

Realisierung eines Sonnenhauses

Schritte zum Neubau eines Sonnenhauses

1. Baugrundstück mit Südausrichtung

Bei der Auswahl eines Grundstückes muss die Möglichkeit zur Ausrichtung des Gebäudes nach Süden gegeben sein. Eine geringfügige Abweichung nach Westen oder Osten (bis 30 Grad) ist möglich. Die Solarfläche darf im Winter nicht verschattet sein – auch nicht durch eine spätere Bebauung des Nachbargrundstückes.

2. Beratung durch erfahrene Sonnenhaus-Planer

Schon zu Beginn der Planungsphase sind einige Besonderheiten zu beachten, wie zum Beispiel die Anordnung der Kollektorfläche und die Unterbringung des Speichers. Deshalb sollte bei einem ersten Informationsgespräch ein erfahrener Architekt - und gegebenenfalls auch ein Solarfachmann - über die Voraussetzungen zum Bau eines Sonnenhauses beraten. Das Sonnenhaus-Institut leistet auf Wunsch gerne Hilfestellung. Auf der Homepage des Sonnenhaus-Instituts finden Sie Planungspartner und Bauträger mit Erfahrung im Bau von Sonnenhäusern in Ihrer Region.

3. Entwurfsplanung

Der Gebäudeentwurf mit steil geneigter Kollektorfläche in Südausrichtung wird zur Erteilung der Baugenehmigung eingereicht. Nach Genehmigung geht es an die Werkplanung. Diese beinhaltet auch Berechnungen zum Dämmstandard und solaren Deckungsgrad mit entsprechenden EnEV-Nachweisen zur Beantragung von zinsgünstigen Darlehen und Fördergeldern.

4. Werkplanung und Ausschreibung

Auf Basis der genehmigten Entwurfsplanung fertigt der Architekt die entsprechenden Werkpläne zur Ausführung der Bauarbeiten an. Die Bauleistungen der einzelnen Gewerke werden in Leistungsbeschreibungen zusammengefasst und zur Angebotsabgabe an verschiedene Handwerksbetriebe ausgeschrieben. Dabei integriert die Architektur die verschiedenen Detailplanungen zu einem Sonnenhaus-Gesamtbaukonzept. Alternativ besteht die Möglichkeit Planung und Ausführung komplett über einen Bauträger abwickeln zu lassen.

5. Auswahl der Handwerksbetriebe

Zur Ausführung der Haustechnikarbeiten empfehlen wir einen Handwerksbetrieb, der heizungstechnische Erfahrung mit Hochdeckungsgrad-Solaranlagen hat oder durch einen Planer bzw. Systemanbieter mit entsprechender Erfahrung betreut wird. [Hier](#) finden Sie Partner des Sonnenhaus-Institutes in Ihrer Region.

Schritte zur Altbausolarisierung

1. Kompetente Energieberatung

Der Weg vom (K)Altbau zum Sonnenhaus führt in der Regel nur über eine konsequente energietechnische Sanierung. Dies muss mit Sachverstand und Weitblick angegangen werden.

Zu empfehlen ist eine gründliche Analyse des Ist-Zustandes von Gebäude und Heizungsanlage durch einen dafür ausgebildeten Energieberater oder Architekten. Der Bestandsaufnahme folgt eine Zusammenstellung sinnvoller Energiesparmaßnahmen mit Angabe der jeweiligen Heizkosteneinsparung und den Investitionskosten, sowie von Informationen über Förder- und Finanzierungsmöglichkeiten. Unter bestimmten Voraussetzungen wird auch die Beratung gefördert („Energiesparberatung vor Ort“).

In Erfahrung zu bringen ist auch, ob sich das Gebäude überhaupt grundsätzlich von seiner Ausrichtung und Verschattungssituation her für den Umbau zu einem Sonnenhaus eignet. Um ideale Voraussetzungen für eine steile Kollektorneigung und die Aufstellung eines Großspeichers zu schaffen, sind manchmal zusätzliche bauliche Maßnahmen erforderlich. Ansonsten sind fast immer auch Lösungen mit kleineren Solaranlagen sinnvoll umsetzbar.

2. fachgerechte Planung und Ausführung

Sowohl die Sanierungsmaßnahmen am Gebäude als auch die Umrüstung auf ein regeneratives Heizsystem müssen von erfahrenen Fachleuten geplant und ausgeführt werden. Laienhaftes „Flickwerk“ kann hier mehr Schaden als Nutzen anrichten.

Baukonzept eines Sonnenhauses und die richtige Orientierung zur Sonne

Etwa ein Drittel der Primärenergieträger (Erdöl, Erdgas, Kohle) wandeln wir in Wärme um, davon wird der größte Teil für Raumheizung und Warmwasser verwendet. Der Klimawandel und die Importabhängigkeit von fossilen Energieträgern, deren Vorräte in wenigen Jahrzehnten zur Neige gehen, zwingen zu schnellem Handeln. Weitgehend solar beheizte Wohnhäuser zeigen bereits heute, wie wir diese Herausforderung ohne Verlust an Lebensqualität meistern können. Es gilt aber nicht nur im Bauen neue Standards zu setzen, sondern auch die Energieverbräuche im Gebäudebestand drastisch zu reduzieren. Durch sinnvolle Sanierungsmaßnahmen und eine große thermische Solaranlage läßt sich der Wärmeverbrauch auf ein Drittel bis ein Viertel senken. Nur unter diesen Voraussetzungen reichen in Zukunft die Ressourcen nachwachsender Rohstoffe (wie Holz) aus um den Restenergiebedarf zu decken.

Baukonzept:



Sonnenhaus-Kriterien:

Dämmstandard(Transmissionswärmeverlust):

Neubau: HT' max. **0,28** W/m²K (entspricht Grenzwert EnEV 2009 minus 30%)

Gebäudebestand: HT' max. **0,40** W/m²K (entspricht EnEV-Neubaustandard)

Primärenergiebedarf max. **15** kWh/m²a

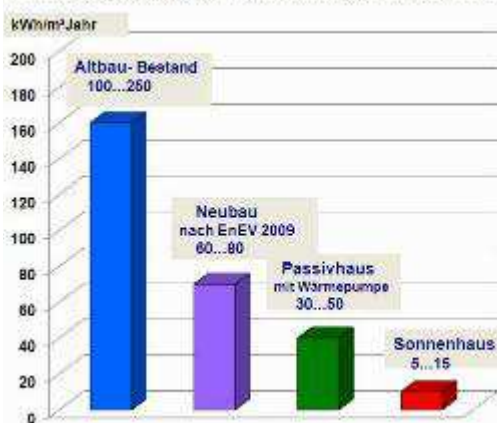
Solarer Deckungsgrad mindestens **50%**

Nachheizung möglichst **regenerativ** (Holz)

Ein steil nach Süden geneigtes Solardach und ein großer, im Wohnbereich integrierter Wassertank sind die prägenden Merkmale der Sonnenhaus-Architektur und Symbole für eine weitgehend unabhängige Energieversorgung.

Der Jahres-Primärenergiebedarf von 5 bis 15 kWh pro m² Gebäudenutzfläche unterschreitet den eines Passivhauses mit Klimakompakt-gerät etwa um das Drei- bis Vierfache.

Primärenergieverbrauch von Wohnhäusern nach ENEC



Der **Primärenergiebedarf** eines Systems umfasst zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf auch Hilfsenergien (wie elektrischen Strom für Pumpen) und die Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers benötigt wird.

Beim Sonnenhaus-Heizkonzept ist der fossile Energieeinsatz sehr gering, da die Wärme zu 100% regenerativ erzeugt wird. Zudem kommen Hocheffizienzpumpen zum Einsatz, so daß nur ein jährlicher Stromverbrauch von 200 bis 300 Kilowattstunden für Hilfsenergien anfällt.



Passive Sonnenenergienutzung:

Transparente Bauteile (Fenster, ggf. auch Wintergärten) versorgen das Gebäudeinnere mit Licht und Wärme. Sie stellen jedoch auch Wärmeverlustquellen dar, nämlich dann wenn die Sonne nicht scheint. Selbst der U-Wert von einem Dreifach-Wärmeschutzglas ist etwa viermal so hoch wie der einer gut gedämmten Außenwand. Neben der thermischen Qualität von Verglasung und Rahmen (viel Energiedurchlass bei möglichst geringem Wärmeverlust) kommt es auch auf eine adäquate Dimensionierung des Fensteranteils an der Fassade an, abhängig von der Himmelsrichtung und von der Speicherefähigkeit des Gebäudes. Um eine Überhitzung der Räume zu vermeiden, muss ein entsprechender Sonnenschutz durch Dachüberstände oder außenliegende Rollos vorgesehen werden.

Scheint die Sonne, kommt ein Sonnenhaus auch an kalten Tagen häufig ohne aktive Heizung aus. Die passive Sonnenenergienutzung konkurriert jedoch nicht mit der aktiven, weil die durch die Kollektoren geerntete Solarstrahlung im Pufferspeicher über mehrere Tage oder sogar Wochen zwischengespeichert werden kann.

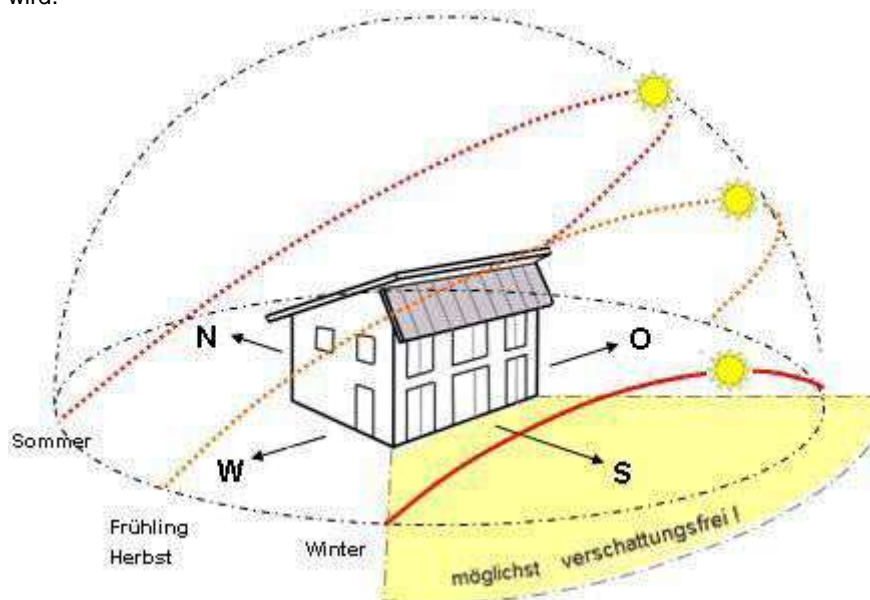
Freies Lüften über Fenster hat sich im Sonnenhaus grundsätzlich bewährt. Der Einbau einer **Lüftungsanlage** kann aus verschiedenen Gründen sinnvoll sein, ist aber aus energetischer Sicht nicht zwingend erforderlich. Der positive Effekt der Wärmerückgewinnung auf den Heizwärmebedarf wird durch den Stromverbrauch des Ventilators primärenergetisch kompensiert.

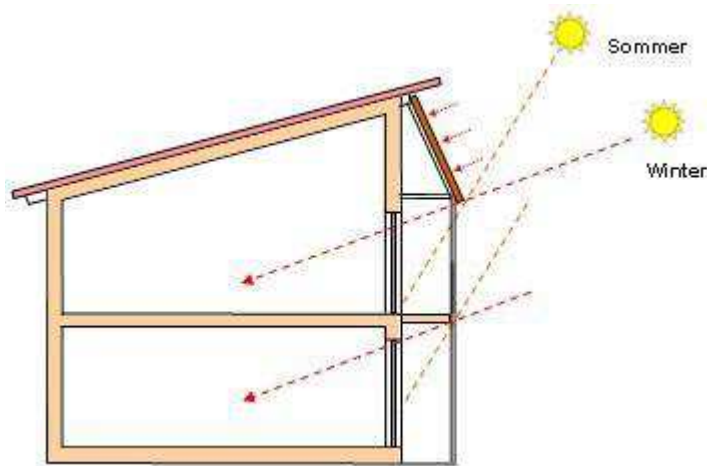
Wenn Sie sich weiter darüber informieren möchten, wie die gute Primärenergiebilanz des Sonnenhauses zustande kommt, dann erfahren Sie mehr im Kapitel Energieträger und Verbrauch.

Orientierung zur Sonne

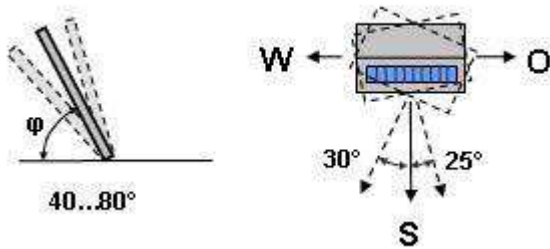
Ein Sonnenhaus "lebt" von und mit der Sonne

Eine wichtige Grundvoraussetzung für Sonnenhäuser ist eine Architektur, die zu allen Jahreszeiten dem Sonnenstand gerecht wird.





Im Winter gilt es die Sonneneinstrahlung aktiv und passiv optimal zu nutzen.
 Im Sommer wird durch konstruktive Maßnahmen eine Überhitzung des Gebäudes und der Solaranlage vermieden.



Idealerweise wird die Kollektorfläche nach Süden mit einer Neigung von 45 bis 75° ausgerichtet, um die direkte Sonnenstrahlung im Winter optimal nutzen zu können.
 Die Südabweichung sollte möglichst nicht mehr als 30° betragen.



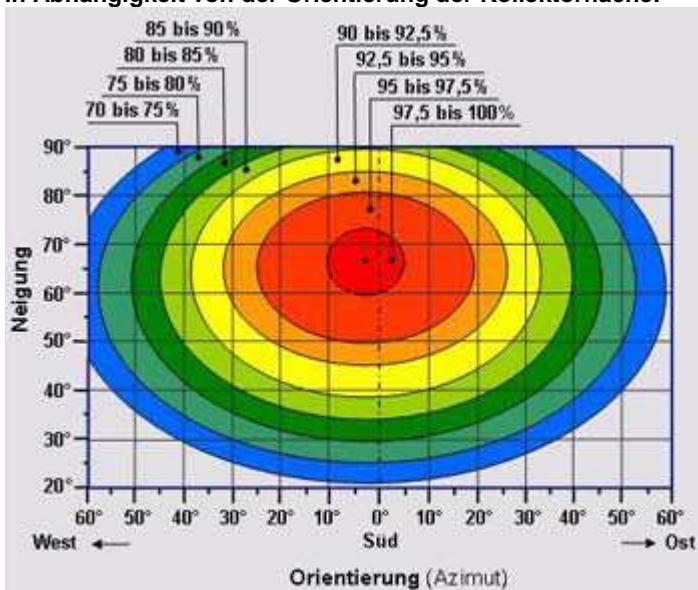
Neubau mit optimaler Anordnung der Kollektorfläche



Altbausolarisierung: durch angehobene Montage der Kollektoren auf flachen Dächern lassen sich höhere Solarerträge erzielen.
 Im Beispiel rechts wurde die Dachform verändert (Firstverlängerung).

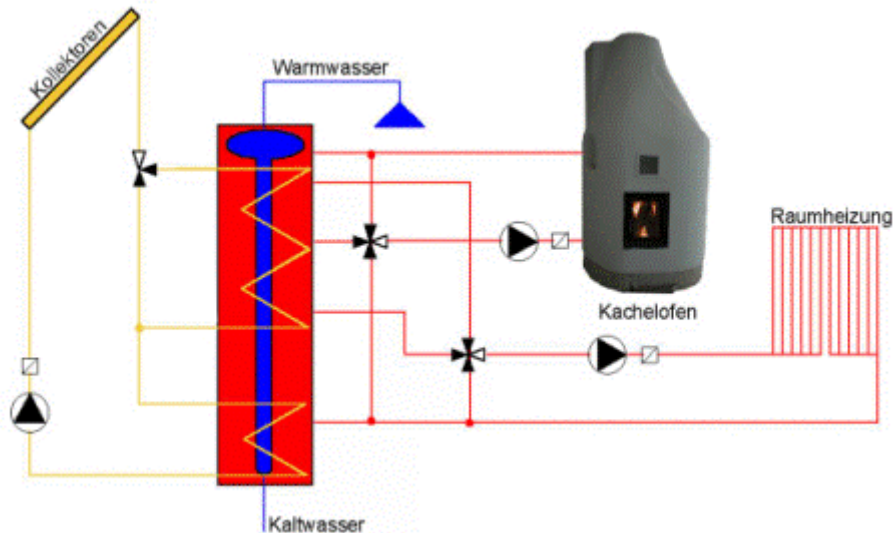


Nutzbarer Solarertrag für ein Sonnenhaus in % vom Maximum in Abhängigkeit von der Orientierung der Kollektorfläche:



Das Heizkonzept im Sonnenhaus

Der Jahres-Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasser wird im Sonnenhaus zu mehr als 50% mit einer thermischen Solaranlage gedeckt. Die Nachheizung des Pufferspeichers erfolgt ebenfalls regenerativ, zum Beispiel durch einen wohnraumbeheizten Kachelofen mit Wassereinsatz. Ein Flächenheizsystem sorgt mit seiner raumweise regelbaren Strahlungswärme für hohen Wohnkomfort bei niedrigen Heizmitteltemperaturen.



Wichtig für einen hohen Heizkomfort und Solarertrag ist eine Speicherbewirtschaftung mit guter Temperaturschichtung: Im oberen Bereich des Speichers soll warmes Wasser auf Nutztemperaturniveau zur Verfügung stehen. Unten soll der Speicher so gut und lange als möglich ausgekühlt sein, damit die Solaranlage bei niedriger Betriebstemperatur arbeitet und so einen hohen Wirkungsgrad erreicht.

So funktioniert die Sonnenheizung:

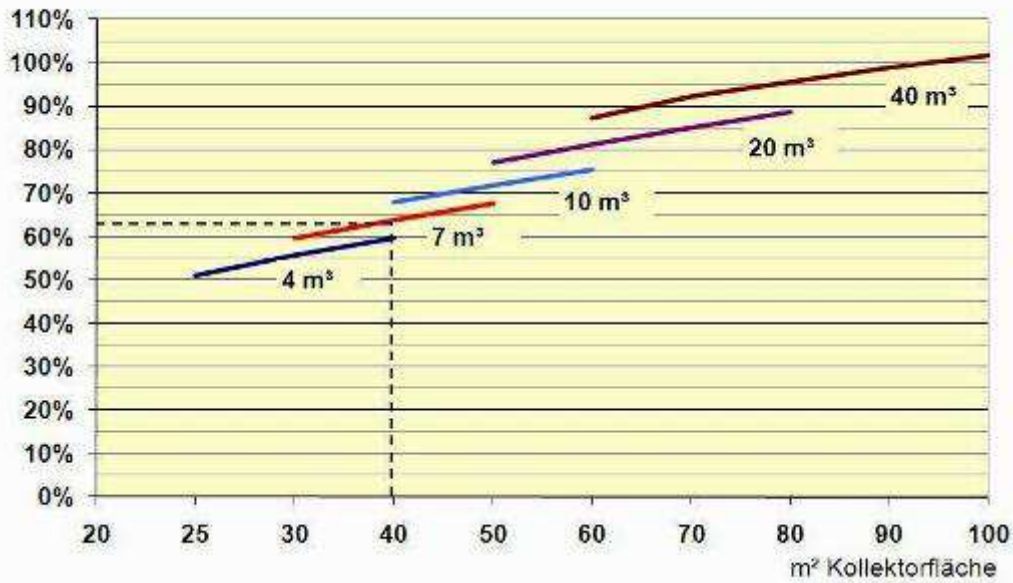
Die **Solaranlage** kann Wärme liefern, wenn die Kolleortemperatur größer wird als im unteren (kältesten) Bereich des Pufferspeichers. Eine aus Frostschutzmittel und Wasser bestehende Wärmeträgerflüssigkeit wird durch die jetzt einschaltende Pumpe im Solarkreis umgewälzt, erhitzt sich dabei im Kollektor um 10 bis 15 Grad und gibt diese Wärme über den unteren Wärmetauscher an das Wasser im Speicher ab. Wenn die Temperatur am Vorlauf höher wird als die im oberen Speicherdrittel, schaltet der zweite Wärmetauscher dazu. Nun wird der Wassertank auf ganzer Höhe bei guter Temperaturschichtung durchgeladen. Im Sommer kann Überwärme nachts durch die Kollektoren rückgekühlt werden.

Die **Entladung über den Heizkreis** wird durch einen speziellen Mischer so gesteuert, dass vorrangig der untere Speicherbereich ausgekühlt wird. Nur wenn hier die Temperatur nicht mehr ausreichend hoch ist, wird der Heißwasservorrat oben angezapft. Dort in der wärmsten Zone befindet sich auch der **Boiler** für das Brauchwasser. Durch ein langes Rohr wird das unten im Speicher einströmende Kaltwasser auf dem Weg zur Warmwasserglocke vorgewärmt.

Die **Nachheizung** durch den Ofeneinsatz oder Heizkessel erfolgt von oben nach unten. Es gilt das Wasser oben im Puffer möglichst schnell für den Gebrauch aufzuheizen. Erst dann lenkt der Vierwege-Mischer den Rücklauf in den unteren Speicherbereich um, so dass auf Vorrat weitergeheizt werden kann. Eine hohe wasserseitige Leistung und ein großer Brennstoff-Füllraum des Kessels begünstigen den Heizkomfort.

Auch andere Speicherkonzepte, die eine gute Wärmeschichtung gewährleisten, eignen sich prinzipiell gut. Fachkundige Informationen zum Thema solares Heizen erhalten Sie bei unseren [Sonnenhaus-Partnern](#) oder als Voll- oder Fördermitglied im [Loginbereich](#).

solarer Deckungsgrad in Abhängigkeit von Kollektor- und Speichergröße



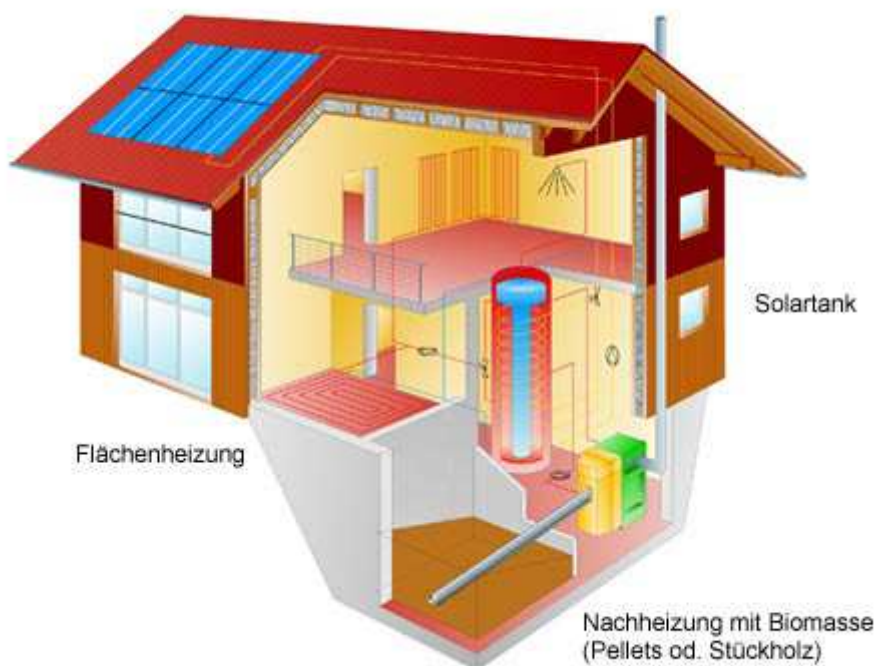
Das Diagramm wurde für folgendes Anwendungsbeispiel erstellt:
Einfamilienhaus mit 200 m² AN (Nutzfläche nach EnEV), Dämmstandard gemäß "KfW-Effizienzhaus 70", Standort Würzburg (= mittlerer Klimastandort Deutschland), Kollektorausrichtung Süd / Neigung 45°

Komponenten

Hier lesen Sie auf was es bei der Auswahl der Hauptkomponenten einer Sonnenheizung ankommt. Weitere Produktinformationen erhalten Sie bei unseren [Partnern](#) oder im Login-Bereich. Wenn Sie bei uns [Mitglied](#) werden oder die Vereinsarbeit durch einen Förderbeitrag unterstützen möchten, haben Sie dort Gelegenheit sich umfassend zu informieren.

Komponenten einer Sonnenhausheizung:

Sonnenkollektoren



1. Sonnenkollektor

Um 50 bis 80% der Wärme für ein gut gedämmtes Einfamilienhaus solar zu erzeugen, ist eine Kollektorfläche von 30 bis 70 m² erforderlich. Sie soll möglichst steil nach Süden geneigt sein, daß auch im Winter gute Erträge erzielt werden können. Am besten eignen sich Großflächenkollektoren, die als anschlussfertige Module mit dem Kran montiert werden. Sie werden vorzugsweise mit umlaufender Blecheinfassung als zusammenhängende Fläche in die Dachhaut oder Fassade integriert. Auf diese Weise wird sowohl eine ansprechende Optik als auch ein guter Witterungsschutz erreicht. Die verbleibende Dachfläche kann mit einer Photovoltaikanlage zur solaren Stromgewinnung bestückt werden.

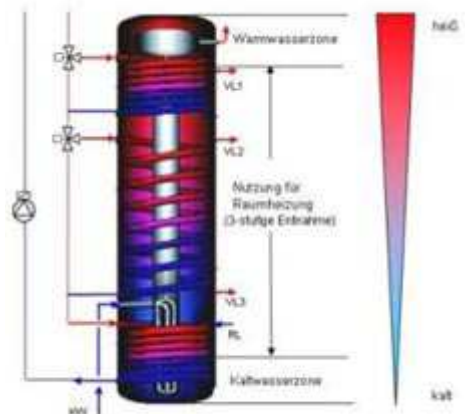


Hochleistungs-Flächenkollektor (HFK)
oben: Schnittdarstellung
rechts: Absorber (ohne Glasabdeckung)
unten: Kranmontage



2. Solarspeicher

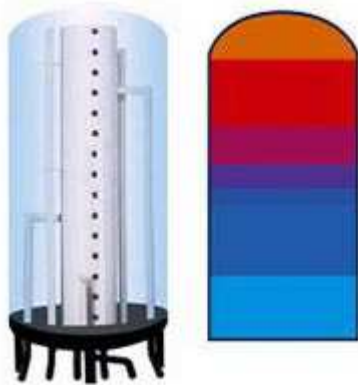
Ein großer Pufferspeicher mit integriertem Warmwasserboiler speichert die Solarwärme für Heizung und Warmwasser über mehrere Tage oder sogar Wochen. Das Speichervolumen wird bei Sonnenhäusern mit einem solarem Deckungsgrad von 50 bis 80% mit 150 bis 250 L pro qm installierter Kollektorfläche ausgelegt. Bei völlig solarbeheizten Häusern werden noch größere Speicher in der Größenordnung 40 m³ benötigt. Günstig für eine gute Temperaturschichtung ist eine schlanke Form. Bevorzugt kommen zweigeschossige Kombispeicher mit zweistufiger Be- und Entladung zum Einsatz. Die Beladung kann durch interne oder externe Wärmetauscher erfolgen. Anstelle des Innenboilers ist die Trinkwassererwärmung auch extern über eine Frischwasserstation möglich. Die Aufstellung des Speichers im Wohnbereich ermöglicht einen nahezu verlustfreien Betrieb der Solaranlage, da die Speicherabwärme voll der Raumheizung zugute kommt. Dennoch sollte die Dämmdicke der Speicherisolation möglichst 25 bis 30 cm betragen.



Eine schlanke Form und mehrstufige Be-

Kombispeicher sind in allen Größen und

und Entladung ermöglichen eine gute Temperaturschichtung.



mit variablen Einbauten erhältlich.

Schichtung bedeutet Trennung verschiedener Temperaturzonen im Speicher. Es gilt dabei eine Durchmischung dieser Zonen und die damit verbundenen „Exergie“-Verluste zu vermeiden. Der Be- und Entladevorgang ist daher elementar für eine effiziente Speicherbewirtschaftung. Speichersysteme mit integrierten Schichtladeeinrichtungen verfolgen noch konsequenter das Ziel Wärme (und Kälte) exakt in die passenden Temperaturzonen einzuschichten. Eine Vorsortierung des Solarvorlaufes in zwei verschiedene Einströmhöhen ist bei hohen Speichern zu empfehlen.



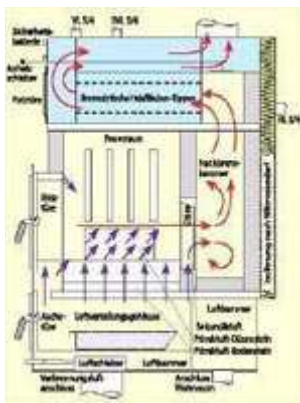
Einbringung eines Großspeichers



Speicher als Gestaltungselement im Wohnbereich

3. Nachheizung mit Biomasse

Eine Biomasseheizung (Stückholz oder Pellets) stellt die ideale Ergänzung zur Solaranlage dar. Holz ist gespeicherte Sonnenenergie und verbrennt CO₂-neutral. Bei Sonnenhäusern ist der Brennstoffbedarf sehr gering. In Kombination mit dem großen Pufferspeicher muss daher nur selten nachgeheizt werden. Als zusätzliche Wärmequelle reicht oft ein Kamin- oder Kachelofen mit Wassereinsatz. Dieser sollte eine hohe wasserseitige Leistung bei moderater Wärmeabgabe an den Raum haben. Noch mehr Komfort bietet ein Holzvergaserkessel, der einen größeren Füllraum hat, oder eine vollautomatisch arbeitende Pellet-Zentralheizung.



Der "Holzkessel im Wohnzimmer": Grundofen-Warmwassereinsatz 30 kW mit patentierter 3-Stufen-Verbrennung.



4. "Sonnenwand" - Flächenheizung

Unsichtbare Heizflächen aus Kupfer- bzw. Verbundrohrregistern in Wänden und Böden geben ihre Wärme in Form von langwelliger Strahlung gleichmäßig an den Raum ab und sorgen für ein behagliches Wohnklima. Wandheizungen sind gut regelbar und kommen mit niedrigen Vorlauftemperaturen aus. Sie sind als Unterputz-Register oder montagefertige Trockenbaupaneele erhältlich.



Freiverlegesystem aus Verbundrohr



Unterputz-Heizregister aus Kupferrohr



Heizpanelle aus Gipsfaserplatten mit rückseitig aufgebrachtem Kupferrohrregister

Vom (K)Altbau zum Sonnenhaus

Wer mit niedrigen Heizkosten komfortabel wohnen und mit Sonnenenergie unabhängig heizen will, muss deshalb nicht neu bauen. Die Mehrzahl bestehender Wohngebäude ließe sich zu vollwertigen Sonnenhäusern umrüsten. Das Ziel sollte sein, den Heizenergiebedarf durch Dämmmaßnahmen und den Einbau neuer Fenster um mindestens die Hälfte zu reduzieren und 50% des verbleibenden Gesamtwärmebedarfes mit einer Solaranlage zu decken. Die hierfür aufzubringenden Investitionen können eine Größenordnung von 120 bis 150 TSD Euro für ein Einfamilienhaus erreichen; immerhin würde ein entsprechender Neubau mehr als das Doppelte - zuzüglich Grundstück - kosten. Häufig wird auch übersehen, dass eine energetische Altbausanierung höheren Wohnkomfort und eine entsprechende Wertsteigerung des Gebäudes bedeutet. Dennoch scheuen viele Hausbesitzer den „großen Wurf“. Sie glauben durch sukzessives Stopfen von „Energielöchern“ den exponentiell anwachsenden Heizkosten entgegensteuern zu können. Ein paar Jahre lang mag diese Rechnung scheinbar aufgehen.

1. Gebäudesanierung

Der Weg vom (K)Altbau zum Sonnenhaus führt in der Regel nur über eine konsequente energietechnische Sanierung des Gebäudes. Dies muß mit Sachverstand und Weitblick angegangen werden. Nur durch einen erheblich verbesserten Dämmstandard kann mit vertretbarem Aufwand ein solarer Deckungsgrad von über 50% erzielt werden. Um ideale Voraussetzungen für eine steile Kollektorneigung und die Aufstellung eines Großspeichers zu schaffen, sind manchmal zusätzliche bauliche Maßnahmen erforderlich.

2. Ausrichtung der Kollektoren

Wie beim Neubau darf die Kollektorfläche bis zu 30 Grad nach Westen oder Osten abweichen. Eine Neigung von mindestens 35 Grad, möglichst 45-60 Grad wäre gut um die Wintersonne besser nutzen zu können und zu hohe Temperaturen im Sommer zu vermeiden. Wenn das Dach diese Voraussetzungen nicht erfüllt, gibt es die Möglichkeit Kollektoren aufzuständern, an einer verschattungsfreien Südfassade oder auf einem Nebengebäude anzubringen.

3. Einbau eines Pufferspeichers

Zur Speicherung der Sonnenwärme wird ein möglichst großer Solartank gebraucht. Hier sind im Altbau durch die gegebenen Platzverhältnisse (Raumhöhe, Türbreiten) meist Grenzen gesetzt. Deshalb werden häufig platzgeschweißte Pufferspeicher eingebaut, die in Einzelteilen angeliefert und vor Ort zusammengeschweißt werden. Die mögliche Einbaugröße des Pufferspeichers bestimmt i.d.R. die mögliche Dimensionierung der Solaranlage. Weniger empfehlenswerte Alternativen sind die Aneinanderreihung mehrerer kleinerer Speicher, das Vergraben des Speichers im Erdboden oder die Unterbringung in einem unbeheizten Anbau.

4. Niedertemperaturheizung

Je niedriger die Heiztemperatur umso höher der Solarertrag! Ideal für Wohnkomfort und Solarertrag ist eine Flächenheizung. Wandheizungen können eher nachgerüstet werden als Fußbodenheizungen und sind außerdem ein gutes Mittel gegen feuchte Mauern. Doch auch eine vorhandene Heizkörperheizung kann durch die nachträgliche Wärmedämmung der Außenhaut und den Einbau neuer Fenster auf niedrigerem Temperaturniveau betrieben werden.

5. Nachheizung mit Biomasse

Für die Nachheizung des Pufferspeichers bieten sich – je nach Wärmebedarf des Gebäudes, Investitionsbereitschaft und Komfortbedürfnis der Bewohner verschiedene Möglichkeiten an. Zum Beispiel kann die vorhandene Ölheizung durch eine ebenfalls vollautomatisch betriebene Holzpellet-Zentralheizung ersetzt werden, wobei der Tankraum als Brennstofflager genutzt wird. Alternativ bietet sich ein Holzvergaserkessel an. Bei gutem Dämmstandard kommen auch wohnraumbeheizte Pellet- oder Stückholzöfen mit Wassereinsatz in Betracht.

Beispiel: Sanierung eines Zweifamilienhauses mit Einbau einer großen Solaranlage



Fotos: Architekt Dirschedl



Fotos: Architekt Dirschedl

Vom (K)Altbau....

Gesamtverbrauch vorher:

6.000 L Heizöl gemittelt auf 10 Jahre.



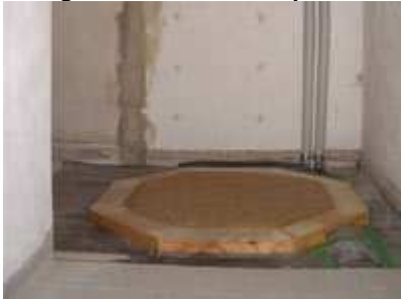
....zum Sonnenhaus

Gesamtverbrauch nachher:

1.200 L Heizöl oder
6 Raummeter Buchenholz oder
2.400 kg Pellets.



Platzgeschweißter Solarspeicher im Altbau-Keller:



Photos Architekt Dirschedl

Energieträger und Energieverbrauch

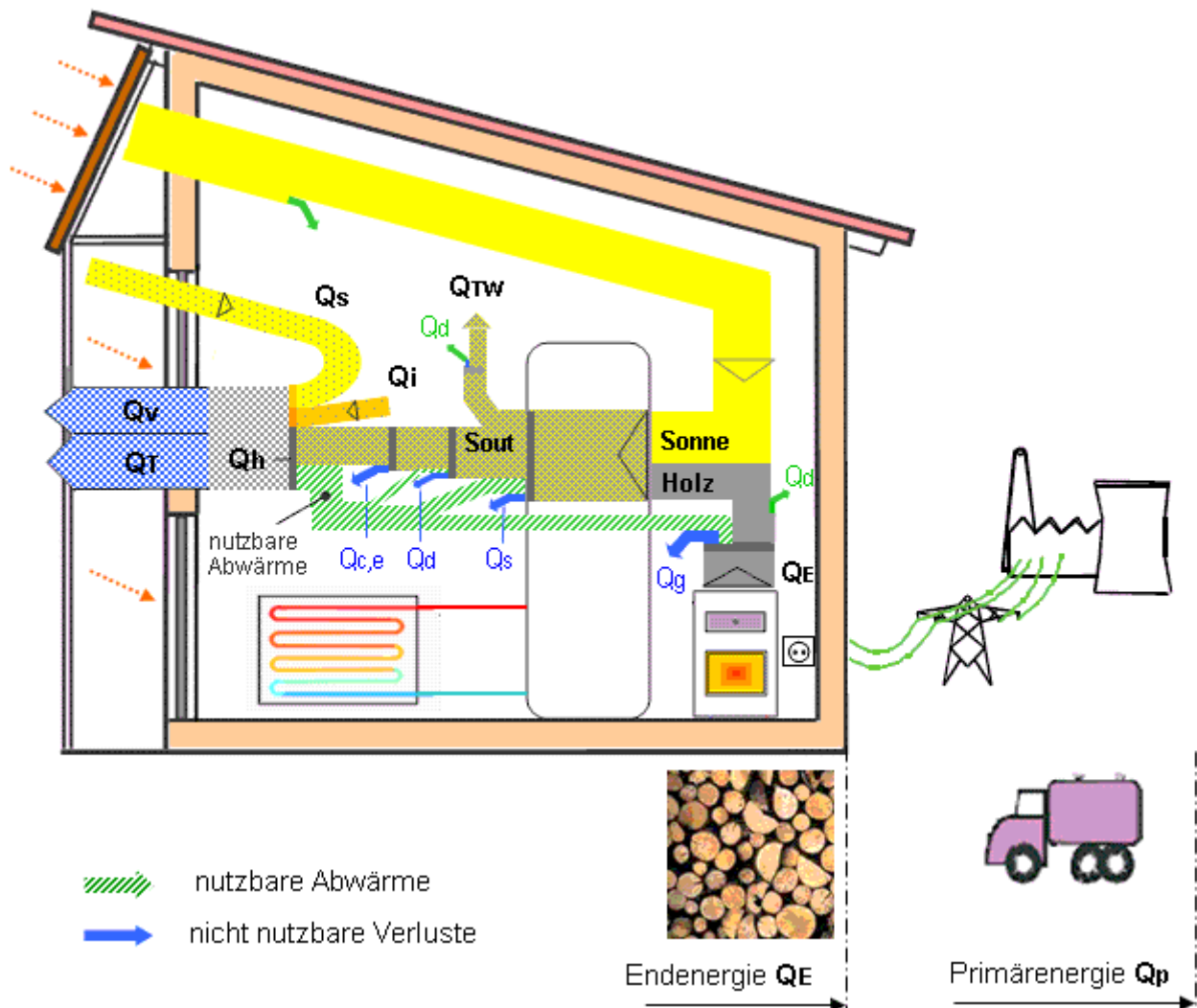
Auf dieser Seite erfahren Sie viel Wissenswertes zu den Themen:
**Energieeffizienz von Wohngebäuden und Heizungsanlagen,
 Primärenergieverbrauch und Heizkosten verschiedener Baustandards.**

Wir haben versucht die komplexen Zusammenhänge vereinfacht und dennoch in Anlehnung an aktuelle Normen darzustellen. Leider können wir Ihnen eine Auswahl wichtiger Begriffe aus der Energieeinsparverordnung (EnEV) nicht ersparen. Wenn Sie bauen oder sanieren, werden Sie im Zusammenhang mit KfW-Förderanträgen und bei der Ausstellung des künftig geforderten Energiepasses mit einigen dieser Kennwerte zu tun haben.

Energiebilanz im (Sonnen)haus

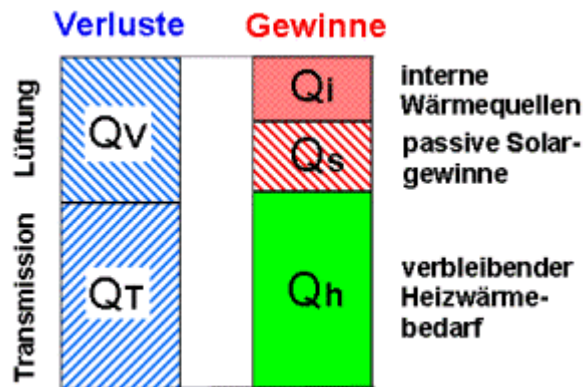
Will man die energetische Qualität eines Wohngebäudes beurteilen kommt es auf drei Kriterien an: den Dämmstandard des Gebäudes, die zum Einsatz kommenden Energieträger und die Effizienz der Anlagentechnik. Alles zusammengenommen drückt sich im spezifischen **Primärenergiebedarf** (pro m^2 und Jahr) aus.

Wegen besserer Vergleichbarkeit werden Energiekennwerte auf die beheizte Gebäudenutzfläche bezogen, was sich in dem Wort „spezifisch“ ausdrückt. Abweichend von dem landläufigen Begriff „Wohnfläche“ wird die Gebäudenutzfläche in der EnEV (Energieeinsparverordnung) aus dem beheizten Gebäudevolumen V_e ermittelt: $AN = 0,32 \times V_e$.



1. Gebäude: Wärmebilanz und Energie- Kennwerte

Da man bei der Gebäudesubstanz von einer Nutzungsdauer über mehrere Generationen ausgehen kann, soll dem wärmetechnischen Zustand der Gebäudehülle – bei Neubauten, wie auch bei Sanierungen im Bestand - vorrangige Bedeutung beigemessen werden. Eine hierfür aussagekräftigste Größe ist der **spezifische Jahresheizwärmebedarf q_h** (in $\text{kWh/m}^2\text{a}$), auch Gebäude- **Energiekennzahl** genannt.



Der Heizwärmebedarf Q_h (kWh/a) bezeichnet die Wärme, die den beheizten Räumen das Jahr über zugeführt werden muss, um die gewünschte Solltemperatur (20 °C) sicherzustellen. Er wird aus der Bilanz von Wärmeverlusten und –gewinnen ermittelt, ohne jedoch die Anlagentechnik zu berücksichtigen. Zur Deckung des Heizwärmebedarfs trägt auch die Abwärme des Holzofens, des Speichers und der Verteilungen bei, soweit sie sich innerhalb der gedämmten Hülle befinden. Bei Einfamilien-Sonnenhäusern ohne Lüftungsanlage beträgt der auf die Nutzfläche bezogene spezifische Heizwärmebedarf etwa $40\text{ kWh/m}^2\text{a}$ oder weniger.

Die Heizwärmeverluste setzen sich wie folgt zusammen:

Transmissionswärmeverlust Q_T (kWh/a): Wärme-Durchgangsverlust durch die thermische Hülle des Gebäudes (Außenwände, Fenster, Türen, Decken, Fußböden, Dächer). Der maßgebliche Kennwert für die Wärmedämmqualität eines Bauteils ist der **Wärmedurchgangskoeffizient U** ($\text{W/m}^2\text{K}$), besser als „U-Wert“ bekannt. Der über die gesamte Gebäudehüllfläche gemittelte U-Wert, bezeichnet als „spezifischer Transmissionswärmeverlust HT' “ ($\text{kWh/m}^2\text{a}$)“ ist die - in der EnEV einzuhaltende - Bezugsgröße für den Dämmstandard des Gebäudes.

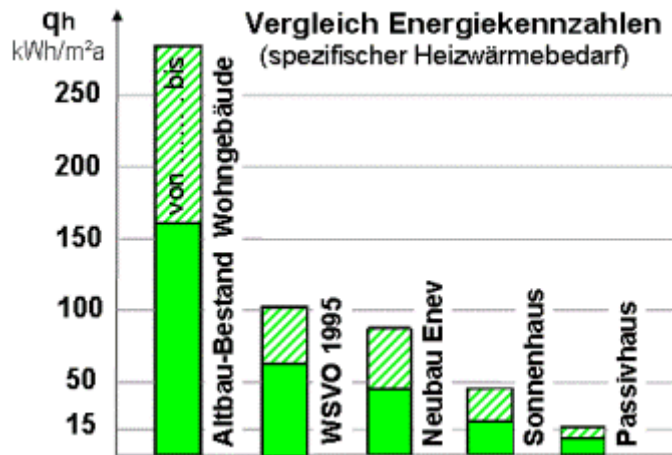
Lüftungswärmeverlust Q_v (kWh/a): Wärmeverlust, der durch den Austausch von verbrauchter Raumluft mit kalter Frischluft von außen entsteht. Er ist abhängig vom Gebäudevolumen und der Luftwechselzahl. Diese wird nach EnEV bei freier Fenster-Lüftung mit $0,6/h$ (= $0,6$ -facher Luftwechsel pro Stunde) angenommen. Der Anteil der Fugenlüftung durch undichte Bauteile soll möglichst gering sein, nicht zuletzt um Bauschäden durch kondensierende Kaltluft zu vermeiden. Überprüfen lässt sich das durch einen sogenannten „Blower-Door-Test“ (Dichtheitsprüfung). Bei Verzicht auf die Dichtheitsprüfung wird ein Luftwechsel von $0,7$ für die Berechnung angesetzt. Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung reduzieren den Lüftungswärmeverlust erheblich – je nach Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung.

Die Heizwärmegewinne werden gegenbilanziert:

Solare Gewinne Q_s (kWh/a): Ertrag aus der passiven Sonnenenergienutzung über transparente Flächen eines Gebäudes (Fenster, Fenstertüren, Verglasungsflächen). Die Sonneneinstrahlung bewirkt eine Erwärmung der hinter der Verglasung befindlichen Raumflächen und –luft und führt dadurch zur Einsparung von Heizwärme. Im Monatsbilanzverfahren der EnEV können diese separat für jeden Monat unter Berücksichtigung eines Ausnutzungsfaktors und in Abhängigkeit der Orientierung der Glasflächen ermittelt werden.

Interne Wärmegewinne Q_i (kWh/a): Wärmegewinne infolge Betrieb elektrischer Geräte, künstlicher Beleuchtung, durch Körperwärme der Bewohner sowie durch Verluste des Wärmeversorgungssystems. Pauschal werden hierfür in der EnEV $5\text{ kWh/m}^2\text{a}$ Watt pro q_m Nutzfläche angesetzt.

Insgesamt setzt sich der **Nutzwärmebedarf** eines Wohngebäudes aus dem Heizwärmebedarf Q_h und dem **Trinkwarmwasserwärmebedarf Q_{TW}** zusammen. Dieser wird nach EnEV mit pauschal $12,5\text{ kWh}$ pro q_m beheizter Nutzfläche angesetzt. Bei Sonnenhäusern werden diese beiden Werte zur Bestimmung des solaren Deckungsgrades in ein Solarsimulationsprogramm übertragen.



Mit den steigenden Energiepreisen sind auch die Anforderungen an den Heizwärmebedarf von Gebäuden im Laufe der Jahre gestiegen. Der vorläufige Endpunkt dieser Entwicklung ist das Passivhaus mit einem geforderten Energiekennwert von maximal 15 kWh pro qm Wohnfläche und Jahr. Dies wird durch eine hochwärmegeämmte, luftdichte und wärmebrückenfreie Gebäudehülle erreicht, wobei der Luftwechsel generell über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung erfolgt. Eine Annäherung an diesen hohen Dämmstandard ist auch bei Sonnenhäusern möglich und insbesondere bei 100% solar versorgten Gebäuden sinnvoll. In jedem Fall sind aber auch Sonnenhäuser mit höherem Heizwärmebedarf dank aktiver Sonnenenergienutzung sehr sparsam zu beheizen.

2. Energieträger für Heizung und Warmwasser

Elektrischer Strom ist für Haushaltsgeräte und Beleuchtung, aber auch für Antriebe, Pumpen, Ventilatoren und Regelkomponenten der Anlagentechnik unverzichtbar. Dort sollte er als Hilfsenergie so sparsam als möglich eingesetzt werden. Als Energieträger zum Heizen jedoch ist elektrischer Strom viel zu kostbar: Pro Kilowattstunde, die an der Steckdose ankommt, müssen mehr als 3 Kilowattstunden Primärenergie aufgewendet werden. Erst mit zunehmendem Anteil der erneuerbaren Energien und der Kraft-Wärmekopplung an der Stromversorgung wird sich dieses Verhältnis Nutzenergie zu "grauer Energie" günstiger darstellen. Ein übermäßiger Stromeinsatz für die Gebäudeheizung - u.a. durch vermehrten Einsatz von elektrisch betriebenen Wärmepumpen - würde zudem das Stromnetz einseitig im Winterhalbjahr auslasten, mit der Folge, dass der Kraftwerkspark wesentlich erweitert werden müsste und die Strombezugspreise drastisch steigen. Energieträger werden in der EnEV mit dem sogenannten **Primärenergiefaktor f_p** bewertet, der auch den fossilen Rohenergieeinsatz außerhalb der "Systemgrenze Gebäude" miteinbezieht. Er beträgt für elektrischen Strom 2,7, für Heizöl und Gas 1,1, für Holz 0,2 und für die direkte Sonnenenergienutzung 0. In der **Anlagenaufwandszahl e_p** werden darüber hinaus auch die Verluste der Anlagentechnik berücksichtigt. Lesen Sie mehr darüber im Kapitel ["Heizsysteme"](#).

3. Effizienz der Heizungsanlage und elektrische Hilfsenergien

Früher hat man in der Normung die Energieeffizienz der Anlagentechnik mit „Nutzungsgraden“ ausgedrückt als dem Verhältnis Nutzenergie zu Energieaufwand. Heute spricht man von „**Aufwandszahlen**“, was nichts anderes bedeutet, als die Umkehrung dieses Verhältnisses. Also liegt beispielsweise der Verlustanteil eines Systems mit Aufwandszahl 1,2 bei 20%. **Verluste** entstehen bei der **Wärmeerzeugung** (Q_g), **-speicherung** (Q_s), **-verteilung** (Q_d) und **-übergabe** an den Raum ($Q_{c,e}$) - und das sowohl bei der Heizung und Lüftungstechnik, als auch bei der Trinkwassererwärmung. Für die Gesamtenergiebilanz müssen sowohl diese Einzelverluste in Form von Aufwandszahlen, als auch die benötigten elektrischen Hilfsenergien einzeln erfasst werden. Hierzu sieht die EnEV verschiedene, zum Teil vereinfachte Verfahren vor. Anzumerken ist, dass beim Sonnenhauskonzept der nicht nutzbare Anteil dieser Verluste verhältnismäßig gering ausfällt, soweit sich alle Komponenten innerhalb des beheizten Wohnbereiches befinden.

Ein effizientes Heizsystem setzt zusammengefasst folgende Kriterien voraus:

- (Biomasse-)Heizkessel: hoher feuerungstechnischer Wirkungsgrad und Kombination mit Wärmespeicher
- Regelungstechnik: witterungsgeführte Regelung der Heizmittel-Vorlauftemperatur, optimiertes Speichermanagement zur Erhaltung einer guten Temperaturschichtung, Einzelraumregelung der Flächenheizung
- Gute Wärmedämmung des Wärmeerzeugers, des Speichers und der Rohrleitungen inklusive Armaturen
- Lage von Wärmeerzeuger, Speicher und Verteilung möglichst innerhalb des beheizten Bereiches
- Verzicht auf Warmwasserzirkulation (wenn möglich)
- Niedertemperatur-(Flächen-)heizsystem: niedrigere Raumtemperatur durch Strahlungswärme, weniger Wärmeverluste bei Verteilung und Speicherung, bessere Ausnutzung des Pufferspeichers und der Solaranlage
- Pufferspeicher: ein Muss für Solaranlage und Stückholzfeuerungen, ein SOLL für automatisch arbeitende Kessel, weil dadurch die Zahl der Brennerstarts verringert wird. Im Sonnenhaus soll das Speichervolumen mindestens 150 L pro qm Kollektorfläche betragen. Effiziente Heizsysteme basierend auf erneuerbaren Energiequellen sind nur mit ausreichend bemessenen Wärmespeichern möglich.
- Einsatz von Hocheffizienzpumpen und stromsparender Hilfsantriebe. Der gesamte Stromverbrauch für die Anlagentechnik in einem Einfamilien-Sonnenhaus sollte im Jahr 300 kWh nicht wesentlich überschreiten.

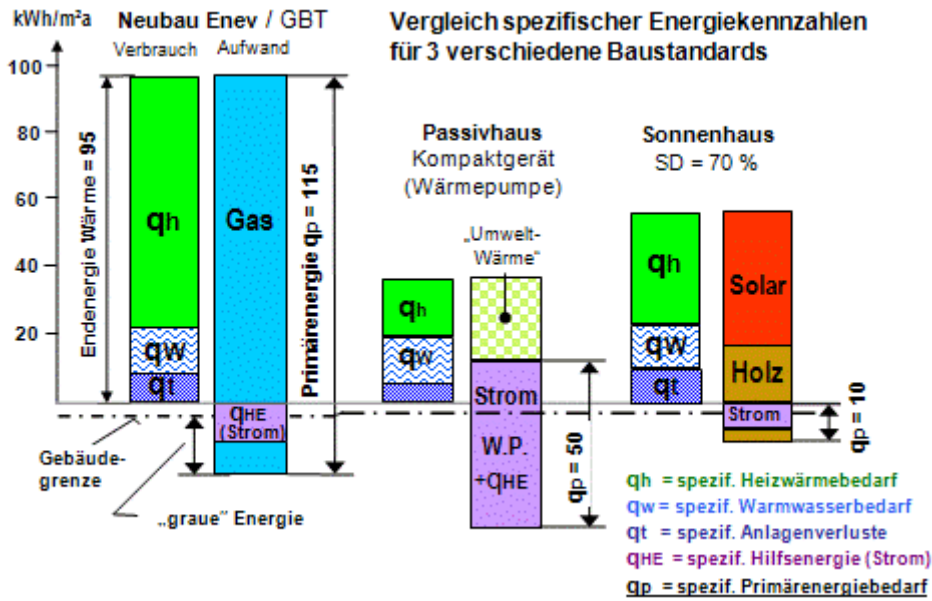
4. Gesamt-Energiebilanz Gebäude und Heizungsanlage

Sie lässt sich darstellen als das Produkt von Nutzenergiebedarf (Heizung + Warmwasser) und Anlagenaufwandszahl:

$$\text{Primärenergiebedarf } Q_p = (Q_h + Q_w) \times e_p$$

Im folgenden Diagramm werden drei Baustandards für Einfamilienhäuser verglichen:

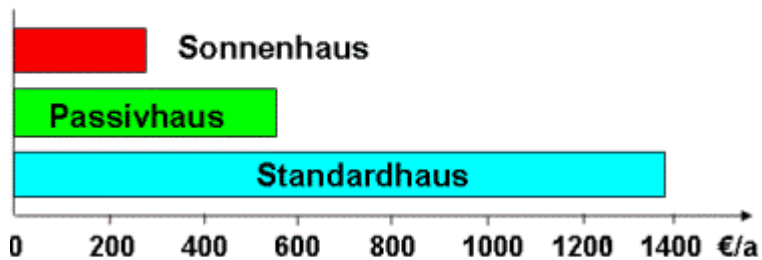
1. Neubau mit Mindestdämmstandard nach Energieeinsparverordnung / Gas-Brennwerttherme
2. Passivhaus / Lüftungskompaktgerät mit integrierter Wärmepumpe, Spitzenlastabdeckung direkt elektrisch
3. Sonnenhaus mit Dämmstandard KfW-Effizienzhaus 70 / Heizsystem: Solaranlage (70%) und Holzfeuerung (30%)



Im Vergleich zum Passivhaus, das über ein Lüftungs-Kompaktgerät beheizt wird, verbraucht das Sonnenhaus - trotz etwa doppelt so hohem Heizwärmebedarf - nur etwa ein Fünftel bis ein Viertel an Primärenergie, im Vergleich zum Standardhaus sogar weniger als ein Zehntel! Dies wurde auch durch die Ergebnisse einer vom Sonnenhaus-Institut beauftragten Diplomarbeit bestätigt.

5. Heizkostenvergleich :

Heizkostenvergleich verschiedener Baustandards

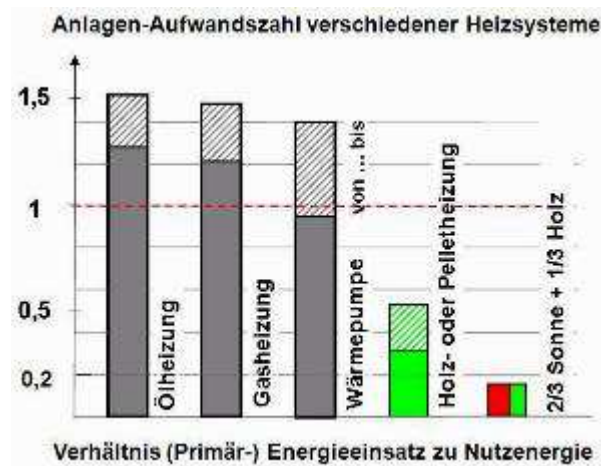


Heizsysteme

In diesem Kapitel erläutern und vergleichen wir Heizsysteme, die für Wohnhäuser in Minimalenergiebauweise in Betracht kommen.

Was ist der Unterschied zwischen einem **Sonnenhaus** und einem **Passivhaus**? Diese Frage wird sehr häufig gestellt, weil diese beiden Begriffe Erwartungen wecken, die hinterfragt werden müssen. Kommt in einem „Sonnenhaus“ die Energie wirklich nur von der Sonne? Kann in einem „Passivhaus“ wirklich auf ein aktives Heizsystem ganz verzichtet werden? Und wenn das so ist, verbraucht ein Passivhaus also keinerlei fossile Energie?

Für die Beantwortung dieser Fragen ist es nötig sich mit dem Begriff „Energieverbrauch“ genauer auseinander zu setzen. Es genügt dabei nicht nur den Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser zu betrachten, so wie er am Gas- oder Stromzähler abzulesen ist. Nehmen wir beispielsweise die Energiebilanz einer elektrisch betriebenen **Wärmepumpe**, hängt es entscheidend davon ab innerhalb welcher Systemgrenzen wir diese betrachten, nämlich ob diesseits oder jenseits der Steckdose.



Die **Anlagenaufwandszahl ep** beschreibt die Gesamteffizienz eines Heizsystems unter Berücksichtigung der zum Einsatz kommenden Energieträger (inklusive Hilfsenergien):

$ep = \text{Verhältnis Primärenergieeinsatz zu Nutzenergie}$

Nur Heizsysteme auf regenerativer Basis können daher Aufwandszahlen unter 1 erreichen, nach dem Motto "wer Energie sät, sollte mehr davon ernten".

Der **Primärenergiebedarf** eines Systems umfasst zusätzlich zum eigentlichen Energiebedarf auch Prozessketten außerhalb der Systemgrenze, zum Beispiel die Verluste im Kraftwerk bei der Erzeugung von elektrischem Strom.

Desweiteren gehen die Einzelverluste der Anlagentechnik mit ein, insbesondere die Aufwandszahl (bzw. der Nutzungsgrad) des Wärmeerzeugers.

Vergleich Solarthermie - Wärmepumpe gewonnene Nutzwärme für 1kWh Stromeinsatz



Die direkte Umwandlung der Energie von Sonnenstrahlen in Wärme ist die "reinste" Form der regenerativen Energieerzeugung und verursacht keinerlei Emissionen.

Pro Kilowattstunde Stromeinsatz für die Umwälzpumpe kann mit Hilfe der Sonne etwa 100 kWh Nutzwärme gewonnen werden. Damit ist die "Jahresarbeitszahl" einer thermischen Solaranlage etwa 25-mal besser als die einer elektrisch betriebenen Wärmepumpe.

Passivhaus – Heizkonzept

Die Grundidee des Passivhauses ist ein Gebäude so gut zu dämmen, dass es alleine durch die Fenster (passive Sonnenenergienutzung) und innere Wärmequellen beheizt werden kann. Ein extrem niedriger Heizwärmebedarf (maximal 15 kWh/m²a) steht also im Mittelpunkt des Passivhaus-Konzeptes. Die Voraussetzung für einen minimalen Transmissionswärmeverlust ist ein hoher Materialaufwand bei der Dämmung der Gebäudehüllflächen (ca. 30 cm Isolation), optimierte „Superfenster“ und eine wärmebrückenfreie, luftdichte Baukonstruktion. Die Lüftungswärmeverluste werden durch die Wärmerückgewinnung einer Lüftungsanlage auf ein Minimum reduziert. Mit Ausnahme des mit Strom betriebenen Ventilators für die Lüftungsanlage handelt es sich bis hierher

um rein passive Elemente. Zusammenfassend könnte man das Passivhaus also als verlustminimiertes Gebäude mit optimierter passiver Sonnenenergienutzung bezeichnen. Ganz ohne aktive Zuführung von Heizenergie kommt aber ein Passivhaus in der Praxis dann doch nicht aus, wenn in den Wohnräumen und im Bad höhere Temperaturen als 20 °C garantiert werden sollen. Auch reicht in den meisten Fällen der Wärmeträger Luft allein nicht zur Beheizung aus; das heißt, es müssen in den Räumen stellenweise wasserführende Heizflächen oder Elektroheizkörper vorgesehen werden. In jedem Fall muss auch der Energiebedarf für die Warmwasserbereitung voll *aktiv* gedeckt werden.

Angesichts der höheren Baukosten und des sehr geringen Heizwärmebedarfes stellt sich beim Passivhaus letztendlich die Frage nach einem wirtschaftlich vertretbaren Investitionsaufwand für das Heizsystem. Jeder handelsübliche Heizkessel wäre zudem für eine Heizlast von ca. 2 kW überdimensioniert. Da das Konzept üblicherweise keinen großen Wärmespeicher wie beim Sonnenhaus vorsieht, ist zwar der **Einsatz regenerativer Energiequellen** (Biomassekessel / solare Heizungsunterstützung) prinzipiell möglich, jedoch nur eingeschränkt und weniger effizient. Weil passive und aktive Sonnenenergienutzung zeitgleich konkurrieren, macht eine thermische Solaranlage im Grunde nur für die Brauchwasserbereitung wirklich Sinn. Insbesondere ist die Übertragung von Solarenergie auf den Wärmeträger Luft weit weniger effizient als auf ein wasserführendes Flächenheizsystem.

Gasheizung

Gas weist in Verbindung mit Brennwertechnik von allen fossilen Brennstoffen noch die günstigste Primärenergiebilanz und die geringsten Emissionen bei der Verbrennung auf. Leider machen die Anschlusskosten und die Grundgebühr für die Gasversorgung schon einen großen Teil der jährlichen Heizkosten beim Passivhaus aus. Eine Alternative sind kleine Gasthermen, die mit Flüssiggasflaschen betrieben werden. Die benötigte Gasmenge ist sehr gering, so dass über den Winter kein Austausch der Flaschen erfolgen muss. Außerdem entfallen die Kosten für den Anschluss und die Miete des Zählers. Das Gas aus den Flüssiggasflaschen kann auch zum Kochen verwendet werden. Bei der Gasheizung ist ein (kleiner) Pufferspeicher notwendig, der die Zuluft der Lüftung über ein Warmwasser-Heizregister erwärmt. Die Kombination von Flaschengas, kleiner Heiztherme, Warmwasserspeicher und Warmwasser-Heizregister ist eine vergleichsweise preiswerte, wartungsarme und bequeme Technik. Ergänzend wäre natürlich eine thermische Solaranlage *ökologisch* sinnvoll.

Pelletheizung

Für ein Passivhaus ist die Pellet-Heizung eigentlich schon zu leistungsstark. Ein im Wohnbereich aufgestellter Zentralheizungsofen kommt nur bei offener Bauweise in Betracht, da dessen Abwärme sonst zur Überhitzung der Raumluft führen würde. Für die Warmwasserbereitung im Sommer sollte dann in jedem Fall eine Solaranlage sorgen. Ein derartiges Heizsystem – in Kombination mit einem Pufferspeicher und einer wasserführenden Flächenheizung - ist verhältnismäßig teuer, weist aber eine gute Gesamtenergiebilanz auf und sorgt für hohen Wohnkomfort.

Wärmepumpe

Die Wärmepumpe mit Erdkollektor scheint für das Passivhaus geradezu ideal geeignet. Sie ist mit sehr geringen Leistungen erhältlich und nutzt zudem noch zu drei Teilen Erdwärme. Der Anschaffungspreis für eine Sole-Wasser Wärmepumpe inklusive Verlegung des Erdkollektors ist jedoch hoch. Günstiger in der Anschaffung sind Luftwärmepumpen, die aber eine schlechtere Leistungsziffer haben.

Eine Wärmepumpe ist in der Leistung im Gegensatz zu einer Gas- oder Pellet-Heizung nicht regelbar. Es gibt nur „An“ oder „Aus“. Daher braucht sie in jedem Fall einen - wenn auch kleinen - Wärmespeicher. Wegen ihrer gleichmäßigen Leistung kann sie nicht in einer Kälteperiode über Tage oder Wochen plötzlich mehr Leistung abgeben. Wenn der Vorrat an Warmwasser im Speicher verbraucht ist, reicht die Leistung häufig nicht mehr zum Heizen aus. Wird die Wärmepumpe als monovalentes Heizsystem (also ohne andere Heizquelle) eingesetzt, müsste sie auf den hohen Wärmebedarf einiger kalter Wintertage ausgelegt werden. Für den Rest des Jahres wäre sie dann allerdings überdimensioniert. Aus diesem Grund haben viele Wärmepumpen-Heizungen zusätzlich einen elektrischen Heizstab im Speicher, um Wintertage mit Tiefsttemperaturen zu überbrücken und das Brauchwasser auf Gebrauchstemperatur zu bringen. Andere Systeme sehen statt dem Heizstab im Speicher Elektro-Heizkörper im Bad und in den Aufenthaltsräumen vor.

Hier wird also die Spitzenlast mit **Direktstrom** bei entsprechend hohem Primärenergieverbrauch abgedeckt. Je mehr an kalten Tagen "undiszipliniert" über Fenster / Türen gelüftet wird, um sehr mehr wird direktelektrisch zugeheizt.

Großer Beliebtheit in Passivhäusern erfreuen sich sogenannte Klimakompaktgeräte wegen der verhältnismäßig kostengünstigen Anschaffung und dem geringen Platzbedarf. Diese können - wie jede Wärmepumpenheizung - optional durch eine thermische Solaranlage zur Warmwasserbereitung ergänzt werden.

Sonnenhaus-Heizkonzept

Auch beim Sonnenhaus wird auf einen guten Dämmstandard viel Wert gelegt. Der wesentliche Unterschied zum "üblichen" Passivhaus besteht aber darin, dass die Wärmeversorgung grundsätzlich und ausschließlich regenerativ erfolgt, nämlich zum einen durch die Sonne selbst und zum Zweiten durch Biomasse als gespeicherte Sonnenenergie. Lediglich für die Solar- und Heizungsumwälzpumpe wird noch elektrischer Strom benötigt. Wenn Hocheffizienzpumpen zum Einsatz kommen beschränkt sich der jährliche Verbrauch an Hilfsenergie auf ca. 200 bis 250 kWh. Trotz des i.d.R. höheren Heizwärmebedarfes kann im Sonnenhaus also mit Wärmeenergie relativ sorglos umgegangen werden – zumindest in Zeiten ausreichender Solarenergieversorgung. Auch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, die ja für den Ventilator elektrischen Strom benötigt, könnte den sehr niedrigen **Primärenergieaufwand** von 5 bis 15 kWh/m²a nicht weiter verringern. Zum Vergleich: Ein im Jahr 2002 veröffentlichter Praxistest des Fraunhofer-Institutes ISE ergab, dass der Primärenergiebedarf für die Haustechnik wärmepumpenbeheizter Passivhäuser zwischen 40 und 80 kWh/m²a lag. Auch wenn bei neueren Projekten von etwas besseren Werten auszugehen ist, fällt der Primärenergievergleich zwischen beiden Konzepten eindeutig zugunsten des Sonnenhauses aus, und zwar um den Faktor 3 bis 4! Ähnliche Ergebnisse brachte eine vom Sonnenhaus-Institut betreute Studie zum Vergleich verschiedener Baustandards und Heizkonzepte.

Auch hinsichtlich **Wohnkomfort** kann das Sonnenhaus-Heizkonzept Pluspunkte verbuchen: Gleichmäßige Strahlungswärme aus den Wänden und Böden sorgen für ein angenehmes Raumklima. Darüber hinaus lässt sich die Temperatur der einzelnen Räume durch Thermostate individuell regeln.

Auf der Suche nach einer **Synthese der beiden Minimalenergiekonzepte** lässt sich feststellen, dass die hohe Anforderung an den Heizwärmebedarf (Passivhaus) und das solare Heizkonzept mit großem Wärmespeicher (Sonnenhaus) im Grunde zwei Seiten der gleichen Medaille darstellen. Solar beheizte Passivhäuser sind nicht nur technisch möglich, sondern könnten bei weiter steigenden Energiepreisen eines Tages auch in wirtschaftlicher Hinsicht sinnvoll werden.