

Mit



Dr. Günter Wind

Ingenieurbüro für Physik

Marktstraße 3
A-7000 Eisenstadt

T 059010 3780 | 0680 2326415
E office@ibwind.at | www.ibwind.at



Mitglied des Fachverbandes

Leitfaden zur Optimierung der Solarenergienutzung

Autor: G. Wind
im Auftrag von Ing. Andreas Waha GmbH

Status: freigegeben

Auftraggeber:
TOB – Technologieoffensive Burgenland



Eisenstadt, 02.09.2012



creating the future

Programm zur grenzüberschreitenden Kooperation ÖSTERREICH - UNGARN 2007-2013
AUSZTRIA - MAGYARORSZÁG Határon Átnyúló Együttműködési Program 2007-2013

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort – Das Energiesparhaus entwickelt sich zum Energieproduktionshaus	3
2 Gebäudegeometrie – ermöglicht oder verhindert die Solarenergienutzung	6
2.1 Flächenpotenziale für Solarenergienutzung	6
2.2 Kompakte Geometrie – verringert Baukosten und Energieverlust	9
3 Weitere Aspekte zur Optimierung des Energiekonzepts.....	10
3.1 Dämmstärke der Bauteile	10
3.2 Luftdichtheit:	13
3.3 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	14
3.4 Hohe Speichermasse.....	15
3.5 Stille Kühlung.....	16
3.6 Graue Energie in der Bausubstanz – ein wesentlicher Aspekt zur Energieoptimierung...	17
4 Vergleich der Arten der Solarenergienutzung kombiniert mit Wärmepumpe.....	18
4.1 Passive Solarenergienutzung - Details	20
4.2 Solare Warmwasserbereitung und teilsolare Raumheizung – Details	21
4.3 Solare Warmwasserbereitung.....	22
4.4 Teilsolare Raumheizung	22
4.5 Photovoltaik – universell einsetzbare Solarenergie	25
5 Gesamtkosten für Strom und Wärme für verschiedene Technologievarianten	29
5.1 Gesamtkosten für Strom und Wärme für BlueLine Basisvariante MIT Lüftungs-WRG.....	30
5.2 Gesamtkosten für Strom und Wärme für BlueLine Basisvariante OHNE Lüftungs-WRG	31
5.3 Diskussion der Ergebnisse der Energie-Gesamtkostenrechnung.....	32
6 Gebäudekühlung.....	34
7 Blueline Passivhaus	37
8 Zusammenfassung	38
9 Anhang	40
9.1 Gebäudesimulation zur realitätsnahen Berechnung des Verhaltens des Gebäudes samt Solaranlage, Heizung und Photovoltaikanlage	40
9.2 Grundlagen für Energiekostenberechnung.....	41
9.3 Literatur	44

1 Vorwort – Das Energiesparhaus entwickelt sich zum Energieproduktionshaus

Der Trend im Hausbau ging in den letzten Jahren in Richtung Minimierung des Wärmeverlustes durch Einsatz besser gedämmter Bauteile und einer kompakteren Gebäudegeometrie. Das Ergebnis dieses Trends ist das Passivhaus, das nur mehr einen minimalen Energieeinsatz zur Deckung des Raumwärmebedarfs benötigt. Die alleinige Passivhausstrategie kann jedoch keine Beiträge für den sonstigen Energiebedarf für den Lebensunterhalt (Warmwasser, Strom, Mobilität) in diesem Gebäude bieten. Vielfach wurden Passivhäuser in Form eines Quaders mit leicht nach Norden geneigtem Pultdach und einer großzügig verglaste Südfassade errichtet. Mit dieser Gebäudeform werden die Hauseigentümer um die aktive Solarenergienutzung beschnitten, weil Solarmodule kaum in günstiger Orientierung ästhetisch untergebracht werden können.

Wenn wir heute ein Haus bauen, sollten wir bedenken, dass dieses Jahrzehnte lang genützt werden soll. Wir handeln dann vorausschauend und nachhaltig, wenn es auch in einigen Jahrzehnten noch fundamentale Anforderungen erfüllt. Man braucht kein Prophet zu sein, um zu erkennen, dass wir zunehmend in eine Zeit mit Energierohstoffverknappung und steigenden Energiepreisen hineinwachsen. Daher stehen wir vor der Herausforderung, das Gebäude nicht nur zum Wohn und für den Lebensalltag, sondern auch gleichzeitig zur Energieproduktion zu nützen.

Gleich zu Beginn eines vorweg:

Bei einem gut gedämmten Gebäude kann durch weitere Dämmung, besserer Verglasung, Lüftungsanlage, usw. nur mehr wenig Energie eingespart werden. Mit einer Photovoltaikanlage – vorausgesetzt man hat dafür ein Gebäude mit geeigneten Flächen - kann man mehr elektrische Energie als benötigt gewinnen. Die Energie wird für Heizung, Warmwasserbereitung, Haushalt, (zukünftige) Elektrofahrzeuge verwertet oder ins öffentliche Netz eingespeist und gewinnbringend verkauft.

Zahlreiche realisierte Beispiele zeigen bereits, dass ein Gebäude mehr Energie erzeugen kann, als für dessen Nutzung fürs Heizen, Warmwasser, Haushalt und (Elektro-)Mobilität benötigt wird.

Der vorliegende Leitfaden zielt darauf ab, die Säulen für ein energie- und zukunftssicheres Haus zu erläutern. Bauleute und PlanerInnen sind gefordert, diese Planungsgrundlage für das eigene Haus in Symbiose mit der Funktionalität zu bringen.

Anhand des Blueline-Gebäudeentwurfes werden die Schritte zur Optimierung des solaren Energiekonzepts kritisch erläutert. Hierfür wurden zahlreiche Simulationsberechnungen zur Ermittlung des komplexen Zusammenspiels von Gebäudeeigenschaften, passiver Solareinträge, thermischer Solaranlage, Photovoltaikanlage und Wärmepumpen durchgeführt. Um die teilweise sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten mit ihren verflochtenen Zusammenhängen erfassen zu können, wurde ein Simulationstool erstellt, das alle Komponenten gleichzeitig simulieren und Querverbindungen aufzeigen kann. Die Features dieses Tools sind im Anhang (Kapitel 9.1) aufgelistet.



Abbildung 1: Ansichten des Blueline-Gebäudeentwurfes aus NO (links) und SW (rechts)

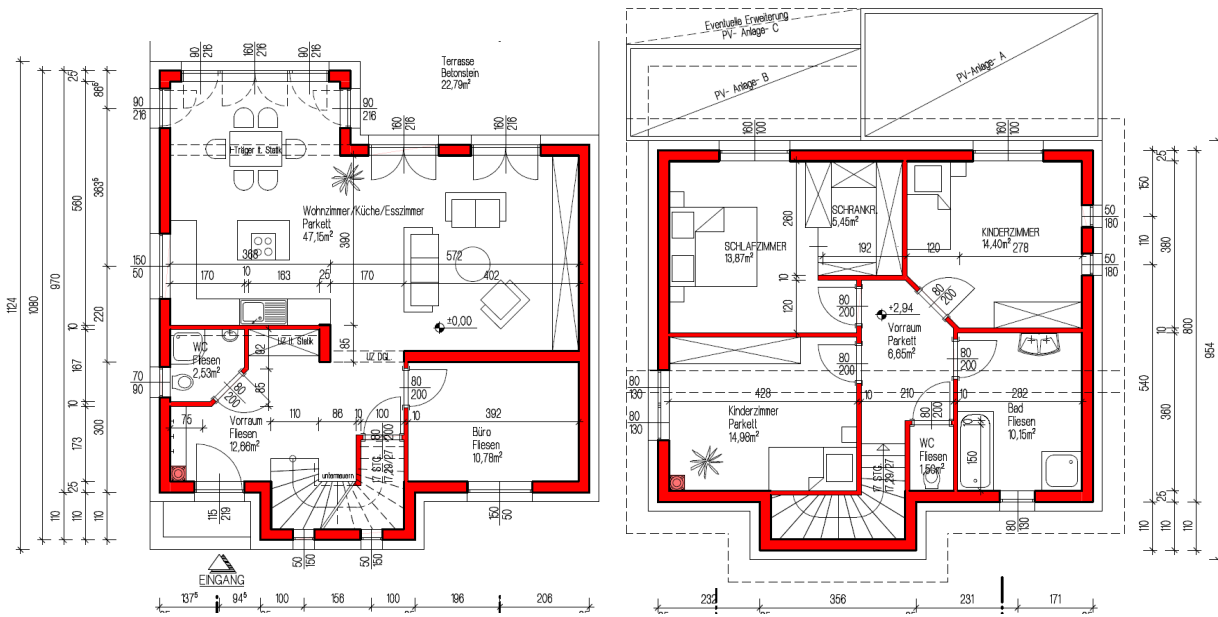


Abbildung 2: Erdgeschoss (links) und Obergeschoss (rechts) des Blueline-Gebäudes

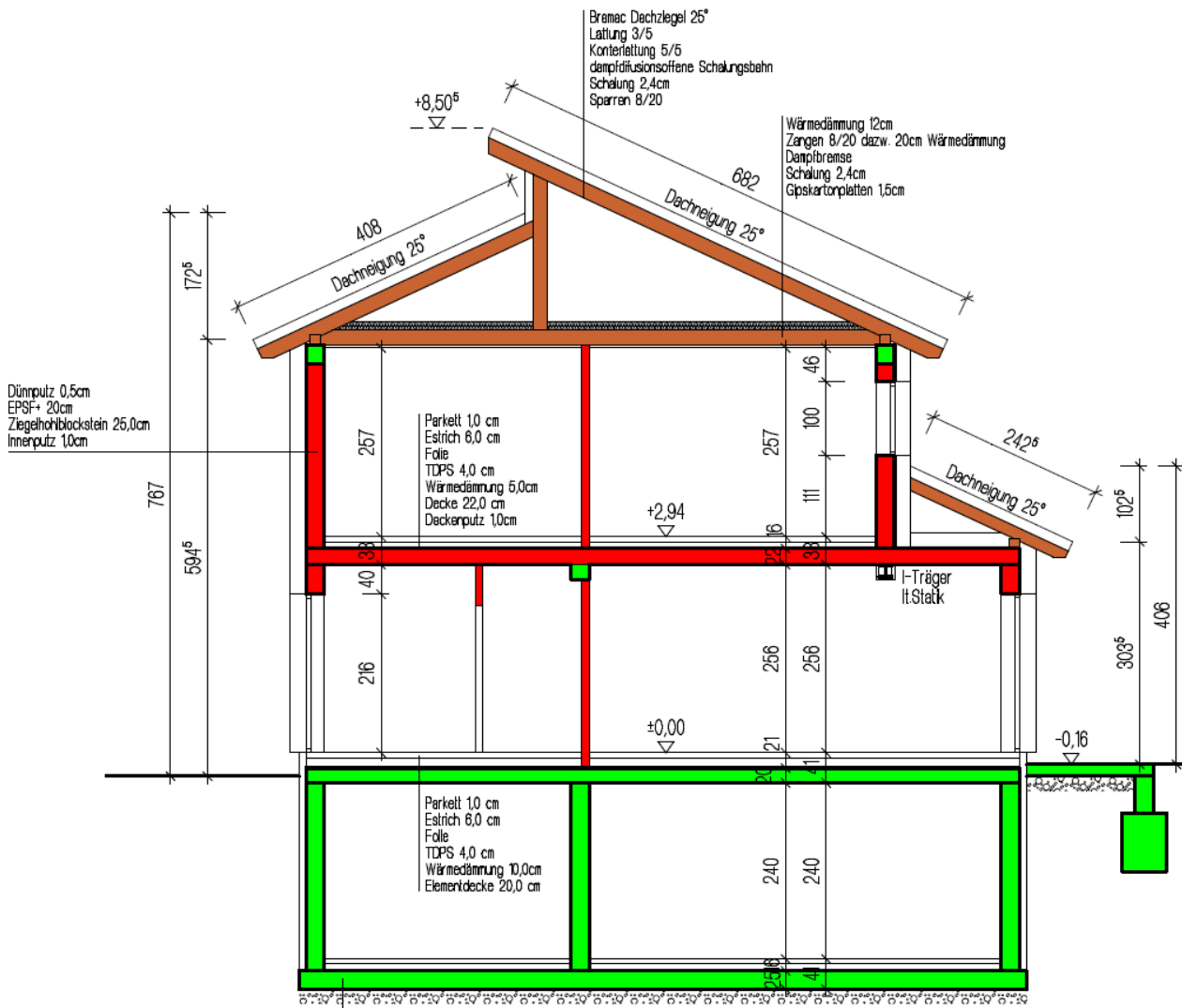


Abbildung 3: Schnitt und Bauteilbeschreibung (Basisvariante) des Blueline-Gebäudes

Tabelle 1: Eckdaten des Blueline-Gebäudes.

Die mit * gekennzeichneten (schlechteren) Werte gelten für das Gebäude ohne Lüftungswärmerückgewinnung

Beheizte Nutzfläche (EG und OG)	140m ²
Beheizte Bruttogeschossfläche	192m ²
Bebaute Fläche	100m ² + 21m ² Terrasse
Dachfläche nach Süd, 25° Neigung	Süddach über OG: 80m ² Dach über Wohnzimmer: 14m ² über Terrasse: 21m ² Summe: 115m ²
Dämmstärken: Außenwand: obere Decke & Dachschräge: Kellerdecke:	25cm HLZ + 20cm EPS-plus 32cm Mineralwolle zwischen Holzsparren 4cm EPS Trittschalldämmplatte + 10cm EPS W20 unter Estrich
U-Werte: Außenwand / obere Decke & Dachschräge / Kellerdecke	0,12 / 0,13 / 0,21 W/m ² /K Kellerwände mit 10cm XPS gedämmt
Lüftungsrelevantes Volumen	398m ³
Wärmerückgewinnung Lüftungsanlage (Energiewirkungsgrad)	78% bzw. 0%*
Dichtheit des Gebäudes	n50 = 0,6/h bzw. n50 = 1,5/h*
Heizlast lt. Gebäudesimulation	3.341 W bzw. 4.674 W*
Jahreswärmebedarf lt. Gebäudesimulation	3.873 kWh/a bzw. 6.574 kWh/a*
Energiekennzahl lt. Gebäudesimulation	20 kWh/m ² /a bzw. 34 kWh/m ² /a*
Warmwasserbedarf für 4 Personen	180 l pro Tag bei 45°C, 88% Verteilwirkungsgrad 3.032 kWh/a
Leistung der Photovoltaikanlage	12,8 kWp (Maximalausbau)

Annahmen für die Wirtschaftlichkeitsrechnung:

Stromtarif für Bezug aus dem Stromnetz	0,2 €/kWh
Stromtarif für Verkauf von Überschüssen	0,081 €/kWh

Tabelle 2: Dämmwerte und Wärmebedarf des Blueline-Passivhauses

Dämmstärken: Außenwand: obere Decke & Dachschräge: Kellerdecke:	25cm HLZ + 30cm EPS-plus 40cm Mineralwolle zwischen Holzsparren 4cm EPS Trittschalldämmplatte + 20cm EPS W20-plus unter Estrich
U-Werte: Außenwand / obere Decke & Dachschräge / Kellerdecke	0,09 / 0,11 / 0,12 W/m ² /K Kellerwände mit 10cm XPS gedämmt
Heizlast lt. Gebäudesimulation	2.775 W
Jahreswärmebedarf lt. Gebäudesimulation	2.651 kWh/a
Energiekennzahl lt. Gebäudesimulation	14 kWh/m ² /a

2 Gebäudegeometrie – ermöglicht oder verhindert die Solarenergienutzung

Die Gebäudegeometrie hat den in zweierlei Hinsicht größten Einfluss auf die Energiebilanz des Gebäudes – und das auf Lebenszeit:

1. Große Dachflächen nach Süden (genauer von Ost bis West) bestimmen maßgeblich das Solarenergiepotenzial.
2. Je kompakter die Gebäudegeometrie, je kleiner die Oberfläche im Verhältnis zur Nutzfläche ist, umso kostengünstiger werden die Errichtungskosten – insbesondere die Dämmkosten zur Minimierung des Energieverbrauchs

2.1 Flächenpotenziale für Solarenergienutzung

Ungünstige und stark zergliederte Dachformen beschränken oder vereiteln die Eigenenergieerzeugung. Eine kaum veränderbare Tatsache, die gerade in den kommenden Jahren mit steigenden Energiepreisen und schwindenden Energievorräten immer sensibler wird.

Strebt man eine möglichst unkomplizierte und kostengünstige Nutzung der Dachflächen zur Energiegewinnung an, sind folgende Aspekte zu berücksichtigen (vergleich dazu Abbildung 4):

- Rechteckige Dachflächen können am einfachsten mit Modulen flächenfüllend verlegt werden.
- Schiefwinkelige Flächen von Walmdächern, Gauben können nur mit teuren Sonderlösungen flächenfüllend mit Modulen belegt werden, wobei nicht rechtwinkelige Photovoltaikmodule meist nur der Optik dienen und aus elektrotechnischen Gründen nur reduzierte oder gar keine Stromerträge liefern können.
- Um sogenannte Mismatchverluste bei PV-Anlagen zu vermeiden, sollten mindestens 12m² gleichorientierte und besonnte PV-Module verlegt werden können. Setzt sich der Solargenerator aus mehreren unterschiedlich besonnten bzw. orientierten kleineren Modulflächen zusammen, werden DC-Wandlerlösungen erforderlich, um den Ertrag zu optimieren. Dies ist jedoch mit erhöhten Kosten verbunden.
- Gauben, Krüppelwalm oder Walmdächer reduzieren das Solarpotenzial beträchtlich.
- Bei Gauben, Parallel- und Sheddächern sowie bei Kaminen und Lüftungsrohren ist auch noch dem Schattenwurf weitgehend auszuweichen, was die nutzbare Fläche weiter reduziert (siehe Abbildung 1).
- Kamine, Lüftungsrohre, Antennen, ... sollten daher auf der Nordseite des Gebäudes platziert werden.

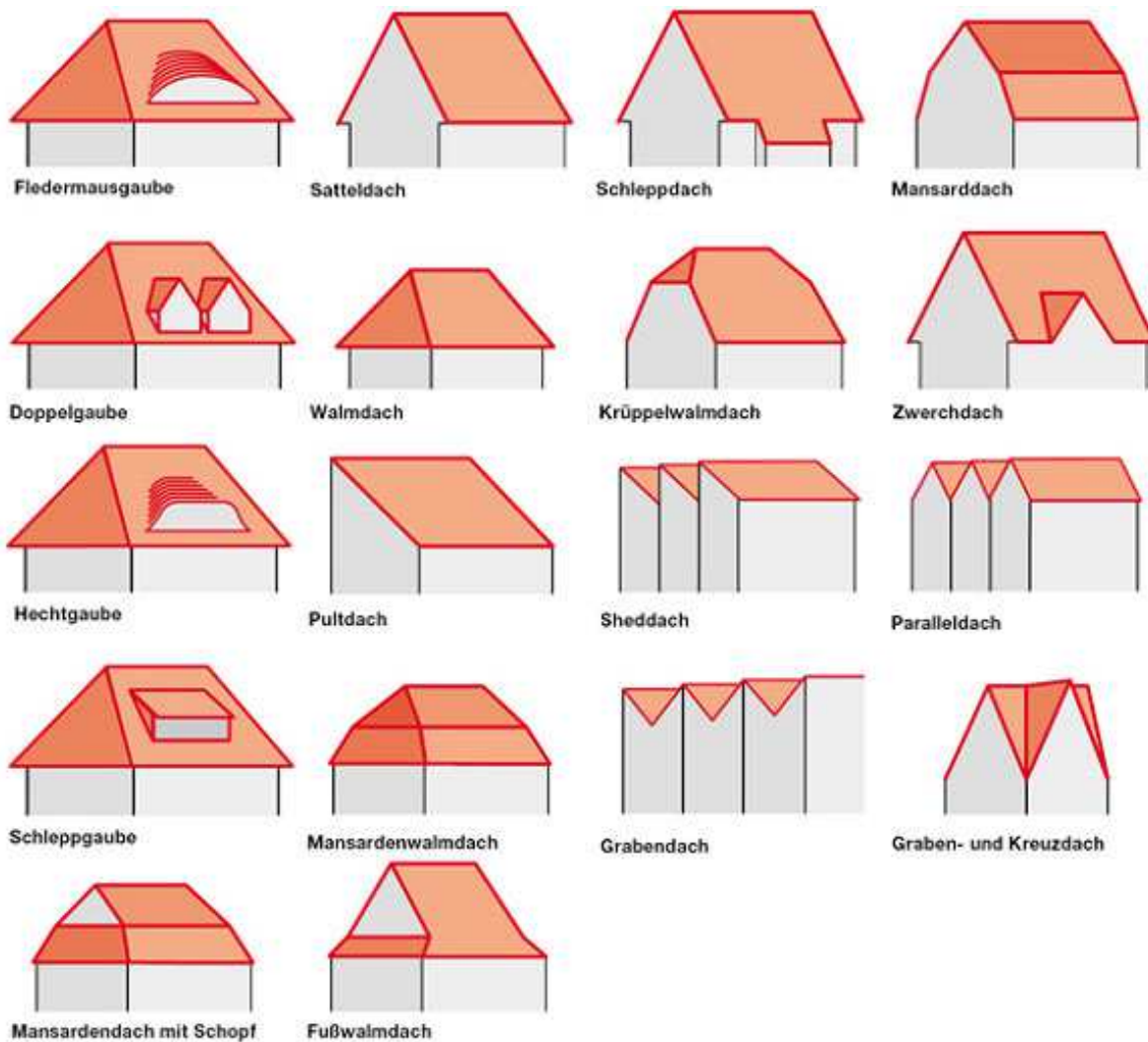


Abbildung 4: Dachformen mit nicht rechtwinkligen Flächen (Walm-, Kreuzdach) sowie Gauben, Krüppelwalm reduzieren das Solarpotenzial beträchtlich.



Abbildung 5: links: bei dieser Dachform kann kaum ein Standardmodul montiert werden. Mitte: Gauben und Walmform engen die nutzbare Solarfläche ein. Schattenwurf und unterschiedliche Neigung der Module erfordern zusätzliche MPP-Tracker-Technologien, um Ertragsverluste zu minimieren. rechts: Passivhaus mit Dach nach Nord und reichlicher Verglasung der Südfassade – es verbleibt kaum Potenzial für eine Solar- bzw. Photovoltaikanlage.

Prozentanteil vom maximal möglichen Ertrag in Abhängigkeit der Ausrichtung und der Dachneigung																			
Ausrichtung (Abweichung in Grad von Süden)																			
Dachneigung	Süd	SüdOst SüdWest								Ost West	NordOst NordWest								Nord
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
	0°	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%	87%
10°	93%	93%	93%	92%	92%	91%	90%	89%	88%	86%	85%	84%	83%	81%	81%	80%	79%	79%	79%
20°	97%	97%	97%	96%	95%	93%	91%	89%	87%	85%	82%	80%	77%	75%	73%	71%	70%	70%	70%
30°	100%	99%	99%	97%	96%	94%	91%	88%	85%	82%	79%	75%	72%	69%	66%	64%	62%	61%	61%
40°	100%	99%	99%	97%	95%	93%	90%	86%	83%	79%	75%	71%	67%	63%	59%	56%	54%	52%	52%
50°	98%	97%	96%	95%	93%	90%	87%	83%	79%	75%	70%	66%	61%	56%	52%	48%	45%	44%	43%
60°	94%	93%	92%	91%	88%	85%	82%	78%	74%	70%	65%	60%	55%	50%	46%	41%	38%	36%	35%
70°	88%	87%	86%	85%	82%	79%	76%	72%	68%	70%	58%	54%	49%	44%	39%	35%	32%	29%	28%
80°	80%	79%	78%	77%	75%	72%	68%	65%	61%	56%	51%	47%	42%	37%	33%	29%	26%	24%	23%
90°	69%	69%	69%	67%	65%	63%	60%	56%	53%	48%	44%	40%	35%	31%	27%	24%	21%	19%	18%

Abbildung 6: Prozentanteil vom maximal möglichen Ertrag bei unterschiedlichen Dachneigungen und Ausrichtungen.

Dachorientierung:

Bei der Photovoltaik ist die Südausrichtung weniger kritisch als bei den thermischen Solaranlagen. Selbst Dächer, die nach Osten oder Westen gerichtet sind bringen noch 80% (bei 38° Neigung) bis 85% (bei 15° Neigung) des maximal möglichen Ertrags.



Abbildung 7: Das versetzte Pultdach des Blueline-Gebäudes hat eine größere Süddachfläche als ein herkömmliches Satteldach. Gemeinsam mit den Pultdachflächen über dem Wohnzimmer und der Terrasse ergibt einen jährliches Solarenergiepotenzial, das größer ist als der Bedarf von Heizung, Warmwasserbereitung Haushaltsstrom und zukünftige Elektrofahrzeuge zusammen.



Rund 115m² Dachfläche (vgl. bebaute Fläche: 121m²) sind beim Blueline-Gebäude mit einem Neigungswinkel von 25° nach Süden orientiert und somit optimal für die Solarenergienutzung geeignet.

Nebenbauten, Fassaden:

Es wird empfohlen, in die Planung nicht nur das unmittelbar beheizte Gebäude hinsichtlich Solarpotential zu betrachten, sondern auch alle weiteren angeschlossenen Bauten wie Garagen, Terrassenüberdachung, Pergola, Carport. Auch hier können verbaute Flächen kostengünstig gleichzeitig auch zur Solarenergienutzung verwertet werden.

Als zweite Wahl bietet sich die Nutzung von Süd-Fassaden an, die jedoch 30% bis 35% weniger Einstrahlung als optimale Süddächer erhalten. Zu berücksichtigen ist auch, dass die Verschattung durch benachbarte Objekte häufiger ist als bei Dachflächen.

2.2 Kompakte Geometrie – verringert Baukosten und Energieverlust

Je weniger Oberfläche das Gebäude bei vorgegebener Nutzfläche hat, umso leichter kann der Wärmeverlust durch Dämmung verringert werden und umso weniger Bausubstanz wird benötigt, sodass gleichzeitig auch die Kosten verringert werden. Physikalisch hätte ein kreisförmiger Grundriss mit mehrgeschossiger Ausführung die geringste Oberfläche, jedoch kann die Rundung schlecht genutzt werden. In der Praxis ideal ist ein quadratischer Grundriss ohne Vor-/Rücksprünge. Die Blueline-Architektur ist ein Kompromiss von Oberflächenminimierung und Gefälligkeit.

3 Weitere Aspekte zur Optimierung des Energiekonzepts

Mit der Gebäudegeometrie werden die Weichen zur Minimierung des Wärmeverlustes des Gebäudes gestellt. Nun werden folgende Maßnahmen und deren Bedeutung für die Minimierung des Wärmebedarfs dargestellt:

- Dämmstärke
- Luftdichtheit
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- Speichermasse

3.1 Dämmstärke der Bauteile

Welche Dämmstärke optimal ist, hängt in erster Linie von folgenden Faktoren ab:

1. Klimabedingungen
2. Dämmfähigkeit des eingesetzten Dämmstoffes
3. Dämmfähigkeit der übrigen Bauteilschichten
4. Kosten des Dämmstoffes
5. Art des angrenzenden Medium an der Bauteilaußenseite (Außenluft, Erde, unbeheizte Räume)

Die Herstellungskosten für den Einbau der Dämmung sind nur wenig von der Dämmstärke abhängig. Z.B. sind bei der Herstellung einer Wärmedämmfassade nur die Kosten des Dämmmaterials von der Dämmstärke abhängig, während alle anderen Materialien und auch die Lohnkosten für Untergrundvorbereitung, Kleber auftragen und Dämmstoffplatten anbringen, Netz einlegen und die Herstellung der Endbeschichtung sowie die Gerüstkosten unabhängig von der Dämmstoffstärke sind. Lediglich die geringen Manipulationskosten steigen leicht mit größeren Dämmstärken an. Aus diesem Grund werden bei der Optimierung der Dämmstärke nach wirtschaftlichen Aspekten von den Herstellungskosten nur die Mehrkosten für einer größere Dämmstärke berücksichtigt. Die relevanten Gesamtkosten für den Bauteil setzen sich aus den Herstellungsmehrkosten und den Kosten zur Deckung des Wärmeverlustes während der Lebensdauer zusammen. Die wirtschaftlich optimale Dämmstärke ist jene, die auf eine zugrunde gelegte Lebensdauer von 40 Jahren die geringsten Gesamtkosten verursacht.

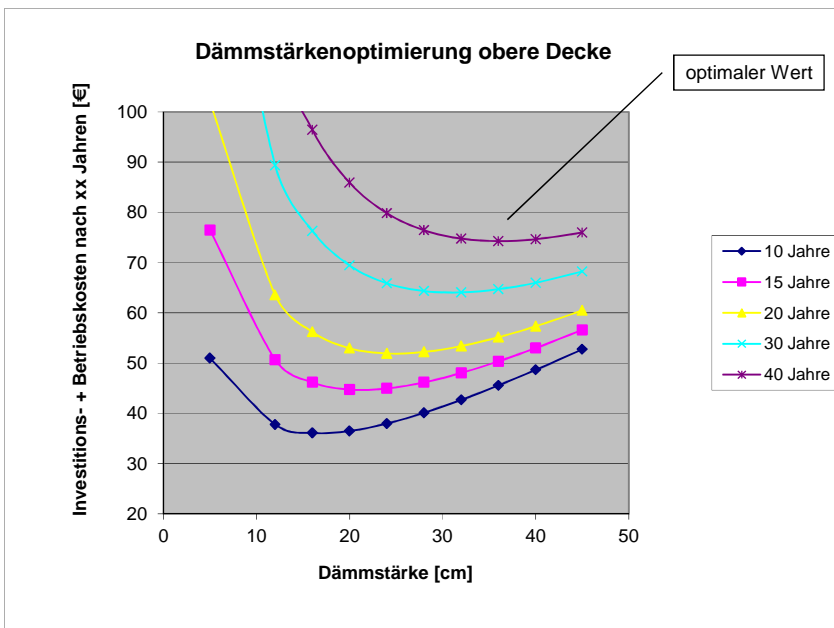
Für das Blueline-Haus wurden die optimalen Dämmstärken für die einzelnen Bauteile mit den Klimadaten von St. Margarethen/Bgld berechnet und in Tabelle 3 zusammengefasst. Weiteres wird angenommen, dass die Teuerung des Energiepreises und die Kosten für Verzinsung ident sind.

Tabelle 3: Optimale Dämmstärken für die Bauteile des Blueline-Hauses am Standort St. Margarethen und eine Lebensdauer von 40 Jahren.

<i>Bauteil</i>	<i>Dämmstoff</i>	<i>Optimale Dämmstärke, cm</i>	<i>U-Wert, W/m²/K</i>
Obere Decke	Mineralwolle	36	0,115
Außenwand	EPS-F-plus	25	0,102
Kellerdecke	EPS	16	0,155

Bei längerer Lebensdauer, kälterem Klima und steigendem Energiepreis liegen die optimalen Werte bei noch größeren Dämmstärken.

Wie die folgenden Abbildungen zeigen, liegt die optimale Dämmstärke in einem sehr flachen Minimum, sodass sie wenig sensibel auf geringe Änderungen der Einflussgrößen reagiert.

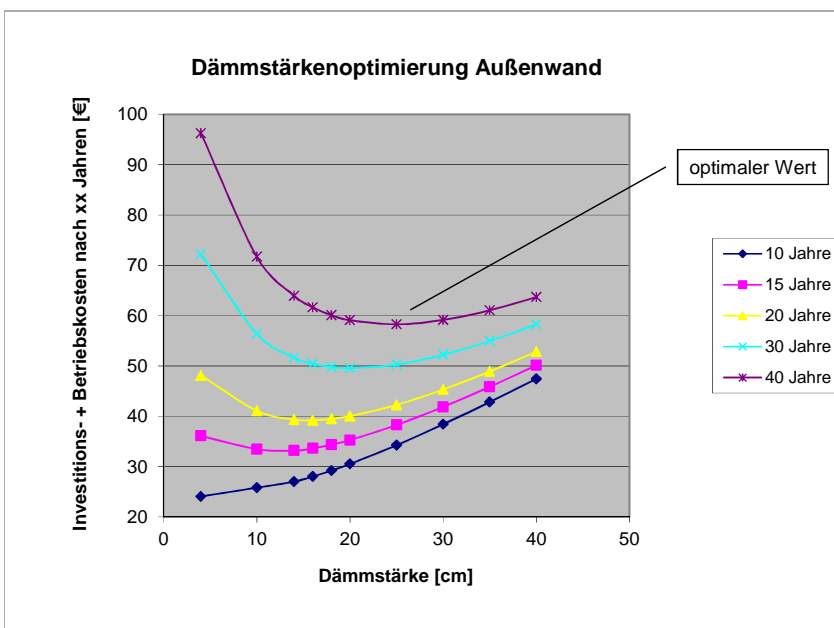


Optimaler Deckenaufbau (nur thermisch relevante Schichten):

Schicht	Dicke cm
Mineralwolle zwischen Holz	36
Polyethylenbahn, -folie (PE)	0,05
Sparschalung 30% Fichte	2,4
8.806.004 Gipskartonplatten	1,5

U-Wert, W/m²/K	0,115
-----------------------	--------------

Abbildung 8: Optimierung der Dämmstärke für die oberste Decke. Relevante Parameter: Dämmstoff Mineralwolle zwischen Holzsparen/staffeln mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,37W/m/K, Herstellungsmehrkosten: 100€/m³, Wärmekosten 8,67Ct/kWh

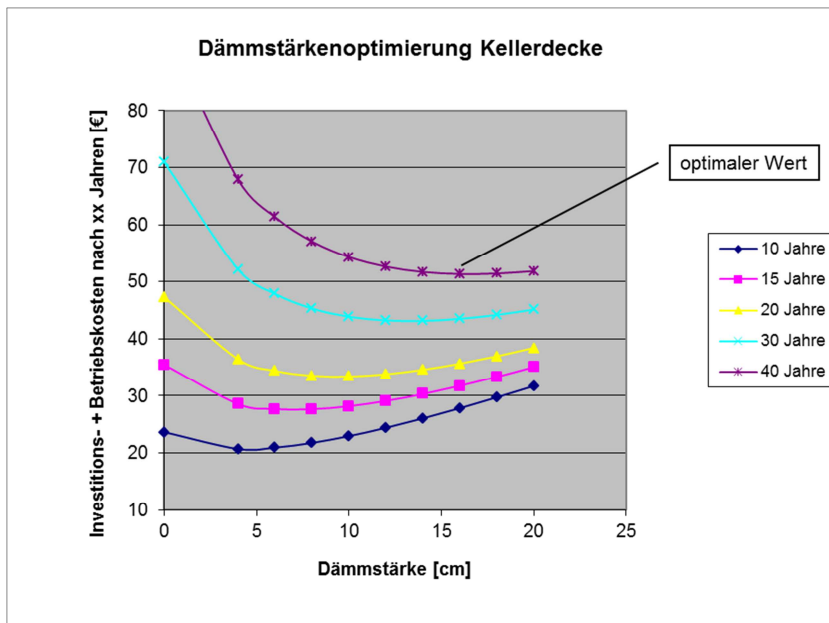


Optimaler Außenwandaufbau:

Schicht	Dicke cm
Kalk-Putz	1
POROTHERM 25-38 M.i Plan (natureplus)	25
EPS-F plus	25
Dünnputz	0,7

U-Wert, W/m²/K	0,102
-----------------------	--------------

Abbildung 9: Optimierung der Dämmstärke für die Außenwand. Relevante Parameter: Dämmstoff EPS-plus mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,32W/m/K, Herstellungsmehrkosten: 105€/m³, Wärmekosten 8,67Ct/kWh



Optimaler Kellerdeckenaufbau:

Schicht	Dicke cm
Zementestrich	6
Polyethylenbahn, -folie (PE)	0,05
Polystyrol EPS Trittschalldämmplatte	4
EPS-W20	16
Betonhohldiele	20

U-Wert, W/m²/K	0,155
-----------------------	--------------

Abbildung 10: Optimierung der Dämmstärke für die oberste Decke. Die Trittschalldämmstärke ist in der in der Grafik dargestellten Dämmstärke NICHT enthalten.
 Relevante Parameter: Dämmstoff EPS-W20 mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,37W/m/K, Herstellungsmehrkosten: 125€/m³, Wärmekosten 8,67Ct/kWh. Der Reduktionsfaktor für den Wärmeverlust zum unbeheizten Keller wurde mit 0,6 zugrunde gelegt.

Ökologisch optimale Wärmedämmung:

Zur Beantwortung der Frage nach der ökologisch optimalen Wärmedämmung wird jener U-Wert ermittelt, der auf Lebensdauer seine Herstellungsenergie gerade noch einspart. Je geringer der Herstellungsenergieaufwand und das Raumgewicht des Dämmstoffes sind, umso besser kann aus ökologischer Sicht gedämmt werden. Tabelle 4 zeigt die für die ökologische Optimierung relevanten Dämmstoffeigenschaften.

Tabelle 4: Für die ökologische Optimierung relevante Eigenschaften von Dämmstoffen:

Dämmstoff:	EPS-F	EPS-F plus	Mineralwolle	Zellulose
mittlere Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	0,04	0,032	0,034	0,039
Raumgewicht [kg/m³]	18	15	30	55
Nicht erneuerbarer Primärenergieaufwand [MJ/kg]	119	119	32,5	4,24

Tabelle 5: Der minimale erzielbare U-Wert von Dämmstoffen, bei dem die Herstellungsenergie während der angegebenen Nutzungsdauer gerade noch eingespart wird:

minimaler U-Wert Nutzungsdauer	EPS-F [W/m²K]	EPS-F plus [W/m²K]	Mineralwolle [W/m²K]	Zellulose [W/m²K]
10	0,173	0,141	0,108	0,056
15	0,141	0,115	0,088	0,046
20	0,122	0,100	0,076	0,040
25	0,109	0,089	0,068	0,036
30	0,100	0,082	0,062	0,033
40	0,087	0,071	0,054	0,028

Aus Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass die zuvor ermittelten ökonomischen Dämmstärke jedenfalls ökologisch zu rechtfertigen sind, d.h. die nach ökologischen Kriterien ermittelte U-Wert ist geringer als der zuvor wirtschaftlich optimale U-Werte der Blueline-Bauteile. Aus ökologischer Sicht wäre für eine Nutzungsdauer von 40 Jahren bei der Deckendämmung eine Dämmstärke von bis zu

80 cm Mineralwoll-Klemmfilz, bei der Außenwand eine Dämmstärke bis 38 cm EPS-F ökologisch zu rechtfertigen.

3.2 Luftdichtheit

Die Dichtheit des Gebäudes hat wesentlichen Einfluss auf das Raumklima und auf den Energiebedarf. Insbesondere, wenn das Gebäude mit einer automatischen Lüftungsanlage ausgestattet wird, ist die Dichtheit noch wichtiger. Bei vorhandenen Undichtheiten in der Gebäudehülle wird die Effizienz der Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage auf folgende Weise verringert: wird z.B. der Luftweg zwischen Zu- und Ablufträumen durch Innentüren ein wenig behindert, wird in den Ablufträumen Außenluft durch Lecks direkt ins Gebäude eingesaugt. In den Zulufräumen wird Raumluft durch vorhandene Lecks auch direkt ins Freie gedrückt; dabei kann auch Raumfeuchte in kalten Bauteilbereichen kondensieren und z.B. in Holzkonstruktionen Schimmel und Folgeschäden verursachen.

Die ÖNORM B8110-5 beschreibt Mindestanforderungen für die Luftdichtheit, um negative Auswirkungen auf Behaglichkeit, Energieverbrauch und Bausubstanz zu vermeiden:

- Herkömmliche Gebäude ohne mechanisch Lüftung: $n_{50} = 3,0 / h$
- Niedrigenergie-Gebäude: $n_{50} = 1,5 / h$
- Passivhäuser: $n_{50} = 0,6 / h$

Erfahrungsgemäß liegen unbekümmert errichtete Gebäude oft weit über diesen Grenzwerten. Grundsätzlich gilt: Je dichter ein Gebäude ist, umso geringer der Energieverbrauch, umso geringer die Gefahr von Bauschäden und umso behaglicher ist sein Raumklima.

Bei der Berechnung des Energieverlustes durch Undichtheiten in der Gebäudehülle hängt von folgenden Einflüssen ab:

- Dichtheit der Gebäudehülle (n_{50} -Wert)
- klimatische Bedingungen – vor allem Windstärke und Außentemperatur
- Verteilung der Undichtheiten in der Gebäudehülle – z.B. konzentrieren sich die Lecks sowohl auf ganz unten und ganz oben im Gebäude, ist es wegen der statischen Druckdifferenz ungünstiger als wenn sich die Lecks auf annähernd gleicher Höhe befinden. Bei windiger Witterung sind gemeinsam auftretende Undichtheiten auf Luv- und Lee-Seite besonders wirksam.

In der folgenden Berechnung des Einflusses der Undichtheiten auf den Energieverlust wurde eine eher gleichmäßige Verteilung der Undichtheiten angenommen, der Jahreswärmebedarf mittels Gebäudesimulation berechnet und in Abbildung 11 dargestellt.

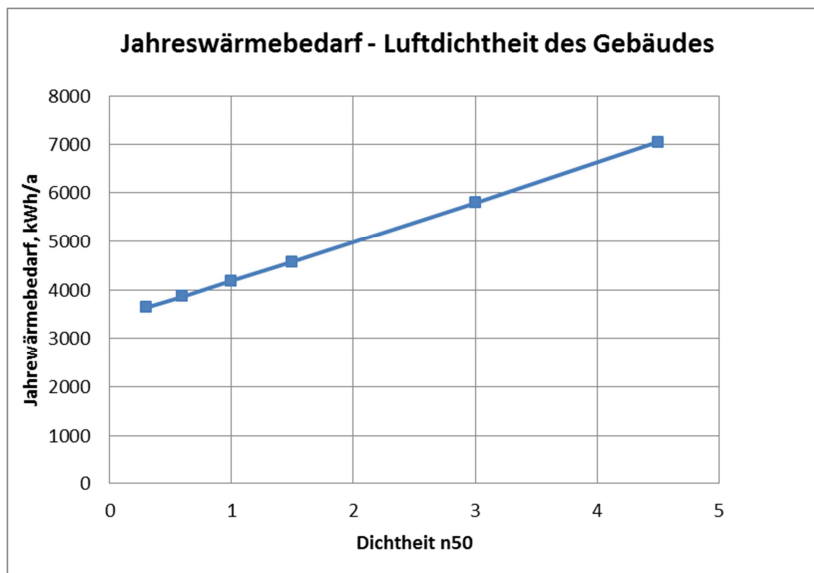


Abbildung 11: Einfluss der Dichtheit des Gebäudes (n50-Wert in 1/h) auf den Jahreswärmebedarf. Je nach Lage der Undichtheit und des Windeinflusses kann eine deutliche Abweichung von dem hier dargestellten Verhalten auftreten – sowohl zu besseren als auch zu schlechteren Werten.

Grundsätzlich wird empfohlen die Luftundichtheiten des Gebäudes auf kleiner als 0,6/h (Passivhausstandard) zu verringern. Zugserscheinungen aus undichten Fensterlaibungen, Installationsdosen und der damit verbundene Energieverluste werden dadurch wirkungsvoll verhindert. Dies ist auch die Basis für eine weitere Effizienz- und Komfortmaßnahme, nämlich einer Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung.

3.3 Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Mit den beschriebenen ökonomischen Dämmstärken bis ca. 30cm in der Fassade und 36cm in der Decke kann die Energiekennzahl auf knapp unter 30kWh/m²/a verringert werden. Eine weitere Vergrößerung der Dämmstärke bringt nur mehr eine minimale Energieeinsparung. Mit einer Lüftungsanlage mit effizienter Wärmerückgewinnung kann der Energiebedarf nochmals halbiert werden und sogar Passivhausqualität (EKZ unter 15 kWh/m²/a) erreicht werden. Gleichzeitig gewinnt das Gebäude an Komfort: ständig angenehm frische Luft ohne regelmäßig stoßlüften zu müssen (kein Lüftungsstress). Natürlich kann jederzeit auch über Fenster gelüftet werden, wenn einmal danach zumute ist.

Bei der Basisvariante verringert die Lüftungswärmerückgewinnung den Jahreswärmebedarf um 41% von 6574 kWh/a auf 3873 kWh/a. Die monatliche Aufschlüsselung dieses Vergleichs ist in Abbildung 12 ersichtlich.

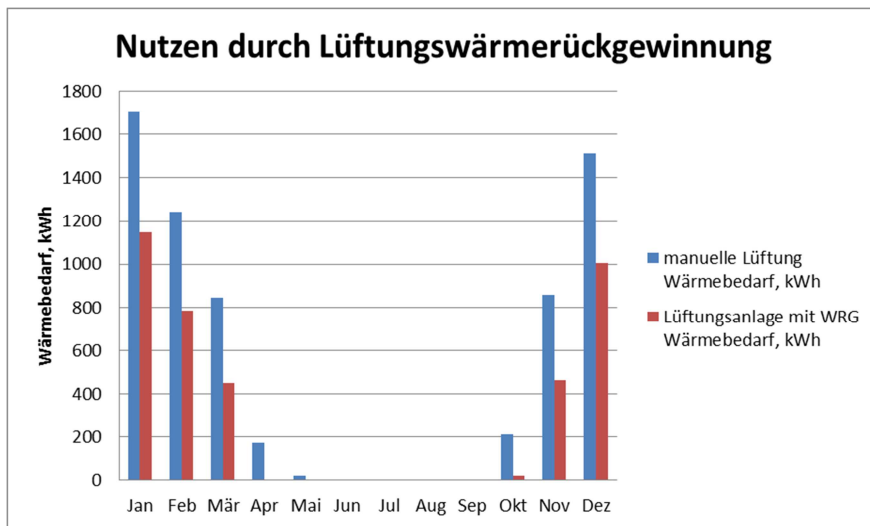


Abbildung 12: Vergleich des Wärmebedarfs der Basisvariante mit und ohne Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Energiewirkungsgrad: 78%)

3.4 Hohe Speichermasse

Schwere Bauteile aus Ziegel und Beton im Gebäudeinneren haben eine höhere Wärmekapazität als Leichtkonstruktionen aus Holzstapel, Mineralwolle und Gipsplatten. Je höher die Wärmekapazität, umso langsamer ändert sich die Temperatur bei Wärmezufuhr oder Wärmeverlust.

In Abbildung 13 wird der Jahreswärmebedarf für das Blueline-Gebäude in Leichtbauweise, in der Blueline-Basis Bauweise und in schwerer Bauweise dargestellt. Bei der Leichtbauweise sind Außenwände in Holzriegelbauweise mit Gipskartonbeplankung angenommen. Bei der schweren Bauweise werden eine Außenwand mit nicht porosierten (schweren) Ziegeln mit außenliegender Dämmung und eine massive obere Decke angenommen. Das Blueline-Basis-Gebäude ist bedingt durch den Einsatz porosierter Außenwandziegel und der leichten oberen Geschoßdecke etwas schwerer als die Leichtbauvariante, aber deutlich leichter als die schwere Bauweise.

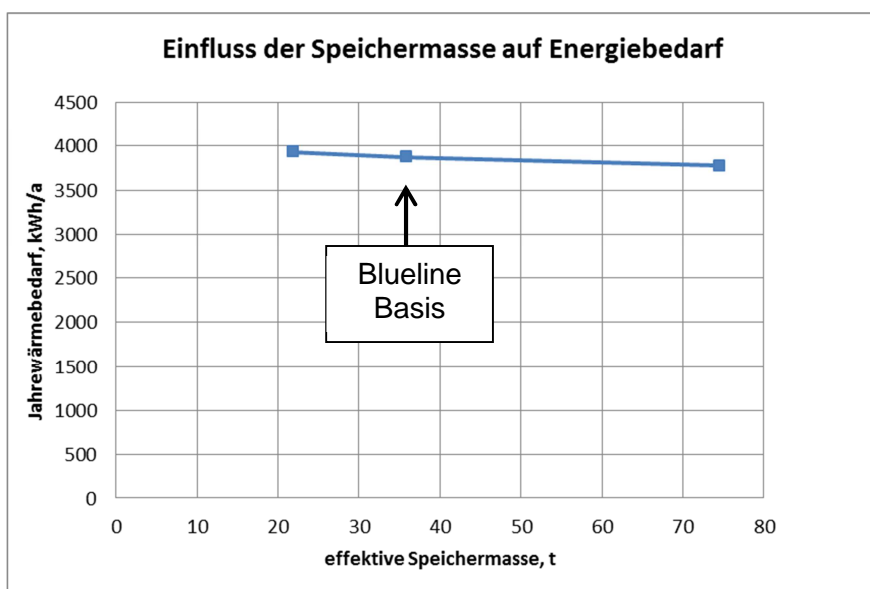


Abbildung 13: Einfluss der Speichermasse des Blueline-Gebäudes auf den Jahreswärmebedarf. Die Blueline-Basisvariante ist mit 36t effektiver Speichermasse gegenüber der Leichtbauvariante leicht im Vorteil. Die Leichtbauweise hat eine effektive Speichermasse von knapp über 20t, die schwere Bauweise rund 75t effektive Speichermasse.

Eine schwere Bauweise kann die durch Fenster eingestrahlte Solarwärme in größerer Menge zwischenspeichern, sodass geringfügig weniger nachgeheizt werden muss als bei einer

Leichtbauweise mit gleichen Dämmwerten. Im Sommer bleiben Räume mit schwerer Bauweise länger kühl, jedoch muss die eingestrahlte Wärme in den Nachtstunden wieder weggelüftet werden (Querlüftung) und einen langsamen aber ständigen Temperaturanstieg zu verhindern.

Estrich, Außenwände aus massiven Ziegel und außenliegender Dämmung sind Konstruktionen mit gutem Speichervermögen. Bei porosierten hochwärmedämmenden Außenwandziegeln wird die Wärmespeicherfähigkeit aufgrund der wärmedämmenden Eigenschaft teilweise abgeschirmt und durch das geringere Gewicht verringert. Daher ist diese Bauweise nachteilig hinsichtlich Speicherfähigkeit.

Während der Nutzen einer schweren Bauweise hinsichtlich Jahreswärmebedarf eher bescheiden ausfällt, zeigt die Gebäudesimulation in der heißen Jahreszeit deutlichere Vorteile: In Abbildung 14 sind die in einem überdurchschnittlich heißen Sommer (3°C über Durchschnitt) auftretenden maximalen Raumtemperaturen dargestellt. Bei dieser Berechnung wurde angenommen, dass in den Nachtstunden überschüssige Wärme durch Querlüftung weggelüftet wird, sobald es draußen kälter als im Gebäudeinneren ist und die Raumtemperatur über 23°C beträgt. Zusätzlich wird auch die konsequente Betätigung des Sonnenschutzes angenommen, um die unerwünschte solare Einstrahlung durch die Glasflächen um 70% zu reduzieren, sobald die Sonneneinstrahlung über 300W/m² liegt und die Raumtemperatur über 23°C liegt.

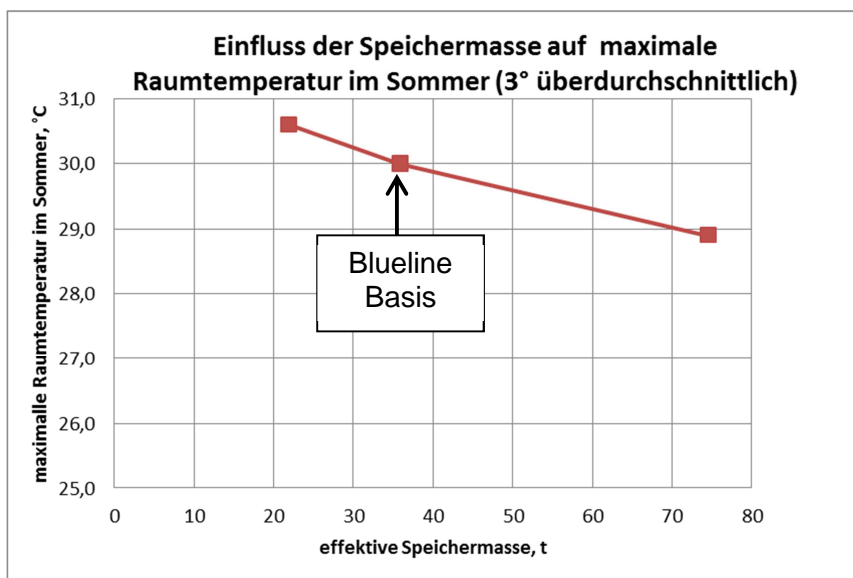


Abbildung 14: Die maximalen Raumtemperatur in Abhängigkeit von der Bauweise.

3.5 Stille Kühlung

Die Leichtbauweise der oberen Geschoßdecke wurde aufgrund der günstigeren Statik in der Blueline Basisversion ausgewählt. Die dadurch bedingte höhere Überwärmungsanfälligkeit kann nicht nur mit einer massiven Betondecke reduziert werden, sondern auch durch den Einbau einer Deckenheizung/Deckenkühlung anstatt einer herkömmlichen Fußbodenheizung:

Bei gut gedämmten Gebäuden ermöglicht auch eine Deckenheizung ein gutes Raumklima in der Heizperiode, da die Strahlung auch den gegenüberliegenden Fußboden geringfügig miterwärmt. Dazu ist lediglich der Betrieb zweier Umwälzpumpen (Solekreis, Heiz/Kühlkreis) mit geringem Strombedarf (Hocheffizienzpumpen!) erforderlich. Unter der Voraussetzung, dass eine Erdreich-Sole-Wärmepumpe eingesetzt wird, kann im Sommer überschüssige Wärme von der Decke über einen Wärmetauscher in das Erdreich weggekühlt werden (sogenannte stille Kühlung). Der Erdkolektor hat aufgrund seiner Fläche und der großen Erdmasse eine sehr hohe Kapazität, sodass zusammen mit den anderen präventiven Maßnahmen (Sonnenschutz, Querlüftung in der Nacht) die Raumtemperatur ausreichend kühl gehalten werden kann. Eine aktive Kühlung mit einem Klimagerät oder über die sogenannte Prozessumkehr der Heizungswärmepumpe ist so auch bei leichter Bauweise zu umgehen.

Anmerkung: Die Deckenheizung/Deckenkühlung wird nicht in der Basis-Version des Blueline-Gebäudes angeboten.

3.6 Graue Energie in der Bausubstanz – ein wesentlicher Aspekt zur Energieoptimierung

Der Primärenergieaufwand zur Herstellung (=“graue Energie“) eines massiven Gebäudes liegt in der Größenordnung von 150.000kWh. Das ist das 40 bis 80-fache des Wärmebedarfs. Daher ist der Einsatz möglichst energiearmer Baustoffe angebracht.

Eine weitere Analyse wurde in diesem Projekt nicht durchgeführt. Es sei lediglich auf die Arbeit von Wind & Heschl „Graue Energie - ein wesentlicher Faktor zur Energieoptimierung von Gebäuden, 2008“ hingewiesen, die auf www.ibwind.at/download.html als Download zur Verfügung steht. Darin wird gezeigt, dass ungünstige Bauteilkonstruktionen ein Mehrfaches an Herstellungsenergie verbrauchen als günstige. Werden Bauteilkonstruktionen optimiert, kann derzeit wesentlich mehr Einsparungspotenzial genutzt werden, als beim Schritt vom Niedrigstenergiehaus zum Passivhaus.

4 Vergleich der Arten der Solarenergienutzung kombiniert mit Wärmepumpe

Die Sonnenenergie kann mit/an einem Gebäude auf 3 Arten genützt werden:

1. Passive Solarenergienutzung:
Die durch die Verglasung ins Gebäudeinnere eindringende Sonnenstrahlung reduziert den Raumwärmebedarf. Überschüssige Energieträge müssen durch einen Sonnenschutz verhindert werden, damit kein zusätzlicher Kühlenergiebedarf im Sommer entsteht.
2. Aktive thermische Solarenergienutzung (Solarthermie):
Mit Sonnenkollektoren am Dach/in der Fassade wird die von der Sonne erzeugte Wärme eingefangen und über einen Pufferspeicher für die Warmwasserbereitung und zur Heizungsunterstützung verfügbar gemacht. Überschüsse „schaden“ nicht, weil sie nicht genützt werden.
3. Photovoltaik:
Diese erzeugt Strom mit dem alle elektrischen Geräte betrieben werden können. Mit einer Wärmepumpe können Warmwasserbereitung und Heizung effizient betrieben werden.

Der Einsatz einer Wärmepumpe und einer teilsolaren Raumheizung erfordert eine Wärmeverteilung über eine Flächenheizung (Fußboden-, Wand-, Deckenheizung). Diese ist mit höheren Anschaffungskosten gegenüber einer Radiatorenheizung verbunden, bringt aber wegen der niedrigen Oberflächentemperaturen ein verbessertes Raumklima. Bei einer spezifischen Heizlast unter $10\text{W/m}^2_{\text{BGF}}$ (Passivhaus) kann die Wärme auch über die Lüftungsanlage eingebracht werden. Die Erfahrung zeigt, dass auch im Passivhaus der Wunsch nach höheren Raumtemperaturen in den Nassräumen eine Flächenheizung empfehlenswert macht.

Da das Solarenergieangebot witterungsabhängig ist und im Jahresverlauf dem Wärmebedarf gegenläufig ist, muss jede Form der Solarenergienutzung mit einem konventionellen Heizsystem unterstützt werden. Im Bereich der erneuerbaren Energie bieten sich hierfür Biomasseheizungen (Stückholzkessel oder Pellets) an. Durch die Effizienzmaßnahmen haben Einfamilienhäuser in der Regel eine deutlich kleiner Heizlast (Blueline unter 5kW) als die kleinsten Biomasse-Zentralheizungskessel (ca. 8 bis 10kW). Dadurch wird von den meisten Kesselherstellern bei Niedrigenergiehäusern ein Betrieb mit Pufferspeicher empfohlen. In Tabelle 6 sind die wichtigsten Beschreibungen der zusammengefasst.

Tabelle 6: Vergleich von passiver Solarenergie, thermischer Solaranlage und Photovoltaik

	<i>Passive Solarenergie</i>	<i>Solarthermie</i>	<i>Photovoltaik</i>
Energiebeträge geeignet für ...	Raumwärme	Warmwasser, Raumwärme	Warmwasser, Raumwärme, alle Elektrogeräte
Technologie	Südausgerichtete Fenster oder Fixverglasung jeweils mit Sonnenschutz	Sonnenkollektor, Warmwasserspeicher oder Pufferspeicher (für Heizungsunterstützung) mit Wärmetauscher für Warmwasserbereitung	Photovoltaikmodule + Wechselrichter.
Weitere Komponenten für Heizung & Warmwasser	Wärmepumpe oder Biomassekessel	Wärmepumpe oder Biomassekessel	Wärmepumpe (ideal) Biomassekessel möglich
Erwartete Lebensdauer	25 Jahre	20 bis 25 Jahre	25 Jahre Garantie über 30 Jahre

Bei den Wärmepumpen sind Modelle mit passender Heizlast verfügbar, jedoch werden diese mit Strom betrieben, der derzeit nur von Ökostromanbietern aus erneuerbaren Energien bereitgestellt wird. Die Kombination von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage ist eine attraktive Kombination in mehrerer Hinsicht: Erstens wird zumindest ein wesentlicher Teil des Strombedarf für die

Wärmepumpe aus Sonnenenergie produziert und zweitens wird die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage verbessert, weil ein höherer Anteil des produzierten Stromes als Eigenbedarf benötigt wird und weniger verkauft werden muss (Stromtarif für Bezug ca. 20 Ct/kWh, für Verkauf 8,1Ct/kWh).

Tabelle 7: Vergleich von passiver Solarenergie, thermischer Solaranlage und Photovoltaik für die Blueline-Basisvariante MIT Lüftungs-Wärmerückgewinnung (EKZ = 20kWh/m²/a).
Die Kollektoren für die WW-Bereitung sind dachparallel und jene der teilsolaren Raumheizung auf eine Neigung von 50° angehoben (Ertragsverbesserung).

Erträge und Kosten für die Blueline Basisvariante (Energiekennzahl = 20kWh/m²/a)			
	<i>Passive Solarenergie</i>	<i>Solarthermie</i>	<i>Photovoltaik</i>
	2 St. Fixverglasung 1m x 1,6m mit Sonnenschutz	5m ² WW-Bereitung bzw. 15m ² teilsol. Heizung	PV mit Erdreich- Wärmepumpe
Solarwärmeertrag pro Jahr und pro m ² _Solarfläche	21 kWh/m ² /a	440 kWh/m ² /a 251 kWh/m ² /a	431 kWh-th/m ² /a (131kWh-el/m ² /a)
Förderung	keine	WW-Bereitung: 1300€ Teilsol. Heizung: 2100€	nicht berücksichtigt
Spez. Kosten €/m ² _Solarfläche abzgl. Förderung	383 €/m ²	1252 €/m ² _Kollektorfl. 924 €/m ² _Kollektorfl.	343 €/m ² _Modulfl. (nur PV-Anlage)
Wärmekosten auf 25a, Ct/kWh	71,7 Ct/kWh-th	11,8 Ct/kWh-th 15,1 Ct/kWh-th	9,4 Ct/kWh-th

Tabelle 8: Vergleich von passiver Solarenergie, thermischer Solaranlage und Photovoltaik für die Blueline-Basisvariante OHNE Lüftungs-Wärmerückgewinnung (EKZ=34kWh/m²/a).
Die Kollektoren für die WW-Bereitung sind dachparallel und jene die teilsolare Raumheizung auf eine Neigung von 50° angehoben (Ertragsverbesserung).

Erträge und Kosten für die Blueline Basisvariante, jedoch ohne Lüftungswärmerückgewinnung (Energiekennzahl = 34kWh/m²/a)			
	<i>Passive Solarenergie</i>	<i>Solarthermie</i>	<i>Photovoltaik</i>
	2 St. Fixverglasung 1m x 1,6m mit Sonnenschutz	5m ² WW-Bereitung bzw. 15m ² teilsol. Heizung	PV mit Erdreich- Wärmepumpe
Solarwärmeertrag pro Jahr und pro m ² _Solarfläche	52 kWh/m ² /a	440 kWh/m ² /a 284 kWh/m ² /a	431 kWh-th/m ² /a (131kWh-el/m ² /a)
Förderung	keine	BW-Bereitung: 1300€ Teilsol. Heizung: 2100€	Nicht berücksichtigt
Spez. Kosten €/m ² _Solarfläche abzgl. Förderung	383 €/m ²	1252 €/m ² _Kollektorfl. 924 €/m ² _Kollektorfl.	343 €/m ² _Modulfl. (nur PV-Anlage)
Wärmekosten auf 25a, Ct/kWh	29,7 Ct/kWh-th	11,8 Ct/kWh-th 13,4 Ct/kWh-th	9,4 Ct/kWh-th

Für den Vergleich der 3 Technologien zur Solarenergienutzung wurden die Solarenergieerträge mittels Gebäudesimulation errechnet und die Kosten für Investition und Betrieb auf die Lebensdauer ohne Verzinsung verteilt. Die Ergebnisse in Tabelle 7 und Tabelle 8 zeigen, dass die passive Solarenergienutzung sowohl den geringsten Nutzen pro m² bringt und auch am teuersten ist. Der drastische Kostenrückgang der letzten Jahre macht die Photovoltaik sowohl bei der Flächenausnutzung als auch wirtschaftlich zum eindeutigen Sieger bei der Solarenergienutzung im Niedrigenergiehaus- und erst recht im Passivhausbereich.

Das Ergebnis kann wie folgt verallgemeinert werden: Je mehr der Energiebedarf durch Dämmung und Lüftungswärmerückgewinnung reduziert wird, umso kürzer ist die Heizsaison, d.h. die Zeiten mit Wärmebedarf ziehen sich immer mehr in die sonnenarmen Monate zurück, sodass die gute Einstrahlung in der Übergangszeit kaum mehr eine Verwertung finden. Je mehr gedämmt wird, umso geringer ist der Nutzen einer passiven und auch einer aktiven solarthermischen Heizungsunterstützung.

4.1 Passive Solarenergienutzung - Details

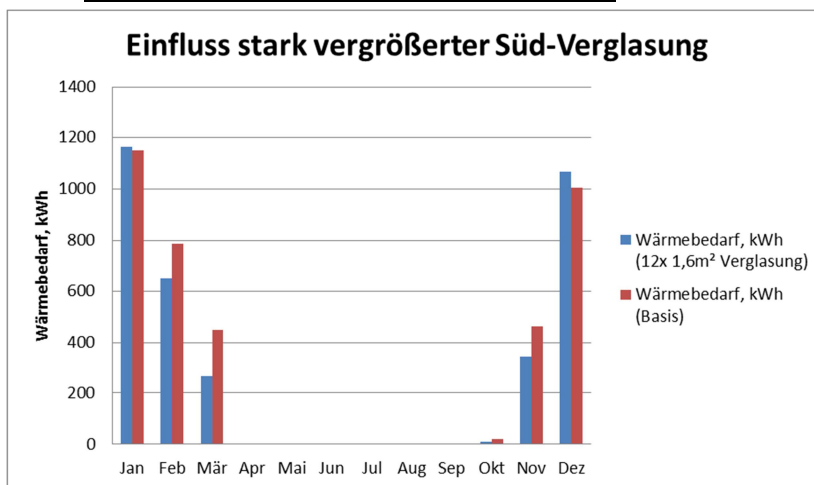


Abbildung 15: Vergleich des Verlaufs des Jahresverlaufs einer Gebäudevariante mit 12x1,6m² zusätzlicher Südverglasung im Vergleich zur Basisvariante. Auffällig: Gerade in der kältesten Zeit wird der Wärmebedarf durch die Verglasung vergrößert!

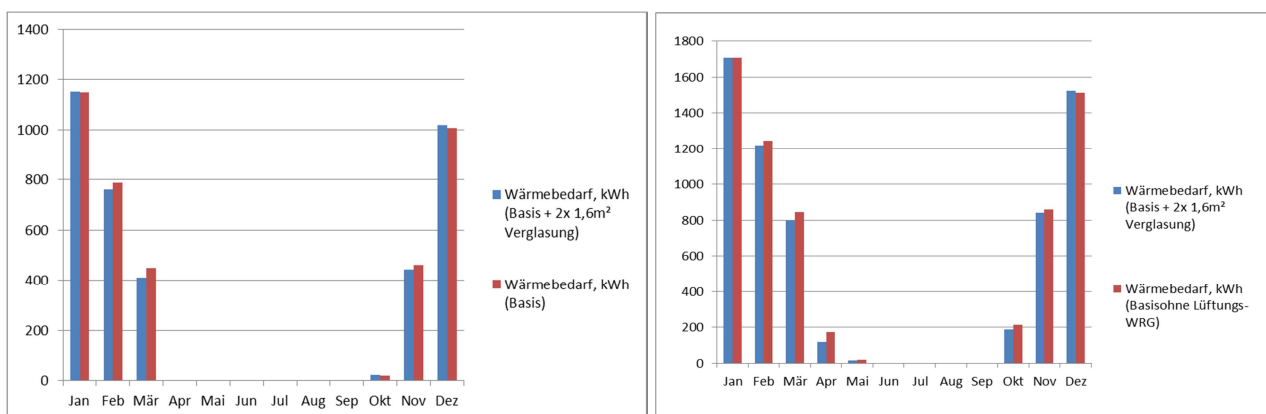


Abbildung 16: Vergleich des Einflusses der Verglasung auf den Verlauf des Wärmebedarfs bei unterschiedlichen Energiekennzahl (links: Blueline-Basis EKZ=20kWh/m²/a, rechts: EKZ=34kWh/m²/a Basis ohne Lüftungswärmerückgewinnung). Aufgrund der längeren Heizperiode ist der Nutzen der Verglasung bei schlechterem Standard (= höhere Energiekennzahl) größer.

Das Blueline-Gebäude ohne Lüftungswärmerückgewinnung stellt mit einer Energiekennzahl EKZ= 34 kWh/m²/a einen Standard dar, der gerade noch von der Wohnbauförderung unterstützt wird. Fügt man bei diesem Gebäude 2 St. Fixverglasungen (mit 3-fach Verglasung – 1,6m²) hinzu so beträgt der spezifische Nutzen 52kWh pro m² Fixverglasungselement und Jahr – beim Gebäude mit EKZ=20 kWh/m²/a reduziert sich dieser Nutzen weiter auf 21kWh/m²/a. Die Kosten für diesen sehr geringen solaren Nutzen betragen ein Vielfaches von denen der anderen Technologien.

Aus dem Jahresverlauf ist zu erkennen, dass zusätzliche Glasflächen in der strahlungsarmen Kernheizzeit (Dezember, Jänner) sogar den Energiebedarf vergrößern; die solaren Gewinne treten erst in der Übergangszeit auf.

Tabelle 9: Vergleich des Nutzens der Verglasung auf den Verlauf des Wärmebedarfs bei unterschiedlichen Energiekennzahlen

	Blueline Basis MIT LüftungsWRG (EKZ = 20 kWh/m ² /a)			Blueline Basis OHNE LüftungsWRG (EKZ = 34 kWh/m ² /a)		
	Wärmebedarf, kWh (Basis + 2x 1,6m ² Verglasung)	Wärmebedarf, kWh (Basis)	spez. Einsparung, kWh/m ² _Verglasung	Wärmebedarf, kWh (Basis + 2x 1,6m ² Verglasung)	Wärmebedarf, kWh (Basis ohne Lüftungs-WRG)	spez. Einsparung, kWh/m ² _Verglasung
Jan	1150	1149	-0,5	1708	1706	-0,4
Feb	761	786	7,8	1220	1245	7,9
Mär	410	450	12,3	797	844	14,6
Apr	0	0	0,1	117	173	17,5
Mai	0	0	0,0	15	20	1,4
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	22	21	-0,3	187	214	8,3
Nov	443	461	5,7	840	860	6,2
Dez	1018	1006	-3,8	1525	1513	-3,7
Jahr	3804	3873	21,4	6409	6574	51,6
EKZ	19,9	20,2	0,11	33,5	34,3	0,27

Aus Tabelle 9 ist ersichtlich, dass der Nutzen der Verglasung zur Energiegewinnung umso geringer ausfällt, je kleiner die Energiekennzahl ist. Diese allgemein gültige Gesetzmäßigkeit begründet folgende Empfehlung:

Tip: Glasflächen so klein wie möglich und nur so groß wie unbedingt für die Belichtung und für das Wohngefühl erforderlich ausführen.

4.2 Solare Warmwasserbereitung und teilsolare Raumheizung – Details

Die Wirtschaftlichkeit und der ökologische Nutzen einer Solaranlage hängen stark von Energiebedarf und Anlagengröße bzw. Kollektorfläche ab. Solaranlagen sind stets eine Zusatzinvestition zu einer herkömmlichen Heizungsanlage, die dann, wenn zu wenig Sonnenenergie zur Verfügung steht, die Wärmeversorgung übernehmen muss. Um die Wärmegestehungskosten für eine Solaranlage zu ermitteln, müssen die Mehrkosten gegenüber der konventionellen Heizung ermittelt werden. Das sind die kompletten Solaranlagenkosten zuzüglich (geringer) Betriebskosten für Pumpenstrom vermindert um die Förderung und die Kosten eines konventionellen Warmwasserspeichers (hier 1.400 €). D.h. es werden der Solaranlage nur die Mehrkosten für einen größeren Solarspeicher angelastet, der anstelle eines konventionellen Speichers zur Warmwasserversorgung eingesetzt wird. Diese Mehrkosten der Solaranlage werden auf eine Betrachtungszeit von 20 Jahren unverzinst verteilt. Die geringen Wartungskosten werden nicht berücksichtigt. Der Umstand, dass Kollektor und Verrohrungen erfahrungsgemäß wesentlich

länger als 20 Jahre nutzbar sind, gibt einen gewissen Sicherheitspolster, in den man auch die geringen Wartungskosten integriert sehen darf.

4.3 Solare Warmwasserbereitung

In Tabelle 10 sind die Energieerträge, Anlagenkosten, Förderbeträge und die spezifischen Wärmekosten unterschiedlich großer Solaranlagen für die Warmwasserbereitung eines typischen 4 Personenhaushalts mit 180 l/Tag Warmwasserbedarf bei 45°C zusammengefasst. Weiters findet sich in dieser Tabelle auch die Herstellungenergie („Graue Energie“) und die energetische Amortisation. Die kurze energetische Amortisation von 2 bzw. 3 Jahren bei der 5m² und der 7,5m² Solaranlage zeigt, dass diese Solaranlagen ökologisch sehr vorteilhaft sind und auf Lebensdauer die bei der Herstellung investierte Energie mehrfach zurückerstatten. Eine weitere Vergrößerung der Solaranlage auf 10m² ist auch ökologisch nicht mehr sinnvoll, da diese Anlage kaum mehr Nutzwärme liefern kann, sondern viel mehr ungenützte Überschüsse produziert. Die Vergrößerung von 7,5 auf 10m² bringt nur eine bescheidene Ertragssteigerung von 2480 kWh/a auf 2601 kWh/a, sodass die für diese Anlagenvergrößerung notwendigen „Graue Energie“ erst in 26 Jahren (siehe Spalte „differentielle energetische Amortisation“) zurückerstattet wird. Diese Zeitspanne ist schon an der Grenze der zu erwartenden Lebensdauer und daher ist diese Anlagenvergrößerung ökologisch nicht mehr sinnvoll.

Tabelle 10: Erträge, Kosten und energetische Amortisation von verschiedenen großen Solaranlagen (Warmwasserbedarf: 180 l/d bei 45°C).

Kollektorfläche, m ²	Speicherinhalt, l	Bedarf-WW, kWh	Solaretrag für WW, kWh	Hilfsstrombedarf, kWh-el	Deckungsgrad WW	spez. Ertrag, kWh/m ²	Anlagenkosten, €	Förderung, €	spez. Kosten für Wärme, €/kWh	Graue Energie, kWh	Energetische Amortisation, a	differentielle Energet. Amortisation, a
5	350	3032	2248	46	74%	450	7560	1.300	0,112	4500	2,1	
7,5	525	3032	2480	51	82%	331	8760	1.300	0,126	7500	3,1	14
10	700	3032	2601	53	86%	260	9960	1.300	0,144	10500	4,1	26

In der Praxis besteht das Risiko, dass der Warmwasserbedarf nicht über die gesamte Lebenszeit der Solaranlage dem Plansoll entspricht. Hier wird - wie meistens gewünscht - die solare Warmwasserbereitung auf 4 Personen ausgelegt. Knapp dimensionierte Brauchwassersolaranlagen mit 5m² Kollektorfläche und 300 l Speicher haben die höchsten spezifischen Erträge (440kWh/m²/a). Jedoch kann sich dies schnell ändern. Kinder im Internat, Scheidung, ... reduzieren die Anzahl der Person im Haushalt und somit auch den Warmwasserbedarf und es mehren sich ungenützte Solarenergie-Überschüsse.

4.4 Teilsolare Raumheizung

Um mehr Solarwärme nützen zu können, kann der Solarspeicher ins Heizungssystem eingebunden werden. Technisch empfiehlt sich die Verwendung eines einfachen Einspeichersystems. Der obere Teil des Speichers wird für die Warmwasserbereitung eingebunden, aus dem über ein sogenanntes Frischwassermodul (bestehend aus Plattenwärmetauscher mit Pumpe und Regelventil) das Trinkwasser im Durchfluss erwärmt, wobei maximal 3°C an Temperaturverlust entstehen soll. Die unteren zwei Drittel des Speichers werden an die Heizung angeschlossen. Wichtig für die Effizienz ist eine Niedertemperaturheizung (Fußboden- bzw. Wandheizung). Diese wird in der folgenden Rechnung vorausgesetzt. Mit Radiatorenheizkörpern, welche höhere Temperaturen benötigen, würden sich die solaren Erträge verschlechtern.

Tabelle 11: Daten für Blueline-Basis (Heizwärmebedarf 3873 kWh/a, Warmwasserbedarf: 3032 kWh/a): Erträge, Kosten und energetische Amortisation von verschieden großen Solaranlagen für Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung.

Kollektorfläche, m ²	Speicherinhalt, l	Solarertrag für WW, kWh	Solarertrag für Heizung, kWh	Solarertrag gesamt, kWh	Hilfsstrombedarf, kWh-el	Deckungsgrad WW	Deckungsgrad Heizung	Deckungsgrad gesamt	spez. Ertrag, kWh/m ²	Anlagenkosten, €	Förderung, €	spez. Kosten für Wärme, €/kWh	Graue Energie, kWh	Energetische Amortisation, a	diff. Energet. Amortisation, a
5	350	2004	450	2454	50	66%	9%	34%	491	8440	1300	0,156	4675	2,0	
7,5	525	2175	716	2891	59	72%	15%	40%	385	9640	1700	0,148	7763	2,9	8
10	700	2267	960	3227	66	75%	21%	44%	323	10840	1900	0,150	10850	3,6	11
12,5	875	2335	1183	3518	72	77%	26%	48%	281	12040	1900	0,157	13938	4,3	13
15	1050	2393	1370	3763	77	79%	30%	51%	251	13240	1900	0,164	17025	4,9	15
20	1400	2490	1654	4144	85	82%	36%	56%	207	15640	2100	0,179	23200	6,0	19
25	1750	2556	1870	4426	90	84%	41%	60%	177	18040	2100	0,196	29375	7,1	25
30	2100	2600	2063	4663	95	86%	46%	63%	155	20440	2100	0,214	35550	8,2	30
40	2800	2663	2359	5022	102	88%	52%	68%	126	25240	2100	0,251	47900	10,3	41

Tabelle 12: Daten für Blueline-ohne Lüftungs-WRG (Heizwärmebedarf 6574 kWh/a, Warmwasserbedarf: 3032 kWh/a): Erträge, Kosten und energetische Amortisation von verschieden großen Solaranlagen für Heizungsunterstützung und Warmwasserbereitung.

Kollektorfläche, m ²	Speicherinhalt, l	Solarertrag für WW, kWh	Solarertrag für Heizung, kWh	Solarertrag gesamt, kWh	Hilfsstrombedarf, kWh-el	Deckungsgrad WW	Deckungsgrad Heizung	Deckungsgrad gesamt	spez. Ertrag, kWh/m ²	Anlagenkosten, €	Förderung, €	spez. Kosten für Wärme, €/kWh	Graue Energie, kWh	Energetische Amortisation, a	diff. Energet. Amortisation, a
5	350	1900	713	2613	53	63%	9%	26%	523	8440	1300	0,149	4675	2,0	
7,5	525	2073	1085	3157	64	68%	14%	31%	421	9640	1300	0,145	7763	2,7	7
10	700	2172	1410	3582	73	72%	18%	35%	358	10840	1700	0,141	10850	3,3	9
12,5	875	2243	1697	3939	80	74%	22%	38%	315	12040	1900	0,143	13938	3,9	10
15	1050	2297	1961	4258	87	76%	25%	41%	284	13240	1900	0,148	17025	4,4	11
20	1400	2375	2443	4818	98	78%	32%	47%	241	15640	2100	0,156	23200	5,3	13
25	1750	2441	2844	5285	108	81%	37%	51%	211	18040	2100	0,167	29375	6,1	16
30	2100	2500	3153	5654	115	82%	42%	54%	188	20440	2100	0,179	35550	6,9	20
40	2800	2581	3659	6240	127	85%	49%	60%	156	25240	2100	0,204	47900	8,4	24

Erträge, Kosten und Amortisationszeiten für die Blueline-Basis und die Variante ohne Lüftungswärmerückgewinnung sind in Tabelle 11 und für die Blueline-Variante ohne Lüftungs-WRG in Tabelle 12 zusammengefasst.

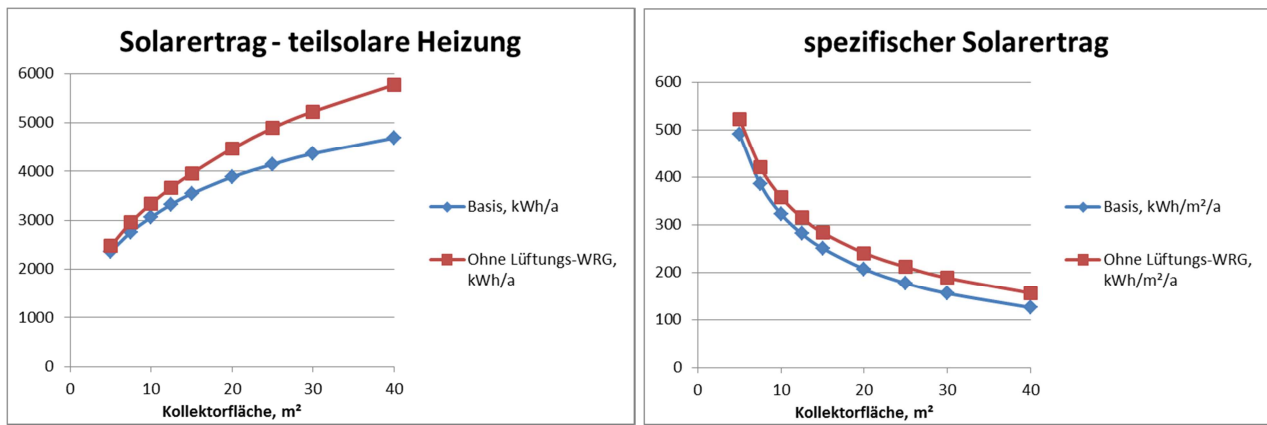


Abbildung 17: Abhängigkeit des Solarertrages in kWh/a bzw. des spezifischen Solarertrages in kWh/m²/a von der Kollektorfläche für das Blueline Basisgebäude und die Blueline Variante ohne Lüftungs-WRG

Da der Heizenergiebedarf jahreszeitlich gegenläufig zum Solarenergieangebot verläuft, produziert eine gegenüber der Warmwasserbereitungsanlage vergrößerte Anlage im Sommer mehr ungenützte Überschüsse. Zusatzerträge werden hauptsächlich in der Übergangszeit nutzbar. Je besser das Gebäude gedämmt ist, umso geringer sind natürlich der solare Heizungsbeitrag und der spezifische Kollektorertrag (siehe Abbildung 17). Der Anteil des solaren Heizungsbeitrages ist bei vorgegebener Kollektorfläche umso höher, je besser das Gebäude gedämmt ist (siehe Deckungsgrad in Tabelle 11 und Tabelle 12).

Die Wärmegestehungskosten (siehe Abbildung 18) sind bei 7,5m² für Blueline-Basis bzw. 10m² für die Blueline Variante ohne Lüftungs-WRG minimal und steigen mit zunehmender Kollektorfläche rasch an. Bei einer oft angebotenen 15m² Solaranlage liegen die spezifischen Erträge gerade noch über 250kWh/m²/a.

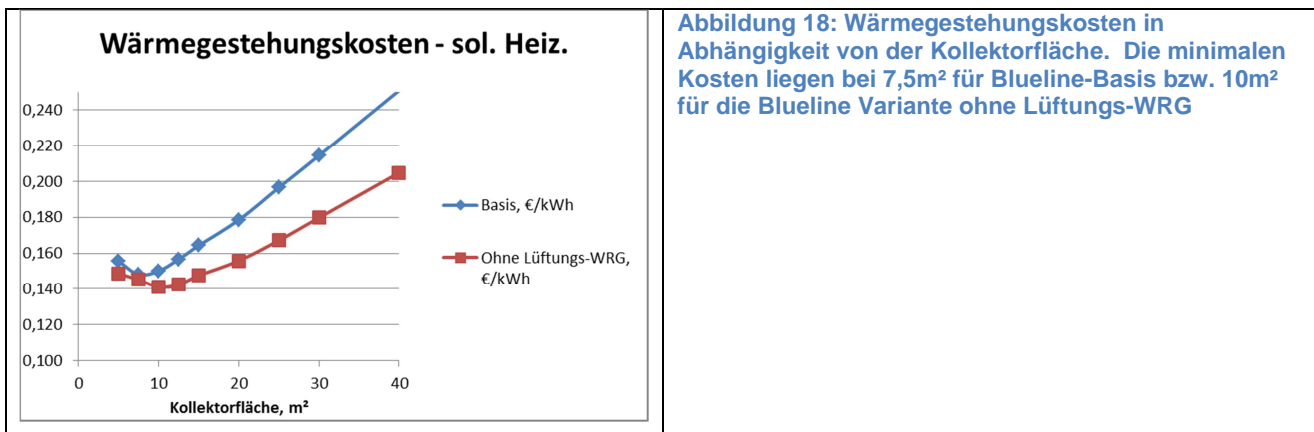


Abbildung 18: Wärmegestehungskosten in Abhängigkeit von der Kollektorfläche. Die minimalen Kosten liegen bei 7,5m² für Blueline-Basis bzw. 10m² für die Blueline Variante ohne Lüftungs-WRG

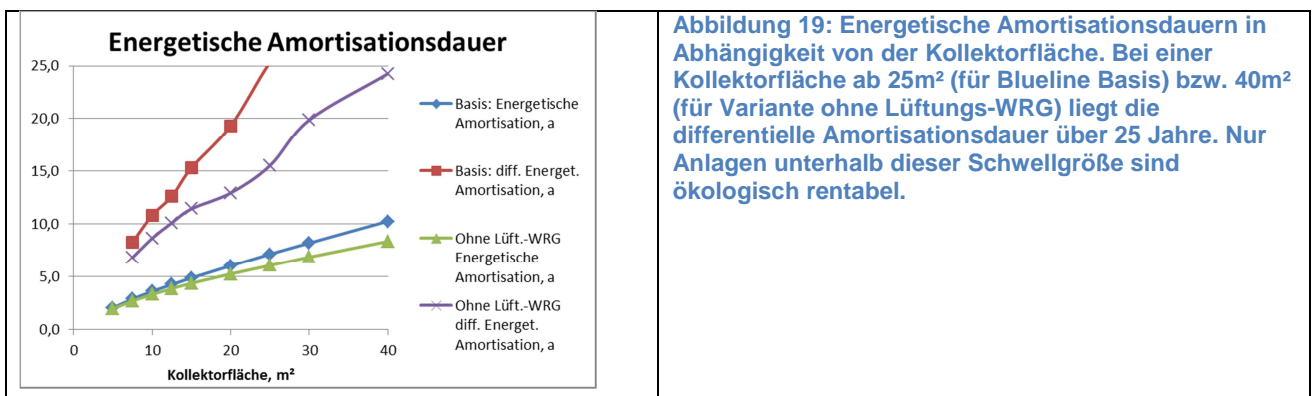


Abbildung 19: Energetische Amortisationsdauern in Abhängigkeit von der Kollektorfläche. Bei einer Kollektorfläche ab 25m² (für Blueline Basis) bzw. 40m² (für Variante ohne Lüftungs-WRG) liegt die differentielle Amortisationsdauer über 25 Jahre. Nur Anlagen unterhalb dieser Schwellgröße sind ökologisch rentabel.

Eine weitere Vergrößerung der Kollektorflächen überschreitet bei 25m² (Blueline Basis) bzw. 40m² (ohne Lüftungs-WRG) die Grenze der ökologischen Rechtfertigung, da hier die zuletzt zugefügte Kollektorfläche länger als 25 Jahre benötigt, um den Herstellungsenergieverbrauch einzubringen.

Es muss noch angemerkt werden, dass bei gut gedämmten Gebäuden der Schlüssel zur Wirtschaftlichkeit bei der Warmwasserbereitung liegt, die ganzjährig benötigt wird.

Je größer eine thermische Solaranlage, umso geringer der Nutzungsgrad. Wenn überhaupt eine thermische Solaranlage umgesetzt wird, dann darf nicht übertrieben werden. Ist der Warmwasserbedarf niedrig (2 Personen oder 3 wassersparende Personen im Haus) ist eine thermische Solaranlage grundsätzlich in Frage zu stellen.

Eine Photovoltaikanlage (Energieerträge siehe Abbildung 20) ist auch in dieser Hinsicht resistenter gegen die Änderung der Familiensituation, da die überschüssige elektrische Energie immer ins Netz eingespeist werden kann, sodass ein ökologischer und auch ein geringer ökonomischer Nutzen erzielt wird.

Bei einer thermischen Solaranlage ist für die optimale Funktion eine gute Abstimmung mit dem Heizungssystem erforderlich. In der Praxis fallen Mängel bei dieser Abstimmung den Betreibern oft gar nicht auf, weil der Heizkessel „brav“ nachheizt. Bei Feldtests wurde oft eine erschreckend hohe Zahl von schlecht abgestimmten bis hin zu nicht funktionierenden Anlage (Luft im Kollektorkreis, schlechte Abstimmung der Regelung für Heizung und Solaranlage,...) vorgefunden.

4.5 Photovoltaik – universell einsetzbare Solarenergie

Photovoltaikanlagen sind in Österreich im Vergleich zu Deutschland erst auf wenigen Dächern zu finden. Grund hierfür ist, dass in Deutschland der Ausbau der Photovoltaik durch eine kontinuierliche Förderung kostendeckend unterstützt wurde und in Österreich die Verbreitung durch eine Kontingentierung der Fördermenge stark begrenzt wurde. Photovoltaikanlagen liefern elektrische Energie, die universell zur Eigenbedarfsdeckung und dem Verkauf einsetzbar ist. Dies und der rasche Preisrückgang machen Photovoltaikanlagen schon jetzt zur begehrtesten Energietechnologie für Private.

In Abbildung 20 ist das Energiekonzept des Blueline-Gebäudes mit der Maximalvariante der Photovoltaikanlage mit 12,8kWp vereinfacht dargestellt. Durch die Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser und ein Elektrofahrzeug wird der von der PV-Anlage erzeugte Strom verstärkt für den Eigenbedarf nutzbar. Die PV-Anlage produziert in der Jahresbilanz mehr Energie als benötigt wird.

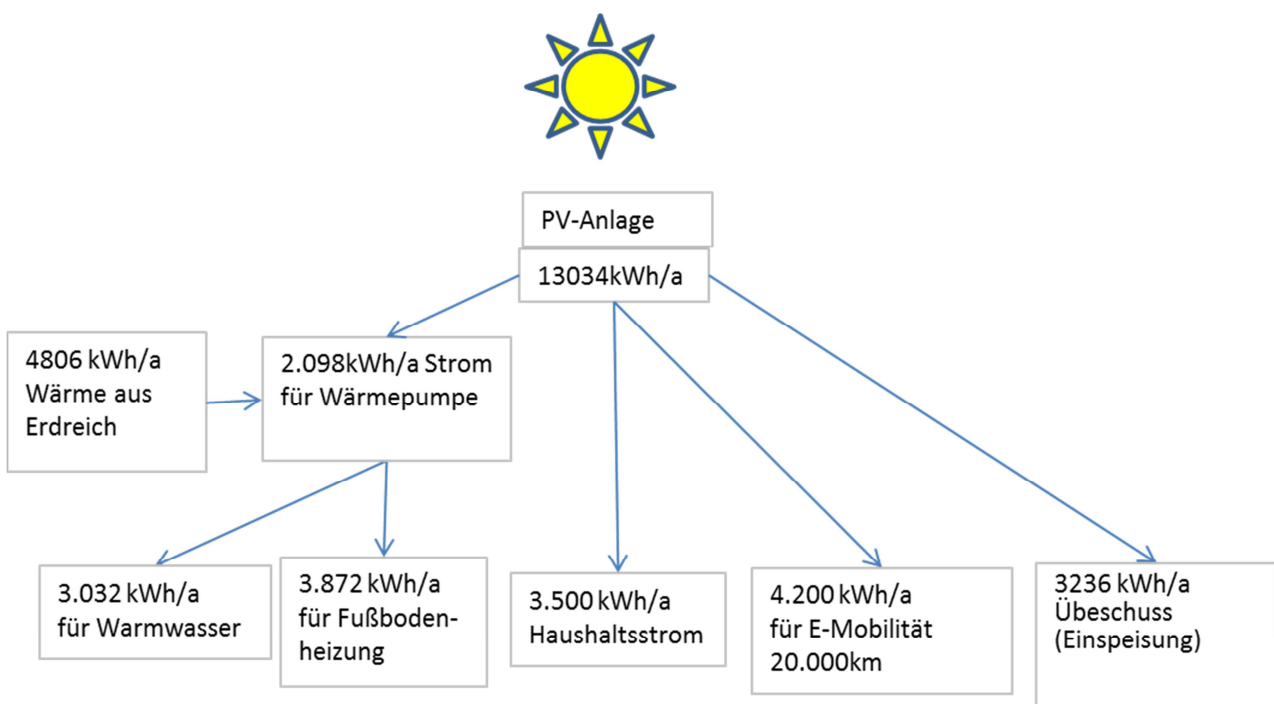


Abbildung 20: Energiebilanz des Blueline-Gebäudes (EKZ=20kWh/m²/a) mit einer 12,8 kWp-PV-Anlage mit Berücksichtigung des Energiebedarfs für Warmwasser, Haushalt und zukünftiger Elektromobilität.

Die zeitliche Auflösung in Abbildung 21 zeigt, dass lediglich von November bis Februar der Bedarf höher als die Erzeugung ist.

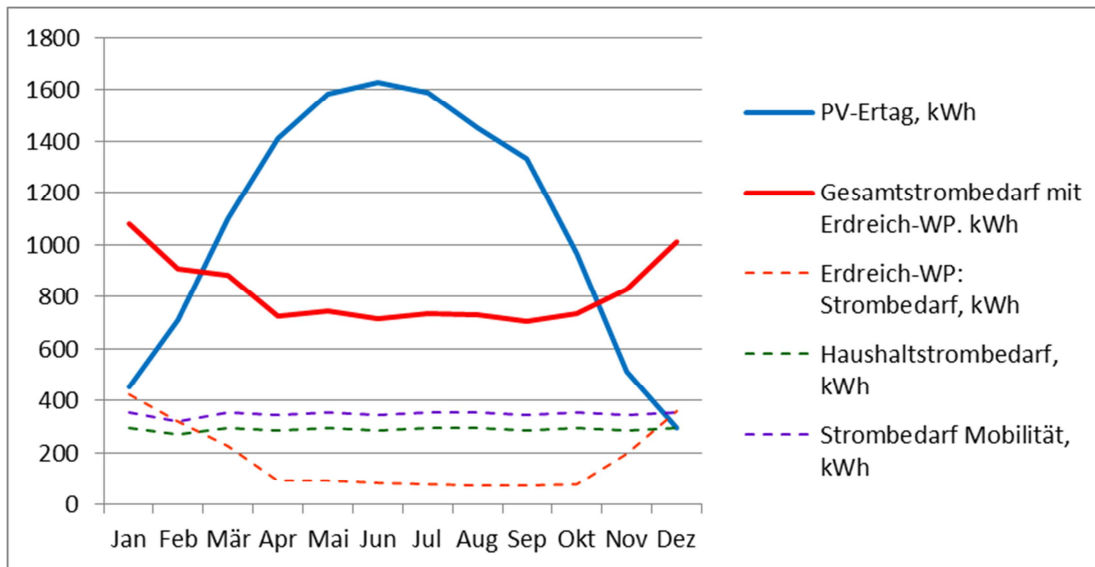


Abbildung 21: Zeitlicher Verlauf von Energieproduktion und Energiebedarf für Heizung, Warmwasser, Haushalt und Mobilität für BlueLine.

Je nach Größe der Photovoltaikanlage gibt es 2 Fördermöglichkeiten:

1. PV-Anlage bis 5 kWp:
Nutzung des Stromes für den Eigenbedarf. Einspeisung des überschüssigen Stromes ins Netz. Die Vergütung des eingespeisten Stromes hängt vom Strompartner ab.
Z.B. BEWAG: 8,10 Ct/kWh
Bezugstarif: ca. 20 Ct/kWh (inkl. Netzgebühren, ...)
Investitionsförderung: Klimaenergiefond (wird nur kurzzeitig ausgeschüttet) oder Landesförderung: 800 €/kWh für Aufdach- Anlagen (im Bgld begrenzt auf max. 3.200 und max. 30% der Investitionskosten).
2. PV-Anlage über 5 kWp (bis 20 kWp)
Verkauf des gesamten Stromes an die ÖMAG auf Basis eines Einspeisevertrags mit 13 Jahren Laufzeit, wobei die Vergütung 27,6 Ct/kWh beträgt.
Nach Ablauf des ÖMAG-Vertrages wird der Strom zur Eigenbedarfsdeckung bzw. zur Überschusseinspeisung verwertet. In diesem Fall darf keine Investitionsförderung bezogen werden. Das Förderkontingent für 2012 ist erschöpft und wird 2013 neu aufgelegt.

Die folgenden Darstellungen zeigen, wie die Wirtschaftlichkeit durch die PV-Anlagengröße und der verwendeten Haustechnik beeinflusst wird. Die Berechnungen basieren auf den Strahlungsdaten von Eisenstadt (typische für Ost- und Südösterreich) sowie den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen zum Stand von Jahresbeginn 2012. Die technischen und wirtschaftlichen Parameter für die Ertragsberechnung und der dynamischen Wirtschaftlichkeitsberechnung sind im Anhang (Tabelle 22, Tabelle 23, Tabelle 24) zu finden.

Sofern die genannten Förderungen ausgelöst werden können, ist die Errichtung einer PV-Anlage in jedem Fall wirtschaftlich positiv, d.h. inkl. der berücksichtigten kalkulatorischen Verzinsung des eingesetzten Kapitals von 4% produziert die PV-Anlage auch im ungünstigsten Fall (keine Wärmepumpe, kein E-Auto) bis zum Ende der Ertragsgarantie (25 Jahre) positive Erlöse, die durch den positiven Barwert in Tabelle 13 und Tabelle 14 ausgedrückt werden. Ertragsmindernde Einflüsse durch Degradation und eine Erneuerung des Wechselrichters wurden in der Berechnung berücksichtigt (siehe Abbildung 22).

Tabelle 13: Wirtschaftlichkeit einer 5 kWp und einer 12,5kWp PV-Anlage mit unterschiedlichem Strombedarfsszenarien für das BlueLine-Basis-Haus.

Abkürzungen: HH ... Haushaltsbedarf, WP... Wärmepumpe (Erdreich), E-Auto ... Elektroauto

PV-Leistung	Strombedarfs-Szenario	Strombedarf kWh/a	Anteil für Eigenbedarf	Amortisationsdauer, Jahre	Barwert €
5 kWp	HH	3.679	19%	24	794
5 kWp	HH + WP	5.598	28%	21	2.128
5 kWp	HH + WP + E-Auto	9.798	38%	19	3.595
12,8 kWp	HH	3.679	9%	11	15.153
12,8 kWp	HH + WP	5.598	14%	11	16.182
12,8 kWp	HH + WP + E-Auto	9.798	21%	11	17.409

Tabelle 14: Wirtschaftlichkeit einer 5 kWp und einer 12,5kWp PV-Anlage mit unterschiedlichem Strombedarfsszenarien für das BlueLine-Haus ohne Lüftungs-WRG

Abkürzungen: HH ... Haushaltsbedarf, WP... Wärmepumpe (Erdreich), E-Auto ... Elektroauto

PV-Leistung	Strombedarfs-Szenario	Strombedarf kWh/a	Anteil für Eigenbedarf	Amortisationsdauer, Jahre	Barwert €
5 kWp	HH	3.745	20%	24	837
5 kWp	HH + WP	6.357	30%	21	2.411
5 kWp	HH + WP + E-Auto	10.557	40%	19	3.787
12,8 kWp	HH	3.745	9%	11	15.186
12,8 kWp	HH + WP	6.357	16%	11	16.459
12,8 kWp	HH + WP + E-Auto	10.557	22%	11	17.619

Die Verwendung einer Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser, sowie die Verwendung eines Elektroautos verringern die Amortisationsdauer der kleinen 5kWp-Variante deutlich, weil der selbst produzierte Strom den teuren Strombezug aus dem Netz (20Ct/kWh) ersetzt, der ca. 2,5-mal so viel wert ist, wie der Erlös durch Stromverkauf (8,1Ct/kWh). Bei der größeren 12,8kWp hat dies in den ersten 13 Jahren mit Einspeisevertrag keine Auswirkung, daher ist bei dieser Anlage die Amortisationszeit stets 11 Jahre; erst danach spielt die Eigenbedarfsdeckung eine wirtschaftliche Rolle, was sich im steigenden Barwert der Anlage bei steigendem Eigenbedarfsanteil deutlich macht.

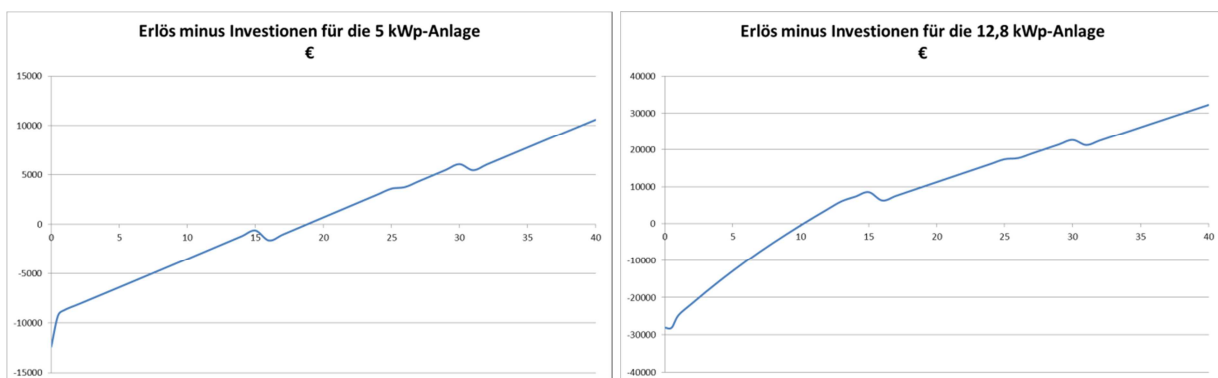


Abbildung 22: Cashflow eine 5kWp- und eine 12,8kWp-Anlage für das BlueLine-Basis-Gebäude mit Wärmepumpe und Strom für Elektromobilität. Die Höcker sind auf die Erneuerung von Wechselrichter (bei 15 und 30 Jahre) und auf die Erneuerung der Verkabelung (25 Jahre) zurückzuführen.

Ganz deutlich zeigt sich, dass die große PV-Anlage aufgrund des Einspeisevertrags wirtschaftlich deutlich besser abschneidet (wesentlich kürzere Amortisationsdauer) und wesentlich unkritischer hinsichtlich Eigenbedarfsdeckung ist.

Um die Wirtschaftlichkeit nach Ablauf des Einspeisevertrags bzw. der Kleinanlage ohne Einspeisevertrag zu verbessern, kann bzw. soll die Laufzeit der Stromverbraucher auf die Tageszeit verlegt werden, sofern dies mit einfachen Mitteln möglich ist. Bei gut gedämmten Kühlgeräten kann dies mit einer einfachen Zeitschaltuhr erfolgen. Bei Wärmepumpen kann bei vielen Fabrikaten ein entsprechendes Zeitprogramm in der Regelung eingestellt werden.

Für den Benutzer sehr einfach ist die Erfolgskontrolle am Wechselrichter bzw. am Stromzähler leicht ablesbar, sodass Photovoltaikanlagen in der Regel ihr Plansoll erfüllen.

5 Gesamtkosten für Strom und Wärme für verschiedene Technologievarianten

Um die optimale Technologie zur Energieerzeugung (Strom und Wärme) zu ermitteln, werden im Strom- und Wärmebedarf für Heizung, Warmwasser, Haushalt und je nach Berechnungsvariante die Stromkosten für die Elektromobilität in Abhängigkeit der eingesetzten Technologie und die dafür anfallenden Kosten ermittelt.

Es werden folgende Technologievarianten und deren Kombinationen untersucht:

- Photovoltaik 5 kWp, 10 kWp, 12,8 kWp
- Solarthermie 5 m², 15 m² Kollektorfläche
- Wärmepumpe Erdreich
- Wärmepumpe Luft
- Pelletsheizung

Um einen möglichst vollständigen und fairen Vergleich durchzuführen, werden alle Kosten für Anschaffung, Erneuerung, Wartung und Betrieb während des Betrachtungszeitraumes von 25 Jahren aufsummiert und verzinst. Die Kosten werden stets inkl. Umsatzsteuer angegeben.

Tabelle 15: Kalkulatorische Parameter für die Berechnung der Gesamtkosten

Kostenangaben	Inkl. UST	
Kalkulationszinssatz	4,00%	/a
Betrachtungszeitraum, a	25	a
Verzögerung Auszahlung PV-Erlöse	0,1	a
Strom-Bezugspreis	0,200	€/kWh
Strom-Lieferpreis	0,081	€/kWh
Strompreisteuerungsrate	4,0%	/a
Energiepreis Pellets	0,0435	€/kWh
Energiepreissteigerung	4%	/a
Teuerungsrate Technik	2%	/a

Kosten und Parameter für die Energiekostenberechnung der einzelnen Technologien sind im Anhang (Kap.9.2) aufgelistet.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die Energiegesamtkostenrechnung aufgelistet und interpretiert.

Der Strombedarf für Heizung und Warmwasser wurde mittels Gebäude- und Solaranlagen simulation berechnet. Für Haushalt und Elektromobilität wurde folgender Jahresbedarf angenommen:

- Haushaltstrombedarf: 3.500 kWh/a
- Elektromobilität: 4.200 kWh/a (entspricht ca. 20.000 km/a eines Klein-PKW)

Photovoltaikanlage:

- Anlagen über 5kWp: Verkauf des gesamten Stroms in den ersten 13 Jahren gemäß Einspeisetarifverordnung mit 27,4 Ct/kWh. Danach Eigenbedarfsdeckung.
- Anlagen unter 5kWp: Eigenbedarfsdeckung (Gegenwert 20 Ct/kWh) und Überschusseinspeisung mit einem Tarif von 8,1 Ct/kWh.
- Der Anteil des selbst verwerteten Stromes ist abhängig vom Tagesprofil der Verbraucher und vom Strombedarf selbst – z.B. wird durch den Einsatz der Wärmepumpe der Eigenbedarfsanteil höher als mit einer Pelletsheizung.

Bei den in den nächsten Kapitel genannten für Wärme- bzw. Stromkosten wurde folgende Kostenzuteilung vorgenommen:

Stromkosten enthalten:

- Strom für Wärmepumpe
- Hilfsstrom für Solaranlagen

- Hilfsstrom für Pelletsheizung
- Strombedarf für Haushalt
- E-Mobilität (wenn berücksichtigt)
- Anschaffungs- und Nebenkosten der Photovoltaikanlage

Wärmekosten enthalten:

- Kosten für Solarthermieanlage außer Hilfsstrom
- Kosten für Wärmepumpe außer Stromkosten
- Kosten für Pelletsheizung außer Hilfsstrom
- Kosten für Pellets
- Kosten für Erneuerung, Versicherung, Wartung, ...

5.1 Gesamtkosten für Strom und Wärme für Blueline Basis MIT Lüftungs-WRG

Für die Blueline-Basisvariante muss folgender Energiebedarf gedeckt werden:

- Heizungs-Wärmebedarf: 3.873 kWh/a
- Warmwasser-Wärmebedarf: 3.032 kWh/a
- Strombedarf: abhängig von der eingesetzten Technologie zur Wärmeerzeugung
Der Gesamtstrombedarf für Haushalt, Wärmeerzeugung ist in Tabelle 16 (inkl. E-Mobilität) bzw. in Tabelle 17 (ohne E-Mobilität) in der Spalte Strombedarf ausgewiesen

In Tabelle 16 und Tabelle 17 sind die Kosten für Strom, Wärme einzeln und im Gesamten für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren mit Berücksichtigung von kalkulatorischen Zinsen und Teuerungen für verschiedene Technologiekombinationen aufgelistet. Bei jeder Kombination von Solarthermie und Wärmeerzeugungsart sind die Kosten mit und ohne PV-Anlagen angegeben.

Tabelle 16: Jährliche Energiegestehungskosten für Strom und Wärme samt Abschreibung und Verzinsung für die Blueline-Basisvariante für verschiedene Technologievarianten MIT Strombedarf für E-Mobilität (4.400 kWh/a). Erläuterung/Abkürzungen in der Spalte der Varianten:

Spalte PV enthält die Leistung der Anlage in kWp, die in den Spalten Kosten mit PV berücksichtigt wird.

Spalte ST enthält die Kollektorfläche der thermischen Solaranlage (- nicht vorhanden, 5m² für WW-Bereitung, 15m² für teilsolare Heizung).

Spalte Heizung enthält die Art der Heizung: WP ... für Wärmepumpe Sole Erdreich mit 5kW bzw. 7kW, WP-Luft ... Luft-Wärmepumpe, Pellets für Pelletsheizung.

Nr.	Varianten			Strombedarf	Kosten ohne PV, €/a			Kosten mit PV, €/a		
	PV kWp	ST m ²	Heizung		Strom	Wärme	Gesamt	Strom	Wärme	Gesamt
1	5	-	WP-7kW	9.798	3.136	1.287	4.423	2.906	1.287	4.193
2	5	-	Pellets	7.879	2.522	1.901	4.423	2.349	1.901	4.251
3	5	5	WP-5kW	9.124	2,929	1.615	4,536	2,694	1.615	4,309
4	5	5	Pellets	7.862	2.516	2.046	4.562	2.344	2.046	4.390
5	12,8	-	WP-5kW	9.798	3.136	1.683	4.819	2.022	1.683	3.705
6	12,8	-	WP-7kW	9.798	3.136	1.287	4.423	2.022	1.287	3.309
7	12,8	-	WP-Luft	10.280	3.290	1.294	4.584	2.166	1.294	3.459
8	12,8	-	Pellets	7.879	2.522	1.901	4.423	1.460	1.901	3.362
9	12,8	5	WP-5kW	9.124	2.920	1.615	4.536	1.827	1.615	3.443
10	12,8	5	Pellets	7.862	2.516	2.046	4.562	1.455	2.046	3.501
11	10	15	WP-5kW	8.766	2.806	2.079	4.885	1.971	2.079	4.050
12	10	15	Pellets	7.861	2.516	2.394	4.910	1.701	2.394	4.095

Tabelle 17: Jährliche Energiegestehungskosten für Strom und Wärme samt Abschreibung und Verzinsung für die BlueLine-Basisvariante für verschiedene Technologievarianten OHNE Strombedarf für E-Mobilität. Erläuterung/Abkürzungen – siehe Tabelle 16

Nr.	Varianten			Strombedarf	Kosten ohne PV, €/a			Kosten mit PV, €/a		
	PV kWp	ST m ²	Heizung		Strom	Wärme	Gesamt	Strom	Wärme	Gesamt
1	5	-	WP-7kW	5.598	1.792	1.287	3.079	1.655	1.287	2.943
2	5	-	Pellets	3.679	1.177	1.901	3.079	1.127	1.901	3.028
3	5	5	WP-5kW	4.924	1.576	1.615	3.191	1.439	1.615	3.054
4	5	5	Pellets	3.662	1.172	2.046	3.218	1.120	2.046	3.166
5	12,8	-	WP-5kW	5.598	1.792	1.683	3.474	756	1.683	2.439
6	12,8	-	WP-7kW	5.598	1.792	1.287	3.135	756	1.287	2.043
7	12,8	-	WP-Luft	6.080	1946	1.294	3.240	897	1.294	2.191
8	12,8	-	Pellets	3.679	1.177	1.901	3.079	207	1.901	2.109
9	12,8	5	WP-5kW	4.924	1.576	1.615	3.191	565	1.615	2.181
10	12,8	5	Pellets	3.662	1.172	2.046	3.218	202	2.046	2.248
11	10	15	WP-5kW	4.566	1.461	2.079	3.541	703	2.079	2.783
12	10	15	Pellets	3.661	1.172	2.394	3.565	441	2.394	2.834

5.2 Gesamtkosten für Strom und Wärme für BlueLine Basisvariante OHNE Lüftungs-WRG

Für die BlueLine-Basisvariante muss folgender Energiebedarf gedeckt werden:

- Heizungs-Wärmebedarf: 6.574 kWh/a
- Warmwasser-Wärmebedarf: 3.032 kWh/a
- Strombedarf: abhängig von der eingesetzten Technologie zur Wärmeerzeugung
Der Gesamtstrombedarf für Haushalt, Wärmeerzeugung ist in Tabelle 16 (inkl. E-Mobilität) bzw. Tabelle 17 (ohne E-Mobilität) in der Spalte Strombedarf ausgewiesen

In Tabelle 18 und Tabelle 19 die Kosten für Strom, Wärme einzeln und im Gesamten für einen Betrachtungszeitraum von 25 Jahren mit Berücksichtigung von kalkulatorischen Zinsen und Teuerungen für verschiedene Technologiekombinationen aufgelistet. Bei jeder Kombination von Solarthermie und Wärmeerzeugungsart sind die Kosten mit und ohne PV-Anlagen angegeben.

Tabelle 18: Jährliche Energiegestehungskosten für Strom und Wärme samt Abschreibung und Verzinsung für die BlueLine-Basisvariante OHNE Lüftungs-WRG für verschiedene Technologievarianten MIT Strombedarf für E-Mobilität (4.400 kWh/a).

Erläuterung/Abkürzungen in der Spalte der Varianten:

Spalte PV enthält die Leistung der Anlage in kWp, die in den Spalten Kosten mit PV berücksichtigt wird.

Spalte ST enthält die Kollektorfläche der thermischen Solaranlage (- nicht vorhanden, 5m² für WW-Bereitung, 15m² für teilsolare Heizung).

Spalte Heizung enthält die Art der Heizung: WP ... für Wärmepumpe Sole Erdreich, WP-Luft ... Luft-Wärmepumpe, Pellets für Pelletsheizung.

Nr.	Varianten			Strombedarf	Kosten ohne PV, €/a			Kosten mit PV, €/a		
	PV kWp	ST m ²	Heizung		Strom	Wärme	Gesamt	Strom	Wärme	Gesamt
1	5	-	WP	10.557	3.379	1.721	5.100	3.136	1.721	4.858
2	5	-	Pellets	7.945	2.543	2.836	5.378	2.369	2.836	5.205

3	5	5	WP	9.883	3.163	2.031	5.194	2.944	2.031	4.975
4	5	5	Pellets	7.928	22.538	2.275	4.813	2.262	2.275	4.638
5	12,8	-	WP	10.557	3.379	1.721	5.100	2.251	1.721	3.972
6	12,8	-	WP-Luft	11.387	3.644	1.727	5.372	2.499	1.727	4.227
7	12,8	-	Pellets	7.945	2.543	2.836	5.378	1.480	2.836	4.316
8	12,8	5	WP	9.883	3.163	2.031	5.194	2.056	2.031	4.086
9	12,8	5	Pellets	7.928	2.538	2.275	4.813	1.474	2.275	3.750
10	10	15	WP	9.427	3.017	2.121	5.138	2.170	2.121	4.292
11	10	15	Pellets	7.927	2.537	2.602	5.139	1.721	2.602	4.322

Tabelle 19: Jährliche Energiegestehungskosten für Strom und Wärme samt Abschreibung und Verzinsung für die Blueline-Basisvariante OHNE Lüftungs-WRG für verschiedene Technologievarianten OHNE Strombedarf für E-Mobilität.

Erläuterung/Abkürzungen – siehe Tabelle 16

Nr.	Varianten			Strombedarf	Kosten ohne PV, €/a			Kosten mit PV, €/a		
	PV kWp	ST m ²	Heizung		Strom	Wärme	Gesamt	Strom	Wärme	Gesamt
1	5	-	WP	6.357	2.035	1.721	3.756	1.880	1.721	3.601
2	5	-	Pellets	3.745	1.198	2.836	4.034	1.145	2.836	3.981
3	5	5	WP	5.683	1.819	2.031	3.850	1.696	2.031	3.727
4	5	5	Pellets	3.728	1.193	2.275	3.469	1.139	2.275	3.414
5	12,8	-	WP	6.357	2.035	1.721	3.756	981	1.721	2.702
6	12,8	-	WP-Luft	7.187	2.300	1.727	4.028	1.226	1.727	2.953
7	12,8	-	Pellets	3.745	1.198	2.836	4.034	226	2.836	3.062
8	12,8	5	WP	5.683	1.819	2.031	3.950	789	2.031	2.850
9	12,8	5	Pellets	3.728	1.193	2.275	3.469	221	2.275	2.496
10	10	15	WP	5.227	1.673	2.121	3.794	899	2.121	3.020
11	10	15	Pellets	3.727	1.193	2.602	3.794	460	2.602	3.061

5.3 Diskussion der Ergebnisse der Energie-Gesamtkostenrechnung

Die in Kap. 5.1 und 5.2 dargestellten Ergebnisse lassen sich zu folgenden Empfehlungen zusammenfassen:

1. Eine Photovoltaikanlage verringert in jedem Fall die Gesamtenergiekosten, weil diese für sich selbst wirtschaftlich ist und daher die Stromkosten verringert.
2. Eine größere Photovoltaikanlage mit Einspeisevertrag schneidet wirtschaftlich besser ab, als eine kleine, die mit Investitionszuschüssen gefördert wird.
3. Um den selbst erzeugten Strom besser zu verwerten, ist es sinnvoll, die Haustechnik möglichst mit effizienten Stromantrieben auszustatten: Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung, Elektrofahrzeuge.
Bei Photovoltaikanlagen mit Einspeisevertrag hat man 13 Jahren lang Zeit, um dies gut vorzubereiten.
4. Thermische Solaranlagen erhöhen fast immer die Gesamtenergiekosten für die ersten 25 Jahre – außer, wenn die Wärmepumpe/der Heizkessel aufgrund der Laufzeiteinsparung

- durch Solarwärmegewinne länger als 25 Jahre hält, aber ohne Solaranlage erneuert werden müsste. In diesem Fall (z.B. Nr. 3 und 5 in Tabelle 17 oder Nr.2 und 4 in Tabelle 18) sind zwar die Gesamtausgaben in den ersten 25 Jahren ohne Solaranlage höher, aber in der Heizanlage steht ein fast neuwertiger Kessel / Wärmepumpe. Schaut man über die 25 Jahre weiter voraus, so ist die Anlage ohne Solarthermieanlage wieder günstiger.
5. Knapp ausgelegte Solarthermieanlagen zur Warmwasserbereitung (1 bis max. 1,5m² pro Person) schneiden wirtschaftlich besser ab als größere. Jedoch haben Anlagen unter 5m² zu hohe spezifische Investitionskosten.
 6. Thermische Solaranlagen für Heizungsunterstützung mit 15m² sind für das Blueline-Gebäude ohne Lüftungs-WRG und erst recht für die energiesparende Basisvariante zu groß. Hier sei verwiesen auf Abbildung 18, in der gezeigt wird, dass das Optimum bei 7,5 m² Kollektorfläche für Blueline-Basis bzw. 10 m² für die Blueline Variante ohne Lüftungs-WRG liegt.
 7. Um die Investitionskosten für die teilsolare Raumheizung zu senken, sollten möglichst einfache Anlagen umgesetzt werden: z.B. Verzicht auf Schichtlademodul – letzteres bringt bei kleinen Kollektorflächen kaum einen Mehrnutzen gegenüber einem einfachen Pufferspeicher mit integriertem Glattrohrregister und erhöht sogar den Pumpenstromverbrauch (zusätzliche Pumpe!). Kostenersparnis: ca. 1.500€.
 8. Je niedriger der Wärmebedarf des Hauses ist, umso geringer ist der Nutzen einer solarthermischen Heizungsunterstützung.
 9. Grundsätzlich wird festgestellt, dass eine PV-Anlage mit einer Wärmepumpenheizung pro m² Panelfläche mehr und kostengünstigere Solarenergie ins Gebäude bringt als eine thermische Anlage. PV-Anlagen sind daher auch ökologisch gegenüber thermischen Solaranlagen im Vorteil. Nur knapp ausgelegte und gut ausgelastete thermische Solaranlagen können bei der Flächeneffizienz mit einer PV-Anlage mithalten.
 10. Bei Anlagen ohne PV-Anlage sind die Gesamtkosten einer Pelletsheizung und einer Wärmepumpe ziemlich auf gleicher Höhe (ausgenommen hinausgezögerte Erneuerung durch eine Solarthermieanlage).
 11. Mit einer PV-Anlage verringern sich bei einer Wärmepumpenheizung die Gesamtkosten stärker als mit einer Pelletsheizanlage.
 12. Eine Luftwärmepumpe verursacht in allen Fällen höhere Gesamtenergiekosten als eine Erdreichwärmepumpe. Speziell bei kalten Außentemperaturen hat die Luftwärmepumpe eine wesentlich schlechtere Effizienz als die Erdreichwärmepumpe (vergl. Abbildung 23). Dieses Ergebnis wird durch Feldstudien durch Vermessung konkreter Anlagen bestätigt (siehe AEE (2010), ISE (2010)).
Einer Erdreichwärmepumpe ist daher der Vorzug gegenüber einer Luftwärmepumpe zu geben.

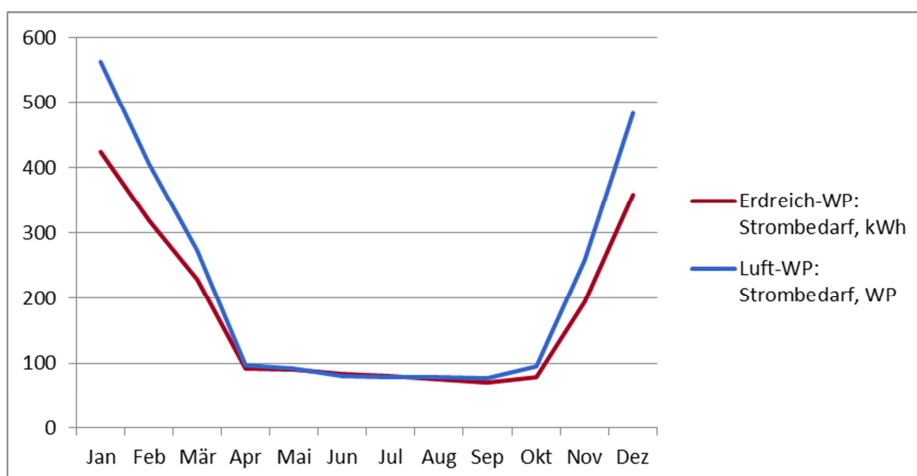


Abbildung 23: Gegenüberstellung des Strombedarfs einer Erdreich- und einer Luftwärmepumpe (Blueline-Basis). Die Luftwärmepumpe benötigt bei kalten Außentemperaturen deutlich mehr Strom.

6 Gebäudekühlung

Die durch den Klimawandel zunehmend heißer werdenden Sommer provozieren immer mehr den Bedarf an einer Gebäudekühlung.

Um ein Gebäude auch im Sommer angenehm kühl zu halten bieten sich folgende Maßnahmen an:

1. Bauliche Maßnahmen: Wärmespeicherfähige Bauteile
2. Optimierung der Benutzergewohnheiten
3. „Stille Kühlung“ über das Erdreich oder Grundwasser.
4. Wärmeentzug durch die Brauchwasserbereitung mittels einer Wärmepumpe
5. Solarthermische Kühlung
6. Prozessumkehr der Heizungswärmepumpe

ad 1) Bauliche Maßnahmen:

die positiven Einflüsse einer hohen Speichermasse sind in Kap. 3.4 behandelt

ad 2) Optimierung der Benutzergewohnheiten:

Durch Querlüften in den kühlen Nachtstunden, Schließen der Fenster, sobald es draußen wärmer als innen ist, zeitgerechte Betätigung des Sonnenschutzes kann die Raumtemperatur in heißen Sommerperioden stark beeinflusst werden (siehe Abbildung 24)

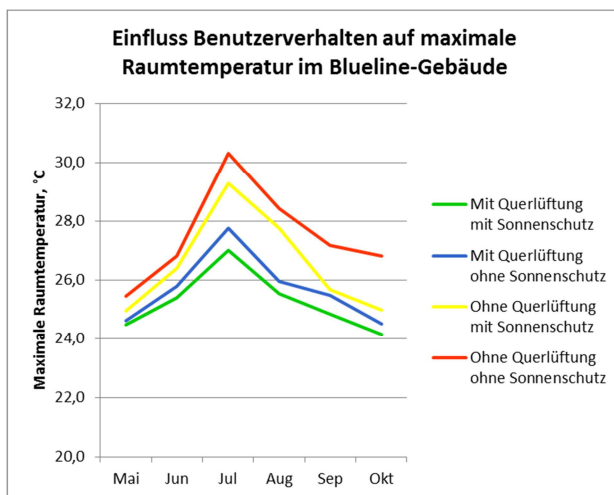


Abbildung 24: Einfluss des Benutzerverhaltens auf die maximale Raumtemperatur im Blueline-Gebäude

Der Energiebedarf, um die Innentemperatur auf maximal 26°C zu begrenzen, steigt mit einem sorglosen Benutzerverhalten im Durchschnittsjahr fast auf das 10-fache im Vergleich zum idealen Benutzerverhalten (siehe Abbildung 25). In einem um 1,5°C überdurchschnittlich wärmeren Jahr verdoppelt sich dieser Energiebedarf nochmals, sodass der Kühlenergiebedarf schon fast die Hälfte des Heizenergiebedarfs ausmacht.

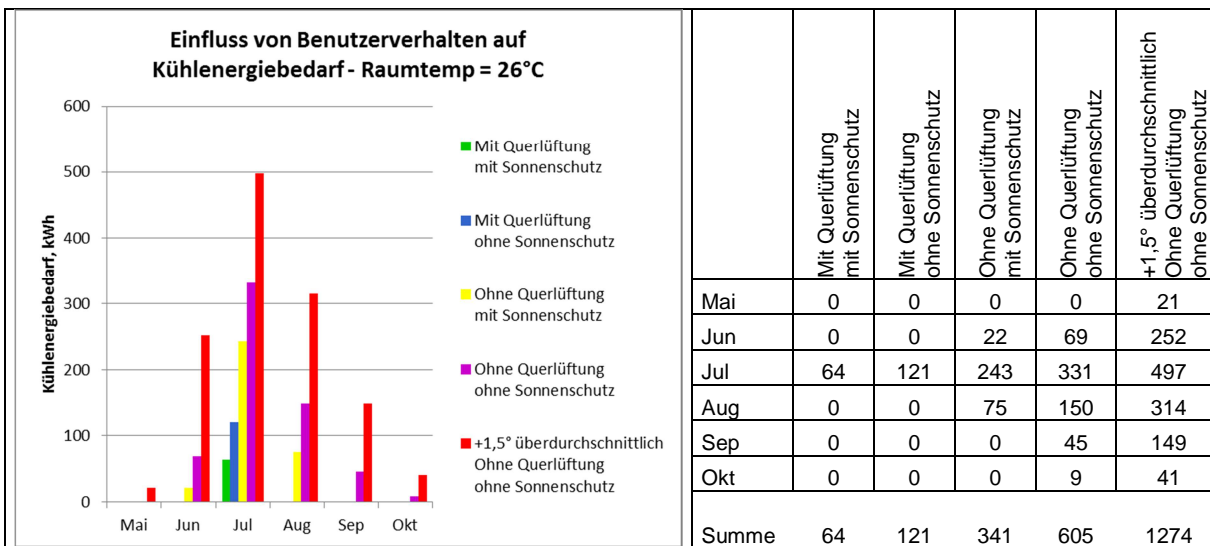


Abbildung 25: Kühlenergiebedarf für die Begrenzung der Raumtemperatur auf max. 26°C bei unterschiedlichem Benutzerverhalten.

ad 3) Stille Kühlung:

Der Erdkollektor einer Wärmepumpe kann als Wärmesenke bzw. Kälte/Wärmespeicher verwendet werden. Die Hydraulik kann mit geringem Aufwand so gestaltet werden, dass es möglich ist, die Heizfläche mit dem kalten Erdreich des Erdwärmetauschers (über einen Plattenwärmetauscher) zu kühlen. Dadurch wird die durch die Heizperiode und Warmwasserbereitung ausgekühlte Erde wieder erwärmt. Bis auf den geringen Strombedarf der Umwälzpumpen ist kein weiterer Energieverbrauch dafür erforderlich, sodass dieses Kühlverfahren aus ökologischer Sicht vorteilhaft ist. Ein positiver Synergieeffekt ist, dass die Brauchwasserbereitung aufgrund der höheren Erdtemperatur eine geringfügige Verbesserung der Leistungsziffer der Wärmepumpe mit sich bringt. Solange nicht zu intensiv gekühlt werden muss (Benutzerverhalten!), wird auch in sehr heißem Sommer die Raumtemperatur im angenehmen Bereich gehalten. Mit einer Erdreichwärmepumpe liegt ein positiver Synergieeffekt vor, der dieses Kühlverfahren zu sehr geringen Kosten ermöglicht. Im Prinzip kann diese Methode auch mit Nicht-Wärmepumpenheizungen angewandt werden, jedoch muss hierfür eigens ein nicht ganz billiger Erdreichwärmetauscher gebaut werden, sodass sich das in der Praxis nicht auszahlt.

ad 4) Wärmeentzug durch die Brauchwasserbereitung mittels einer Wärmepumpe:

Mit einem zusätzlichen Plattenwärmetauscher können im Sommer die Heizflächen (Wand-, Fußbodenheizung) für den Wärmeentzug zur Brauchwasserbereitung verwendet werden. Weil diese Flächen eine höhere Temperatur als der Erdkollektor haben, steigt nebenbei auch die Effizienz der Wärmepumpe. Gekühlt wird bei diesem Verfahren nur dann, wenn Brauchwasser erwärmt wird. Bei sehr geringem Brauchwasserbedarf ist daher die Kühlwirkung eingeschränkt. Diese Möglichkeit besteht auch bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe.

ad 5) Solarthermische Kühlung:

In den letzten Jahren wurden Absorptionskältemaschinen (Kältemittel meist Ammoniak + Wasser) und Adsorptionskältemaschine (Kältemittel Silikagel + Wasser) für kleine Leistungen adaptiert – z.B. Fa. Pink aus Langenwang (Steiermark), Fa. Solution (Oberösterreich). Ziel bei der solarthermischen Kühlung ist es, die sommerlichen Überschüsse einer größeren Solaranlage für die Kühlung nutzbar zu machen. Je nach Außentemperatur und Kühltemperatur wird eine Arbeitszahl von 0,4 bis 0,6 erreicht, d.h. aus einer kWh Wärme werden 0,4 bis 0,6 kWh Kälte bereitgestellt.

Das Potenzial und die Verbesserung der spezifischen Erträge einer thermischen Solaranlage ist in Tabelle 20 dargestellt. Bei einer 15m² großen Solaranlage kann der spezifische Ertrag von 251 auf 331 kWh/m² (um 31%) gesteigert werden.

Die apparativer Aufwand für eine solarthermische Kältemaschine und dem dazu notwendigem Rückkühler ist recht hoch im Vergleich zum Kühlenergiebedarf (unter 1000kWh/a – bei positiven

Benutzerverhalten sogar weit darunter). Mit einem offenen DEC-Adsorptionsgerätes, welches über die Lüftungsanlage kühlt ist der Aufwand zwar geringer, aber dennoch viel zu hoch für den relativ geringen und kurzfristigen Kältebedarf. Lt. Auskunft der Fa. Pink ist eine Investitionssumme von mindestens 20.000€ für das Zubehör einer solarthermischen Kühlung erforderlich. Überschlägig ergeben sich auf eine Laufzeit von 25 Jahre Kältegestehungskosten in der Größenordnung von mindestens 1 €/kWh, sodass diese Technologie für Einfamilienhäuser derzeit nicht wirtschaftlich vertretbar ist. Da die Kühlung mit einer mit PV-Strom angetriebenen Wärmepumpe wesentlich günstiger ist, hat die Fa. Solution ihre Aktivitäten zur solarthermischen Kühlung eingestellt.

Tabelle 20: Potenzial für die solarthermische Kühlung. Die Nutzung der solaren Überschüsse für die Gebäudekühlung verbessert deutlich die spezifischen Kollektorerträge gegenüber einer alleinigen teilsolaren Heizungsunterstützung (Vergleichswerte aus Tabelle 11) – Die Simulationsergebnisse wurde für die Blueline Basisvarianten (3872 kWh/a Wärmebedarf und 3032 kWh/a Warmwasserbedarf) berechnet.

Kollektorfläche m ²	Maximale Raum- temperatur, °C	Solarertrag für WW, kWh	Solarertrag für Heizung, kWh	solare Kühlung kWh	Hilfsstrombedarf kWh-el	spez. Ertrag kWh/m ²	Vergleich: spez. Ertrag ohne Kühlung kWh/m ²
5	26,7	1996	450	75	55	519	491
7,5	26,4	2169	716	183	72	433	385
10	26,0	2264	960	325	88	387	323
12,5	25,6	2333	1183	464	104	356	281
15	25,5	2393	1366	602	118	331	251
20	25,0	2490	1649	842	143	291	207
25	24,7	2556	1865	1129	169	267	177
30	24,5	2601	2058	1310	186	243	155
40	24,3	2663	2354	1558	210	203	126

ad 6) Prozessumkehr der Heizungswärmepumpe:

Durch Vertauschen von Wärmeaufnahme und Wärmeabgabeseite der Wärmepumpe (sogenannte Prozessumkehr) kann der Innenraum unabhängig von der Erdreichtemperatur gekühlt werden. Der Aufpreis für eine Prozessumkehr liegt bei ca. 1.200€ und für einen empfohlenen Kältepufferspeicher etwa 1.500€. Als Antriebsenergie für den Kompressor der Wärmepumpe kann der Strom der PV-Anlage eingesetzt werden. Somit ist diese Art der solaren Kühlung um eine Größenordnung kostengünstiger als die solarthermische. Der Strombedarf bei der Kühlung über den Kompressor liegt bei ca. 0,4 bis 0,5kWh pro kWh-Kälte (Kälteleistungsziffer 2 bis 2,3)

Schlussfolgerung für die Kühlung:

Mit einer Wärmepumpenheizung hat man kostgünstige Möglichkeiten zur effizienten Kühlung des Gebäudes: Die Brauchwasserbereitung kann hydraulisch so verschaltet werden, dass über die Heizflächen gekühlt wird. Weiters kann über den Erdreich-Wärmetauscher mit der stillen Kühlung Wärme fast ohne zusätzlichen Stromverbrauch abgeführt werden.

Sollte dies immer noch nicht reichen, kann eine Wärmepumpe mit Prozessumkehr zur aktiven Kompressorkühlung (jedoch mit erheblichen Stromaufwand) eingesetzt werden. Letzteres ist aber bei einem Blueline-Gebäude mit entsprechendem Nutzerverhalten vermeidbar.

Abschließend sei davor gewarnt, dass ein installiertes Kühlsystem eine Nachlässigkeit beim Benutzerverhalten provoziert (Bequemlichkeit), und dadurch der Kühlbedarf zu einem großen Stromverbraucher wird.

7 Blueline Passivhaus

Durch verstärkte Dämmung kann das Blueline Basis-Gebäude zu einem Passivhaus gemacht werden. Die hierfür notwendigen Dämmstärken sind in Tabelle 2 aufgelistet.

Vorteile des Passivhauses gegenüber dem Basisgebäude:

1. Reduzierter Heizwärmebedarf von 3873 kWh/a auf 2651 kWh/a
2. Der geringe Wärmebedarf kann über das Lüftungssystem eingeblasen werden, sodass die Fußbodenheizung oder Wandheizung entfallen kann. Geheizt wird also über die Zulufräume (Zimmer)

Es gibt jedoch eine Einschränkung für Personen, die es im Bad gerne wärmer als in den übrigen Räumen haben wollen; diese sollte im Bad dennoch eine Fußboden- / Wandheizung installieren, weil ansonsten das Bad als Abluftraum eher kühler als die anderen Räume ist.

Tabelle 21: Energieverbrauch des Blueline Passivhauses im Vergleich mit Blueline-Basis. Der Strombedarf für Warmwasser ist für beide Gebäude gleich.

	Wärmebedarf, kWh	Wärmebedarf, kWh (Basis)	Strombedarf WP für Heizung, kWh	Strombedarf WP für Heizung, kWh	Strombedarf für Warmwasser, kWh
Jan	865	1149	253	335	89
Feb	529	786	158	234	84
Mär	224	450	67	133	96
Apr	0	0	0	0	92
Mai	0	0	0	0	91
Jun	0	0	0	0	83
Jul	0	0	0	0	80
Aug	0	0	0	0	76
Sep	0	0	0	0	71
Okt	0	21	0	5	74
Nov	274	461	72	120	75
Dez	758	1006	209	277	82
Jahr	2651	3873	758	1105	993
EKZ kWh/m²/a	13,8	20,2			

Wirtschaftlich positiv schneidet das Passivhaus gegenüber der Basisvariante dann ab, wenn durch die Vereinfachung des Wärmeverteilsystems (Wegfall von Fußbodenheizung) und die Energieeinsparung (347kWh/a Strom bzw. ca. 70€/a) die höheren Dämmkosten eingespielt werden.

8 Zusammenfassung

Die Kostenreduktion bei Photovoltaikanlagen ermöglicht schon heute eine preiswerte und wirtschaftliche Umsetzung von Energieplushäusern.

Die im Projekt durchgeführten Untersuchungen am Blueline-Gebäudetyp und die daraus abgeleiteten Empfehlungen können für Niedrigenergiehäuser/Passivhäuser verallgemeinert werden, sofern sich das Klima am Standort von jenem in den Niederungen Ostösterreichs nicht wesentlich unterscheidet.

Planungsempfehlungen für ein Energieplus-Gebäude:

1. Empfehlungen zur Gebäudegeometrie und Architektur
 - a. Kompakte Gebäudegeometrie
 - b. möglichst große freie Dachfläche nach Süden, um ein maximales Solarenergiepotenzial zu erzielen.
z.B. Pultdach, versetztes Pultdach/Satteldach, Satteldach.
Zu vermeiden: Nicht rechtwinkelige Dachflächen (Walmdach, ...) und Gauben

Auch wenn nicht sofort das gesamte Dach zur Energiegewinnung benötigt wird, ist es dennoch empfehlenswert, diese Möglichkeit für die Zukunft vorzubereiten.
 - c. Glasflächen so klein wie möglich und nur so groß wie für Wohlbefinden und Belichtung erforderlich.
Ein außenliegender Sonnenschutz ist für alle Himmelsrichtungen außer nach Norden erforderlich.
2. Empfehlungen zur Bauausführung
 - a. Massive Bauweise mit guter Wärmespeicherfähigkeit zur Vermeidung der sommerlichen Überwärmung:
 - b. massive Trennwände, Decken, Estrich, massive Außenwände aus schweren wärmespeichernden Baustoffen (geeignet sind auch leichte Ausbauplatten mit integriertem Latentwärmespeicher – sofern diese preislich attraktiv sind).
 - c. Alternative beim Leichtbau:
Das Wärmespeichervermögen kann auch mit einer Deckenheizung/Wandheizung umgesetzt werden, welche im Sommer die Wärmeüberschüsse in den Erdreichwärmetauscher der Wärmepumpe befördert („stille“ Kühlung benötigt nur vernachlässigbar wenig Energie)
 - d. Luftdichtheit des Gebäudes:
vermeidet unangenehme Zugerscheinungen und unnötigen Energieverlust.
 - e. Auswahl von Baustoffen mit niedrigem Herstellungsenergieaufwand (vergleichen und beachten des OI3-Index):
Das Energieeinsparpotenzial in diesem Bereich liegt in der Größenordnung des Wärmebedarfes für einige Jahrzehnte!
3. Energietechnik:
 - a. Stromerzeugung mit einer Photovoltaikanlage
Strom für Warmwasser, Heizung, Haushalt und zukünftig für Elektromobilität einplanen.
Nach Möglichkeit um einen Einspeisevertrag bei der ÖMAG ansuchen, um die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu verbessern.
 - b. Wärmepumpe für Heizung und Warmwasserbereitung:
 - Erdreich- oder Brunnenwasser-Wärmepumpe. Diese Systeme erlauben auch das „stille Kühlen“ ohne wesentlichen Energieverbrauch.

- Passivhausstandard mit einer Heizlast unter $10\text{W}/\text{m}^2_{\text{BGF}}$: Kombigeräte Abluft-Wärmepumpe und Lüftungsanlage mit Erdreichwärmetauscher
 - Die Wärmequelle für die Warmwasserbereitung umschaltbar auf die Heizflächen ausführen (Kühlung im Sommer ohne zusätzlichem Stromverbrauch)
- c. Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung:
- Im Bereich des Niedrigenergiehauses ist diese die effizienteste Weise, den Energieverlust weiter zu reduzieren. Parallel darf sich der Benutzer über den Komfortgewinn freuen: Gute Luft ohne Lüftungsstress.
- d. Wärmeverteilung:
- Fußbodenheizung, ev. auch Wandheizung.
Bei niedriger Energiekennzahl kann auch eine Deckenheizung zur Heizung und im Sommer auch für die stille Kühlung eingesetzt werden. Insbesondere die oberste Geschoßdecke ist hierfür gut geeignet.
Passivhaus: die Wärme kann auch über das Lüftungssystem eingebracht und in die Zulufräume verteilt werden (Vorsicht: Bad – eventuell Fußboden-/Wandheizung installieren).

Das technisch einfache Duo (PV-Anlage und Wärmepumpe) reduziert Anschaffungs- und Wartungskosten gegenüber einem Kombisystem mit solarthermischer Anlage.

Aufgrund der massiven Preissenkungen bei Photovoltaikanlagen kann auf eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung bewusst verzichtet werden, weil diese bezogen auf den Dachflächenbedarf maximal gleichviel Wärme erzeugen kann und die Wärmegestehungskosten bei der thermischen Solaranlage deutlich höher sind als mit einer Photovoltaikanlage.

Für jene, die auf eine thermische Solaranlage dennoch nicht verzichten wollen, gelten folgende Empfehlungen:

- Die Kollektorfläche für Warmwasseranlagen bescheiden auslegen: ca. 1m^2 bis max. $1,5\text{m}^2$ pro Person.
- Pufferspeicher: mindestens 50 bis max. 100 l pro m^2 Kollektorfläche.
- Warmwasserbereitung mittels Plattenwärmetauscher (hygienische Brauchwasserbereitung) umgeht die Speicherdesinfektion (Legionellenproblem)
- Teilsolare Heizungsunterstützung – je geringer die Energiekennzahl des Gebäudes, desto größer ist der wirtschaftliche Druck, darauf zu verzichten. Je mehr Kollektorfläche installiert wird, umso geringer ist der Nutzen pro m^2 Kollektorfläche. (maximal sinnvolle Kollektorfläche bei Blueline-Basis: 10m^2)

9 Anhang

9.1 Gebäudesimulation zur realitätsnahen Berechnung des Verhaltens des Gebäudes samt Solaranlage, Heizung und Photovoltaikanlage

Ersteller der Gebäudesimulation: Eigenprodukt Ingenieurbüro Wind

Validierung der Gebäudesimulation:

- Raumwärmebedarfssimulation, passive Solarerträge: Vergleich der Ergebnisse mit jenem von Ecotech (Monatssummen)
- Thermische Solaranlage: Vergleich der Ergebnisse mit dem kommerziellen Produkt T*SOL
- Photovoltaikanlage: Vergleich der Ergebnisse mit dem Programm PV-GIS
- Wärmepumpensimulation: Vergleich der Ergebnisse mit jenen aus Feldtests

Verfahren der Gebäudesimulation:

- Zeitschrittverfahren im 1h-Intervall
- Klimabasis: Referenzwetterdatensatz für den Standort (1-h Mittelwerte)

Funktionsumfang der Gebäudesimulation:

1. Wärmebedarfsimulation
2. Solarthermieanlagen-Simulation
3. Photovoltaiks simulation
4. Wärmepumpensimulation

Wärmebedarfssimulation:

- Eingabeparameter:
 - Bauteile: Wärmeleitfähigkeit, Dichte, spezifischen Wärme
 - Verglasung: U-Wert, g-Wert, Glasanteil
 - Bauteilflächen
 - Luftwechselrate (Standardwert 0,4/h)
 - Luftwechselrate bei Querlüftung
 - Luftdichtheit (n50-Wert)
 - Wärmerückgewinnung durch Lüftungsanlagen
 - Sonnenschutz: Schwellwert für Betätigung, Reduktion der Einstrahlung
 - Heizflächen an Außenbauteilen
 - Minimale Raumtemperatur
 - Maximale Raumtemperatur für Heizen
 - Maximale Raumtemperatur (für Einschaltung der Kühlung, Querlüftung)
 - Minimale Raumtemperatur für Kühlen, Querlüftung
- Berechnungsfeatures:
 - Ermittlung U-Werte
 - Berücksichtigung der Leckluft
 - Einfluss von Windstärke und Außentemperatur auf Luft-Infiltration
 - Ermittlung Energiekennzahl, Heizlast, Heizwärmebedarf ohne/mit Solaranlage
 - Einfache Ermittlung Erdtemperatur
 - Berücksichtigung von Benutzerverhalten (parametrierbar): Sonnenschutzes, Querlüftung
 - Ermittlung des Kühlenergiebedarfs (je nach Parametrierung)

Solarthermie-Simulation:

- Eingabeparameter:
 - Art der Anlage: WW-Bereitung / teilsolare Raumheizung / solares Kühlen
 - Kollektorfläche: Größe und Orientierung
 - Kollektordatenwirkungsggradkennlinie
 - Speicher: Volumen, Dämmung
 - Leistungsaufnahme Umwälzpumpe

- Regelparameter: Differenztemperatur, Solltemperatur Warmwasser, Maximaltemperatur, Heizkurve (Heizungsunterstützung), Mindesttemperatur (Kühlen), COP (Kühlen)
- Berechnungsfeatures:
 - Berücksichtigung der Kaltwasserzulauftemperatur (aus Wetterdaten ermittelt)
 - Berechnung von Kollektorerträgen
 - Ermittlung des Strombedarfs für Umwälzpumpe
 - Speicherverluste
 - Kälteerträge
 - Verteilverluste
 - Verwertung solarer Überschüsse für Heizen über die Solltemperatur („Heizen auf Vorrat“ - einstellbar)
 - Möglichkeit zur Verwertung solarer Überschüsse für Kühlen unter die Solltemperatur („Kühlen auf Vorrat“ - einstellbar)

Photovoltaik-Simulation:

- Eingabeparameter:
 - Wirkungsgrad
 - Temperatureinfluss (NOCT)
- Berechnungsfeatures:
 - Erwärmung der Module durch Sonneneinstrahlung
 - Berechnung Stromerträgen

Wärmepumpen-Simulation:

- Eingabeparameter:
 - Bauart: Erde / Luft
 - Parameter zur Leistungsziffermodellierung
 - Solltemperaturen für Warmwasser und Heizung (Heizkurve)
- Berechnungsfeatures:
 - Berücksichtigung eventueller aktiver Solarerträge
 - Dynamische Berechnung der Leistungsziffer in Abhängigkeit von Quelltemperatur und Abgabetemperatur
 - Ermittlung des Strombedarfs für Warmwasserbereitung, Heizung

9.2 Grundlagen für Energiekostenberechnung

Tabelle 22: Weitere kalkulatorische Parameter für eine 5kWp-Photovoltaikanlage

Anschaffungskosten inkl. UST	12.375	€
Förderung	3.200	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Wechselrichter	2.160	15
Verkabelung	690	25
Fixe Kosten: Instandhaltung, Versicherung:		
Zählermiete	28	€/a
spez. Kosten für Wartung, Versicherung	10	€/kWp/a
spezifischer Ertrag	1018	kWh/kWp/a
Degradation	0,25%	/a

Tabelle 23: Weitere kalkulatorische Parameter für eine 10kWp-Photovoltaikanlage

Anschaffungskosten inkl. UST	22.410	€
Förderung	0	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Wechselrichter	4.032	15
Verkabelung	1.200	25

Fixe Kosten: Instandhaltung, Versicherung:		
Zählermiete	28	€/a
spez. Kosten für Wartung, Versicherung	10	€/kWp/a
spezifischer Ertrag	1018	kWh/kWp/a
Degradation	0,25%	/a
Einspeisetarif	0,276	€/kWh
Laufzeit	13	a

Tabelle 24: Weitere kalkulatorische Parameter für eine 12,8kWp-Photovoltaikanlage

Anschaffungskosten inkl. UST	28.109	€
Förderung	0	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Wechselrichter	4.792	15
Verkabelung	1.536	25
Fixe Kosten: Instandhaltung, Versicherung:		
Zählermiete	28	€/a
spez. Kosten für Wartung, Versicherung	10	€/kWp/a
spezifischer Ertrag	1018	kWh/kWp/a
Degradation	0,25%	/a
Einspeisetarif	0,276	€/kWh
Laufzeit	13	a

Tabelle 25: Kalkulatorische Parameter für eine 5m² thermische Solaranlage

Kollektorfläche	5	m ²
Gesamtkosten inkl. UST	7.560	€
Speichergutschrift (ist bei Heizanlage eingerechnet)	1.400	€
Förderung	1.300	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Umwälzpumpe, Regelung, Frostschutz, ADG, Speicheranteil	700	20
Kollektor	4.800	30
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:		
Summe	15	€/a
variable Kosten		
Strombedarf	45	kWh/a
Erträge:		
Solarertrag Warmwasser	2.202	kWh/a
Solarertrag Heizung	0	kWh/a
Solarertrag gesamt	2202	kWh/a
spez. Ertrag	440	kWh/m ² a

Tabelle 26: Kalkulatorische Parameter für eine 15m² thermische Solaranlage für teilsolare Raumheizung

Kollektorfläche	15	m ²
Gesamtkosten inkl. UST	15.480	€
Speichergutschrift	1.400	€
Förderung Basis MIT Lüftungs-WRG	2.100	
Förderung Basis OHNE Lüftungs-WRG	2.000	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Umwälzpumpe, Regelung, Frostschutz, ADG, Speicheranteil	800	20
Kollektor	10.000	30
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:		

Summe		18	€/a
variable Kosten			
Verbrauch, Erträge Blueline Basis MIT Lüftungs-WRG			
	Strombedarf	77	kWh/a
	Solarertrag Warmwasser	2.393	kWh/a
	Solarertrag Heizung	1.151	kWh/a
	Solarertrag gesamt	3544	kWh/a
	spez. Ertrag	236	kWh/m ² a
Verbrauch, Erträge Blueline OHNE Lüftungs-WRG			
	Strombedarf	87	kWh/a
	Solarertrag Warmwasser	2.297	kWh/a
	Solarertrag Heizung	1.662	kWh/a
	Solarertrag gesamt	3960	kWh/a
	spez. Ertrag	264	kWh/m ² a

Tabelle 27: Kalkulatorische Parameter für die Erdreich Wärmepumpe 5kW

Art der Wärmepumpe, Wärmequelle	Erde/Sole	
Leistung der WP	5	kW
Lebensdauer Kompressoreinheit	25.000	h
Kosten inkl. UST:		
Wärmepumpenanlage inkl. Kollektor	18.360	
Grabungsarbeiten	1.200	
Gesamtkosten	19.560	€
Förderung	2000	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Speicher	1.440	20
WP-Einheit	9.600	31
Kollektor	8.500	35
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:	70	€/a

Tabelle 28: Kalkulatorische Parameter für die Erdreich Wärmepumpe 7,2kW

Art der Wärmepumpe, Wärmequelle	Erde/Sole	
Leistung der WP	7,2	kW
Lebensdauer Kompressoreinheit	25.000	h
Kosten inkl. UST:		
Wärmepumpenanlage inkl. Kollektor	18.720	
Grabungsarbeiten	1.300	
Gesamtkosten	20.020	€
Förderung	2000	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Speicher	1.440	20
WP-Einheit	9.800	31
Kollektor	8.500	35
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:	70	€/a

Tabelle 29: Kalkulatorische Parameter für die Luft-Wärmepumpe

Art der Wärmepumpe, Wärmequelle	Luft	
Lebensdauer Kompressoreinheit	25.000	h
Kosten inkl. UST:		
Wärmepumpenanlage inkl. Kollektor	19.320	

Grabungsarbeiten	800	
Gesamtkosten	20.120	€
Förderung	2000	€
Erneuerungskosten:		Jahre
Speicher	1.440	20
WP-Einheit	9.800	18
Kollektor	8.500	35
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:	70	€/a

Tabelle 30: Kalkulatorische Parameter für die Pelletsheizung

Kesselleistung	10	kW
Lebensdauer Kompressoreinheit	25.000	h
maximale Lebensdauer	30	a
Nutzungsgrad Heizung	82%	
Nutzungsgrad WW-Nachheizung	72%	
Kosten inkl. UST:		
Pelletsheizanlage	16.560	
Lagerraum + Zimmererarbeiten	2.400	
Gesamtkosten	18.960	€
Förderung	2000	€
Erneuerungskosten:		Jahr
Speicher	1.440	20
Kessel + Raumaustragung	16.560	20
Kamin	3.000	30
Fixe Kosten: Wartung, Versicherung:	130	€/a
Strombedarf inkl. Verluste	2%	

9.3 Literatur

AEE (2010): AEE Energiedienstleistungs GmbH, Feldmessung Luft-Wasser Wärmepumpen in sanierten Einfamilienhäusern, 2010

ISE (2010): Fraunhofer ISE, Wärmepumpeneffizienz – messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb, 2010