



Energieneutrales Solar-Haus mit Eisspeicher

Christoph Reck, Am Brunnerfeld 17, 82205 Gilching

Bewerbung um den Energiepreis 2018 des Landkreises Starnberg



INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	3
2. Objektbeschreibung	4
3. Innovative Merkmale	5
3.1. Energiekonzept	5
3.1.1. Anlagenschema	6
3.1.2. Hybride Solaranlage.....	6
3.1.3. Batteriespeicher.....	7
3.1.4. Wärmepumpe.....	8
3.1.5. Pufferspeicher.....	8
3.1.6. Latentwärmespeicher.....	9
3.1.7. Fußbodenheizung	10
3.1.8. Lüftung	10
3.2. Bauweise	11
3.2.1. Keller.....	11
3.2.2. Wände.....	11
3.2.3. Dach.....	12
4. Ergebnisse und Umweltentlastungen	13
5. Investitionskosten	14
6. Übertragbarkeit und Vorbildfunktion	14
7. Nachweise	15

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Anlagenschema	6
Abbildung 2: In-Dach Solaranlage	6
Abbildung 3: Aufbau des Hybridmoduls	7
Abbildung 4: Solarstrom Direktverbrauch durch Batteriespeicher.....	7
Abbildung 5: Stahltank als Erdspeicher	9
Abbildung 6: Wärmetauscher-Turm	9
Abbildung 7: Anschluss der Wärmetauscher am Latentwärmespeicher	10
Abbildung 8: U-Wert Wand = 0,15 W/m ² K	12
Abbildung 9: U-Wert Dach = 0,12 W/m ² K	12
Abbildung 10: Energieausweis, 4,2 kWh/m ² ·j (1-Liter-Haus).....	13

1. Einleitung

Energiesparende Häuser werden mit unterschiedlichen Ausprägungen und Effizienzklassen hergestellt. Unser Ziel war es ein Haus zu verwirklichen, das sich energieneutral über die Jahre betreiben lässt. Das entstandene Haus übertrifft die Erwartungen sowohl in den Berechnungen, als auch in den Messungen der ersten Betriebsmonate.

Mit diesem Konzept möchten wir diese Idee an alle Bauplaner weitergeben und so zu einer schnelleren Energiewende beizutragen.

Eckdaten

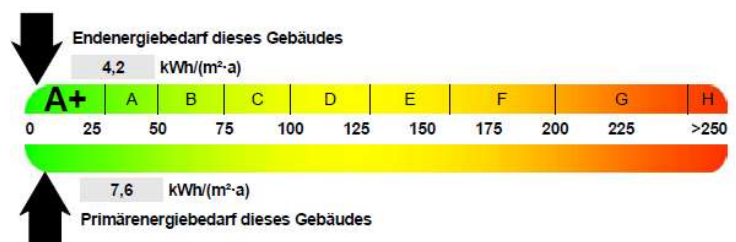
Adresse:	Am Brunnerfeld 17, 82205 Gilching - Geisenbrunn
Gebäudetyp:	Freistehendes Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung
Wohnfläche:	170 m ²
Nutzfläche:	120 m ²
Zimmer:	8

Gebaut zur Erfüllung folgender Standards und Richtlinien:

- ✓ KfW 40 PLUS
- ✓ KfW 431 Energieeffizient Bauen und Sanieren –Baubegleitung
- ✓ 10.000-Häuser-Programm EnergieBonusBayern mit „TechnikBonus“ für
 - Energieeffizienter Neubau als 1-Liter-Haus
 - innovative Heiz- und Speicher-Systeme
 - + Wärmepumpe
 - + Solarthermieanlage mit Wärmespeicher
 - + Netzdienliche Photovoltaik
- ✓ EEWärmeG

EnEV Energieausweis¹ mit Registriernummer BY-2018-002188699

Baujahr:	2018
Endenergiebedarf:	7,6 kWh/(m ² ·a)
CO ₂ -Emissionen:	2,7 kg/(m ² ·a) <i>ca. 13 t/j Einsparung gegenüber EnEV Referenzgebäude</i>
Gebäudenutzfläche (A _N):	334,6 m ²
Wesentliche Energieträger: für Heizung und Warmwasser	Mix aus Photovoltaik, Stromspeicher und Stromnetz mit Wärmepumpe und Latentwärmespeicher
Deckung nach EEWärmeG: des Wärme- und Kältebedarfs	95% durch Umweltwärme aus Sonne, Regen, Luft und Geothermie



¹ Anforderungen des EEWärmeG werden 5-fach übertroffen!

2. Objektbeschreibung

Am Brunnerfeld ist eine Nebenstraße und liegt in einem Neubaugebiet von Gilching im Ortsteil Geisenbrunn als ruhige Wohnlage zwischen der Waldhangsiedlung und dem Ortskern. Ein Bebauungsplan sorgt für eine geordnete Flächennutzung und ein einheitliches Erscheinungsbild.



Das Haus hat eine Grundfläche von 94,5 m² zzgl. einem 24 m² Erker und ist auf einem 656 m² Grundstück gebaut. Das Hauptgebäude ist komplett unterkellert. Eine Garage schließt sich an der nordöstlichen Seite des Gebäudes an, und gibt dem Baukörper ein symmetrisches Erscheinungsbild.

Große bodentiefe Fenster auf der Süd- und Westseite laden die Sonnenwärme ins Haus ein. Kleinere Nord- und Ostfenster bieten Helligkeit und gute Lüftungsmöglichkeiten. Ein Lichtgraben bietet dem Gästezimmer im Keller eine angenehme Außensicht und Tageslicht.

Ein überdachter Freisitz bietet einen angenehmen Aufenthaltsplatz im Südeck vom Haus und schließt sich nahtlos an die geplante 25 m² Terrasse an. Die Decke des Freisitzes ist gleichzeitig der Balkon des Obergeschosses. Vom Haus aus schaut man auf einen großen Südgarten über die Nebenstraße ins Grüne. Der Abstand zum Nachbarhaus mit 7 m bis 10 m vermeidet ein gedrängtes Gefühl und gibt Raum für eine schöne Gartengestaltung.

Innen ist das Haus so eingeteilt, dass das Obergeschoss als Einliegerwohnung mit zwei Zimmern, Wohnküche und Bad genutzt werden kann. Der Eingangsbereich ist die Ader des gesamten Hauses. Hinter einer eigenen Wohnungstür im Erdgeschoss befindet sich ein Gäste-WC, eine Garderobe, sowie die großzügige Küche mit Esszimmer und angrenzendem Wohnzimmer, darüber hinaus noch ein komplettes Schlafzimmer mit walk-in-Schrank und eigenem Bad. Somit wird das EG als altersgerechte Wohnung ohne Treppe nutzbar. Im Keller befindet sich der Technikraum und eine Bürowerkstatt, sowie ein Hobbyraum mit einem getrennten Tageslicht gefluteten Gästezimmer und Bad. Der Bodenbelag in allen Ebenen besteht aus hellem Feinstein mit Fußbodenheizung.

3. Innovative Merkmale

Dass Verschiedene Aspekte wie diffusionsoffene Bauweise, gute Dämmung, Indach-Solaranlage, Wärmepumpe, Latentwärmespeicher, Ästhetik und funktionale Auslegung gewünscht werden, macht es schwer einen Anbieter oder Architekten zu finden, der so einen Bau, ohne horrenden Kostenaufschlag, planen und begleiten kann. Daher habe ich mich mit meiner bisherigen Bau Erfahrung und meinen Ingenieurskenntnissen selbst um die optimale Zusammenstellung bemüht.

Folgend stelle ich die eingebrachten Innovationsmerkmale des Hauses vor, gruppiert in einem Energiekonzept und der Bauweise. Die Ideen und Erkenntnisse können von anderen Bauplanern in weiteren Vorhaben übernommen werden, um Kosten- und Energie zu sparen.

3.1. Energiekonzept

Die primäre Energiequelle des Hauses ist die Sonne – sowohl für Strom als auch Wärme. Im Sommer gibt es Überschuss beiderseits, im Winter dagegen zu wenig. Strom lässt sich in das Netz einspeisen und verkaufen. Wärme speichern geht nur in begrenztem Maße. Die Energieversorgung ausschließlich nach dem Winter zu dimensionieren geht in unseren Breitengraden nicht mit im Verhältnis stehenden Investitionen. Der gewählte Ansatz ist daher:

- ✓ Photovoltaikanlage dimensioniert nach Dachfläche und so, dass im Sommer so viel mehr produziert wird, dass der Bezug im Winter kostenmäßig gedeckt wird. Die übliche Grenze der Anlagengröße wird durch die EEG-Umlage-freien Anlagen mit 10 KWh Peak vorgegeben.
- ✓ Solarthermische Anlage um das Brauchwasser im Sommer zu erzeugen.
- ✓ Thermischer Speicher mit Energie, um zwei Wintermonate durch zu heizen; mehr dazu unten.
- ✓ Eine Wärmepumpe, um in den Übergangs- und Wintermonaten die notwendige Wärme von den Solarpaneelen (u.A. bei Regen und wärmere Wintertage) und aus dem Eisspeicher zu ernten.
- ✓ Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Damit das Ganze funktioniert ist eine entsprechend gut gedämmte Bauweise des Hauses notwendig. Daraus entstand ein 1-Liter-Haus, das sich durchaus als Passivhaus qualifizieren ließe.

3.1.1. Anlagenschema

Die folgende Abbildung zeigt das vollständige Schema der bivalenten Solar- und Heizungsanlage mit all seinen Komponenten.

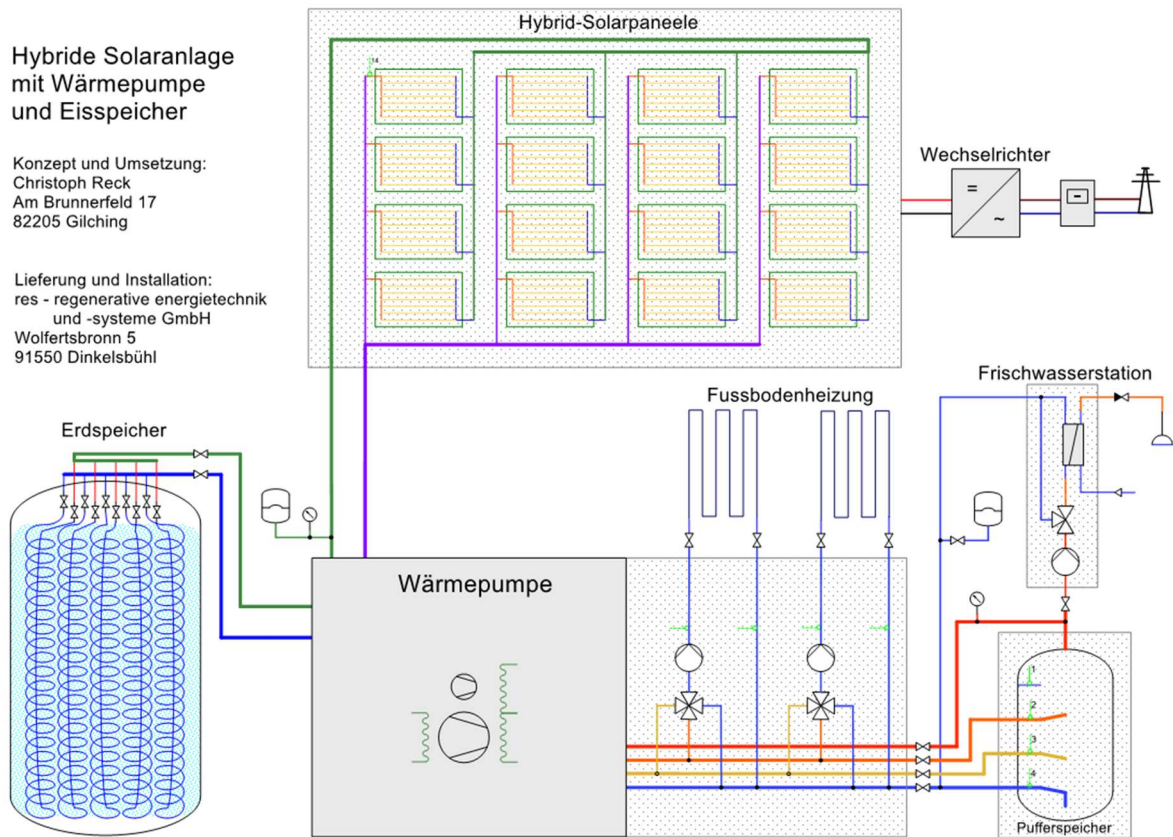


Abbildung 1: Anlagenschema

3.1.2. Hybride Solaranlage

Dem Bebauungsplan folgend, ergab sich am Haus ein Dach mit Ost-West-Ausrichtung. Aus ästhetischen Gründen wählten wir Indach-Paneele, die zugleich die Dacheindeckung ersetzen. Zur Effizienzsteigerung und besseren Platzausnutzung wählten wir hybride Paneele, die Strom- und Thermische-Leistung zugleich erbringen.



Abbildung 2: In-Dach Solaranlage

Studien zeigen eine Steigerung von 15% der Stromerzeugungseffizienz bei einer Kühlung der Photovoltaikzellen um 20°C. Jedoch dürfen diese Gewinne, über das Jahr hinweg betrachtet, nicht überbewertet werden. Ausschlaggebend für die Auswahl der Hybridpaneele war die gleichzeitige Wärmegewinnung für das Haus.

PV-Hybridmodule gewinnen mittels einer Wärmepumpe solare Wärme, sowie Wärme, die von der Luft übertragen wird – energieeffizient selbst noch bei Temperaturen um den Gefrierpunkt, also auch bei Nacht und Nebel!

Nach langer Recherche hatte ich drei Anbieter solcher Module gefunden. Letztendlich fiel die Wahl auf die von *regenerative energietechnik und -systeme GmbH* in Dinkelsbühl, denn der Systemanbieter hatte die gesuchte Erfahrung mit entsprechenden Anlagen und konnte mich gut bei der Auslegung und Dimensionierung der Anlage beraten. Folgende Abbildung zeigt den Aufbau dieser Module ².

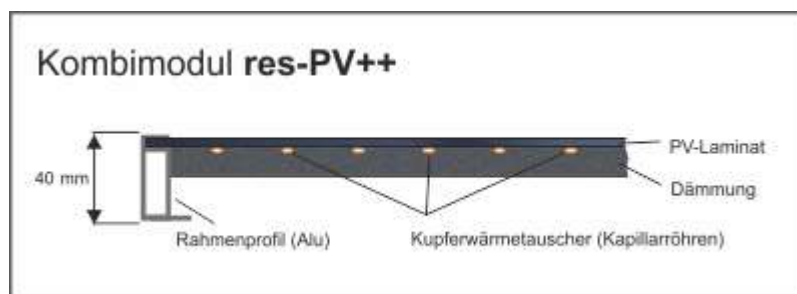


Abbildung 3: Aufbau des Hybridmoduls

Die Photovoltaikmodule werden in Serie (Strings) mit 15 bis 20 Modulen verdrahtet. Die thermischen Elemente werden nach Tichelmann verrohrt.

3.1.3. Batteriespeicher

Aufgrund steigender Strompreise und gesunkener Einspeisevergütungen ist es heute sinnvoll, möglichst viel des eigenen Solarstroms selbst zu verbrauchen.

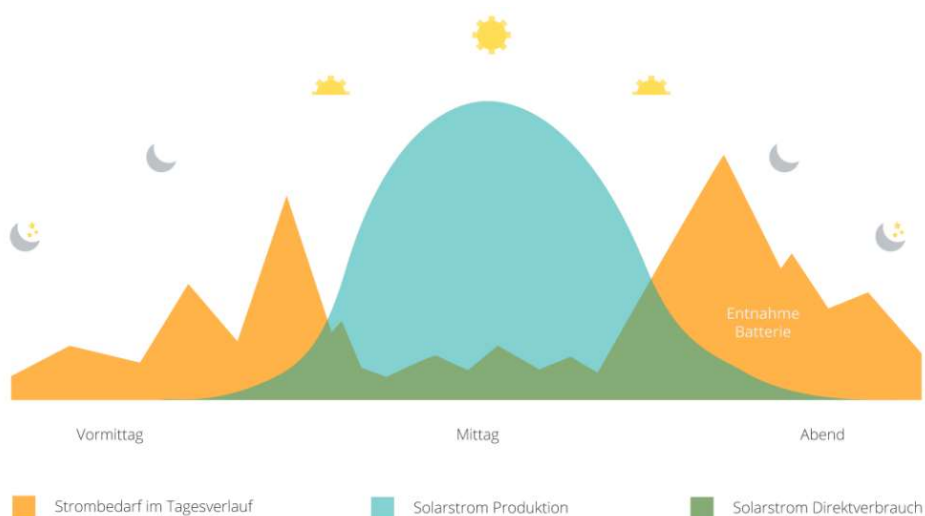


Abbildung 4: Solarstrom Direktverbrauch durch Batteriespeicher

² Quelle: <https://res-energie.de/res-produkte/pv-kombimodule-hybridkollektor-pv-t/>

Eigenverbrauch des selbsterzeugten Solarstroms ist sinnvoll, wenn die Anlage unterhalb des regulären Strompreises Strom erzeugen kann. Strom aus einer Hausdachphotovoltaikanlage sind aktuell für 10-14 Ct/kWh erzielbar. Bei einem Strombezug vom Netz kostet Sie die Kilowattstunde ungefähr 24 Cent. Gespart werden also durch jede selbst erzeugte Kilowattstunde (kWh) 10-14 Cent. Da Photovoltaik mittags am meisten Strom erzeugt, der Haushaltsstrombedarf jedoch in den Morgen- und Abendstunden Spitzenwerte erreicht, kann nicht der gesamte Verbrauch durch die Anlage gedeckt werden. Häufig muss morgens und abends zusätzlicher Strom aus dem Netz bezogen werden. Der überschüssige mittags erzeugte Strom hingegen wird eingespeist. Mit der Installation eines Batteriespeichers ist es möglich den Eigenverbrauch weiter zu erhöhen.

Zur Zeit liegen die Kosten für ein Batteriespeicher im Bereich von 1.000 € pro kWh Speicherkapazität. Es gibt teurere Angebote, aber kaum billigere.

Wir haben ein VARTA Element mit 6,5 kWh gewählt. Messungen der ersten Monate zeigen, dass die Batterie den Eigenverbrauch auf ungefähr 60% erhöht. Die Solaranlage produzierte im Sommer jedoch doppelt so viel Strom, welcher ins Netz eingespeist wurde.

3.1.4. Wärmepumpe

Die eingesetzte Sole-Wasser-Wärmepumpe BARTL - ECO 2S hat eine Leistung von 8 kWh und eine Jahresarbeitszahl über 4. Sie bezieht also dreimal so viel Energie zum Heizen aus den Quellen (Solaranlage oder Erdspeicher) als sie es Strom verbraucht.

Die integrierte Regelung steuert die Pumpen für die thermische Solaranlage und für die Fußbodenheizung. Sie ist witterungsgeführt und bietet eine Schnittstelle zur Fernüberwachung. Ein Heißgasentwärmungsmodul in der Wärmepumpe liefert die notwendige Temperatur für das heiße Brauchwasser im Haus.

3.1.5. Pufferspeicher

Die gewonnene Wärme wird in einem 1500 Liter Pufferspeicher eingebracht. Ein- und Auslässe auf verschiedenen Höhen erlauben ein effizientes Einbringen und Entnehmen der Wärme durch die Wärmepumpen- und Heizungsregelung.

Die Dämmung der marktüblichen Pufferspeicher war zu gering, um die Anforderungen des Bayerischen 10.000-Dächer-Programms zu erfüllen. Die einfachste und kostengünstigste Lösung war eine bauseitige Ummantelung des Pufferspeichers mit Bahnen aus mineralischer Wolle der WLG 032 mit einer Gesamtdicke von 18 cm. Der Speicher selber steht auf einer 12 cm dicken Isolierung aus Glasschaumplatten WLG 041 und einer wasserfesten 22 mm Multiplexplatte als Stellfläche.

Ein größerer Pufferspeicher hätte mehrere Nachteile einher gebracht, die dagegen ausschlaggebend waren:

- Mehr Raumverbrauch
- Größere Oberfläche bedeutet gleichzeitig mehr Fläche mit Übertragung in den Räumen, und im Sommer möchte man diese extra Wärme nicht im Haus haben.

Daher fiel die Entscheidung auf einen großen Wärmespeicher außerhalb des Hauses, wie im nächsten Abschnitt beschreiben.

3.1.6. Latentwärmespeicher

Wie kann Wärmeenergie effizient gespeichert werden? Die für ein Einfamilienhaus kostengünstigste Lösung ist ein Wassertank. Wasser hat eine sehr gute Wärmekapazität und wenn der Übergang zum festen Eis mit genutzt werden kann, steht nochmals ein Vielfaches an Energie zur Verfügung.

Wenn die thermischen Kollektoren nicht mehr ausreichend Energie liefern, entzieht die Wärmepumpe dem Wasser im Eisspeicher die Energie und wandelt es zum Schluss in Eis um. Während des Phasenwechsels von flüssig (Wasser) zu fest (Eis), werden erhebliche Mengen an latenter Energie (92 Wh/kg) freigesetzt. Während des Phasenwechsels bleibt die Wassertemperatur konstant bei 0°C.³

Das Eis wird wieder zu Wasser durch die Erdwärme oder wenn wieder genügend Sonne scheint. Wenn der Winter vorbei ist, ist der Begriff "Eis"-Speicher eigentlich nicht mehr geeignet, weil der Speicher fast immer 100% Wasser enthält.

Im Sommer wird der große Latentwärmespeicher kaum über 20°C erwärmt und dient dann als Kühlung für die Photovoltaikpaneele.

Statt der derzeit üblichen 10 cbm Speichern aus Betonringe, haben wir ein 24.000 Liter Speicher aus Stahl verwendet – ein ehemaliger Essigtank mit 2,4 m Durchmesser und 5,5 m Länge, innen emailliert mit einer Wandstärke von 10 mm. Dieser wurde vertikal im Boden ohne Isolierung vergraben. Vorteilhaft ist das „vergrößerte“ Volumen, da das Erdreich im Sommer mit kühlt und im Winter Tauwärme wieder in den Tank überträgt.



Abbildung 5: Stahltank als Erdspeicher



Abbildung 6: Wärmetauscher-Turm

³ Quelle: https://www.energie-solaire.com/wq_pages/de/site/page-273.php

Zehn dieser Wärmetauscher-Türme wurden senkrecht nebeneinander im Stahltank installiert. Betonringe mit einem Kanaldeckel überbrücken die 1,5 m vom Tankoberseite bis zur Oberkante des Erdreichs. In diesen Bereich werden alle Wärmetauscher-Türme in Parallelschaltung zusammengeführt. Dieses ermöglicht einen guten Volumenstrom bei gleichzeitiger guter Wärmeverteilung.

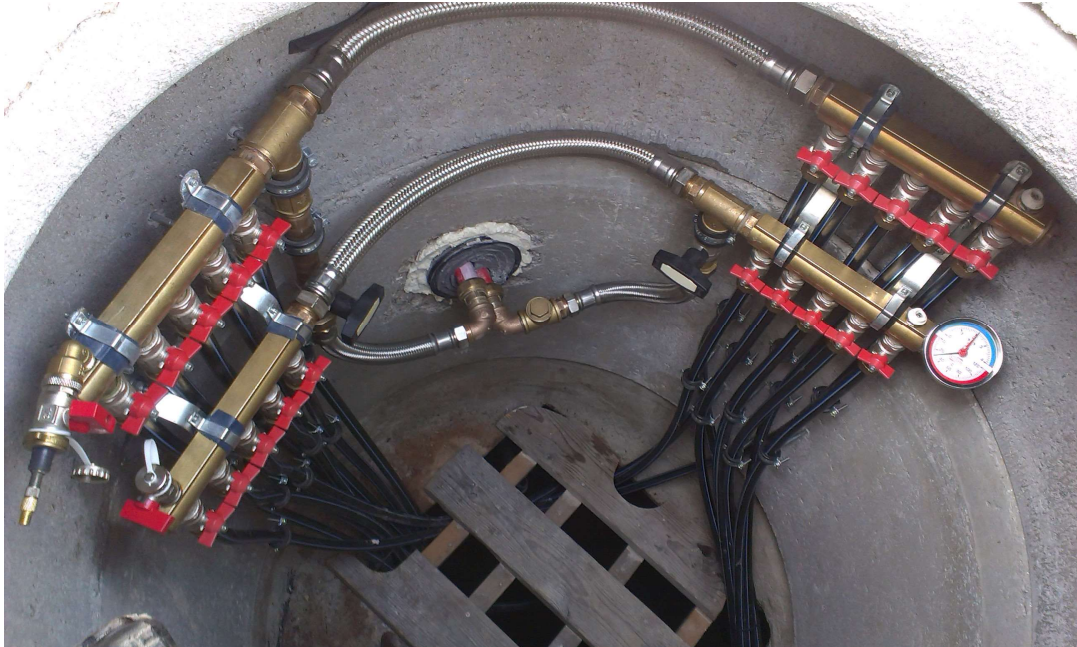


Abbildung 7: Anschluss der Wärmetauscher am Latentwärmespeicher

3.1.7. Fußbodenheizung

Eine Fußbodenheizung ermöglicht eine angenehme Temperierung der Räume mit niedrigen Vorlauftemperaturen der Heizung. Raumthermostate regeln jeden Raum individuell.

3.1.8. Lüftung

Niedrigenergiehäuser zeichnen sich durch eine luftdichte Hülle aus. Diese bedeutet aber zeitgleich einen fehlenden Luftaustausch in den Wohnräumen und zugleich ein Anstauen der Luftfeuchtigkeit im Haus (Kochen, Atmen, Duschen, etc.). Deshalb ist bei Häusern die dem KfW 40 Standard entsprechen, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorgeschrieben. Die Lüftung der Räume erfolgt automatisch (muss nicht mehrmals am Tag mittels Stoß-Lüftung erfolgen) und ca. 80% der Wärme der Abluft wird zurückgewonnen. Durch die Luftfilter verringert sich der Staub und die Pollenbelastung im Haus. Ein gutes Raumklima verhindert zudem Feuchtigkeitsbildung und beugt Schimmelbildung vor.

Als Zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung haben wir eine Stiebel Eltron LWZ 170 E Plus installiert.

3.2. Bauweise

Im Allgemeinen wurden hochwertige Baumaterialien verwendet und nach den gültigen Richtlinien verbaut. Die Kosten guter Materialien sind bei guter Wahl vertretbar und machen nur einen kleinen Anteil der Gesamtbaukosten aus.

3.2.1. Keller

Der Keller ist als Weiße-Wanne gebaut und mit 14 cm Styrodur WLG 0,043 W/m²K gedämmt. Der Boden im Grundstück besteht hauptsächlich aus Kies der Endmoränen und bietet eine gute Versickerung. Drückendes Wasser ist nicht zu erwarten und damit kann von einer langen Lebensdauer dieser Keller-Perimeterdämmung ausgegangen werden.

3.2.2. Wände

Die Haus-Außenwände sind mit dem innovativen Kellerer ZMK X-6,5 Ziegel aufgebaut ⁴, mit seinen Eigenschaften:

- ✓ Ziegel
 - + 100% Natur
- ✓ gefüllt mit feinporigen EPS-Kernen
 - + HBCD-frei
 - + Atmungsaktiv
 - + Biologisch unbedenklich
 - + Sehr gute Wärmedämmung
 - + Voll recyclebar
(kein Entsorgungsproblem nach Trennung bei Ziegelbruch)
- ✓ Voll diffusionsoffen
 - + Schimmelfrei
 - + Gesundes Raumklima
 - + Natürlicher Luftaustausch
 - + Feuchteregulierung
- ✓ bei 42,5 cm Wandstärke
 - + Wärmeleitzahl: 0,065 W/mK
 - + U-Werte: 0,15 W/m²K
 - + Druckfestigkeit 1,8 [MN/m²], char. Wert fk
 - + Schalldämmung 48,7 dB Rw



Mit diesen Ziegel-Eigenschaften lassen sich Mehrfamilien- und Passivhäuser aufbauen und sie vermeiden die Nachteile der aufwändigen und schadenanfälligen Wärmeverbundsystemen.

Der Materialkosten-Preisaufschlag von ca. 10% wurde mit dem Zuschuss des EnergieBonusBayern ausgeglichen.

Die Berechnung des Wärmeleitwertes der Außenwände ergibt ein U-Wert von 0,15 W/m²K:

⁴ <https://zmk-ziegel.de/x-serie/>


Bauteil:		Außenwand Nord Außenwand Ost Außenwand Süd Außenwand West				Fläche / Ausrichtung :		58,06 m ² N 53,66 m ² O 44,59 m ² S 39,85 m ² W	
	Nr.	Baustoff	Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand			
			cm	W/(mK)	kg/m ³	m ² K/W			
	1	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 1.1.2)	1,50	0,700	1400,0	0,02			
	2	KELLERER ZMK X6,5 (Eigener, veränderter oder sonstiger Baustoff)	42,50	0,065	1,0	6,54			
3	Leichtputz (< 1000 kg/m ³) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 1.1.4)	2,00	0,380	1000,0	0,05				
Anforderung nach DIN 4108 Teil 2 ist erfüllt!			$R_{\text{tot}} = 1,75$			R = 6,61			
Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust		wirksame Wärmespeicherfähigkeit		$R_{\text{gl}} = 0,13$		
196,17 m ²		30,6 %	41,4 kg/m ² 28,92 W/K 25,1 %		10cm-Regel : 1144 Wh/K 3cm-Regel : 1144 Wh/K		$R_{\text{se}} = 0,04$ U - Wert 0,15 W/m ² K		

Abbildung 8: U-Wert Wand = 0,15 W/m²K

3.2.3. Dach

Die Dachkonstruktion besteht aus 24 cm Dachsparren mit Zwischensparrendämmung WLK 032 und darüber eine 5,2 cm Holzfaserdämmplatte (WLG 045). Ergibt ein gesamt U-Wert von 0,12 W/m²K.

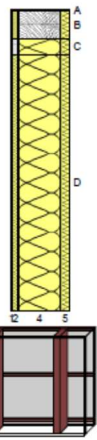
Bauteil:		Dach West				Fläche / Ausrichtung :		50,92 m ² W	
	Nr.	Baustoff	Dicke	Lambda	Dichte	Wärmedurchlasswiderstand			
			cm	W/(mK)	kg/m ³	m ² K/W			
	1	Gipskartonplatten (DIN 18180) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 3.5.1)	1,50	0,250	900,0	0,06			
	2	Gefach - Stützen- / Balkenbreite: 4,0 cm; Zwischenraum (Füllung): 60,0 cm; um 90° gedreht 5,7%: Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 6.1.1) 94,3%: Mineral- und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 032) (Eigener, veränderter oder sonstiger Baustoff)	3,00	0,130	500,0	0,23			
3	Polyethylenfolie 0,15 mm (DIN 12524) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 7.5.1)	0,015	0,330	960,0	0,00				
4	Gefach - Stützen- / Balkenbreite: 10,0 cm; Zwischenraum (Füllung): 90,0 cm 10,0%: Konstruktionsholz (DIN 12524 - 500 kg/m ³) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 6.1.1) 90,0%: Mineral- und pflanzl. Faserdämmstoff (DIN 18165-1 - WLG 032) (Eigener, veränderter oder sonstiger Baustoff)	24,00	0,130	500,0	1,85				
5	Holzfaserdämmplatten (DIN 68755 - WLG 045) (Katalog 'DIN 4108-4/ DIN 12524', Din-Kennung 5.8.3)	5,20	0,045	290,0	1,16				
Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Abschnitte (siehe Skizze)						$R_{\lambda, A} = 3,29$ $R_{\lambda, B} = 4,00$ $R_{\lambda, C} = 8,95$ $R_{\lambda, D} = 9,65$			
Anforderung nach DIN 4108 Teil 2 ist erfüllt!			$R_{\text{tot}} = 1,0$			$R_{\text{gl}} = 8,09$			
Bauteilfläche		spezif. Bauteilmasse	spezif. Transmissionswärmeverlust		wirksame Wärmespeicherfähigkeit		$R_{\text{gl}} = 0,10$		
50,92 m ²		8,0 %	105,1 kg/m ² 6,14 W/K 5,3 %		10cm-Regel : 214 Wh/K 3cm-Regel : 201 Wh/K		$R_{\text{se}} = 0,10$ U - Wert 0,12 W/m ² K		

Abbildung 9: U-Wert Dach = 0,12 W/m²K

4. Ergebnisse und Umweltentlastungen

Das Haus demonstriert, dass ein zukunftsorientiertes Bauen durch eine sorgfältige Zusammensetzung von Photovoltaik- und Solarthermischen-Modulen, einer Wärmepumpe, einem großen Latentwärmespeicher und der passenden Massivbauweise möglich ist.

Schon im ersten Betriebsjahr ergibt sich eine Energiekostenbilanz von +/- Null-Euro!

- ✓ Die jährliche Einspeisevergütung ist nahezu gleich zu den Verbrauchskosten aus dem Stromnetz, keine weitere Heizungs-Energiequelle ist im Haus notwendig.
- ✓ Nach KfW- und BAFA- Zuschüssen wird eine Amortisation der Investitionskosten in weniger als 15 Jahren möglich.

Die Berechnung nach dem EEWärmeG ergibt eine Übererfüllung der EnEV-Anforderungswerte um 300%. Das Gebäude erfüllt die Anforderungen des EEWärmeG zu über 490 %.

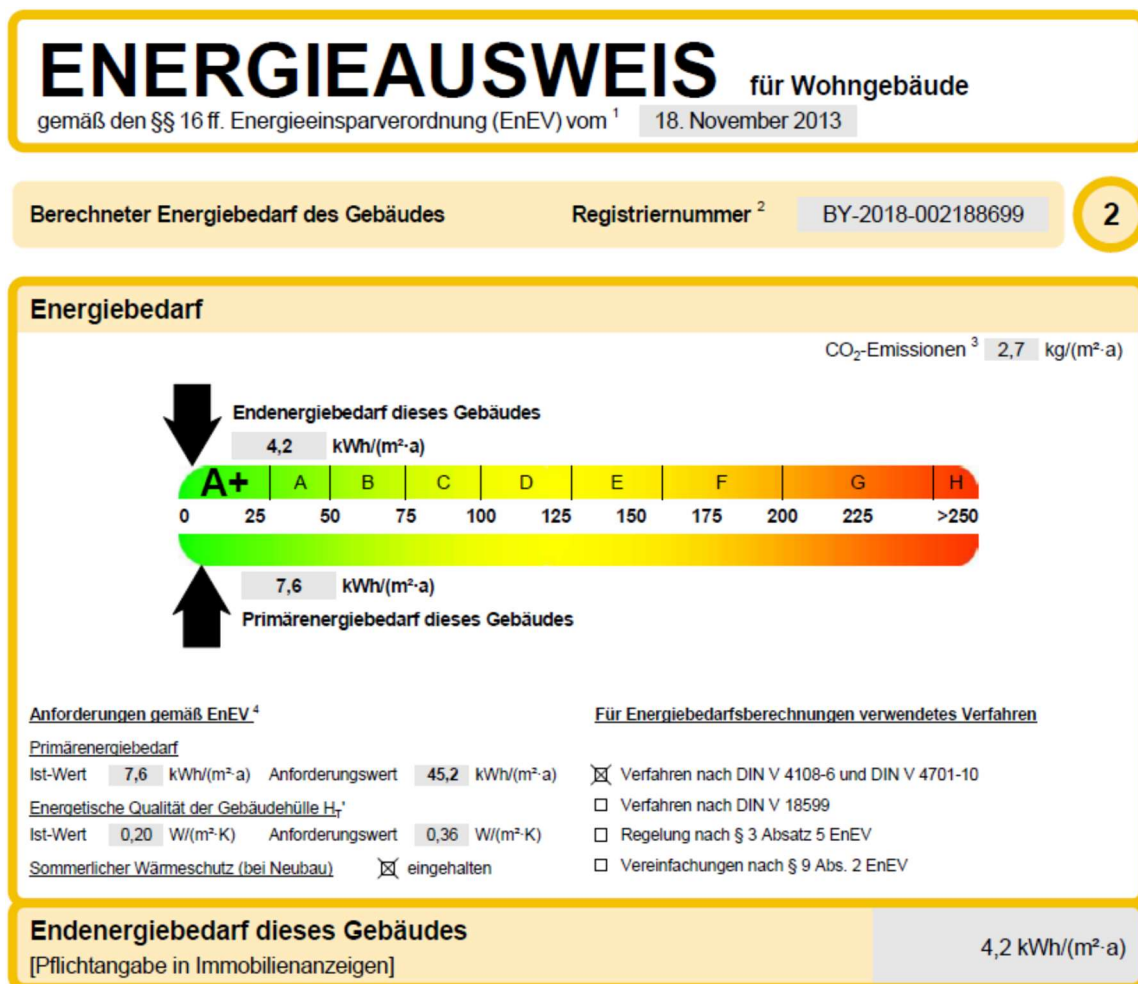


Abbildung 10: Energieausweis, 4,2 kWh/m²·j (1-Liter-Haus)

Die Hochrechnung der CO₂-Emission von 2,7 kg/(m²·a) aus dem Energieausweis, ergibt im Vergleich gegenüber dem EnEV-Referenzhaus eine Einsparung von ca. 13 Tonnen CO₂ im Jahr!

Die Umwelt wird hiermit im höchsten Maße entlastet.

5. Investitionskosten

Geschätzte Mehrkosten gegenüber einem KFW-55 Vergleichshaus um das 1-Liter-Haus mit der Null-Energiebilanz zu erreichen:

a) Planungskosten	
1. Energieberater	2.600 € (nach KFW 431 Zuschuss)
b) Baukosten	
(Schätzwerte der Zusatzdämmung und Materialien)	
1. Kellerdämmung	5.000 €
2. Außenwände	6.000 €
3. Dachdämmung	1.000 €
4. Einsparung des Schornsteines	-5.000 €
c) Heizung (gegenüber Gastherme und Gasleitung-Verlegung)	
1. Wärmepumpe	0 €
d) Solaranlage mit Batteriespeicher und Montage	
1. PV-Kombianlage 9,45 kW	26.900 €
2. Hydraulikkomponenten	14.000 € (WP herausgerechnet)
3. Erdspeicher	7.000 €
e) Lüftungsanlage	
1. Zentraleinheit und Rohre	5.500 €
<hr/>	
Summe der Investitions-Mehrkosten:	63.000 €
Abzüglich Zuwendungen:	
a) von KFW 55 zu KFW 40+	-20.000 € (für 2 Wohneinheiten)
b) 10.000-Häuser-Programm EnergieBonusBayern	
1. Energieeffiziente Wärmepumpe	-2.000 €
2. EnergieEffizienzBonus 1-Liter-Haus	-9.000 €
c) BAFA Innovationsförderung	-4.000 €
<hr/>	
Summen der Zuwendungen	-35.000 €
<hr/>	
Gesamtsumme der Investitions-Mehrkosten	28.000 € (nach Abzug der Zuschüsse)

Bei geschätzten Jährlichen Energieeinsparung von ca. 1.900 € (konventionelle Strom und Heizkosten) ergibt sich daraus eine

Amortisationszeit von 15 Jahren

6. Übertragbarkeit und Vorbildfunktion

Die Kombination der Ideen und Produktauswahl bei diesem Solarhaus mit Eisspeicher sind geeignet für jeden Neubau. Auch in einer Massivbauweise sind Passivhäuser möglich.

Zukünftige Häuser „Am Brunnerfeld“ und andere Neubaugebiete können sich an diesem innovativen Energiekonzept und Kombination von vorhandenen Technologien orientieren.

7. Nachweise

Folgende Anlagen belegen die Bauausführung und Energie-Berechnungen:

- a) Energieausweis BY-2018-002188699, 10.09.2018
- b) Energieberatung Huber, 10.09.2018
Einsatz Erneuerbarer Energien – EEWärmeG, rev8, Bbl2
- c) Energieberatung Huber, 10.09.2018
EnEV-Berechnungsnachweis, BV Reck (KfW 40 PLUS), Rev8 (Ist-Stand)
- d) Energieberatung Huber, 11.09.2018
Dokumentation zum Neubau eines Effizienzhaus 40 Plus