

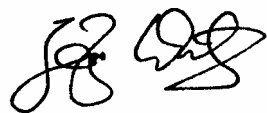
Dorfgemeinschaftshaus Uppershausen

Lebenszyklusanalyse + Innovationen

Auftraggeber **Struktur- und Genehmigungsdirektion Süd**
Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (Abt. D)
Hauptstraße 16
67705 Trippstadt

Auftragnehmer **Transferstelle Bingen**
Berlinstraße 109
55411 Bingen
Leiter Prof. Dr. Ralf Simon
Bearbeiter Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz
Telefon (06721) 409 229
Telefax (06721) 409 129
Homepage <http://www.tsb-energie.de>

Datum 21.09.2005

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Jörg Wirtz', written over a horizontal line.

Dipl.-Ing. (FH) Jörg Wirtz

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Lebenszyklusanalyse	4
2.1	Datengrundlage	4
2.2	Wärmebedarf	5
2.3	Umweltbelastungen	7
2.4	Investitionen	8
2.5	Wirtschaftlichkeit	9
3	Latentwärmespeicherung	12
4	Erdwärmetauscher	14
5	Fotovoltaik	17
6	Wasserloses Urinal	23
7	Zusammenfassung	25

1 Einleitung

Der Neubau des Dorfgemeinschaftshauses (DGH) in der Ortsgemeinde Uppershausen soll im Passivhausstandard errichtet werden und wird von der Verbandsgemeindeverwaltung Neuerburg betreut.

Am Beispiel des DGH in Uppershausen soll untersucht werden, inwieweit der energieeffiziente Gebäudedämmstandard eines Passivhauses bei der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus zu einer Reduzierung der Umweltbelastungen führt. Hierbei soll auch die Wirtschaftlichkeit des Passivhausstandards bewertet werden.

Bei dieser Betrachtung werden die Mehrkosten bei den Investitionen für den Passivhausstandard gegenüber dem, der durch die Energieeinsparverordnung (EnEV) gesetzlich vorgeschrieben ist, ermittelt. Diese Mehrkosten werden dann den Einsparungen bei den laufenden Kosten (Betriebs- und Verbrauchskosten) gegenübergestellt.

Anhand dieser Betrachtungen wird ersichtlich, wie wirtschaftlich sich der Passivhausstandard unter den gegenwärtigen Rahmenbedingungen darstellt. In einer Sensitivitätsanalyse wird der Brennstoffpreis variiert, so dass der Einfluss von Brennstoffpreissteigerungen auf die Wirtschaftlichkeit erkennbar wird.

Außerdem werden folgende technische Innovationen bewertet:

- Optimierung des Energiekonzeptes durch den Einsatz von Wärme speichernden Bauteilen wie z.B. Latentwärmeputz
- Kombination der Lüftungsanlage mit einem Erdreichwärmetauscher (EWT)
- Einsatz von Fotovoltaik im Sinne des Slogan „Dach als Kraftwerk“
- Einsatz von wasserlosen Urinalen im Sinne der Stoffstromminimierung

2 Lebenszyklusanalyse

2.1 Datengrundlage

Für die Durchführung dieser Betrachtungen wurden als Datengrundlage folgende Daten vom Architekt (Ede Binz, Wittlich) ermittelt:

Gebäudedaten	Einheit	
beheizte Fläche	m ²	ca. 80
beheizte Volumen	m ³	ca. 320

Tabelle 2-1 Gebäudedaten zum Dorfgemeinschaftshaus Uppershausen

Das geplante Gebäude weist eine Nettogeschossfläche (NGF) von ca. 80 m² und ein umbautes Volumen von ca. 320 m³ auf. Der Saal mit Theke (61,2 m²) ist nach Süden und die Nebenräume, wie einen Abstellraum (3,2 m²), zwei Toiletten (7,5 m²) und einen Windfang (3,6 m²), sind nach Norden orientiert (siehe Abbildung 2.1). Hierdurch kann die durch Solarstrahlung zur Verfügung stehende Energie (solare Gewinne) optimal genutzt werden. Hierbei ist aber auch besonders auf eine entsprechende Verschattungsmöglichkeit (z.B. automatische Jalousien) zu achten, um eine Überhitzung im Sommer zu vermeiden.

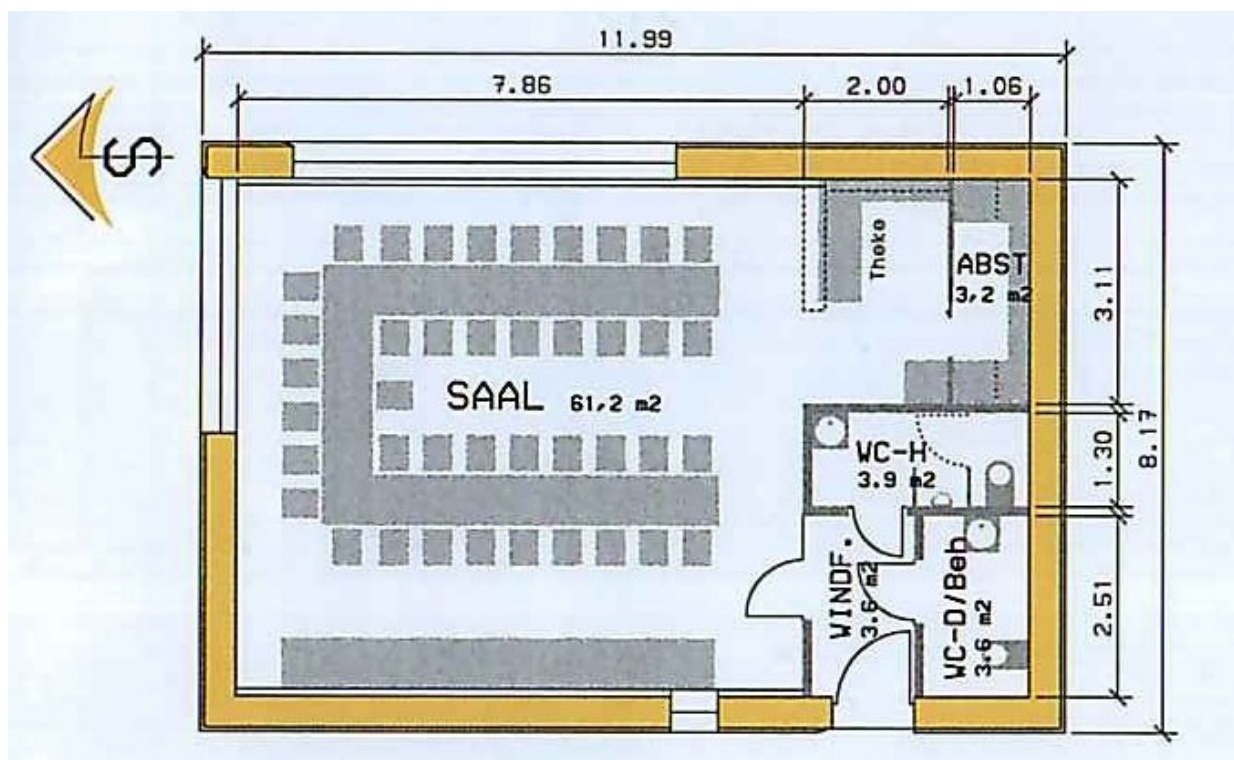


Abbildung 2.1 Grundriss des Dorfgemeinschaftshauses Uppershausen

2.2 Wärmebedarf

Die Planungen für das DGH sehen vor, dass es in Holzbauweise als Passivhaus errichtet wird. Zur Ermittlung von Vergleichsdaten wird auch ein nach konventioneller Bauweise errichtetes Gebäude, das die Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) erfüllt, betrachtet.

Der Wärmebedarf für die unterschiedlichen Dämmstandards wurde vom Architekt (Ede Binz, Wittlich) ermittelt und für diese Betrachtungen zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle 2-2).

Wärmebedarf	Einheit	EnEV	Passivhaus
spez. Heizwärmeleistung	W_{th}/m^2	61	8,5
Heizwärmeleistung	kW_{th}	4,9	0,7
spez. Jahresheizwärmebedarf	$kWh_{th}/(m^2 \cdot a)$	52	10,1
Jahresheizwärmebedarf	kWh_{th}/a	4.160	808

Tabelle 2-2 Wärmebedarf des DGH bei unterschiedlichen Wärmedämmstandards

Unter Berücksichtigung der Anforderungen laut EnEV ergibt sich für das geplante DGH ein gesetzlich maximal zulässiger Jahresheizwärmebedarf von 4.160 kWh_{th}/a bzw. bezogen auf die NGF ein spezifischer Jahresheizwärmebedarf von 52 $kWh_{th}/(m^2 \cdot a)$. Ein Gebäude mit einem solchen Wärmedämmstandard wird auch als 5-Liter-Haus bezeichnet. Im Vergleich hierzu benötigt das DGH, wenn es als Passivhaus realisiert wird, mit einem Jahresheizwärmebedarf von 808 kWh_{th}/a bzw. einem spezifischen Jahresheizwärmebedarf von 10,1 $kWh_{th}/(m^2 \cdot a)$ nur 1/5 an Wärme. Dies wird auch als 1-Liter-Haus bezeichnet.

Im Gegensatz zum EnEV-Standard kann beim Passivhaus auf die konventionelle Beheizung über Heizflächen (Radiatoren, Fußbodenheizung, ...) verzichtet werden. Der Wärmebedarf eines Passivhauses ist so gering, dass der zum Lüften notwendige Luftwechsel ausreicht um das Gebäude zu beheizen, ohne dass es zu Zugerscheinungen kommt. Deshalb kommen zur Beheizung des DGH bei den unterschiedlichen Dämmstandards unterschiedliche Gebäudetechniken zum Einsatz (siehe Tabelle 2-3).

Gebäudetechnik	EnEV	Passivhaus
Lüftungsanlage	keine	WRG (>85%)
Wärmeerzeuger	GasBW-Therme	Heizregister
Energieträger	Flüssiggas	Strom
Heizungsverteilung	Konvektoren	über Lüftung

Tabelle 2-3 Gebäudetechnik im DGH Uppershausen

Da in Uppershausen kein Erdgas zur Verfügung steht, kommen als Brennstoff für die Beheizung des DGH nur Heizöl oder Flüssiggas in Frage. Für den Einsatz einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe oder einer Holzpelletsheizung ist die Nutzungsdauer zu gering, so dass keine Wirtschaftlichkeit bei diesen Varianten zu erwarten ist.

Deshalb wird für die Beheizung des DGH im EnEV-Dämmstandard eine mit Flüssiggas betriebene Brennwerttherme vorgesehen. Die Verteilung der Wärme erfolgt über ein konventionelles Heizungssystem mit Radiatoren. Der Luftwechsel erfolgt bei Bedarf manuell über die Fensterlüftung.

Beim Passivhaus erfolgt die Beheizung über eine kontrollierte Lüftungsanlage (maximaler Volumenstrom 500 m³/h) mit Wärmerückgewinnung (WRG), die aufgrund des sehr geringen Wärmebedarfs und der geringen Benutzungsdauer mit einem elektrisch betrieben Heizregister ausgestattet wird. Der Vorteil einer solchen Lüftungsanlage liegt bei der WRG, durch die bis über 80 % der Wärme in der Abluft zurückgewonnen werden kann und somit die Frischluft vorgewärmt wird.

Wärmebedarf	Einheit	EnEV	Passivhaus
Endenergie	kWh _{th} /a	4.561	1.232
Primärenergie	kWh _{PE} /a	5.017	3.696
Flüssiggasbedarf	l/a	664	0
Hilfsenergie	kWh _{el} /a	268	287
Primärenergie	kWh _{PE} /a	804	862
Primärenergie (Gesamt)	kWh _{PE} /a	5.821	4.558

Tabelle 2-4 Energiebilanz

Da die Beheizung bei der Variante Lüftung / Passivhaus elektrisch erfolgt, wird bei der Ermittlung des Primärenergieverbrauches der Faktor 3,0 angesetzt. Dies berücksichtigt den durchschnittlichen Wirkungsgrad bei der Stromerzeugung durch den deutschen Kraftwerkspark.

Beim Betrieb einer Lüftungsanlage, die nur bei Bedarf betrieben wird, fällt der Stromverbrauch (Hilfsenergie) im Vergleich zu einer Heizungspumpe und einer Brennwerttherme nur geringfügig höher aus.

Somit liegt der Primärenergiebedarf des DGH im Passivhausstandard, das mit einer elektrisch beheizten Lüftungsanlage ausgerüstet ist, immer noch 21,7 % niedriger als bei einem mit einer Flüssiggastherme beheizten DGH im EnEV-Dämmstandard.

2.3 Umweltbelastungen

Zur Bewertung der Umweltbelastungen werden die Emissionen von Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4) und anderen Gasen werden als CO_2 -Äquivalent ermittelt. Dazu wird aus der eingesetzten Brennstoffmenge und Strommenge in Verbindung mit der jeweiligen spezifischen CO_2 -Emission der jährliche Kohlendioxid-Ausstoß berechnet. Für Flüssiggas beträgt die spezifische CO_2 -Emission $270,1 \text{ g CO}_2/\text{kWh}_{\text{H}_0}$. Der eingesetzte Strom wird mit einer spezifischen CO_2 -Emission von $682,3 \text{ g CO}_2/\text{kWh}_{\text{el}}$ bewertet.

CO_2-Bilanz	Einheit	EnEV	Passivhaus
jährliche CO_2 -Emissionen	kgCO_2/a	1.537,5	1.037,0
jährliche Einsparungen	kgCO_2/a		500,5
Einsparungen	%		32,6%
CO_2 -Emissionen über 50 Jahre	tCO_2	76,9	51,9
Einsparungen über 50 Jahre	tCO_2		25,0

Tabelle 2-5 CO_2 -Bilanz

Für die Beheizung des DGH im Passivhausstandard mit einer elektrisch beheizten Lüftungsanlage mit WRG ergibt sich gegenüber dem EnEV-Dämmstandard in Verbindung mit einer Beheizung durch eine Flüssiggastherme eine jährliche Einsparung der CO_2 -Emissionen von ca. 500 kg/a , was einer Reduzierung um fast $1/3$ entspricht. Im Laufe der Benutzungsdauer von 50 Jahren (siehe Kapitel 2.5) werden somit ca. 25 t CO_2 eingespart.

2.4 Investitionen

Durch den Architekten (Ede Binz, Wittlich) wurden die Investitionskosten für die unterschiedlichen Dämmstandards wie folgt ermittelt:

KG		Einheit	EnEV	Passivhaus
100	Grundstück	Euro	0	0
200	Herrichten und Erschließen	Euro	0	0
300	Bauwerk - Baukonstruktion	Euro	75.772	80.876
310	Baugrube	Euro	0	0
320	Gründung	Euro	0	8.220
330	Aussenwände	Euro	29.562	39.518
340	Innenwände	Euro	6.031	6.031
350	Decken	Euro	7.326	984
360	Dächer	Euro	29.542	24.052
370	Baukonstruktive Einbauten	Euro	451	451
390	Sonstige Maßnahmen	Euro	2.860	1.620
400	Bauwerk - Technische Anlagen	Euro	19.904	18.969
410	Abwasser-, Wasseranlagen	Euro	2.755	2.755
420	Wärmeversorgungsanlagen	Euro	12.000	0
430	Lufttechnische Anlagen	Euro	0	11.065
440	Starkstromanlagen	Euro	5.149	5.149
500	Außenanlagen	Euro	0	0
600	Ausstattung und Kunstwerke	Euro	0	0
700	Baunebenkosten	Euro	25.670	25.670
	Gesamtsumme ohne MWSt.	Euro	121.346	125.515
	Gesamtsumme inkl. MWSt.	Euro	140.761	145.597

Tabelle 2-6 Investitionskosten für das Dorfgemeinschaftshaus Uppershausen

Die Mehrkosten für die Ausführung des DGH im Passivhausstandard wurden mit 4.836 Euro inkl. MWSt. bzw. 3,4 % ermittelt.

2.5 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt in Anlehnung an die VDI Richtlinie 2067 nach der die jährlichen Kosten über die kapital-, betrieb- und verbrauchsgebundenen Kosten bestimmt werden. Mit Hilfe der Jahreskosten lässt sich der spezifische Wärmepreis für jede Variante bestimmen und miteinander vergleichen. Es wurden dabei folgende Randbedingungen festgelegt:

Bestimmung kapitalgebundene Kosten:

Zinssatz	3,5 %
Abschreibungsdauer Baunebenkosten	15 a
Abschreibungsdauer Technische Anlagen	20 a
Abschreibungsdauer Baukonstruktion	50 a

Bestimmung verbrauchsgebundene Kosten (zzgl. MWSt.):

Flüssiggaspreis	33,0 Ct/l ¹
	4,37 Ct/kWh _{Hu}
Heizöl-Preis (Kleinmenge)	54,0 Ct/l ²
	5,38 Ct/kWh _{Hu}
Heizöl-Preis	46,75 Ct/l ³
	4,66 Ct/kWh _{Hu}
Strom Grundpreis	6,58 Euro/Monat ⁴
Arbeitspreis	14,4 Ct/kWh _{el}

Bestimmung betriebsgebundene Kosten:

Wartung und Instandhaltung Kessel (VDI 2067 Bl.1)	1,5 % der Investitionssumme (ohne Planung)
---	---

¹ Stand 7.07.2005; Region Süd I bis 3.000 l; <http://www.fluessiggasboerse.de/>

² Stand 7.07.2005; Liefermenge 1.000 l; PLZ 54673; <http://www.heizoel-billig.de/>

³ Stand 7.07.2005; Liefermenge 10.000 l; PLZ 54673; <http://www.heizoel-billig.de/>

⁴ Stand 24.03.2005; Abschlagsrechnung Lichtblick; Verbandsgemeindeverwaltung Neuerburg

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Varianten EnEV- und Passivhaus-Dämmstandard aufgeführt:

	Einheit	EnEV	Passivhaus
Kapitalkosten			
Bauwerk - Baukonstruktion	Euro/a	3.230,44	3.448,04
Bauwerk - Technische Anlagen	Euro/a	1.400,47	1.334,68
Baunebenkosten	Euro/a	2.228,80	2.228,80
Summe	Euro/a	6.859,71	7.011,52
Summe inkl. MWSt.	Euro/a	7.957,26	8.133,37
Betriebskosten			
Instandhaltung (2 % vom Invest)	Euro/a	400,00	380,00
Wartung, Schornsteinfegergebühren	Euro/a	175,00	60,00
Brennstofflagerung (Wartung + TÜV)	Euro/a	97,50	0,00
Summe	Euro/a	672,50	440,00
Summe inkl. MWSt.	Euro/a	780,10	510,40
Verbrauchskosten			
Flüssiggasverbrauch	l/a	664	0
Flüssiggaspreis	Euro/l	0,33	0,33
	Euro/a	219,28	0,00
Stromverbrauch	kWh _{el} /a	268	1.519
Grundpreis	Euro/a	78,96	78,96
Arbeitspreis	Ct/kWh _{el}	14,43	14,43
	Euro/a	38,66	219,16
Summe	Euro/a	336,90	298,12
Summe inkl. MWSt.	Euro/a	390,81	345,82
Jahresgesamtkosten inkl. MWSt.	Euro/a	9.128,17	8.989,59
Einsparungen	%		1,5%

Tabelle 2-7 Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Jahresgesamtkosten liegen beim Passivhausstandard unter Berücksichtigung der Investitionskosten (Vollkostenrechnung) ca. 140 Euro/a bzw. 1,5 % niedriger wie bei konventioneller Bauweise.

	Einheit	EnEV	Passivhaus
Mehrkosten inkl. MWSt.	Euro		4.836,04
laufende Kosten inkl. MWSt.	Euro/a	1.079,31	764,63
Einsparungen	%		29,2%
Amortisationsdauer	a		15,4

Tabelle 2-8 Amortisationsdauer

Die laufenden Kosten bestehend aus Betriebs- und Verbrauchskosten liegen beim Passivhausstandard um ca. 315 Euro/a niedriger wie bei konventioneller Bauweise, was jährlichen Einsparungen von fast 30 % entspricht. Bezieht man diese Einsparungen auf die Mehrkosten bei den Investitionen, sind diese bei statischer Betrachtung nach ca. 15 Jahren amortisiert.

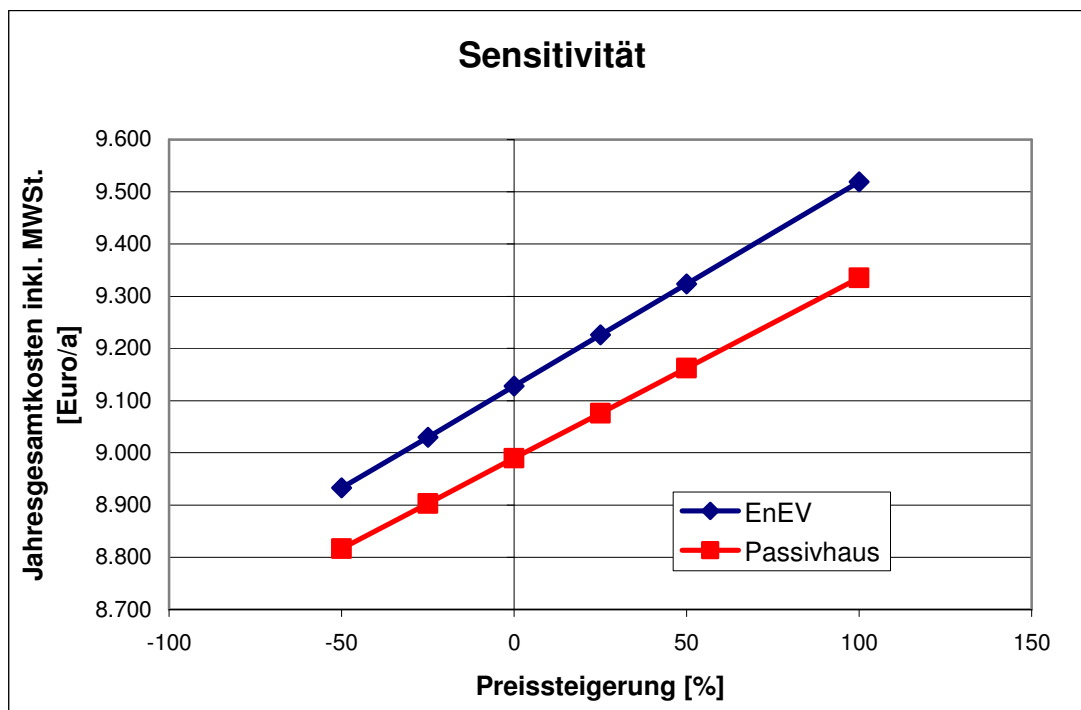


Abbildung 2.2 Sensitivität der Energiepreise

In Abbildung 2.2 sind die Ergebnisse der Sensitivitätsbetrachtung dargestellt. Hierbei wurden sowohl der Flüssiggas- wie auch der Strompreis variiert. Hierbei ist erkennbar, dass auch bei steigenden Energiepreisen das Passivhaus die wirtschaftlichere Variante darstellt.

3 Latentwärmespeicherung

Unter Latentwärmespeicherung versteht man die Speicherung von Wärme in einem Material, welches einen Phasenübergang (vorwiegend fest – flüssig) erfährt (engl. Phase Change Material – PCM).

Diese Materialien lassen sich in etablierte Baustoffe oder gebäudetechnische Komponenten integrieren und speichern auf diese Weise Überschusswärme in Gebäuden sehr effektiv. Sie können tagsüber Wärme aufnehmen und nachts wieder abgeben. Besonders effektiv funktioniert dieser Tag-Nacht-Rhythmus in Verbindung mit einer mechanischen Lüftungsanlage. Hierbei kann auch mittels einer Nachtlüftung eine Überhitzung des Gebäudes vermieden werden.

Bezogen auf das DGH, das in Leichtbauweise realisiert wird, wäre es möglich, mit der Einlagerung von Latentwärmespeichermaterialien in der Oberfläche von Decken und Wänden (z.B. Latentwärmespeicherputz) das Wärmeaufnahmevermögen des Saals stark zu erhöhen. Hierbei wird z.B. in Mikrokapseln eingeschlossenes Paraffin als Speichermaterial eingesetzt. Es handelt sich um Kunststoffkapseln mit Durchmessern zwischen 1/200 und 1/50 mm. Auf diese Weise kann zusätzlich Speichermasse in die Bausubstanz gebracht werden.

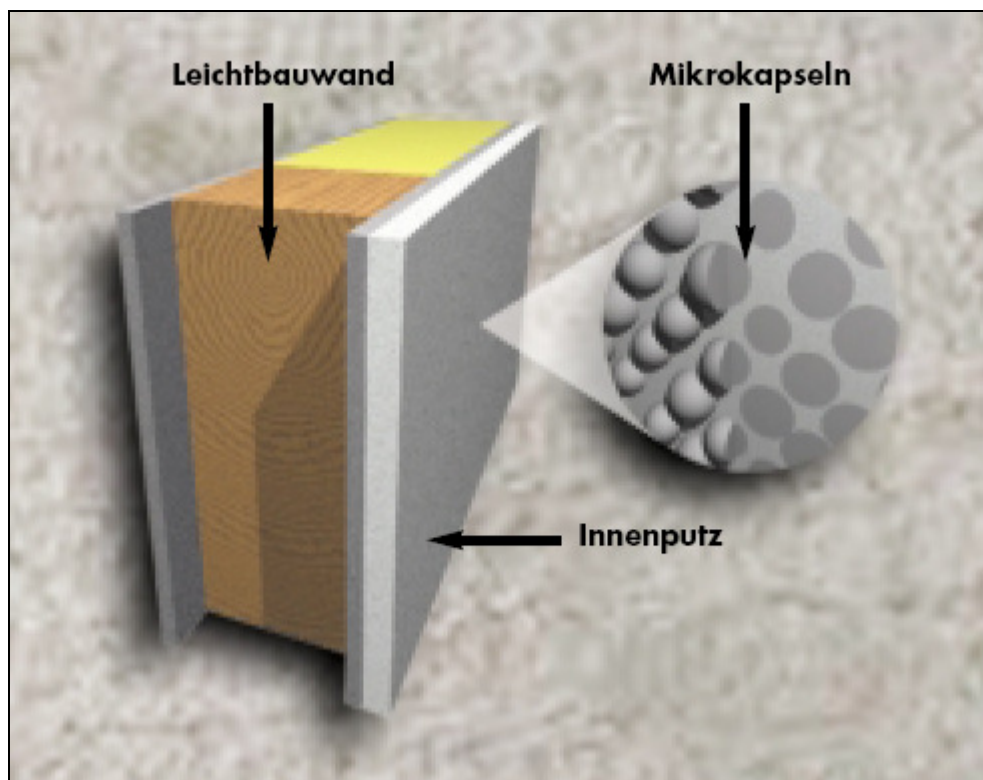


Abbildung 3-1 Innenputz mit in Mikrokapseln eingeschlossene Speichermaterialien
(Quelle: Fraunhofer ISE)

Untersuchungen des Fraunhofer Institutes für Solare Energienutzung (ISE) haben gezeigt, dass in der Testzelle (Leichtbauweise), die mit PCM-haltigen Materialien verputzt wurde gegenüber der Referenzzelle bis zu 4 K bzw. °C niedrigere Luft- und Wandtemperaturen gemessen wurden. Dies trägt im Sommer erheblich zur Verbesserung des Raumklimas bei. Im Winter kann die tagsüber gespeicherte Wärme dann in den Abendstunden wieder an den Raum abgegeben werden.

Nach derzeitigem Erkenntnisstand besitzt 1 cm eines PCM-haltigen Baustoffes die gleiche Wärmekapazität wie eine 5 cm dicke Ziegelwand. Bezogen auf die Wandstärke bedeutet das eine Zunahme der Wärmekapazität um den Faktor 5.- angestrebt wird mittelfristig der Faktor 10.

Quelle

BINE Informationsdienst, Projekt-Info: Latentwärmespeicher in Baustoffen (06/02), www.bine.info

4 Erdwärmetauscher

Im Winter könnten die Wärmetauscher von Lüftungsanlagen mit hoch effizienter Wärmerückgewinnung (WRG) bei sehr kalter Außenluft (z.B. -10°C) einfrieren und dadurch verstopfen bzw. kaputt gehen. Um dies zu vermeiden, muss bei hoch effizienten WRG-Anlagen sichergestellt werden, dass bei sehr kalter Außenluft die einströmende Frischluft vorgewärmt wird.

Eine Vorerwärmung der Außenluft ist auch dann sinnvoll, wenn WRG-Anlagen einen so genannten "integrierten Frostschutz" haben, sofern dieser nur eine Zwangs- Abschaltung oder Drosselung des Zuluftventilators ist. In diesem Betriebszustand wird nämlich nur noch Abluft ausgeblasen, wodurch die Anlage warm bleibt ("Frostschutz"). Es wird aber keine oder nur noch wenig Zuluft eingesaugt und vorgewärmt. Die Wärmerückgewinnung fällt also ganz oder teilweise weg. Eine winterliche Vorerwärmung der Frischluft ermöglicht dagegen gerade in den sehr kalten Zeiten eine volle Ausnutzung der WRG und balancierte Lüftung.

Um eine Überhitzung des Gebäudes im Sommer zu vermeiden, werden moderne Gebäude gut Wärme gedämmt, die Fenster verschattet und tief liegende und bodentiefe Fenster sowie Türen an heißen Tagen weitgehend geschlossen gehalten. Im heißen Sommer kann man - sofern eine Lüftungsanlage installiert ist - auch kühle Frischluft zuführen und heiße Innenluft abführen.

Das Erdreich hat in einer Tiefe ab ca. 1 m das ganze Jahr über ein Temperaturniveau von 8 bis 12°C . Somit kann ein Erdwärmetauscher (EWT) im Winter minusgrädige Frischluft vorerwärmen und im Sommer heiße Frischluft kühlen. Er erhöht im Winter die Effizienz der Lüftungsanlage mit WRG und im Hochsommer den Komfort. Darum wird in vielen Passivhäusern oder andern Häusern die hoch effiziente Lüftungsanlage mit einem EWT kombiniert. Eine Luftvorerwärmung für den winterlichen Frostschutz kann auch durch ein elektrisches Luftvorheizregister, das in den Frischluftkanal eingebaut wird, erfolgen. Elektro-Heizregister eignen sich aber nur für den winterlichen Frostschutz. Eine Kühlung zu warmer Frischluft im Sommer ist nicht möglich.

EWT gibt es als erdverlegte Frischluftkanäle und als in der Erde vergrabene Soleleitungen. Bei den erdverlegten Frischluftleitungen wird die Erdwärme direkt auf die Frischluft übertragen. Bei den Solesystemen wird die Wärme aus der Erde zunächst auf die Sole (Wasser mit Frostschutzmittel) übertragen aus der Sole nachher in einem Sole-Luft-Heizregister auf die Frischluft. In beiden Fällen wird kostenlose Wärmeenergie aus dem Erdreich genutzt.

Als Einsatzenergie benötigt man einen leicht erhöhten Ventilatorstrom im Zuluftventilator bei der Luftkanal-Variante bzw. etwas Pumpenstrom für die Solepumpe bei der Sole-Variante.

Die Rohre für den erdverlegten Frischluftkanal sollten wegen gutem Wärmeübergang dünnwandig sein, müssen aber so stabil sein, dass sie keinesfalls unter späteren Erd- oder Verkehrslasten brechen. Sie müssen gegen von außen drückendes Wasser dauerhaft dicht sein. Bei sommerlicher Kühlnutzung kann in ihnen Kondensat ausfallen, weswegen sie mit leichtem Gefälle (2 bis 3 °) abwärts in Luftströmungsrichtung verlegt werden sollten und am tiefsten Punkt eine Entwässerungseinrichtung haben sollten, die gegen von außen rückströmendes Wasser dicht sein muss. Keinesfalls darf ein solcher erdverlegter Frischluftkanal z.B. nach starkem Regen oder bei hohem Grundwasser volllaufen. Die Rohre müssen inspizierbar und reinigbar sein. Dazu dürfen u.a. keine Bögen und Abzweige eingebaut werden, die für Inspektions- und Reinigungsgeräte nicht durchfahrbar sind (wie z.B. 90°-Abzweige). Erdverlegte Frischluftkanäle wurden bereits vielfach gebaut. Während das thermische Funktionieren trockener Luftkanal-EWT unstrittig ist, bestehen gegen ihre Hygiene teils Bedenken.

Für das DGH mit einem beheizten Volumen von ca. 320 m³ müsste die Lüftungsanlage, die z.B. für 40 Personen dimensioniert wird, für einen maximalen Volumenstrom von 400 m³/h ausgelegt sein. Ein erdverlegter Frischluftkanal ist dann mit ca. 40 m Länge und einem Rohrrinnendurchmesser von ca. 150 mm (DN 150) richtig dimensioniert. Der EWT könnte dann z.B. als KG-Rohr einmal um das Haus herum, in einer Tiefe von 1,2 bis 2,6 m und mit einer Neigung von 2 ° verlegt werden. Eine konkrete Auslegungsberechnung ist mit der Software PHLUFT des Darmstädter Passivhaus-Instituts (www.passiv.de) möglich.

Ein Sole-Erdwärmetauscher wird ebenfalls im frostfreien Bereich in einer Tiefe von mindestens 1,2 m verlegt. Der Sole-EWT besteht z.B. aus einem biegbaren PE-Rohr (DN 25). Für die Auslegung gibt es eine Faustregel, die da heißt: Hälfte des maximalen Luftvolumenstroms [m³/h] = erforderliche Leitungslänge [m], also ergibt sich für eine Lüftungsanlage mit z.B. 400 m³/h eine Leitungslänge für den Sole-EWT von 200 m.

Die durch den Sole-EWT aufgenommene und auf die Sole übertragene Wärme wird über einen Sole-Luft-Wärmetauscher auf die Frischluft übertragen. Der Sole-Luft-Wärmetauscher wird in die Frischluftleitung vor die Lüftungsanlage eingebaut (siehe Abbildung 1).

Der Sole-EWT kann im Abgrabungsraum rund um einen Keller oder in einem separaten Erdgraben in beliebigen Kurven und Neigungen verbaut werden. Bei unterkellerten Häusern kann der Sole-EWT z.B. in mehreren Ringen um den Keller verlegt, wobei die beiden Ringe mit mind. 50 cm Abstand zu einander eingebaut werden. Die winterlich kalte Sole fließt von der Lüftungsanlage zuerst in den obersten Ring und dann in die wärmeren darunter liegenden Ringe.

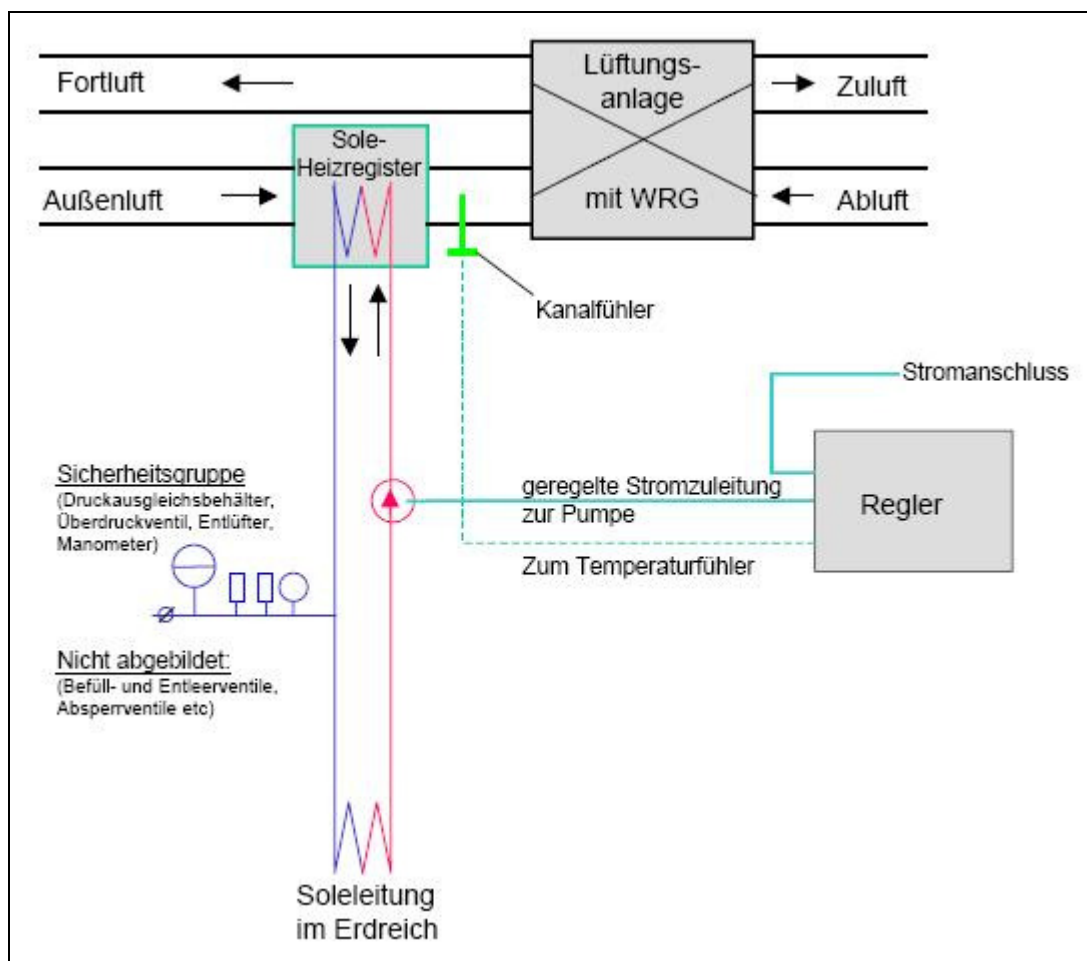


Abbildung 4-1 Installationsschema eines Sole-EWT-Systems

5 Fotovoltaik

Fotovoltaik ist der Weg, Licht direkt in elektrischen Strom umzuwandeln. Wird Silizium dem Licht ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung.

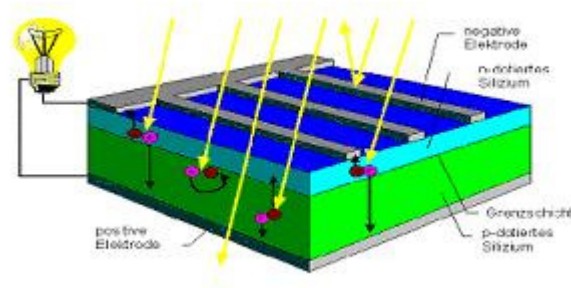


Abbildung 5-1: Aufbau einer Solarzelle (Quelle: EUPOS)

Bei den Solarzellen unterscheidet man nach drei Typen: monokristalline, polykristalline und amorphe (Dünnschicht) Solarzellen.

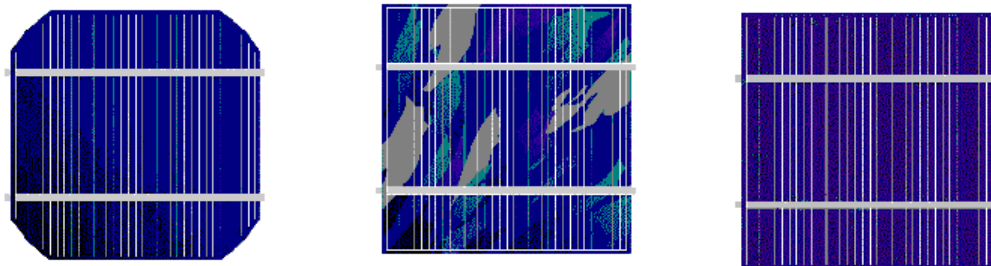


Abbildung 5-2 monokristalline, polykristalline und amorphe Solarzellen (Quelle: CD Solarenergie)

Ein Fotovoltaikmodul besteht aus mehreren in Reihe geschalteten Solarzellen. Die einzelnen Fotovoltaikmodule werden mit Gleichstromkabeln verbunden und ergeben den Solargenerator. Derzeit sind im Leistungsbereich über 30 Watt über 250 verschiedene Fotovoltaikmodule auf dem Markt. Diese unterscheiden sich durch ihre Abmaße, Leistung, Zelltypen und nicht zuletzt durch ihren Rahmen und die Einbindung in Montagesysteme (z.B. Fassadensysteme). Die hohe Qualität der Module wird durch Leistungsgarantien zum Ausdruck gebracht, die bei vielen Herstellern 20 Jahre und mehr, einen nahezu gleich bleibenden hohen Ertrag garantieren. Die ersten Fotovoltaikmodule sind bereits seit über 40 Jahren im Einsatz, so dass bei Fotovoltaikmodulen von 25 Jahren Lebensdauer und mehr ausgegangen werden kann.

Fotovoltaikmodule werden in Größen bis zu 3 m² angeboten. Mit 10 bis 15 kg/m² stellen sie echte Leichtgewichte dar und bedürfen daher in der Regel keiner verstärkenden Maßnahmen an der Dachstatik.

Es gibt auch so genannte Solardachziegel, die geschindelt anstelle der konventionellen Dacheindeckung angebracht werden können. Mittlerweile sind komplette Dach-elemente als Fotovoltaikmodul ausgebildet.

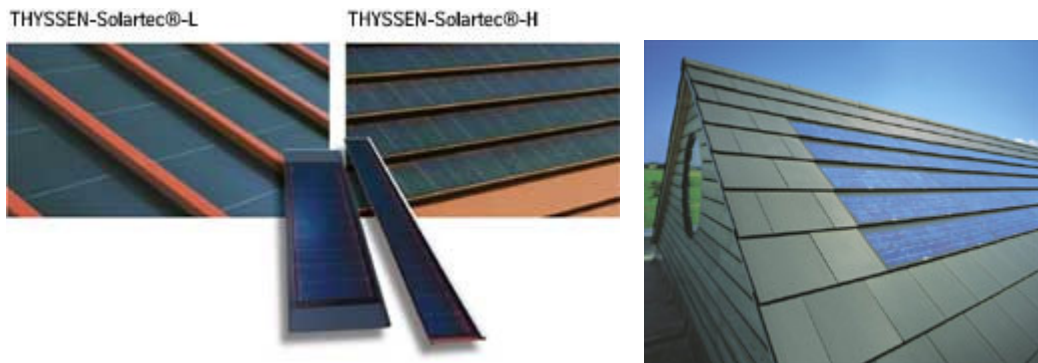


Abbildung 5-3: Fotovoltaikmodule (Quelle: Fa. Thyssen und Fa. Braas)

Inselanlage oder netzgekoppelte Anlage

Fotovoltaikmodule können als Inselanlagen und netzgekoppelte Systeme eingesetzt werden.

Inselanlagen dienen der Energieversorgung einzelner Geräte oder Gebäude, die nicht an das Stromnetz angeschlossen sind. Die Bauteile von Inselanlagen sind der Solar-generator (bestehend aus den Fotovoltaikmodulen), Laderegler, Wechselrichter sowie der Batteriespeicher.

Netzgekoppelte Anlagen sind über den Wechselrichter mit dem öffentlichen Stromnetz verbunden. Der Strom aus der Fotovoltaikanlage wird ins öffentliche Stromnetz eingespeist und vom Stromversorger vergütet. Eine netzgekoppelte Anlage benötigt keine Batteriespeicher und ist daher wesentlich kostengünstiger als eine Inselanlage.

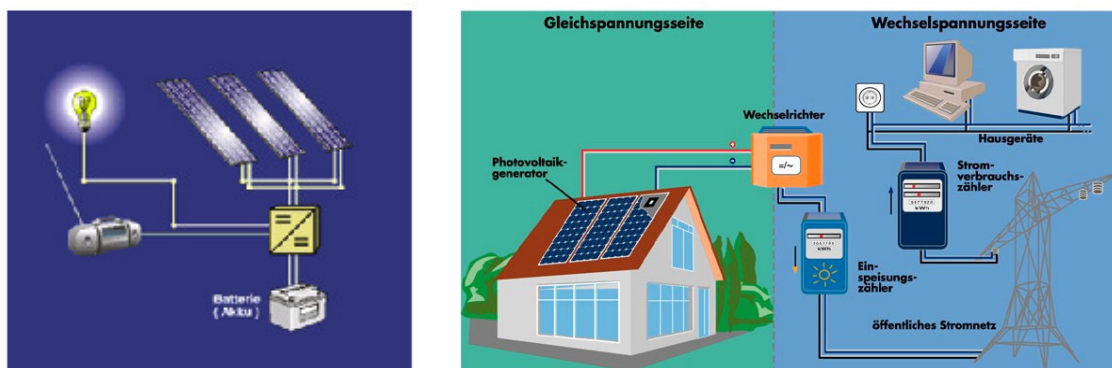


Abbildung 5-4: Schemazeichnung Inselanlage und netzgekoppelte Anlage (Quelle: CD Solarenergie)

Leistung und Ertrag

Eine Fotovoltaikanlage benötigt je Kilowatt Spitzenleistung (kW_{Peak}) eine Dachfläche von rund 10 m^2 (bei Verwendung mono- oder polykristalliner Solarzellen). Der meiste Solarstrom wird erzeugt, wenn das Dach nach Süden ausgerichtet ist und eine Neigung von ca. 30° aufweist. Eine Ausrichtung der Fotovoltaikmodule nach Süd-West oder Süd-Ost verringert den Solarertrag um weniger als 10 %. Das gleiche gilt für Dachneigung von 10° bzw. 60° :

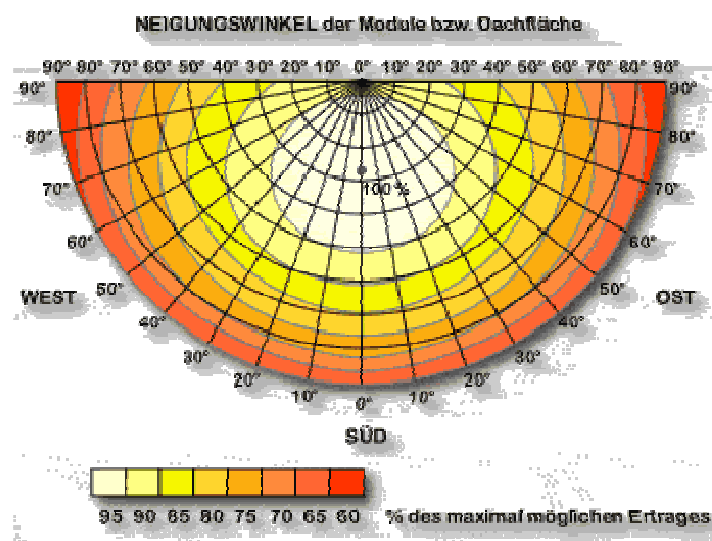


Abbildung 5-5: Anlagenertrag in Abhängigkeit von Ausrichtung und Aufstellwinkel des Solargenerators
(Quelle: CD Solarenergie)

Der Ertrag einer südausgerichteten Anlage beträgt rund $750 - 850 \text{ kWh je kW}_{\text{Peak}}$, in Süddeutschland unter optimalen Bedingungen können über $900 \text{ kWh je kW}_{\text{Peak}}$ geerntet werden. Eine Verschattung der Fotovoltaikmodule durch Schornsteine oder Bäume sollte unbedingt vermieden werden, da dadurch der Ertrag reduziert wird.

Genehmigung von Fotovoltaikanlagen

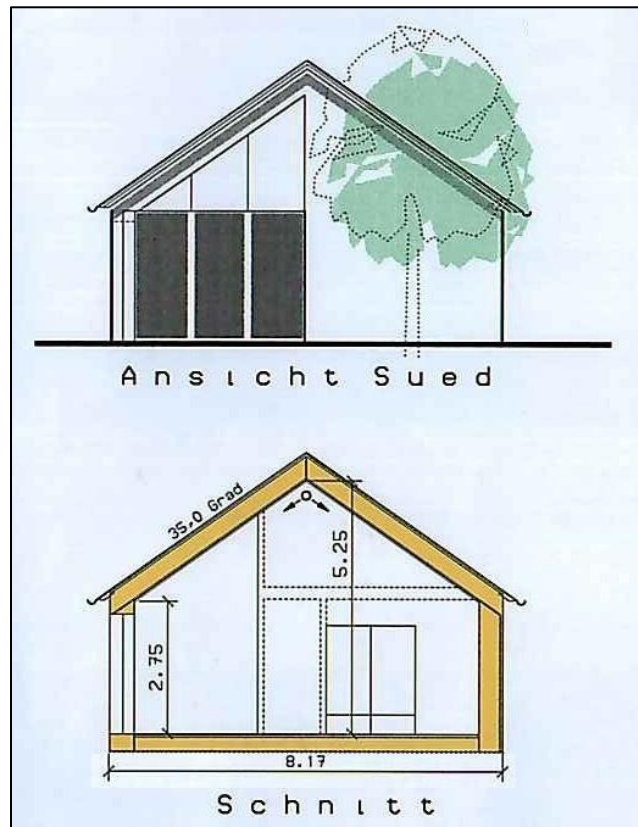
Die Montage von Fotovoltaikanlagen muss nicht genehmigt werden. Wie auch bei thermischen Solaranlagen sollte die Errichtung der Baubehörde formlos angezeigt werden. Ist das Gebäude denkmalgeschützt, ist eine Genehmigung einzuholen. Der Installateur meldet die PV-Anlage beim zuständigen Energieversorger an.

Dach als Kraftwerk

Das Dach des DGH wird als Satteldach ausgeführt. Die Ausrichtung des Firstes ist Nord-Süd. Die Dachneigung wird 35° betragen. Die Grundrissmaße betragen $8,17 \times 11,99$ m.

Der Dachüberstand wird am First mit je 0,5 m und an der Traufe mit 1,0 m angesetzt. Hieraus ergibt sich eine Gesamtdachfläche von 156 m^2 .

Die aktuellen Planungen sehen vor das Dach des DGH mit einer dachintegrierten Fotovoltaikanlage (Typ InDaX 250) anstelle der konventionellen Dacheindeckung zu belegen. Die Fotovoltaikmodule werden anstelle von Dachpfannen harmonisch in das Dach integriert und bilden gleichzeitig eine vollwertige Dachdeckung.



Die einzelnen Fotovoltaikmodule sind hinterlüftet und sichern dadurch hohe Energieerträge. Aufgrund der geschindelt angeordneten Fotovoltaikmodule erreicht das System ein hohes Maß an Regensicherheit. Dabei werden alle Anforderungen der Landesbauordnungen für harte Bedachungen erfüllt.



Die Modulgröße beträgt 1.000×2.000 mm. Die Modulleistung beträgt $242 \text{ W}_{\text{Peak}}$. Die Fotovoltaikmodule können in beliebiger Zahl neben- und übereinander angeordnet werden. Somit ergibt sich für die Anlage auf dem Dach des DGH bei 78 Modulen eine installierbare Leistung von maximal $18,9 \text{ kW}_{\text{Peak}}$.

Aufgrund der Ausrichtung der Dachflächen nach Osten bzw. Westen muss von einem reduzierten Ertrag von ca. $720 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kW}_{\text{Peak}}$ gegenüber einer reinen Südausrichtung ($850..950 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kW}_{\text{Peak}}$) ausgegangen werden. Hiermit ergibt sich ein Anlagenenertrag von ca. $13.600 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{a}$.

Wirtschaftlichkeit

Die spezifischen Investitionskosten für die komplette Dacheindeckung inkl. Montage mit einer Fotovoltaikanlage (Typ InDaX 250) belaufen sich laut einem Angebot vom 19.07.2005 auf 5.780 €/kW_{Peak}. Es ist damit zu rechnen, dass sich dieser Preis für das Jahr 2006 um ca. 2 bis 4 % reduziert. So dass sich, wenn man von einer Preisreduzierung um 3 % ausgeht, Investitionskosten in Höhe von 107.500 € inkl. MWSt. ergeben. Für die vermiedene Dacheindeckung werden spezifische Investitionskosten von 40 €/m² angesetzt.

Die Einspeisevergütung wird laut dem Erneuerbaren-Energien-Gesetz (EEG) für Fotovoltaikanlagen bis 30 kW_{Peak}, die im Jahr 2006 in Betrieb genommen werden, 51,8 Ct/kWh_{el} betragen. Diese Einspeisevergütung ist für die Dauer von 20 Kalenderjahren zuzüglich des Inbetriebnahmejahres durch das EEG gesetzlich garantiert. Hieraus ergibt sich bei einer Stromeinspeisung von 13.600 kWh_{el}/a eine Vergütung von 7.044,80 €/a. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wird von einer jährlichen Degradation der Stromeinspeisung von 0,5 % ausgegangen. Die spezifischen Betriebskosten werden mit 1,0 Ct je erzeugter Kilowattstunde Strom und einer Rücklage (z.B. für die Erneuerung eines Wechselrichters) in Höhe von 1,0 % der Investitionskosten angesetzt. Unter den aufgeführten Rahmenbedingungen ergibt sich bis zu einem Zinssatz von 2,78 % eine Wirtschaftlichkeit (Amortisationsdauer 21 Jahre).

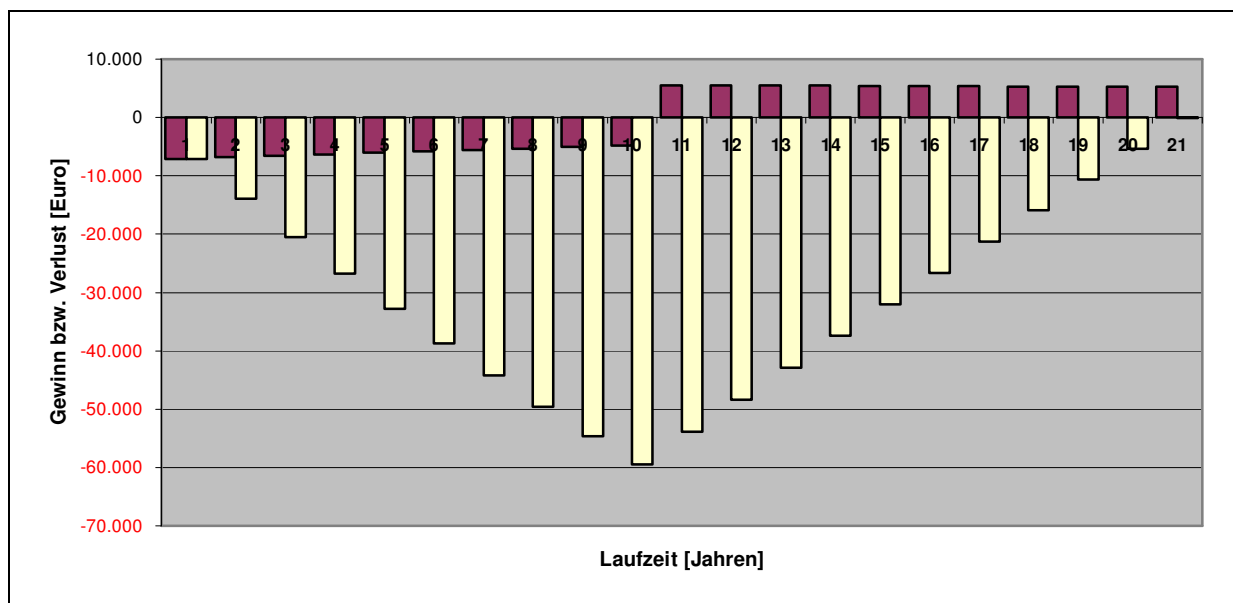


Abbildung 5-6 Jährlicher bzw. kumulierter Verlust / Gewinn

Somit ergibt sich trotz der Ost-West-Ausrichtung der Dachflächen unter den oben aufgeführten Rahmenbedingungen noch eine knappe Wirtschaftlichkeit für das „Dach als Kraftwerk“.

Die Fotovoltaikanlage wird auch über die 20 Jahre hinaus, die die Einspeisevergütung gesetzlich garantiert ist, Strom erzeugen. Dieser wird dann zu einem mit dem Netzbetreiber zu verhandelnden Preis vergütet, so dass sie dann immer noch Geld verdient.

Bei diesen Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sind noch keine sonstigen Zuschüsse berücksichtigt.

Das „Dach als Kraftwerk“ könnte auch durch Dritte realisiert werden. Hierbei würde durch einen Dritten die Fotovoltaikanlage finanziert und gebaut werden. Nachdem sich die Investition über einen Zeitraum von 20 Jahren amortisiert hat, würde die Fotovoltaikanlage dann in das Eigentum der Gemeinde übergehen.

6 Wasserloses Urinal

Funktionsprinzip

Die wichtigste Komponente des Systems ist der Siphon. Dieser Siphon dichtet das Abflussrohr ab und speichert die biologisch abbaubare Sperrflüssigkeit. Der Siphon hat drei wichtige Funktionen:

- Luftdichtes Verschließen des Abflussrohres
- Aufnahme und Speicherung der Sperrflüssigkeit
- Herausfiltern der festen Urinbestandteile

Die wichtigste Funktion des Siphons ist es, die Abflussleitung vollständig luftdicht abzudichten und damit sicherzustellen, dass kein Geruch in die Atmosphäre gelangt. Hierzu wird eine spezielle Sperrflüssigkeit - mit einem geringeren spezifischen Gewicht als Wasser – verwendet, die verhindert, dass Geruch aus dem Siphon entweicht. Die Sperrflüssigkeit schwimmt auf dem Urin (= 92% Wasser) und funktioniert wie ein vollautomatisches Ventil: Urin fließt durch die Flüssigkeit.

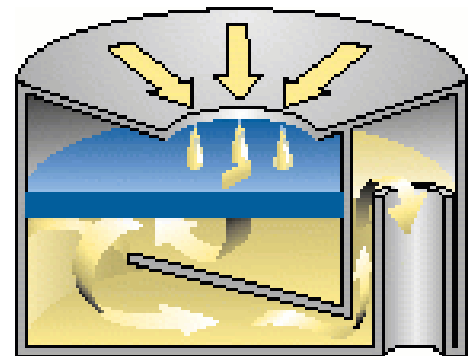


Abbildung 6-1 Siphon eines wasserlosen Urinals

Die zweite Funktion des Siphons ist verantwortlich dafür, dass das System ständig geruchsneutral funktioniert. Bei diesem System kann die Sperrflüssigkeit nicht auslaufen und muss deshalb auch nicht nachgefüllt werden.

Da der Siphon auch ein Filter ist, muss er natürlich von Zeit zu Zeit gewechselt werden. Ein Siphon hat eine Lebensdauer von 6.000 bis 8.000 Benutzungen - je nach Benutzerfrequenz. Der Siphon wird je nach Benutzerhäufigkeit ein- bis viermal im Jahr gewechselt und erzeugt damit die einzigen Betriebskosten, die beim Einsatz eines wasserlosen Urinals entstehen.

Diese Technologie wurde speziell dafür entwickelt, die natürlichen, festen Bestandteile des Urins (Kalzium, Urinstein, Salze, etc.) herauszufiltern. Diese Bestandteile bleiben im Siphon und können deshalb nicht mehr Ihre Abwasserleitungen verstopfen. Die daraus resultierenden Vorteile dieses Systems sind:

- Keine verstopften Abwasserleitungen
- Keine teuren Chemikalien zur Entkalkung (+ Umwelteffekt!)
- Keine komplizierten Dosiersysteme
- Keine nächtlichen "Überflutungen" aufgrund von Verstopfungen

Reinigung

Dieses System wurde speziell mit Rücksicht auf eine schnelle und einfache Reinigung entwickelt. Die Kombination aus ergonomischer Form und porenfreier Oberfläche bedeutet, dass keine aggressiven chemischen Reinigungsmittel mehr erforderlich sind.

Installation

Da das wasserlose Urinal kein Wasser benötigt, sind Spülkästen bzw. Wasserzufuhr überflüssig und müssen im Falle einer Neuinstallation nicht mehr eingebaut werden. Dies ist ein signifikanter Kostenvorteil im Vergleich zu konventionellen Spülurinalen.

Wirtschaftlichkeit

Durch das wasserlose Urinal können gegenüber den wassergespülten Urinalen durchschnittliche Wassereinsparungen von ca. 15 bis 150 m³ pro Jahr und Urinal erzielt werden. Gleichermaßen verringert sich das Abwasseraufkommen um mindestens die gleiche Menge. Bei einem durchschnittlichen Trink- und Abwasserpreis von 5,00 €/m³ und einem durchschnittlichen Wasserverbrauch von wassergespülten Urinalen von 3 Liter pro Spülung ergibt sich folgende Wirtschaftlichkeit:

Anzahl der männlichen Besucher pro Tag	20
Urinalbenutzungen pro Besucher	1,5
Anzahl Urinale	1
Tage pro Jahr	200
Kosten Ersatzsiphon	40,00 €/Stück
Anzahl Siphons pro Urinal und Jahr	ca. 1
$(20 * 1,5 * 200) / 1 / 6.500 = 0,92$	

	wassergespültes Urinal	wasserloses Urinal
Wasserverbrauch	18.000 l	0 l
Verbrauchskosten	90,00 €/a	0,00 €/a
Betriebs- und Wartungskosten	100,00 €/a	80,00 €/a
Jahreskosten	190,00 €/a	80,00 €/a

Die Anschaffungskosten für ein wasserloses Urinal belaufen sich auf ca. 350 €. Mit den Einsparungen von ca. 110 €/a je Urinal ist die Anschaffung bereits nach 3 bis 4 Jahren amortisiert. Hierbei sind noch nicht die Einsparungen bei den Investitionen für die Wasserzufuhr sowie Spülmechanismen berücksichtigt.

7 Zusammenfassung

Das geplante Dorfgemeinschaftshaus (DGH) in Uppershausen weißt eine Nettogeschossfläche (NGF) von ca. 80 m² und ein umbautes Volumen von ca. 320 m³ auf. Bei den Planungen wurde bereits darauf geachtet, dass das Gebäude mit der Hauptnutzung – dem Saal – nach Süden orientiert ist. Hierdurch können solare Gewinne optimiert werden. Wobei auch eine entsprechende Verschattungsmöglichkeit (z.B. automatische Jalousie) vorzusehen ist, um eine sommerliche Überhitzung zu vermeiden.

Wird das DGH nach den gesetzlichen Anforderungen der Energieeinsparverordnung (EnEV) errichtet (5-Liter-Haus) ist der Jahresheizwärmebedarf im Vergleich zur Passivhausvariante (1-Liter-Haus) fünfmal höher. Der Primärenergiebedarf des DGH im Passivhausstandard, das mit einer elektrisch beheizten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) ausgerüstet ist, liegt um 21,7 % niedriger und somit auch energieeffizienter als bei einem mit einer Flüssiggastherme beheizten DGH im EnEV-Dämmstandard. Bei der Betrachtung der CO₂-Bilanz ergibt sich eine Reduzierung von ca. 500 kg/a. Im Laufe der Benutzungsdauer des DGH werden somit ca. 25 t CO₂ eingespart.

Die Investitionskosten für die Errichtung des DGH im Passivhausstandard liegen bei ca. 146.000 Euro inkl. MWSt.. Die Jahresgesamtkosten liegen beim Passivhausstandard unter Berücksichtigung der höheren Investitionen von knapp 5.000 Euro um 1,5 % niedriger wie bei konventioneller Bauweise. Die laufenden Kosten bestehend aus Betriebs- und Verbrauchskosten liegen um fast 30 % niedriger, so dass sich die höheren Investitionen nach ca. 15 Jahren amortisiert haben. Erst recht bei steigenden Energiepreisen bleibt das Passivhaus die deutlich wirtschaftlichere Variante.

Somit ist unter der Betrachtung des gesamten Lebenszyklus die Errichtung des DGH in Uppershausen als Passivhaus sowohl aus ökologischen wie auch ökonomischen Gründen besonders sinnvoll.

Beim DGH, das in Leichtbauweise realisiert wird, wäre es möglich, mit der Einlagerung von Latentwärmespeichermaterialien in der Oberfläche von Decken und Wänden (z.B. Latentwärmespeicherputz) zusätzlich Speichermasse in die Bausubstanz zu bringen. Nach derzeitigem Erkenntnisstand besitzt 1 cm eines PCM-haltigen Baustoffes die gleiche Wärmekapazität wie eine 5 cm dicke Ziegelwand. Hierdurch lässt sich das Raumklima positiv beeinflussen. Zum einen wird im Sommer Wärme aufgenommen, die nicht im Raum erwünscht ist und zum anderen wird Wärme, die im Winter tagsüber aufgenommen wird, abends wieder abgegeben.

Durch den Einsatz eines Erdwärmetauschers (EWT) kann im Winter Frischluft vorgewärmt und im Sommer heiße Frischluft gekühlt werden. EWT gibt es als erdverlegte Frischluftkanäle und als in der Erde vergrabene Soleleitungen. In beiden Fällen wird kostenlose Wärmeenergie aus dem Erdreich genutzt. Während das thermische Funktionieren trockener Luftkanal-EWT unstrittig ist, bestehen gegen ihre Hygiene teils Bedenken.

Für das DGH müsste ein erdverlegter Frischluftkanal eine Länge von ca. 40 m und einen Rohrinnendurchmesser von ca. 150 mm (DN 150) aufweisen. Der EWT könnte einmal um das Haus herum, in einer Tiefe von 1,2 bis 2,6 m und mit einer Neigung von 2 ° verlegt werden.

Der Sole-EWT besteht z.B. aus einem biegbaren PE-Rohr (DN 25). Der Sole-EWT kann im Abgrabungsraum z.B. in mehreren Ringen um den Keller verlegt, wobei die beiden Ringe mit mind. 50 cm Abstand zu einander eingebaut werden. Die Länge müsste ca. 200 m betragen.

Auf dem Dach des DGH lässt sich anstelle der konventionellen Dacheindeckung eine dachintegrierte Fotovoltaikanlage mit einer Spitzenleistung von 18,9 kW_{Peak} installieren. Aufgrund der Ausrichtung der Dachflächen nach Osten bzw. Westen muss von einem reduzierten Ertrag von ca. 720 kWh_{el}/kW_{Peak} gegenüber einer reinen Südausrichtung ausgegangen werden. Hiermit ergibt sich ein Anlagenenertrag von ca. 13.600 kWh_{el}/a. Die Investitionskosten belaufen sich auf ca. 107.500 € inkl. MWSt.. Bei einer Einspeisevergütung von 51,8 Ct/kWh_{el} ergibt sich eine knappe Wirtschaftlichkeit für das „Dach als Kraftwerk“. Bei dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind noch keine sonstigen Zuschüsse berücksichtigt.

Im Sinne der Stoffstromminimierung und Ressourcenschonung ist der Einsatz von wassersparenden Techniken sinnvoll. Als weitere Maßnahme neben dem Einsatz von wassersparenden Sanitärarmaturen z.B. am Handwaschbecken mit einer Durchflussmenge von maximal 6 l/min sollte in der Herrentoilette ein wasserloses Urinal zum Einsatz kommen.

Die Umsetzung der genannten Technologien ist aus technischer und wirtschaftlicher Sicht sinnvoll. Das Dorfgemeinschaftshaus in Uppershausen würde sich somit als Demonstrationsobjekt modernster Technologien darstellen.