speicher.

- i) Winter: Solange der Speicher die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe liefern kann ($<7^{\circ}\text{C}$ und $>22^{\circ}\text{C}$)¹ wird mit der Wärmepumpe die Raumwärme bereitgestellt. Zu beachten ist bei dieser Betriebsart die mögliche Kondensatbildung an der Speicheroberfläche.
- ii) Frühling/Herbst: Solange der Speicher die Vorlauftemperatur der Wärmeverteilung (im konkreten Projekt ist es eine Radiatorenheizung) liefern kann (je nach Aussentemperatur max. $T=35^{\circ}\text{C}$) bezieht die Wärmeverteilung die Wärme direkt über das Entnahmerohr aus dem zum Wärmespeicher umgebauten Speicher.
- iii) Sommer: Der BWW-Speicher kann bei Bedarf über den WSW-Speicher nachgeladen werden. Der WSW-Speicher hat eine Temperaturbegrenzung von $T=90^{\circ}\text{C}$ – er kann mit Solarwärme bis $T_{\text{max}}=90^{\circ}\text{C}$ beladen werden.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Wärmeabnehmer (Senke)	Quelle für Wärmepumpe	Quelle für Wärmepumpe	Quelle für Wärmepumpe	Quelle für Raumwärme	Brauch-warmwasser	Brauch-warmwasser	Brauch-warmwasser	Brauch-warmwasser	Quelle für Raumwärme	Quelle für Wärmepumpe	Quelle für Wärmepumpe	Quelle für Wärmepumpe
Temperaturniveau der entnommenen Wärme	7 bis 22°C	7 bis 22°C	7 bis 22°C	$T_{\text{rm-vl}}$	60°C	60°C	60°C	60°C	$T_{\text{rm-vl}}$	7 bis 22°C	7 bis 22°C	7 bis 22°C

Saisonabhängige Funktionen des umgebauten Heizöltanks – Funktion als Wärmequelle mit entsprechendem Temperaturniveau.

2. Zur Bereithaltung von Brauchwarmwasser (BWV) wird ein BWV-Speicher mit 300l Volumen eingebaut. Die Beladeoption in den BWV-Speicher wird der Beladeoption in den WSW-Speicher vorgezogen.
3. Die Wärmepumpe
 - i) Wasser-Wasser-Wärmepumpe bei System A
 - soll den WSW-Speicher als Niedertemperaturwärmequelle nutzen und nur Wärme für Verbraucher bereitstellen wenn diese nicht anderweitig bereitgestellt werden kann.
 - muss evtl. mit Elektroheizzusatz in Sekundärkreis ausgerüstet werden sofern die minimale Wärmepumpenvorlauftemperatur im WSW-Speicher unterschritten wird.
 - entlädt Speicher auf bei Heizbetrieb hauptsächlich bis maximal 7°C .
 - ii) Luft-Wasser-Wärmepumpe bei System B
 - ist im Einsatz wie auch bei herkömmlichen Solar-Wärmepumpen Systeme
 - entlädt Speicher bei Heizbetrieb hauptsächlich auf Temperatur von Heizungsrücklauf.

Systeme A und System B sowie deren Vergleich

In den Diagrammen von Fig. 3 und Fig. 4 weiter hinten im Bericht ist gut zu sehen, dass der mit Wasser gefüllte Öltank, verwendet als Wärmespeicher (4m^3 , 4.6kWh/K) Ende August vollständig mit Solarwärme geladen ist. Von der doch eher gross ausgelegten Solaranlage mit 30m^2 Kollektorfläche für ein Einfamilienhaus (EFH) mit Warmwasserverbrauch von 3000MJ/a/Person ist dies jedoch auch zu erwarten. Die Solaranlage mit 30m^2 Kollektorfläche liefert im Sommer gemäss Polysun nämlich maximal bis gegen 66kWh/Tag . Ist der Speicher wie bei den analysierten Systemen mit 4000l und 80°C heissem Wasser gefüllt und kann wie beim System A auf 7°C Wassertemperatur entladen werden entspricht

¹ Die Grenzen von $>7^{\circ}\text{C}$ und $<22^{\circ}\text{C}$ sind so gewählt, dass zum einen keine Eisbildung im entsprechenden WP-Rücklauf und zum anderen keine Übertemperaturstörung im internen Kreis der Wärmepumpe auftritt.

dies einer Speicherkapazität für Wärme von 337kWh. D.h. mit weniger als 10 sonnenreichen Sommertagen kann der grosse Speicher vollständig beladen werden. Wenn der Speicher wie bei System B auf Heizungsrücklauf (Heizungsvorlauf z.B. 35°C, je nach Aussentemperatur von -8 bis 14°C im Bereich von 25 bis 42°C) entladen werden kann entspricht dies einer Speicherkapazität für Wärme von 208kWh.

In Tabelle 1 sind die Speicherkapazitäten in kWh für verschiedene Speichermaterialien zusammengefasst:

- Wasser (Temperaturdifferenz $dT=45^{\circ}\text{C}$ System B).
- Wasser (Öltank) + Sand (Tankraum) (Temperaturdifferenz $dT=45^{\circ}\text{C}$ – System B).
- Wasser (Temperaturdifferenz $dT=73^{\circ}\text{C}$ – System A).
- Wasser (Temperaturdifferenz $dT=80^{\circ}\text{C}$ – System A).
- Wasser + Eis Speichers (Temperaturdifferenz $dT=80^{\circ}\text{C}$ – System A).
- Wasser (Öltank) + Sand (Tankraum) (Temperaturdifferenz $dT=73^{\circ}\text{C}$ – System A).
- Wasser + Eis Speichers+ Sand (Tankraum) (Temperaturdifferenz $dT=80^{\circ}\text{C}$ – System A).

System A				x	x	x	x	x
System B		x	x					
		Wasser $dT45$	Wasser $dT45$ / Sand	Wasser $dT73$ + WP	Wasser $dT80$ + WP	Wasser / Eis + WP	Wasser / Sand + WP	Wasser / Eis / Sand +WP
T_{max}	$^{\circ}\text{C}$	80	80	80	80	80	80	80
T_{min}	$^{\circ}\text{C}$	35	35	7	0	<0	7	0
ΔT	K	45	45	73	80	80	73	80
V_{Sand}	m^3	-	9	-	-	-	9	9
$c_{p,Sand}$	$\text{J/cm}^3/\text{K}$	-	1.19	-	-	-	1.19	1.19
$Q_{sensibel}$	kWh	208	208	337	370	370	337	370
Q_{latent}	kWh	-	-	-	-	330	-	330
Q_{Sand}	kWh	-	217	-	-	-	217	238
Q_{Total}	kWh	208	425	337	370	700	554	938
Ungefähre Kosten- einsparung Einsparung	CHF/a	21	43	34	37	70	55	94

Tabelle 1: Energie-Speicherkapazität Q_{total} des ungenutzten Öltanks und des Tankraumes bei den technisch möglichen Ausbaustufen (Systeme A, B und „Untersysteme“) in Funktion der maximalen Speichertemperatur T_{max} sowie der Nutztemperatur T_{min} .

Das Speichervolumen ist für das untersuchte Objekt durch das Volumen des Heizöltanks vorgegeben. Das Volumen des Heizöltanks ist mit 4000l eher gross – wobei die Grösse eines Heizöltanks jeweils durch die Gebäudestruktur und die Nutzung so vorgegeben ist,

dass mindestens ein Jahresbedarf gedeckt werden kann. Nun kann man sich jedoch überlegen wie sich die Eigenschaften des Speichers (Speicherkapazität) ändern, wenn im Heizöltank das Wasser eine Phasenänderung (PCM, Eisbildung) machen kann oder der restliche Speicherraum mit Sand gefüllt wird. An den graphischen Auswertungen und der teilweisen Darstellung Fig. 3 und Fig. 4 ist zu sehen, dass die Schlechtwetterperioden von Frühling bis Herbst mit Wärmeenergie aus dem Speicher überbrückt werden können. Hingegen ist der Öltank zur Wärme-Energievorspeicherung und damit Versorgung des Gebäudes für den ganzen Winter jedoch zu klein – er ist in System A Mitte November auf 7°C entleert und im System B ca. zur selben Zeit auf unter 35°C. Soll eine 100%ige solare Deckung erreicht werden, dann müssten das Speichervolumen und die Kollektorfläche vergrößert werden. Ein Saisonspeicher für das untersuchte Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von 6250kWh müsste ca. 5-10mal grösser als der vorhandene 4m³ Öltank sein. Würde man den gesamten Speicherraum mit Sand füllen und so das Speichervolumen vergrößern, dann steigt die Speicherkapazität mit ca. 0.17 kg „Wasseräquivalent“ pro kg Sand. Das heisst, wenn der Heizöltank in 10m³ Sand eingebettet wird, dann kann das Speichervolumen um ca. den Faktor 1.7 auf 554kWh vergrößert werden (Annahme: ca. 10m³ des Tankraumes mit einem Gesamtvolumen von 15m³ können mit Sand gefüllt werden). Das heisst, es könnten theoretisch zusätzliche ca. 217kWh Solarwärme aus dem Sommer (siehe Tabelle 1) für den Verbrauch in der Übergangszeit oder im Winter gespeichert werden.

In diesen Abschätzungen sind jedoch keine Überlegungen zur Wärmeübertragung vom Sand auf den Heizöltank (bzw. vom Heizöltank auf den Sand) und dem zeitlichen Verlauf der Temperaturen angestellt worden. In Polysun kann dies auch nur vereinfacht durch Volumenvergrößerung der bestehenden Speichermodelle simuliert werden. Unsere vereinfachte Näherung ist daher eine Verdoppelung des Volumens.

Verteilung des Heizwärmebedarfs über das Jahr

Für das Haus mit Heizwärmebedarf von 6250kWh/a resp. 50kWh/m²/a am Standort Schafisheim (Klima Schweizermittelland) wurde aus den Simulationen ersichtlich, dass im Januar ein maximaler Tageswärmebedarf von 93.7kWh/t besteht. Die Maximalwerte für die weiteren Monate, das Minimum und der Durchschnittswert sowie der Jahresanteil sind in der folgenden Tabelle 2 aufgeführt.

Monat	Qh/t min in kWh	Qh/t max in kWh	Qh/t Ø in kWh	Qh/m in kWh	Jahres-Anteil in %
Jan	13.0	93.7	50.7	1'571	25%
Feb	8.5	84.2	40.2	1'246	20%
Mrz	0.0	56.4	21.9	679	10%
Apr	0.0	38.2	9.7	300	5%
Mai	0.0	0.1	0.0	0	0%
Jun	0.0	0.0	0.0	0	0%
Jul	0.0	0.0	0.0	0	0%
Aug	0.0	0.0	0.0	0	0%
Sep	0.0	0.0	0.0	0	0%
Okt	0.0	32.0	5.4	168	3%
Nov	0.0	65.4	29.8	925	15%
Dez	5.3	85.1	44.2	1'372	22%

Tabelle 2: Maximal-, Minimal- und Durchschnittswert des Heizwärmebedarf des Gebäudes an den jeweiligen (unterschiedlichen) Tagen je Monat am Standort Schafisheim.

Analysiert man die Tabelle, so kann abgeschätzt werden, für wie viele Tage die im Sommer gespeicherte Solarwärme in der Heizperiode von Oktober bis April zur Raumheizung ausreicht. Spätestens Mitte November ist die im „Öltank“ gespeicherte Wärme komplett aufgebraucht – der Speicher wird zu diesem Zeitpunkt leer sein.

Verteilung des Solarertrages über das Jahr von System B

Der monatliche Solarertrag Q_{sol}/m aus dem Kollektorfeld mit $A=30m^2$, bestückt mit einem leistungsfähigen Flachkollektor, ist für den Standort Schafisheim (Kollektorfeld-Ausrichtung nach Westen und Anstellwinkel von 30°) in der Tabelle 3 zusammengefasst mit weiteren Kennzahlen eingetragen:

Monat	Q_{sol}/t min in kWh	Q_{sol}/t max in kWh	Q_{sol}/t Ø in kWh	Q_{sol}/m in kWh	Jahres-Anteil in %
Jan	0.1	23.9	6.0	187	3%
Feb	0.0	46.0	17.4	538	8%
Mrz	0.0	80.8	25.2	783	12%
Apr	0.0	80.4	29.5	913	13%
Mai	0.3	85.3	26.3	814	12%
Jun	1.6	77.0	22.4	694	10%
Jul	4.7	81.9	25.6	795	12%
Aug	1.1	75.3	22.7	704	10%
Sep	0.2	69.2	18.0	557	8%
Okt	0.2	40.5	13.0	402	6%
Nov	0.0	33.4	6.9	214	3%
Dez	0.0	20.1	5.6	173	3%

Tabelle 3: Minimale, maximale und durchschnittliche Solarerträge pro Monat (m) und pro Tag (t) der Solaranlage mit $A=30m^2$.

Verlauf der Speichertemperaturen im Herbst – der Ladezustand des Speichers

Mit den Informationen aus den obigen Abschnitten lässt sich nun in den folgenden 2 Diagrammen in Fig. 3 und Fig. 4) über den Temperaturverlauf der Ladezustand des umgenutzten Öltanks veranschaulichen.

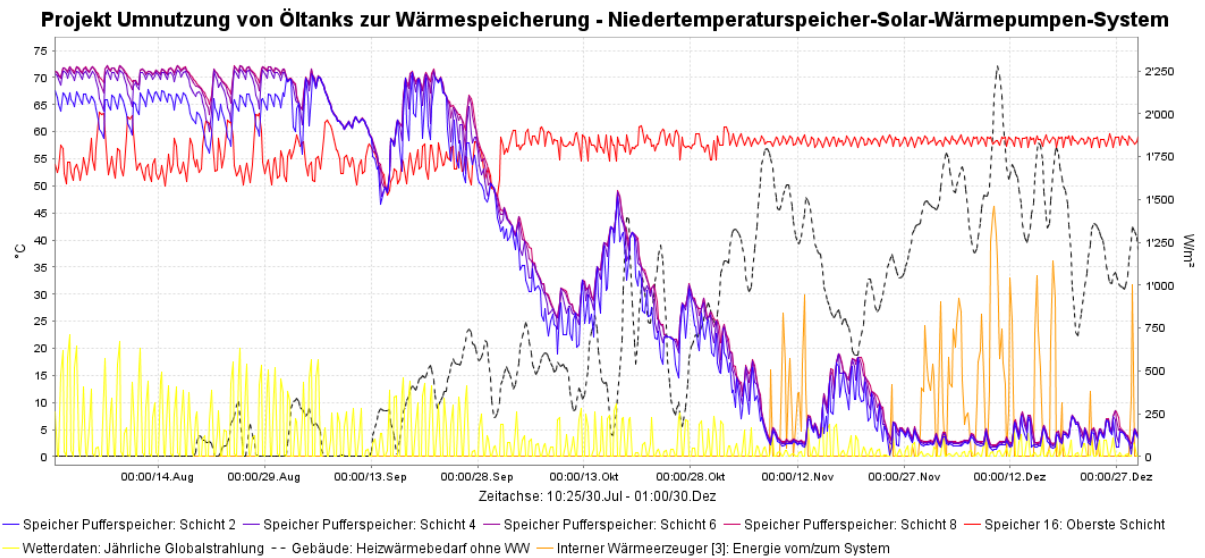


Fig. 3: System A - Serieschaltung von Solaranlage, „Niedertemperatur-Speicher“ und Wärmepumpe. Der Speicher wird bis Mitte November auf die Temperatur $T=7^{\circ}\text{C}$ entladen.

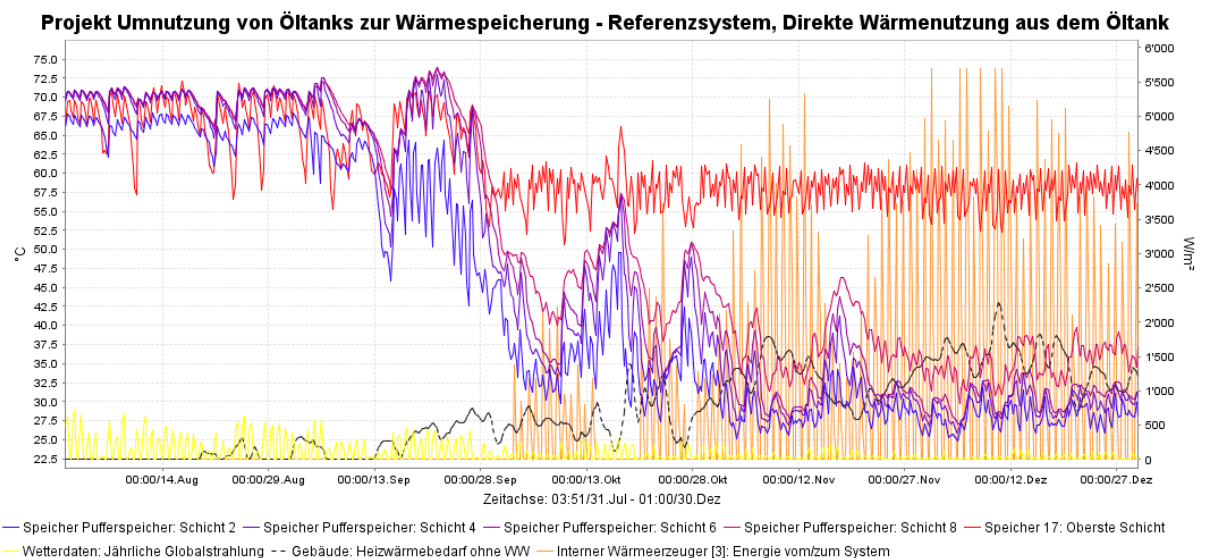


Fig. 4: System B - Parallelschaltung von „Niedertemperatur-Speicher“ und Wärmepumpe. Der Speicher wird bis Mitte November auf unter die Temperatur von $T=35^{\circ}\text{C}$ entladen.

Bei beiden Systemen ist der Speicher Ende Sommer maximal beladen. In der Zeit ab August ist jedoch ersichtlich wie der Solarwärmeeintrag und die Temperatur im Speicher stetig abnehmen. In den Grafiken sieht man auch wie der Heizwärmebedarf ab September/Oktober ansteigt. Ab Anfang Oktober kommt auch die Zusatzheizung zum Einsatz sobald die Speichertemperatur unter den Wert der Soll-Heizungsvorlauftemperatur ($T_{\min}$) fällt. Beim System B mit Radiatorheizung liegt dieser Soll-Wert gemäss Heizkurve im Bereich von $T_{\min}=25^{\circ}\text{C} - 42^{\circ}\text{C}$. Gemäss Grafik wird im November der Niedertemperaturspeicher nochmals

merklich aufgeheizt, da es in diesem Zeitraum nochmals eine Sonnenperiode gibt. Diese reicht aber nicht um den Speicher nochmals vollständig zu beladen. Im Dezember wird der ganze Solarertrag direkt dem Heizwärmebedarf des Gebäudes zugeführt und nicht mehr gespeichert. Der Speicher bringt nun in der Zeit von Dezember bis Februar keine Vorteile mehr, weil der Solarertrag ungenügend ist. Das Temperaturniveau des Speichers liegt in diesen Monaten auf dem tiefsten Wert.

Mit einsetzender Heizperiode fallen im Speicher von System A jedoch die Temperaturen mit einem leicht geringeren Gradienten als für System B. Dies, weil beim System A ein Teil der bereitzustellenden Wärme (ca. ein Viertel – je nach COP der Wärmepumpe) über den elektrischen Energiebedarf der Wärmepumpe abgedeckt wird. Im Unterschied zum System B kann im System A die Speicher-temperatur bis auf 7°C abgesenkt werden. Der Speicher kann somit bis zur Sonnenperiode Mitte November aber doch Wärmeenergie liefern. Jedoch sind durch die hohe Durchflussrate quellenseitig an der Wärmepumpe im System A schlechtere Bedingungen für gute Temperaturschichtung im Niedertemperaturspeicher.

CO₂ neutrale Energiebereitstellung

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass das System A 760kg CO₂ gegenüber dem System B einspart. Dafür verbraucht es jährlich aber doch 4844kWh elektrische Energie durch elektrische Zusatzheizung. Am Standort Schafisheim müssten zur Bereitstellung dieser elektrischen Energie rund 54m² PV-Module installiert werden. Dabei ist aufgefallen, dass die PV-Module auf der nach Osten und der nach Westen orientierten Dachfläche fast die gleichen Jahreserträge haben. Auf der Ost-Seite zeigen Polysun-Simulationen einen spezifischen Jahresertrag von ca. 99.3kWh/m² und auf der Westseite einen von 99.1kWh/m². Allerdings ist hier zu beachten, dass es sich um eine Jahresbilanz handelt und in sonnenarmen Tagen elektrische Energie aus dem öffentlichen Netz zur Deckung des Bedarfs bezogen werden müssen.

Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebäude - Skalierung

Die Ergebnisse lassen sich auf andere Gebäude übertragen, vor allem auf ein EFH welches nur einen anderen gesamten jährlichen Energiebedarf hat - jedoch mit einem gleichen Profil im Tages- und Monatsbedarf. Dabei hat der Standort natürlich einen entscheidenden Einfluss, der aber zur Vereinfachung vernachlässigt werden kann, sofern das Objekt auch im Schweizer Mittelland steht. Hingegen lassen sich die Resultate nur bedingt auf Mehrfamilienhäuser (MFH) im Mittelland übertragen. Zwar ist der Energiebedarf bei diesen Objekten hinsichtlich Spitzenleistung pro Person für WW-Bereitstellung und tieferem Raumwärmebedarf pro Person eher tiefer, zu beachten ist aber die Problematik der gleichbleibenden Dachfläche (Kollektor- und PV-Fläche) bei steigender Geschosshöhe (Energiebezugsfläche). Das Volumen des Öltanks nimmt natürlich mit der Energiebezugsfläche für MFH zu.

Handelt es sich nun um ein EFH, dann kann das Verhältnis von Kollektorfläche zu Speichervolumen mit 4m³/30m² (ca. 130l/m²) beibehalten werden. Dies weil angenommen werden kann, dass das Heizöltankvolumen im gleichen Verhältnis zum Raumwärmebedarf (EBF) steht und somit auch die Kollektorfläche proportional zum Raumwärmebedarf bleibt. Mit einem Kollektorfeld kann in der erwähnten Klima-Zone bis ca. 400kWh/m²/a Wärme beigesteuert werden. Weiter kann davon ausgegangen werden, dass mit PV-Modulen ca. 100kWh/m²/a elektrische Energie gewandelt werden. Die Zusatzheizung (WP) ist entsprechend wie üblich zu dimensionieren.

Liegt der Standort in einer anderen klimatischen Zone, dann können die Kennwerte nicht übernommen werden. Insbesondere, wenn es sich um Standorte handelt in welchen die durchschnittliche Jahrestemperaturen erheblich tiefer sind oder wenn die jährliche solare Strahlungsverteilung stark von jener im Mittelland abweicht. Dies z.B. im Alpenraum und im Tessin.

Bewertung der Systeme

Im folgenden Abschnitt werden nun die Erkenntnisse aller analysierten Systeme zusammengefasst und nach einer Liste von Kriterien bewertet (s. Tabelle 4). Wobei diese Bewertung z.B. in Bezug auf „Wiederverwendbarkeit“ auch schlecht quantifizierbare Kriterien enthält. Die Systeme sind mit folgen-dem Bewertungsschlüssel bewertet worden (s. Fig. 5).

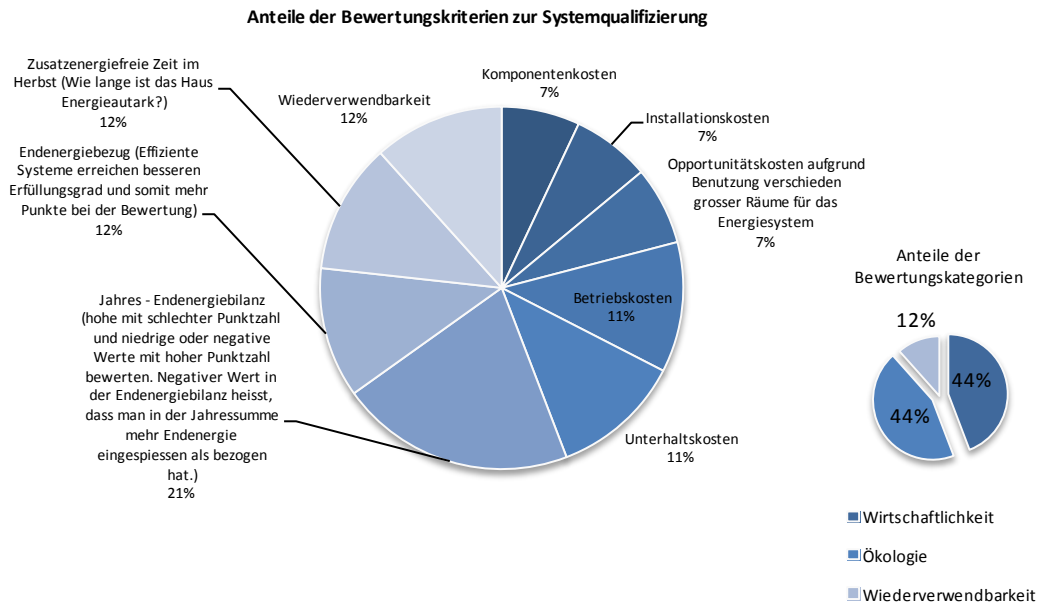


Fig. 5: Anteile der Bewertungskriterien zur Systemqualifizierung. Um die 100% (alle Kriterien optimal erfüllt) muss ein System 860 Punkte erreichen (s. Tabelle 4). Die Wirtschaftlichkeit und Ökologie gehen je mit 44% sowie die Wiederverwendbarkeit mit 12% in die Bewertung ein (kleine Grafik).

System	A1	A2	A3	B1	B2	B3	
Bewertungskriterien							
	System A / Thermie: 30m ² / PV: 50 m ² / 2 Speicher (4000l, 300l) / RWH: WP / WWZH, RW: Heizstab	System A / Thermie: 30m ² / PV: 50 m ² / 2 Speicher (8000l, 300l) / RWH: WP / WWZH, RW: Heizstab	System A / Thermie: 30m ² / PV: 50m ² / 2 Speicher (4000l, 300l) / WWZH: Heizstab / RW: mini Erdsonde	System B / Thermie: 30m ² / PV: 50m ² / Speicher (4000l, 300l) / WWZH, RWZH: Luft WP	System B / Thermie: 30m ² / PV: 50m ² / Speicher (8000l, 300l) / RWZH: Luft WP / WWZH, RW: Heizstab	System B / Thermie: 24m ² / PV: 56m ² / Kombispeicher (1200l) / WWZH, RWZH: Luft WP	Total mögliche Punkte/Gesamtanteile
Komponentenkosten	30	27.5	22.5	35	32.5	50	60 / 7%
Installationskosten	30	30	30	35	35	55	60 / 7%
Opportunitätskosten	30	30	20	30	30	50	60 / 7%

Betriebskosten	58.3	58.3	91.7	100	83.3	91.7	100 / 11%
Unterhaltskosten	66.7	66.7	33.3	66.7	66.7	66.7	100 / 11%
Total Wirtschaftlichkeit	215	213	198	267	248	313	380 / 44%
Jahres – Endenergiebilanz	97.5	105	150	157.5	142.5	165	180 / 21%
Endenergiebezug	50	54.2	91.7	100	87.5	91.7	100 / 12%
Zusatzenergiefreie Zeit im Herbst	50	54.2	50	50	50	33.3	100 / 12%
Total Ökologie	198	213	292	308	280	290	380 / 44%
Wiederverwendbarkeit	100	91.7	100	83.3	75	58.3	100 / 12%
Total Wiederverwendbarkeit	100	91.7	100	83.3	75	58.3	100 / 12%
Total Gesamtbewertung	513	518	589	658	603	662	860 / 100%

Tabelle 4: Bewertung der Systeme, eine hohe Punktzahl bewertet das System hoch. Tiefe Kosten und tiefe Energiebezugsmengen werden mit hoher Punktzahl bewertet.

Die Beste Systemvariante lässt sich aus der Tabelle 4 durch vergleichen der Grössen „Total Gesamtbewertung“ ablesen. Aus der Tabelle wird auch ersichtlich in welchen Bereichen die Systeme viele Punkte „sammeln“ können und wo allfällige Schwachstellen liegen.

Die Systeme mit paralleler Nutzung der Wärme (direkte Nutzung der Solarwärme oder Speicherung im Heizöltank – genutzt als Pufferspeicher) Punkte mässig besser abschneiden als die Systeme mit serieller Nutzung (umfunktionierter Öltank als Wärmequelle für die Wärmepumpe).

Das Kombisystem (System B3) kann als das Beste aus den Tabellen herausgelesen werden. Es hat 24m² Kollektorfläche (Solarthermie), einen 1200l Speicher und einer Luft/Wasser Wärmepumpe sowie 56m² PV-Fläche. Dieses System ist auch bezüglich der Wirtschaftlichkeit an der Spitze (313 von 380 Punkten). Betrachtet man die Ökologie alleine, dann rangiert das System B1 mit 30 m² Kollektorfläche, dem 4000l Speicher (Öltank) und einer Luft Wärmepumpe sowie 50m² PV-Fläche an der Spitze (308 von 380 Punkten).

Ebenfalls eine ansprechende Punktzahl (292) erzielt das System mit der Mini-Erdsonde (System A2).

Im Bereich Recycling und Wiederverwendbarkeit hat System A1 und System A3 mit „Mini-Erdsonde“ am meisten Punkte, da in diesen Systemen der Heizöltank „nur“ gereinigt und leicht modifiziert werden muss. Die Systeme mit paralleler Nutzung des Öltanks erreichen auf Grund der nötigen Wärme-dämmung des Heizöltanks nie die maximal Punktzahl von 100.

Aus der Matrix wird ersichtlich, dass das Kombisystem (System B3) die beste Bewertung hat. Das System B1 hingegen bezieht die tiefste elektrische Energie für Raumwärme und Warmwasser und erreicht so die beste Punktzahl von 100. Weiter sind die Investitionskosten für das Kombisystem (System B3) als erweitertes Heizsystem (erweitert aufgrund der PV-Anlage) am Tiefsten und erreicht so für dieses Kriterium die beste Bewertung mit 55.

Geprüfte, jedoch verworfene Funktionsvarianten

Erhöhung der Speichkapazität durch den Einsatz von Phasenänderungsmaterialien (PCM) im Vergleich zu Wasser: Das im Speicher enthaltene Wasser kann einen Temperaturbereich von rund $\Delta T=90^\circ\text{C}$ abdecken. Durch den Einsatz von PCM ist daher kein massgeblicher Vorteil bezüglich der Energiedichte zu erwarten, s. dazu Fig. 3, da über den ganzen Temperaturhub Wasser mehr Wärmespeicher kann als PCM. PCM hat im (engen) Temperaturbereich der Phasenänderung von fest zu flüssig und umgekehrt einen energetischen Vorteil gegenüber Wasser. Zudem ist zu erwarten, dass die Umbaukosten für den Einsatz von PCMs zu hoch sein werden. (der Heizöltank zum einen an sich ausreichend gross ist um die Wärme aus den Solarkollektoren zu speichern).

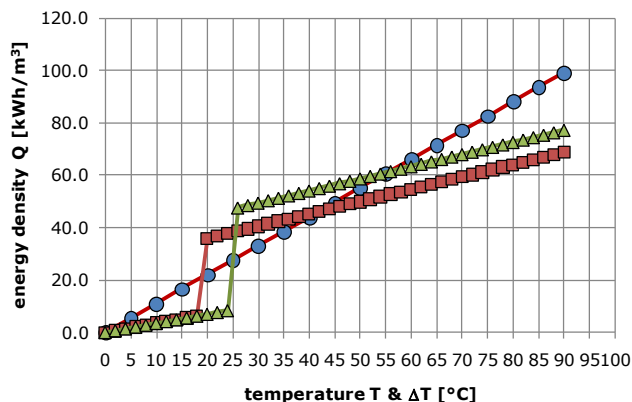


Fig. 3. Energiedichte Q in Funktion der Temperatur T und der Temperaturdifferenz ΔT für Wasser zwei unterschiedliche PCMs. Die PCMs haben eine Phasenänderungstemperatur von $T_{s-l}=18^\circ\text{C}$ und $T_{s-l}=25^\circ\text{C}$.

Abschätzungen zeigen, dass eine Schichtladeeinrichtung aufgrund des zusätzlich verwendeten BWW-Speichers ebenfalls keine massgeblichen Vorteile bringt. Die Wärmeentnahme aus dem WSW-Speicher kann mit einer in den WSW-Speicher oben und unten horizontal eingebauten Lade- und Entnahmelanze realisiert werden, s. Fig. 2.

Nationale Zusammenarbeit

Das Projekt wird in Zusammenarbeit mit der Schüpbach Engineering AG in Glattbrugg und dem Institut für Solartechnik SPF der HSR Hochschule für Technik Rapperswil durchgeführt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Präsentation der Ergebnisse im Rahmen der IEA SHC Task 44 Aktivitäten – Solar and Heat Pump Systems - wird geprüft.

Bewertung und Empfehlung sowie Ausblick

Die weitere Verwendung des Öltanks (nach einer Umrüstung zum Warmwasserspeicher) lohnt sich aufgrund dieser Studie nicht, weil sein Volumen und damit die Speicherkapazität zur Saisonalen Verwendung zu klein ist. Wir empfehlen daher den Öltank zu demontieren und im frei werdenden Raum ein Solar-Kombisystem zu installieren. Zur zusätzlichen Wärmeversorgung des EFH kann eine 5kW Luft-Wasser-Wärmepumpe eingesetzt werden. Für einen angemessenen thermischen solaren Deckungsgrad von ca. 28% sollte die Fläche der Solarkollektoren 12m^2 bis 15m^2 betragen und der Speicher ein Volumen von 800l bis 1000l haben oder bei Anstreben von einem höheren thermischen solaren Deckungsgrad von ca. 35% kann die Kollektorfläche wie in Variante B3 mit 24m^2 gewählt werden. Die Platzierung der Kollektoren soll auf der nach Westen ausgerichteten Dachseite erfolgen. Die übrig bleibende Dachfläche kann zur Montage von PV-Panels genutzt werden. Damit ist in der Jahresbilanz eine komplette Versorgung des Gebäudes mit erneuerbarer Energie

möglich und gleichzeitig wird das öffentliche Stromnetz weniger belastet, weil die vor Ort benötigte Wärme z.T. nicht den Umweg über die höherwertige elektrische Energie macht.

Die weitere Verwendung eines Öltanks in einem EFH ist nur dann ökonomisch und ökologisch interessant, wenn im Sommer ein hoher thermischer Energiebedarf besteht und damit ein hoher Energiefluss durch den Speicher (hoher Energieumsatz) besteht. Durch den hohen Energieumsatz reduziert sich bei gleichen Kosten zur Umrüstung der Energiepreis pro kWh.

Eine Übertragung der Resultate auf andere Gebäude ist nur dann möglich, wenn es sich um den gleichen Gebäudetyp in der gleichen klimatischen Umgebung handelt.

Referenzen

- [1] Solarthermische Anlagen. Leitfaden für das SHK-, Elektro- und Dachdeckerhandwerk, für Fachplaner und Architekten, Bauherren und Weiterbildungsinstitutionen, DGS Deutsche Gesellschaft für Solarenergie, ISBN 3-9805738-4-2.
- [2] Wärmepumpen in der Heizungstechnik, Praxishandbuch für Installateure und Planer, C.F. Müller, ISBN 3-9805738-4-2.
- [3] Wärmepumpen, Grundlagen und Praxis, H.L.v. Cube/ F. Steimle, VDI-Verlag GmbH, ISBN 3-18-400345-0.
- [4] Polysun, Simulationssoftware, www.polysun.ch, November 2011.
- [5] Solar Engineering of Thermal Processes. John A. Duffie & W. A. Beckman, Wiley 2006.