

Passivhaus Informationen

Inhaltsverzeichnis

1 Vorwort.....	2
2 Warum Passivhaus ?.....	2
3 Was ist ein Passivhaus ?.....	3
3.1 Ökologische Ergänzung zum PH Standard	4
3.1.1 Einführung.....	4
3.1.2 Energiebilanz.....	4
3.1.3 Energie und CO2 Bilanz eines Passivhauses.....	5
Ergebnisse.....	6
Schlussfolgerungen.....	6
4 Holzwerthaus.....	7
Hoher Wohnkomfort und gesundes Wohnen.....	7
Hohe Wertbeständigkeit durch optimierten Wärme-, Schall- und Brandschutz.....	7
Hohe Ressourcen-Effizienz durch.....	7
Hohe Energieeffizienz durch.....	7
5 Gebäudehülle.....	7
5.1 Fenster.....	8
5.2 Wärmebrücken.....	9
6 Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung.....	9
6.1 Sinn und Funktionsweise der Komfortlüftungsanlage	9
6.2 Hintergrundwissen zur Kontrollierte Wohnraumlüftung	11
6.2.1 Kenndaten.....	11
Temperaturwirkungsgrad.....	12
Wärmerückgewinnungsgrad.....	12
Effektiver Wärmebereitstellungsgrad nach Passivhausinstitut (PHI).....	12
6.2.2 Erdwärmeübertrager.....	13
1.) Luft - EWÜ	13
2.) Sole - EWÜ.....	13
7 Energiekonzept	14
7.1 Solarthermie	14
7.1.1 Solarkollektoren	14
7.1.2 Pufferspeicher	15
7.1.3 Nachheizung	15
7.1.4 Besonderheiten zum Einsatz von Solarthermie zur Heizung	15
7.2 Nutzung von Strom zur Wärmeerzeugung	15
7.2.1 Wärme für Trinkwarmwasser.....	16
7.2.2 Heizwärme.....	17
7.2.3 Wirtschaftlichkeit.....	17
7.2.4 Aussicht.....	17
7.2.5 Schlussfolgerungen.....	18
7.3 Strom in Verbindung mit Wärmepumpe.....	18
7.4 Holzfeuerung	18
7.5 Heizung für ein Passivhaus.....	19

7.5.1 Luftheizung über die kontrollierte Wohnraumlüftung	19
7.5.2 Bauteilaktivierung	19
7.5.3 Fußbodenheizung	20
7.5.4 Wandheizung	20
7.5.5 Wasserführende Heizkörper	20
8 Der Weg zum Passivhaus	21
8.1 Grundstück.....	21
8.2 Planer.....	21
8.3 Integrale Planung.....	21
8.4 Von der Vergabe bis zum Einzug	22
8.5 Passivhaus im Altbau.....	22
9 Ziel ist das Nullemissionshaus: Bilanzierungsbetrachtungen.....	22
9.1 Bilanzierung Grundlagen	23
9.2 Bewertung der Energieflüsse.....	23
9.3 Bilanzierung der Baustoffe	25

1 Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

dieser Text ist entstanden um wesentliche Aspekte des Passivhauses zu dokumentieren und dient der Information von Bauherren und Leuten, die sich für das Passivhaus Konzept interessieren.

Wir haben Dinge, die uns beim Passivhaus wichtig oder interessant erscheinen zusammengefasst und hoffen damit eine umfassende Wissenssammlung bereitstellen zu können.

Obwohl einige schon Korrektur gelesen haben, sind an der ein oder anderen Stelle evt. noch Fehler, wenn Sie einen finden, würden wir uns freuen, wenn Sie uns dies mitteilen.

Viel Spass beim Lesen

Das Lokal.Plan Team

2 Warum Passivhaus ?

Die Entscheidung für einen Baustandard wird in der Regel nach drei Aspekten getroffen:

- 1.) Komfort / Wohlbefinden
- 2.) Kosteneffizienz
- 3.) Ökologie

Zu allen dreien kann man unterschiedlicher Meinung sein und deshalb hängt es auch noch stark davon ab, wem man glaubt und was für die Lage, in der man wohnen möchte, angeboten wird.

Leider wird die Diskussion zu Baustandards manchmal sehr emotional und unsachlich geführt. Das einzige, was hilft, ist sich selbst gut zu informieren. Dazu möchten wir einen Beitrag leisten.

Wir sind der Auffassung, dass ein Passivhaus in allen Bereichen Vorteile bietet:

- Einen hohen Wohnkomfort erhält man durch die Komfortlüftung, man muss für frische Luft nicht mehr die Fenster öffnen (darf man selbstverständlich, wenn man möchte).

- Durch homogene gut gedämmte Bauteile und Vermeidung von Wärmebrücken entsteht weder Zugluft noch bildet sich Schimmel.
- Ein gutes Kosten Nutzen Verhältnis erzielt man langfristig durch den geringen Energieverbrauch, die Investitionskosten sind höher als beim gesetzlichen Mindeststandard nach Energieeinsparverordnung (ENEV), die Laufenden Kosten jedoch geringer. Wann sich die Mehrinvestition lohnt, hängt dabei von der Steigerung der Energiepreise ab, damit ist pauschale Aussage immer schwierig und sinnvoll ist es verschiedene Szenarien zu betrachten. Echter Kostentreiber eines Hauses ist die Wohnfläche, baut man etwas kleiner, kann man sich einen höheren Standard leisten.
- Bei der Ökologie reichen aus unserer Sicht die Passivhauskriterien nicht aus, da nur der Energiebedarf im Betrieb betrachtet wird. Wichtig ist, auch die Baustoffe zu betrachten. Dabei sind insbesondere Schadstoffe und Energiebedarf und Emissionen im Lebenszyklus relevant. Das berücksichtigen wir bei unseren Planungen und haben diesen Häusern den Namen „HolzWertHaus“ gegeben. Aus dem Namen wir schon klar, dass wir so viel wie möglich Holz als nachwachsenden Rohstoff verwenden. Insbesondere sehen wir die hohe CO₂ – Emission in der Zementherstellung und die schlechten Eigenschaften von Polystyrol im Brandfall als problematisch an.

3 Was ist ein Passivhaus ?

Der Begriff Passivhaus hat sich etabliert als ein Standard für ein energieeffizientes Haus. Die Idee entstand aus der Fragestellung, wie man ein Haus bauen muss, das kein konventionelles Heizsystem benötigt. Es sollte möglichst viel Wärme im Haus bleiben und die einfallende Strahlungswärme genutzt werden. Daraus ergibt sich, das ein Haus gut gedämmt und möglichst luftdicht sein muss (dies ist bei Gebäuden der Fall wie auch in der Bekleidung: Ein warmer Wollpullover oder eine Fleecejacke wird am besten mit einer winddichten Membran oder zusätzlichen Jacke kombiniert). Die im Haus nötige Frischluft wird mit der in der Abluft enthaltenden Wärme aufgewärmt (Wärmerückgewinnung) und in die Wohnräume verteilt. Wird die Frischluft bei Bedarf weiter erwärmt lässt sich eine Heizleistung von ca. 10W/m² realisieren (siehe Kap 7.5.1 für die genaue Berechnung). Dies entspricht in Mitteleuropa in etwa einem Heizenergiebedarf von 15 kWh/(m²a) und damit rund 1,5l Heizöl je Quadratmeter und Jahr. Dies ist nur ca. 10% des durchschnittlichen Heizenergiebedarfs im deutschen Bestand.

Da nicht nur relevant ist, wie viel Wärme benötigt wird, sondern wie diese Wärme erzeugt wird, wurde ein Primärenergiekriterium hinzugefügt. Ferner soll vermieden werden, dass es im Sommer im Haus zu heiss wird und nicht mehr Energie zum Kühlen als zum Heizen aufgewendet wird. Zusammengefasst gelten also folgende Kriterien (siehe auch)

- Heizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, oder Heizlast $\leq 10 \text{ W/m}^2$
- Nutzkältebedarf $\leq 15 \text{ kW/m}^2\text{a}$,
- Häufigkeit Übertemperatur über 25°C $\leq 10\%$
- Gebäudeluftdichtheit $\leq 0,6/\text{h}$
- Primärenergiekennwert $\leq 120 \text{ kWh/m}^2$

Der Primärenergiekennwert enthält im Gegensatz zum Kennwert der ENEV Nutz- und Haushaltsstrom und die Energiebezugsfläche nach ENEV größer und somit der ENEV Primärenergiekennwert eines Hauses deutlich kleiner als der nach Passivhauskriterien. Der Primärenergiekennwert nach Passivhauskriterien wird aus der beheizten Fläche und dem Einsatz von Primärenergie (z.B. Verbrennung von Gas, Kohle, Öl oder Nutzung von Solarenergie) errechnet. So setzt man z.B. für Nutzung von Wärme aus der direkten Verbrennung von Gas den Faktor 1,1 an, da nahezu keine Verluste entstehen. Verbrennt jedoch Gas, um Wärme zu erzeugen, daraus Strom zu gewinnen, diesen über lange Strecken zu verteilen, um schliesslich wieder Wärme zu gewinnen erhält man einen Primärenergiefaktor von ca. 3. Aufgrund des steigenden Anteils erneuerbarer Energien im deutschen Strommix kann ab 2014 mit einem Primärenergiefaktor von 2,0 gerechnet werden. Während der Primärenergiefaktor von z.B. Gas konstant ist hängt er beim Strom also davon ab, wie der Strom erzeugt wird.

Häufig hört man, dass die komplizierte Technologie eines Passivhauses fehleranfällig ist. Dazu ist zu sagen, dass die Lüftungsanlage die einzige Technologie ist, die für ein Passivhaus zusätzlich im Vergleich zu einem „normalem Haus“ nötig ist. Verschleißteile des Lüftungsgerätes sind 2 Filter und 2 Ventilatoren. Der Filterwechsel ist sehr einfach und bei Ventilatoren handelt es sich nicht um einfache Geräte mit einer sehr langen Haltbarkeit. Sollte ein Lüftungsgerät mal ausfallen, so stellt dies für die Bewohner auch keine bedrohliche Situation dar. Der Komfort sinkt auf das Niveau eines normalen Hauses, da dann zum Lüften regelmäßig das Fenster geöffnet werden muss. Damit ist auch schon die Frage beantwortet, ob man in einem Passivhaus das Fenster öffnen darf. Man muss nicht das Fenster öffnen, aber natürlich darf man. (Bei Lüftung über das Fenster benötigt man in der Heizperiode natürlich mehr Energie zum Heizen.)

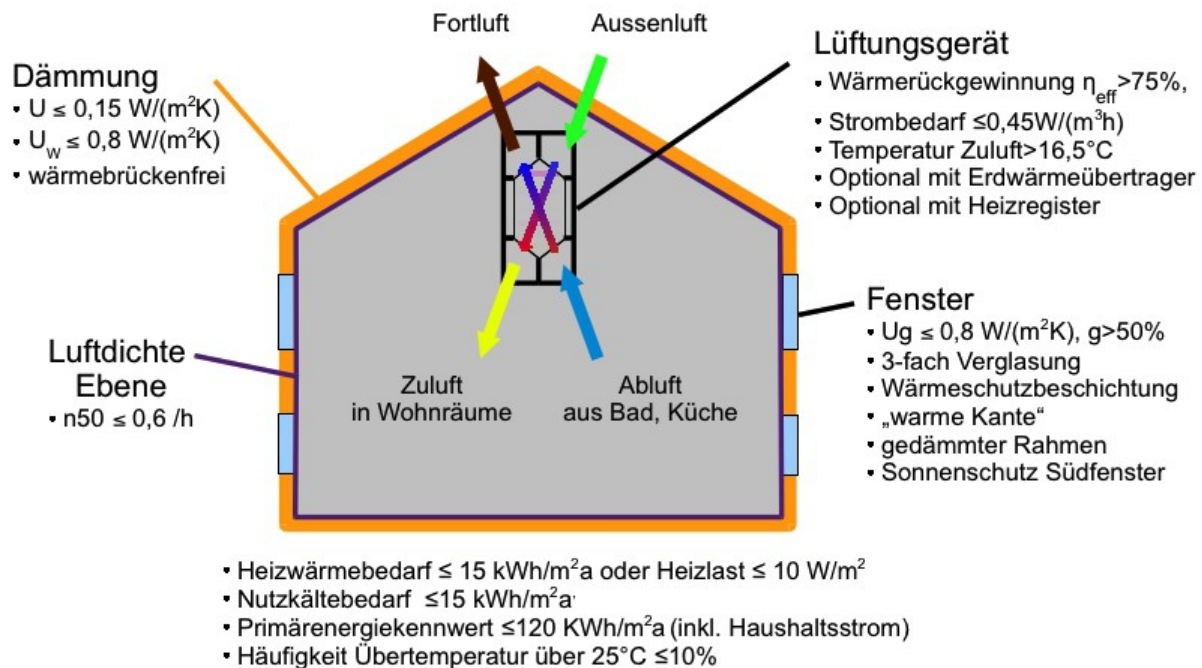


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Passivhauses und entsprechende Kriterien der Bauteile

3.1 Ökologische Ergänzung zum Passivhaus (PH) Standard

3.1.1 Einführung

Bei der Einführung des Passivhaus - Standards war es innovativ, nicht nur den Heizenergiebedarf zu betrachten, sondern sämtliche im Haus benötigte Energie. Vielen Bauherren geht es heute bei der Errichtung eines energiesparenden Passivhauses nicht nur um behagliches Wohnen und geringe Betriebskosten, sondern auch um ökologisches Bauen. Der Passivhausstandard allein deckt diese Komponente aber nicht ab.

Da in der Berechnungsprogramm für das Passivhaus, dem PHPP (PassivHaus Projektierungs Paket, eine Excel Datei mit sehr vielen Tabellenblättern) viele relevante Flächen- und Materialdaten sowieso erfasst werden, wäre es einfach, auch ökologische Daten mit zu erfassen und auszuwerten. Analog zur U-Wert Berechnung könnte z.B. die Primärenergie oder das Treibhauspotential gelistet und in einem neuem Tabellenblatt ausgewertet werden. Für Innenraum und Haustechnik könnte ein vereinfachtes Verfahren ähnlich wie beim Schweizer Minergie-Eco Standard angewendet werden, indem z.B. nur besonders signifikante Haustechnik Elemente und eine mittlere Raumgröße für einen pauschalen Mengenansatz der Innenwände betrachtet werden.

3.1.2 Energiebilanz

Zunächst einmal scheint es ein relativ einfacher und sinnvoller Ansatz zur ganzheitlichen Energiebewertung eines Hauses zu sein, die graue Energie, die zur Erzeugung der Baustoffe aufgewendet wird, und die Energie, die zum Betrieb des Gebäudes auf eine

Lebensdauer von z.B. 60-80 Jahren aufgewendet wird, zu betrachten. Bei dieser Methode gibt es zwei wesentliche Unsicherheiten:

- Die Genauigkeit der Daten zu den Baustoffen, die nicht unabhängig nach einer standardisierten Erfassung geprüft sind.
- Die zeitliche Änderung der Umweltdaten, sowohl für den Betrieb des Gebäudes als auch für den Ersatz von Baustoffen, wie z.B. einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS). So wird heute eine kWh Strom mit einem Primärenergiefaktor von 2,0 angesetzt, in 20 Jahren kann dieser Faktor durchaus 0,2 sein, da der Grossteil des Stroms durch erneuerbare Quellen gedeckt wird.

Um den zeitlichen Faktor zu berücksichtigen haben wir für den Bedarf an Wärme und Haushaltsstrom 2 Szenarien mit Primärenergiefaktoren 0,5 und 0,7 auf 80 Jahre gerechnet und dann auf ein Jahr bezogen. Beim Trinkwasser ist der Bedarf

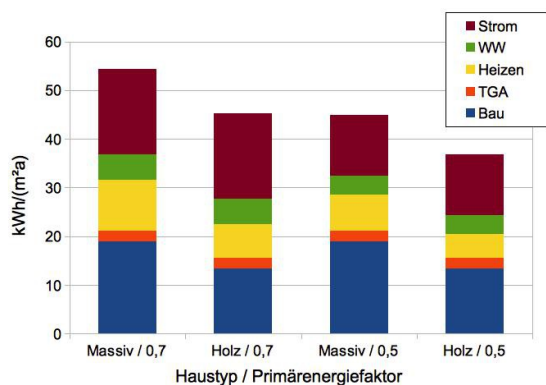


Abbildung 2: Primärenergie nicht erneuerbar, die zur Herstellung und 80-jährigem Betrieb eines Hauses in Holz- bzw. Massivbauweise benötigt wird.

zusätzlich reduziert, da schon heute leicht 50% über Solarthermie gedeckt werden kann. Für den Ersatz von Bauteilen in der Zukunft haben wir 1/3 des heutigen Wertes angesetzt. Je nach dem, wie diese Werte angesetzt werden, verschiebt sich die Bedeutung des Einsatzes von Energie zur Produktion der Materialien deutlich. Ein Primärenergiefaktor von 0,5 klingt erst mal gering. Viele halten es für technisch möglich, die Stromproduktion in den nächsten 15 Jahren auf nahezu 100% erneuerbare Energie umzustellen, ohne den Strompreis unverträglich in die Höhe zu treiben. Die derzeitigen politischen Ziele sind nicht ambitioniert und bevorzugen eine zentrale Versorgung.

Beim Vergleich der benötigten Primärenergie zur Herstellung und Betrieb eines Passivhauses in Holzständer- und Massivbauweise dominiert der Verbrauch, aber die Materialien haben durchaus eine signifikante Größenordnung, insbesondere wenn der Primärenergiefaktor für die Strom- und Wärmebereitstellung deutlich unter 1 sinkt. Im obigen Vergleich ist berücksichtigt, dass der U-Wert für eine Holzständerwand bei gleicher Dicke geringer ist und dementsprechend der Heizenergiebedarf ebenfalls geringer. (Es erschien uns nicht sinnvoll ein bis zu 40 cm Dickes WDVS aus EPS / Mineralwolle zu betrachten)

Will man ein ökologisches Haus, so ist der Energiebedarf eine Sache, kommt es dem Bauherren auf Klimaschutz an, so muss zumindest noch das Treibhauspotential betrachtet werden. Andere Schadstoffe wie z.B. flüchtige organische Verbindungen sind weitere Aspekte, die im Rahmen dieses Artikels zu komplex zu beurteilen sind.

Im Folgenden werden am Beispiel eines Mehrfamilienhauses die graue Energie als Primärenergieinhalt -nicht erneuerbar- und das Treibhauspotential betrachtet.

3.1.3 Energie und CO₂ Bilanz eines Passivhauses

Betrachtet wird ein 5 geschossiges Mehrfamilienhaus, mit 520 m² Wohnfläche. Es werden 4 Bauweisen näher betrachtet:

- (1) Holzständerbau mit Zellulosedämmung
- (2) Holzständerbau mit Mineralwolldämmung
- (3) Massivbau Stahlbeton, Kalk Sandstein (KS) und EPS Dämmung
- (4) Mischbau mit tragenden Aussenwänden Stahlbeton (Ausführung als Brandwand), tragende Innenwände Holz mit Mineralwolle und Decke Holz mit Zellulose

In allen Varianten wird ein Treppenhaus, Fahrstuhlschacht und Fundament aus Beton angenommen.

Ergebnisse

Die Variante mit dem geringsten Primärenergieinhalt ist die Holzständerbauweise mit Zellulosedämmung. Aufgrund der Ständerbauweise ist ein U-Wert von $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ durchaus im realistischen Bereich, so dass sogar bei ungünstiger Verschattungssituation der sehr geringe Heizenergiebedarf eines Passivhauses unterschritten werden kann. Wird, wie in der Musterrichtlinie Holzbau für Gebäudeklasse 4 gefordert, bei tragenden Bauteilen ein nicht brennbarer Dämmstoff (Mineralwolle) eingesetzt, so steigt der Primärenergieinhalt deutlich an. Durch die CO_2 Bindung des Holzes wird ein negatives Treibhauspotential erreicht. Je nach Entsorgungsart ändert sich das am Lebensende (End of Life, EOL). Da heute schwer abgeschätzt werden kann, wie Bauholz in ca. 80 Jahren verwendet wird, wurde dies nicht betrachtet.

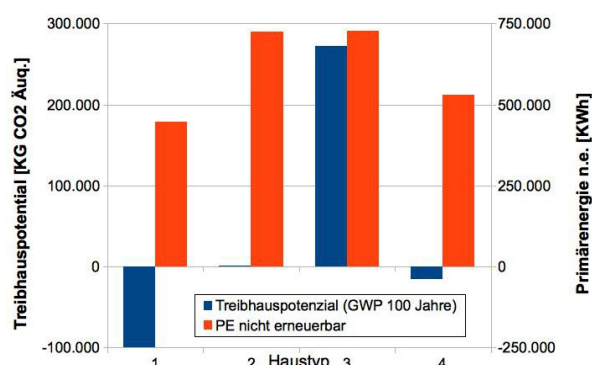


Abbildung 3: Bilanz in Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhauspotential für verschiedene Haustypen: 1 Holz mit Zellulose, 2 Holz mit Mineralwolle, 3 Massiv mit EPS, 4 Mischbau. Jeweils bezogen auf das gesamte Haus mit 520 m² Wohnfläche und 4 Wohnungen.

Häufig wird heute eine tragende Konstruktion in Beton (Decken) und Kalksandstein (KS) (Wände) mit einem WDVS aus Polystyrol eingesetzt. Die Baustoffe dieser Variante haben den höchsten Primärenergieinhalt, da die Herstellung von Stahl, Beton und Polystyrol sehr energieintensiv ist. Auffällig ist ebenfalls das sehr hohe Treibhauspotential, denn bei der Herstellung von Zement aus Ton und Kalkstein wird sehr viel CO_2 freigesetzt. Das Treibhauspotential als CO_2 Äquivalent der Massivbauvariante mit EPS Dämmung beträgt rund 272t gesamt, bzw. 68t /Wohnung. Damit entspricht das Treibhauspotential einer solchen Wohnung bei der Emission eines heutigen Mittelklassewagens ($146\text{g}/\text{km CO}_2$) einer Strecke von rund 467.000 km. Aufgrund der CO_2 Bindung von Holz ergibt sich beim Holzbau mit Zellulosedämmung für

eine Wohnung rechnerisch eine Gutschrift von rund 25t CO_2 bzw. 175.000 Auto km. Als klimaverträglich wird eine Emission von ca. 2t CO_2 /Person /Jahr eingeschätzt.

Die Variante Mischbau ist im Primärenergieinhalt geringer als die Variante Holz mit Mineralwolle, beide weisen in unserem Beispiel eine leichte CO_2 Gutschrift auf, da die Verwendung von Holz in den Decken, Dach und nicht tragender Außenwand den Einsatz von Beton in der Brandwand kompensiert.

Schlussfolgerungen

Der Anteil der Primärenergie, die für ein Haus bei 80 jährigem Betrieb für die Herstellung von Materialien benötigt wird ist signifikant. Wie hoch er relativ zum Verbrauch ist, hängt stark vom Verlauf des Primärenergiefaktors für Strom und Wärme für die nächsten 80 Jahre ab. Dies ist schwer vorhersagbar. Durch den Bezug von Ökostrom und Eigenverbrauch z.B. einer PV Anlage hat der Nutzer jedoch eine hohe Einflussmöglichkeit im Laufe der Zeit den Primärenergieverbrauch zu reduzieren. Der Energieverbrauch der Herstellung von Baustoffen und damit verbundenen Emissionen sind jedoch mit dem Zeitpunkt der Herstellung festgelegt.

Einen großen Einfluss auf die Menge der grauen Energie hat die Verwendung von Zellulose im Vergleich zu Mineralwolle und von Holz im Vergleich Beton / KS.

Um ein ökologisches Passivhaus zu bauen, sollten Materialien mit geringem Energiebedarf in der Herstellung eingesetzt werden. Bei den Dämmstoffen sind nachwachsende Rohstoffe und Zelluloseflocken deshalb vorteilhaft, allerdings sind dies brennbare Materialien. Ab der Gebäudeklasse 4 sind nach Musterbaurichtlinie nicht brennbare Dämmstoffe in tragenden Bauteilen gefordert. Eine Abweichung ist möglich, sofern der Brandschutzprüfer bei Erfüllung der Schutzziele zustimmt.

Durch die CO₂ Emissionen in der Herstellung von Zement ist der Einfluss von Stahlbeton dominant für das Treibhauspotential. Somit ist die Verwendung von Holzkonstruktionen selbst bei Mineralwolldämmung in jedem Falle klimafreundlicher. Hier wird an alternativen Materialien zu Betonherstellung gearbeitet. Bis solch neue Materialien ausreichend geprüft sind und eine Zulassung haben, werden aber noch viele Jahre vergehen, bis dahin sollte man also wenig Beton einsetzen. Beim Fundament, dem Fahrstuhlschacht / Treppenhaus und Brandwänden ist ein Ersatz von Beton z.B. durch KS mit deutlich höherem Aufwand und Kosten verbunden und wird aus deshalb meist nicht realisiert.

Wer eine quantitative Aussagen zur ökologischen Bilanz eines Passivhaus haben will, kann leicht über die Mengenermittlung der Außenwände im PHPP in Verbindung mit einem Pauschalansatz für die Innenwände eine gute Abschätzung erreichen

4 Holzwerthaus

Das HolzWertHaus sehen wir als eine Weiterentwicklung des Passivhauses. Der Heizenergiebedarf liegt unterhalb des Passivhauswerts von 15 kWh/ m² a – zusätzlich werden hier auch die Materialien zur Herstellung des Hauses berücksichtigt.

Für die von uns geplanten Häuser haben wir uns anspruchsvolle Ziele gesetzt:

Hoher Wohnkomfort und gesundes Wohnen

- Gute Tageslichtnutzung
- Hohe Luftqualität
- sehr gute ökologische Bewertung der Baustoffe, keine Schadstoffbelastung

Hohe Wertbeständigkeit durch optimierten Wärme-, Schall- und Brandschutz

Hohe Ressourcen-Effizienz durch

- Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen und Recycling-Materialien
- Nutzung von Regenwasser bzw. Grauwasser

Hohe Energieeffizienz durch

- sehr gute CO₂ Bilanz der Baustoffe
- Heizenergiebedarf <5 kWh/m²a in der Praxis
- Solarer Deckungsgrad bei Warmwasser >75 %
- Bedarf bei Haushalts- und Hilfsstrom < 1200 kWh/a und Person inkl. Wärmebedarf
- Energieerzeugung durch regenerativen Solarstrom und Kleinwindanlagen nach Möglichkeit
- Integration nachhaltiger Mobilitätskonzepte in den Wohnungsbau

In der Praxis wird dies durch ein Haus erreicht, was mit dem Bausystem 3G+ gebaut ist. Die Tragkonstruktion wird in Holz ausgeführt und soweit wie möglich auf Stahl und Beton verzichtet. (Ganz geht es leider nicht, das Fundament ist in Beton und für Verbindungsmittel wird Stahl eingesetzt.). Die Solarenergie wird über eine Thermische Solaranlage in der Fassade und einer Solarstromanlage auf dem Dach genutzt.

5 Gebäudehülle

Da Wärmeverlust durch die Gebäudehülle in einem Passivhaus sehr gering sein sollen ist es wichtig Details wie die Vermeidung von kleinen Wärmebrücken und kleinen Undichtigkeiten zu betrachten. Um ein Passivhaus entsprechend gut zu planen, sind Wissen und Erfahrung oder entsprechende Beratung sehr wichtig. Auch hier gilt: Je komplexer der Aufbau ist, um so wichtiger ist gute Ausführung. Besondere Bedeutung kommt den Fenstern zu, denn schon kleine Fehler im Einbau können eine große Wirkung haben. Auch bei den Fenstern selber lohnt es sich, den Aufbau genau zu bewerten, denn Fenster sind in einem Passivhaus ein wesentlicher Kostenfaktor.

Um die Wärmeverluste nach außen gering zu halten muss eine sehr gute Dämmung realisiert werden und sehr gut isolierende Fenster verwendet werden. Quantifiziert wird dies durch den Wärmedurchgangskoeffizient U , der für die Wand kleiner als $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für das eingebaute Fenster kleiner als $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ sein soll. Häufig wird der Wert für die Wand im Einfamilienhaus unterschritten und die PH Kriterien einzuhalten. Neben der Dämmung ist es wichtig, daß Wärmebrücken vermieden oder zumindest minimiert werden. Man kann dies leicht sehen, indem man mit einem Stift versucht, die Dämmebene (im Abbildung 1 orange) abzufahren ohne abzusetzen. Somit sind Terrassen im stufenförmigen Bau, auskragende Balkone, Durchfahrten, integrierte Garagen etc. möglich, aber evt. nur mit einem hohen Aufwand realisierbar.

Es haben sich zwei grundlegende Arten im Wandaufbau etabliert. Zum einen eine massive Wand mit vorgesetzter Dämmung, zum anderen eine Holzständerwand mit gedämmtem Zwischenraum. Die Wanddicke beläuft sich auf ca. 50 cm. Bei beiden Bauweisen können gute Wärme-, Brand- und Schallschutzeigenschaften erreicht werden. Intuitiv meinen viele, daß ein Haus in Holzständerbauweise im Brandfall ein höheres Risiko darstellt, aber das ist nicht der unbedingt der Fall. Zunächst einmal ist für die Bewohner bei einem Brand die Rauchentwicklung das Gefährlichste und die hängt von der Innenausstattung ab. Dann ist die Brandausweitung insbesondere über die Fassade relevant und die ist bei Polystyrolämmung schneller als bei Holzfasern, Zellulose oder Mineralwolle. Stahlbeton verliert bei hohen Brandtemperaturen schnell seine statische Belastbarkeit und muss dementsprechend bei grösseren Häusern überdimensioniert werden. Holz hingegen bleibt bei einem Brand verhältnismäßig lange stabil und wird zusätzlich noch mit z.B. Gipsfaserplatten geschützt. Für den Holzbau spricht die vorteilhafte Ökobilanz der Baustoffe. Insbesondere bei größeren Bauprojekten findet man häufiger eine Mischbauweise. Aus Stein und Stahlbeton wird ein Rohbau ohne Fassade gebaut, diese wird dann in Leichtbauweise z.B. mit Holz und Zellulosedämmung vorgesetzt.

Neben der guten Wärmedämmung wird das Haus möglichst luftdicht gebaut, damit weder warme Luft unkontrolliert entweichen kann (Exfiltration), noch kalte Luft eindringen kann (Infiltration). Dies ist vor allem wichtig um Tauwasserbildung und dadurch Bauschäden zu verhindern. Auch hier kommt analog zur Wärmedämmung wieder die Stiftregel zur Anwendung. Die luftdichte Ebene (lila in Abbildung 1) muss ohne abzusetzen abfahrbar sein. Luftdichte Bauteile sind zum Beispiel Putz oder eine Holz-OSB Platte. Details wie der Einbau von Fenstern und Durchdringung der Hülle für Sanitär oder Elektroinstallation müssen sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Anschlüsse werden nach Bedarf z.B. mit einer Folie und Spezialklebeband oder speziellen Manschette entsprechend abgedichtet. Eine luftdichte Bauweise steht nicht im Widerspruch zu einer diffusionsoffenen Konstruktion. Häufig ist davon die Rede, dass ein Haus „atmen“ soll, das ist jedoch ein missverständlicher Begriff. Vielfach ist damit gemeint, dass Feuchtigkeitsschäden durch Feuchtigkeitstransport von innen nach außen vermieden werden sollen, was jedoch nicht der Fall ist. Feuchtigkeitsschäden haben in der Regel die Ursache von Wassereintritt von Aussen oder von Kondensation von feuchter Raumluft an kalten Oberflächen. Kalte Oberflächen entstehen durch Wärmebrücken oder Luftundichtigkeiten wie Spalte oder Risse. Durch einen 10 cm langen und 1 mm breiten Spalt gelangt in etwa genauso viel Feuchtigkeit wie durch $30\text{-}100 \text{ m}^2$ Wandfläche nämlich ca. $50\text{g}/\text{Tag}$. Deshalb muss für ausreichenden Schutz der Konstruktion luftdicht aber diffusionsoffen gebaut werden. Wenn man einen Vergleich zum Atmen zwischen Menschen und Haus anbringen will, dann könnte man also sagen, dass die Lüftungsanlage die „Lunge“ ist durch die das Haus „atmet“, denn auch der Mensch atmet nicht durch die Haut.

5.1 Fenster

Die Fenster sind ein sehr wichtiger und meist kostenintensiver Teil der Gebäudehülle. Das Temperaturempfinden des Menschen richtet sich nach der Oberflächentemperatur der Umgebung. Deshalb werden kalte Glasoberflächen im konventionellen Bau als unbehaglich empfunden und Heizkörper unter dem Fenster angeordnet. In einem Passivhaus soll die Fensterscheibe so gut isolieren, dass die Oberflächentemperatur auch bei sehr kalten Aussentemperaturen bei ca. 18°C liegt. Dafür werden in der Regel 3-fach verglaste Fensterscheiben meist mit Argon, seltener mit Krypton, gefüllt und in der Regel auf der Innenseite der beiden äußeren Scheiben eine Wärmeschutzbeschichtung aufgebracht. Wichtig ist weiterhin der Randverbund, der im konventionellen Fenster oft mit Aluminium hergestellt wurde. In Passivhausfenstern mit weniger gut wärmeleitendem Material wie Kunststoff oder Edelstahl. So entsteht eine „warme Kante“, die dann eventuell auch tief im gedämmten Rahmen eingebettet ist. Mit dem richtigen Einbau wird dann die nötige Isolierung erreicht. Das hat zur Folge, daß

die äußere Scheibe im Winter morgens länger kalt bleibt als die Luft und deshalb Feuchtigkeit auf der Aussenseite kondensiert oder sogar gefriert. Dies ist also kein Mangel, sondern ein Zeichen für Qualität. Das Fenster soll nun aber nicht nur die Wärme im Hause behalten, was physikalisch durch Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) beschrieben wird, sondern auch Licht hereinlassen, was durch den Energiedurchlasswert (g-Wert) und die Transmission im sichtbaren Bereich (tau - Wert) beschrieben wird. Leider ist es so, dass ein guter (kleiner) U-Wert einen schlechten (kleinen) g-Wert zur Folge hat. Inzwischen werden neben den Standardgläsern auch schon Solar- oder Weißglass verarbeitet, was zur Folge hat, dass bei gleichem U-Wert der g-Wert besser, also höher ist.

Fenster mit 3-fach Verglasung haben zwei wesentliche Problempunkte:

- Sie sind sehr schwer und die Mechanik wird stark beansprucht.
- Eine sinnvolle aussenliegende Verschattung muss vor Witterung (Sturm) geschützt werden

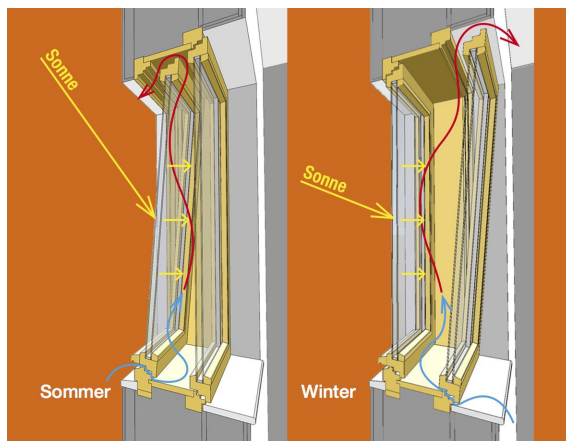


Abbildung 4: Kastenfenster mit Sommer und Winterstellung

Diese Beiden Punkte werden in einem Kastenfenster optimal gelöst: Da nur jeweils eine Doppelverglasung zum Einsatz kommt. Die Verschattung kann im Zwischenraum angebracht werden und ist damit witterungsgeschützt. Weiterhin kann im Sommer der äussere Flügel gekippt werden und dadurch eine Überhitzung des Zwischenraums vermieden werden, im Winter kann der innere Flügel gekippt werden und dadurch die solaren Gewinne erhöht werden. Effektiv absorbieren dann nur 2 Glasscheiben Solarstrahlung und damit ist der g-Wert geringer als bei einer 3-Scheiben Verglasung. (Siehe Abbildung 4)

5.2 Wärmebrücken

Neben Transmissionsverlusten über die Gebäudehülle und Lüftungsverlusten sind auch Wärmeverluste über Wärmebrücken in einem Passivhaus zu vermeiden. Typische Stellen für Wärmebrücken sind auskragende Bauteile wie Balkone, ein unbeheizter Keller oder Öffnungen für Fenster und Türen. Durch entsprechende Detailkonstruktionen ist es jedoch möglich, in einem Neubau Wärmebrücken so gering zu halten, dass die Innentemperatur des anschließenden Bauteils über der kritischen Temperatur für Kondensatbildung aus der Luft liegt und somit weder Schimmelbildung noch unverträglich hohe Wärmeverluste auftreten. Von einer wärmebrückenfreien Konstruktion spricht man, wenn die Wärmebrücke kleiner als $0,01 \text{ W/(mK)}$ ist.

6 Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

6.1 Sinn und Funktionsweise der Komfortlüftungsanlage

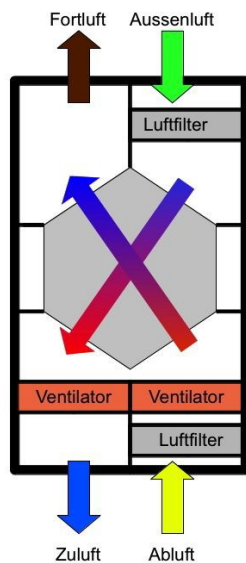


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Lüftungsgerätes mit Wärmerückgewinnung

Bei Passivhäusern wird auf luftdichte Bauweise Wert gelegt. „luftdicht“ bedeutet jedoch nicht, dass man darin ersticken würde, wie in einer dicht verschlossenen Plastiktüte, sondern eher, dass wenig Luft ungewollt eindringt, wie bei einer Windjacke. Um ohne Öffnung der Fenster ausreichende Belüftung sicherzustellen wird eine mechanische Komfortlüftungsanlage installiert. Abluft wird dabei in den Feuchträumen wie Küche und Bad abgesaugt, in einem Wärmeübertrager¹ an frischer und kalter Außenluft vorbeigeführt und gelangt dann als kalte Fortluft auf möglichst kurzem Wege nach draußen (siehe Abb. 5). Die Außenluft wird entsprechend im Wärmeübertrager aufgewärmt und gelangt dann als Zuluft in die Wohnräume. Flure sind in der Regel Überströmbereiche, da hier die Luft aus den Zimmern zum Bad strömt. Je nach Auslegung wird die Außenluft durch einen Luft- oder Sole Erdwärmeübertrager oder ein Vorheizregister auf Temperaturen über den Gefrierpunkt aufgewärmt, damit im Wärmeübertrager des Lüftungsgerätes kein Kondenswasser gefriert. In einem guten Lüftungsgerät erreicht die Zuluft stets Temperaturen größer als 16,5°C, wodurch Zugerscheinungen durch die Lüftung vermieden werden. Optional kann die Zuluft auch mit einem Heizregister weiter erwärmt werden und damit dann das Haus beheizt werden.

Weitere Vorteile der Lüftungsanlage sind dass z.B. für Allergiker Pollen aus der Aussenluft gefiltert werden können und ein guter Schallschutz erreicht wird, da auch ohne Öffnen der Fenster ausreichend Frischluft zugeführt wird. Da die Frischluft immer ausreichend warm ist und mit sehr geringem Volumenstrom eingeleitet wird kommt es nicht zu Zuglufterscheinungen.

Die Luftqualität richtet sich im Wesentlichen nach der Luftfeuchtigkeit und dem Anteil von unerwünschten Gasen und Partikeln, die entweder innen entstehen oder ausgasen (Schimmelsporen, CO₂, Lösungsmittel aus Farben etc.) oder über die Lüftung nach innen gelangen (Staub, Pollen...). Bei den innen entstehenden Schadstoffen sollte zunächst die Emission vermieden werden. Aufgrund der hohen Oberflächentemperatur der Bauteile und automatischen Lüftung bildet sich in einem Passivhaus kein Schimmel, also klarer Vorteil fürs Passivhaus. Wie viele Schadstoffe aus Farben etc. entweichen, ist unabhängig von der Bauweise. Je mehr Bewohner anwesend sind, desto mehr CO₂ entsteht und desto mehr Luft muss ausgetauscht werden.

Die relative Luftfeuchtigkeit ist ein weiterer wichtiger Aspekt der Luftqualität. Sie sollte bei Temperaturen zwischen 18°C - 22°C optimaler Weise zwischen 40% und 65% liegen sollte (siehe Abbildung 6)

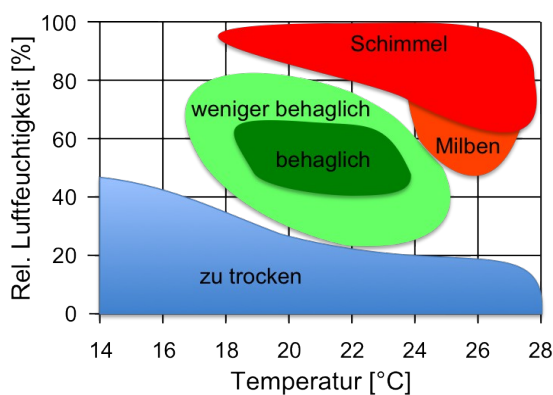


Abbildung 6: Behaglichkeit in Abhängigkeit der Temperatur.

Manchmal hört man, daß sich Bewohner von Häusern mit kontrollierter Wohnraumlüftung über sehr trockene Luft beklagen. Zu trockene Luft im Wohnraum entsteht, wenn sehr kalte Luft aufgeheizt wird und wenig Feuchtigkeitsquellen im Raum vorhanden sind. Dies ist insbesondere der Fall, wenn sich weniger Personen im Haus aufhalten als Auslegunggrundlage war und somit deutlich mehr als 30m³/h/Person an Frischluft zugeführt wird. Würde dieselbe Luftmenge über die Fenster eingelassen, wäre die Raumluft genauso trocken: Es ist nicht eine Frage der Art der Lüftung, sondern eine Frage der Luftmenge. Am Beispiel: Die Sättigungsfeuchte der Luft beträgt bei -10°C ca 2,1 g/m³, bei 20°C ca. 17,3 g/m³ (siehe Abbildung 7).

¹ Oft wird auch das Wort „Wärmetauscher“ anstelle „Wärmeübertrager“ verwendet, aber es wird ja nichts getauscht sondern etwas übertragen, deshalb ist Wärmeübertrager der korrekte Begriff, der auch insbesondere in der Fachliteratur verwendet wird.

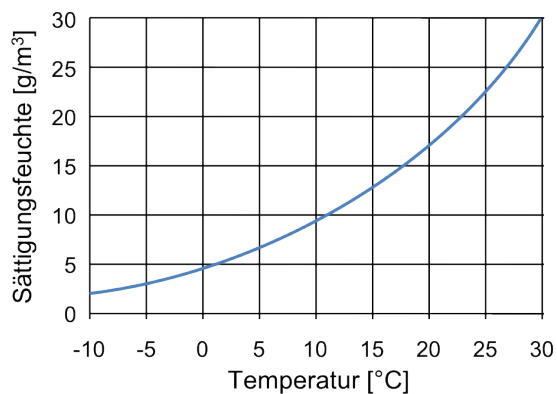


Abbildung 7: Sättigungsfeuchte in Abhängigkeit der Temperatur

Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50% entspricht das einer absoluten Feuchte von $8,65 \text{ g/m}^3$, also rund 4-mal so viel wie in der Aussenluft. Tauscht man nun ein Drittel der Raumluft durch Aussenluft ergibt sich eine mittlere absolute Feuchte von $6,5 \text{ g/m}^3$, das wiederum entspricht bei 20°C ca 37% rel. Luftfeuchtigkeit. Sind also wenig Feuchtigkeitsquellen im Raum und wird kontinuierlich frische Aussenluft zugeführt, so sinkt die Luftfeuchtigkeit sehr schnell. Deshalb sollten die Bewohner des Hauses entscheiden, ob die Luftmenge evt. reduziert werden kann, wenn die Luftfeuchtigkeit nicht innerhalb der Behaglichkeitsgrenzen ist. Problematisch ist das natürlich, wenn die Zuluft auch zum Heizen benötigt wird, deshalb wird das auch immer weniger realisiert. Bei Geräten mit Feuchterückgewinnung

über Rotationswärmeübertrager oder feuchtedurchlässige Wärmeübertrager (manchmal auch Enthalpiewärmetauscher genannt) ist zu bedenken, daß nur Feuchte zurückgewonnen werden kann, wenn sie in den Räumen mit Abluft auch vorhanden ist, also in der Regel Bad und Küche. Die Effektivität solcher Systeme ist besonders hoch, wenn der Unterschied hoch ist. Somit ist der Nutzen in der Praxis unterschiedlich groß, je nachdem wie viel z.B. gekocht oder geduscht wird.

6.2 Hintergrundwissen zur Kontrollierte Wohnraumlüftung

Jedes Passivhaus verfügt über eine kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung und es handelt sich um eine erprobte Technik, die aber sorgfältig geplant und eingebaut werden muss, damit sie den gewünschten Zweck gut erfüllt. Nach der neuen Din 1946-6 ist für jedes neue Haus sowieso ein Lüftungskonzept zu erstellen. Angenommen, man hat ein luftdichtes Gebäude und tauscht beim Querlüften die gesamte Luft Morgens und Abends aus, so man einen Luftwechsel von $2/24\text{h}=0,083/\text{h}$. Es sollte mindestens alle 3-4 Stunden die Luft ausgetauscht werden, folglich müssen entweder gezielt Aussenluftdurchlässe eingeplant werden, was energetisch nicht sinnvoll ist, oder eine Lüftungsanlage installiert werden. Einige Menschen fühlen sich nicht wohl bei dem Gedanken, daß so etwas Wichtiges, wie die Luft zum Atmen nicht mehr der eigenen Verantwortung unterliegt. Wie schon weiter oben gesagt, auch bei einem Passivhaus kann man die Fenster öffnen, wenn man das möchte und den höheren Energieverbrauch in Kauf nimmt. Man muss es aber nicht.

6.2.1 Kenndaten

Natürlich stellt sich die Frage, wie sich der eingesetzte Strom für die Ventilatoren im Verhältnis zur eingesparten Heizenergie verhält. Dies lässt sich einfach berechnen:

Ein gutes Lüftungsgerät hat einen Strombedarf (Elektroeffizienz) von kleiner $0,4 \text{ Wh/m}^3$. Nimmt man einen sehr ungünstigen Primärenergiefaktor von 3 an, stellt sich demnach die Frage um wie viel man einen m^3 Luft mit der Energie von $1,2 \text{ Wh}$ erwärmen kann, dazu eine kleine Überschlagsrechnung:

Luft hat eine Wärmekapazität von $0,33 \text{ Wh/m}^3\text{K}$, somit lässt sich ein m^3 Luft also um $1,2/0,33\text{K}=3,6 \text{ K}$ erwärmen. Anders herum formuliert ist die Wärmerückgewinnung dann energieeffizient, wenn die Aussenluft in der Heizperiode im Mittel rund 4 K erwärmt wird. Dabei ist natürlich nur der Verbrauch berücksichtigt und nicht der Energiebedarf zur Herstellung der Systemkomponenten. Auch dazu eine grobe Abschätzung:

Angenommen die Lüftungsanlage wiegt 60 kg incl. Gerät, Leitungen und Dämmung und besteht der Einfachheit halber aus 25 kg PVC (Primärenergieinhalt von 60MJ/kg) und 35 kg Stahl, Kupfer und Polystyrol (jeweils Primärenergieinhalt von 100MJ/kg). Dann ergibt sich daraus:

$$25 \text{ kg} * 60 \text{ MJ/kg} + 35 \text{ kg} * 100 \text{ MJ/kg} = 5000 \text{ MJ} = 1389 \text{ kWh}$$

angenommen, die Anlage läuft 20 Jahre und fördert 200 m³/h in der Zeit von Oktober bis März, also 6 Monat 24h/d, dann sind das:

$$20 \cdot 6 \cdot 24 \cdot 200 \text{ m}^3/\text{h} = 576.000 \text{ m}^3$$

Je m³ Luft muss demnach an Energie eingespart werden:

$$1389 \text{ kWh} / 576.000 \text{ m}^3 = 2,4 \text{ Wh/m}^3 \text{ und das entspricht 7K.}$$

Also sollte die Lüftungsanlage in der Zeit von Oktober bis April die Luft im Mittel um ca. 11K, also z.B: von 5°C auf 16°C erwärmen. Das erscheint als Mittelwert realistisch und ergibt, daß die Lüftungsanlage unter diesen Annahmen zum Primärenergieinhalt und Fördervolumen für sich alleine nicht viel Energie spart. Dennoch ist sie sicher aufkommensneutral und wahrscheinlich positiv. Weiterhin zeigt sich, dass es sinnvoll ist den Primärenergieinhalt der Materialien zu betrachten. Würde in diesem Beispiel mit weniger energieintensiven Materialien gearbeitet und im Betrieb die Effizienz auf durchaus bei guten Geräten erreichte 0,3 Wh/m³ erhöht, kommt man leicht auf einen geringeren nötigen Temperaturhub.

Üblich zur Beschreibung der Effizienz von Lüftungsgeräten sind folgende Begriffe:

- Temperaturwirkungsgrad oder Rückwärmezahl
- Wärmerückgewinnungsgrad (nach DIBT)
- Effektiver Wärmebereitstellungsgrad (nach PHI)

Temperaturwirkungsgrad

Der Temperaturwirkungsgrad auf die Zuluft wird definiert als:

$$\eta_{Zu} = (T_{Zu} - T_{Au}) / (T_{Ab} - T_{Au}), \text{ damit wird beschrieben, wie die Zuluft aufgewärmt wird,}$$

oder auf die Abluft bezogen als

$$\eta_{Ab} = (T_{Ab} - T_{Fo}) / (T_{Ab} - T_{Au}), \text{ damit wird beschrieben, wie die Abluft abgekühlt wird.}$$

T bezeichnet hierbei die jeweilige Temperatur. Ab- Abluft, Zu Zuluft, Au- Aussenluft und Fo Fortluft.

Der auf die Abluft bezogene Wirkungsgrad kann bei durchschnittlichen Geräten durchaus 10% geringer sein als der auf die Abluft bezogene Wirkungsgrad.

Problematisch ist an dieser Berechnung aber, daß die Luftfeuchtigkeit nicht berücksichtigt wird. Die Abluft enthält aber in der Regel Wasser, welches beim Abkühlen kondensiert und dadurch wird Wärme frei. Folglich sollte nicht die Temperatur, sondern der Wärmegehalt, physikalisch genau gesagt die Enthalpie H betrachtet werden.

Wärmerückgewinnungsgrad

Der Wärmerückgewinnungsgrad arbeitet mit der Enthalpie, allerdings wird auch hier nicht die echte Enthalpie der Abluft H_{Ab} verwendet, sondern die Enthalpie der Abluft H_{Ab}* bei Aussenluftfeuchte, also wie es real insbesondere im Winter nicht vorkommt.

$$\eta' = (H_{Zu} - H_{Au}) / (H_{Ab*} - H_{Au})$$

Leider wird die Enthalpie der Abluft H_{Ab}* auch manchmal mit H_{Zu}* bezeichnet.

Der Wärmebereitstellungsgrad ähnelt vom Zahlenwert dem Temperaturwirkungsgrad.

Die Ventalitore im Gerät geben auch Wärme ab, die nicht berücksichtigt wird und es gibt einen Wärmeübertrag aus dem Aufstellraum des Gerätes, der hier nicht berücksichtigt ist.

Effektiver Wärmebereitstellungsgrad nach Passivhausinstitut (PHI)

Der effektive Wärmebereitstellungsgrad (nach PHI) berücksichtigt sowohl die Ventilatorleistung als auch die Temperaturänderung durch den Aufstellraum, aber leider wiederum nicht die Luftfeuchtigkeit.

$$\eta_{\text{eff}} = (T_{\text{Ab}} - T_{\text{Fo}} + P_{\text{el}} / ((dm/dt) * c_p)) / (T_{\text{Fo}} - T_{\text{Au}}),$$

T bezeichnet hier wieder die Temperatur

P_{el} ist die elektrische Ventilatorleistung

dm/dt ist der Massevolumenstrom

c_p ist die spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck

In der Passivhausprojektierung kann angenommen werden, daß effektive Wärmebereitstellungsgrad um 12 % geringer als der Wärmerückgewinnungsgrad ist, Sofern keine entsprechende Messergebnisse vorliegen.

$$\eta_{\text{eff}} = \eta' - 12\%$$

Der effektive Wärmebereitstellungsgrad ist umso höher, je höher die Abwärme der Ventilatoren ist. Um einzuschränken, daß ineffiziente Ventilatoren zu vorteilhaft bewertet werden, wird beim PHI bei einer Zertifizierung zusätzlich zu einem effektiven Wärmebereitstellungsgrad von größer 75% auch eine Stromeffizienz von kleiner 0,45Wh/m³ gefordert

Fazit zur Beurteilung der Effizienz zu Lüftungsgeräten

Es ist kompliziert und leider kann man bei einem installierten Gerät unter Betriebsbedingungen nicht messen, ob die Herstellerangaben eingehalten werden.

Wenn man Geräte miteinander vergleichen will, muss man also darauf achten, daß die Messbedingungen gleich sind, also z.B. durch Zertifizierung beim Passivhaus Institut und auch das die Luftvolumenströme, auf die sich die Messungen beziehen gleich sind.

Details zur Zertifizierung sind beim Passivhausinstitut unter Zertifizierung von Lüftungsanlagen beschrieben.

6.2.2 Erdwärmeübertrager

In vielen Passivhäusern wird ein Erdwärmeübertrager (EWÜ) zum Vorwärmen der Luft eingesetzt.

Grundsätzlich sind dabei zwei Systeme zu unterscheiden,

1.) Luft - EWÜ

Die Luft wird durch ein Kanalnetz geleitet, das ca 2 m unter der Erde liegt. Aufgrund der dort herrschenden Temperaturen wird sie im Winter aufgewärmt, im Sommer gekühlt.

Der Luft-EWÜ ist umstritten. Im Sommer bei hoher Luftfeuchtigkeit kann sich Kondensat im Rohrsystem bilden, dies muss eventuell abgepumpt werden. Es gibt die Befürchtung, dass sich im Kondensat absetzende Keime in die Luft gelangen. Wissenschaftliche Untersuchungen gibt es dazu jedoch sehr wenig. Wenn er also eingesetzt wird ist auch fachgemäße Planung und Einbau zu achten. Insbesondere sollte ein Filter am Ansaugpunkt des EWÜ angebracht werden um das Verschmutzen des EWÜ zu minimieren. Je sauberer die Luft ist, die den EWÜ durchströmt, je geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich Keim im Kondensat bilden.

2.) Sole - EWÜ

Sole wird durch ein Rohrnetz geleitet und über eine Heizregister die Aussenluft vor Eintritt in das Lüftungsgerät vorgewärmt oder abgekühlt

Ein Erdwärmeübertrager ist erforderlich, wenn die Zuluft beheizt wird, indem der Fortluft über eine Wärmepumpe weitere Wärme entzogen wird, denn ohne EWÜ ist die Aussenluft am Lüftungsgerät und damit auch die Fortluft im Winter zu kalt.

Ist die Aussenluft sehr kalt, also z.B. -20°C , wird die Abluft im Lüftungsggerät eventuell so stark abgekühlt, daß kondensierendes Wasser gefriert. Durch einen EWÜ kann bei deutschen Temperaturverhältnissen sichergestellt werden, daß der Wärmeübertrager im Lüftungsggerät nicht einfriert.

Der Einsatzbereich von Lüftungsggeräten kann durch die Verwendung von Wärmeübertragern, die auch Feuchtigkeit übertragen (manchmal Enthalpie-wärmeübertrager genannt), von Grenztemperatur -2°C auf bis zu -10°C erweitert werden, da der Abluft nicht nur Wärme, sondern auch Feuchtigkeit entzogen wird, weniger Wasser kondensiert und folglich auch nicht einfrieren kann. Um das Einfrieren zu verhindern, muss ohne Verwendung eines EWÜ ein Vorheizregister in die Aussenluftleitung eingebaut werden. Oft ist diese Lösung auch im Verbrauch bei Strombetrieb finanziell günstiger als ein EWÜ. Es sollte also geprüft werden, wie der finanzielle Aufwand zum Sparen von Energie optimiert werden kann. Zu beachten ist, daß durch einen Luft-EWÜ höhere Ventilatorleistung das ganze Jahr aufgrund der größeren Druckverluste aufgewendet werden muss und auch die Solepumpe Strom verbraucht. Ein kleines Elektroheizregister kann bei einigen Herstellern im Sommer entnommen werden und verursacht dann keinen weiteren Druckverlust. Grundsätzlich kann mit einem EWÜ auch im Sommer die Aussenluft etwas abgekühlt werden. Obwohl dieser Effekt im Vergleich zum Sonnenschutz (Verschattung) der Fenster sehr klein ist, ist es für einige ein entscheidendes Argument dafür. Wichtig ist dann, dass das Lüftungsggerät über einen Bypass verfügt, so dass die Luft im Sommer nicht durch den Wärmeübertrager des Lüftungsggerätes geführt werden muss.

In manchen Geräten wird ein Frostschutz gewährleistet, indem der Aussenluftstrom im Vergleich zum Fortluftstrom reduziert wird. Dies ist nicht sinnvoll, da die Luftmengenbilanz ausgeglichen sein muss.

Eine ausgeglichene Bilanz kann erreicht werden, indem zum Abtauen des Wärmeübertragers anstelle der Aussenluft Umluft verwendet wird, und z.B. Luft aus dem Aufstellraum oder einem Flur anstelle der Aussenluft angesaugt wird und dann als Zuluft eingeblasen wird. Die Abluft eignet sich wegen evt. Geruchsbelastung dafür nicht. In dieser Zeit des Abtauens ist dann der Abluftstrom ebenfalls unterbrochen, was aber in der Regel kein Problem darstellt, da der Abtauvorgang nicht viel Zeit in Anspruch nimmt. Bei Verwendung einer Luftheizung kann so der Aussenluft auch Umluft beigemischt werden und der Volumenstrom und somit die Heizleistung von dem Frischluftstrom entkoppelt werden. Lufttechnik Schmeisser GmbH (<http://www.lufttechnik-schmeisser.de/>) bietet z.B. derartige Geräte an, diese verfügen zumindest teilweise über ein Zertifikat des Passivhaus Institutes und des DIBT.

Neben der Auswahl des Lüftungsggerät und der entsprechenden Aufstellung ist es wichtig, dass die Länge der Kaltluft führenden Kanäle in der thermischen Hülle eines Hauses möglichst gering ist und diese dann gut isoliert sind, denn so werden neben dem Energieverlust auch die Kosten minimiert.

7 Energiekonzept

Unter Energiekonzept ist zu verstehen, welcher Energieträger zum Heizen und zur Warmwasserbereitung verwendet wird (Solar, Strom, Gas, Kohle ..), wie das genau geschieht (Direktelektrisch, Brennwertkessel, Fernwärme, Wärmepumpe, Wärmespeicher) und wie die Energie im Haus verteilt wird, so das möglichst wenig Abwärme entsteht.

Manchmal wird gesagt, daß ein Passivhaus ohne Heizung auskommt, doch das ist so nicht ganz richtig. Zwar kann aufgrund der geringen Heizlast auf eine konventionelle Heizung verzichtet werden, dennoch muss dann im Winter Wärme über das Zuluftsystem zugeführt werden. Ähnlich wie bei Detailkonstruktionen des Hauses sollte auch der Haustechnik besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, denn überträgt ein unerfahrener Planer Technik, die für eine hohe Heizleistung etabliert wurde auf ein Passivhaus, so erhält der Bauherr wahrscheinlich keine gute Lösung.

7.1 Solarthermie

Solarenergie direkt zu nutzen ist sehr effektiv. Eine solarthermische Anlage besteht im Wesentlichen aus einem Absorber (Solarkollektor), einem Wärmeübertrager und einem Pufferspeicher mit der Möglichkeit zur Nachheizung für den Fall, daß Wärme benötigt wird und der Pufferspeicher nicht ausreichende Temperatur hat. Aus dem Pufferspeicher wird dann warmes

Wasser entnommen und entweder direkt für die Heizung verwendet oder mittels eines weiteren Wärmetauscher kaltes Trinkwasser erwärmt („Frischwasserstation“).

7.1.1 Solarkollektoren

Bei den Absorbern werden Metallrohre auf Absorberblechen (Flachkollektoren) oder Vakuum-Röhrenkollektoren eingesetzt, zur Schwimmbaderwärmung einfache schwarze Kunststoff-Absorber. Diese Kollektoren sind in der Regel mit einer Flüssigkeit gefüllt, die bei zu erwartenden Temperaturen nicht gefriert. Selten wird auch Luft als Medium zur Wärmeübertragung eingesetzt. Solarthermie kann zwar auch im Winter einen nennenswerten Ertrag bringen, der ist aber regional sehr unterschiedlich, da die direkte Sonneneinstrahlung entscheidend ist. Also bei -10°C Lufttemperatur und strahlender Sonne kann der Kollektor viel wärmer werden als an einem nebligen Tag mit $+10^{\circ}$ Lufttemperatur. Eine Integration in die Wand ist vorteilhaft, der der Kollektor im Winter weniger auskühlt und schon bei geringer Solarstrahlung die Aussenwand erwärmt wird und dadurch ein Wärmefluss von Innen nach Aussen verhindert wird.

7.1.2 Pufferspeicher

Es gibt viele Größen und Arten von Pufferspeichern. Am gebräuchlichsten sind Wasserspeicher um mehrere Tage zu überbrücken. Sie haben in der Regel ein Volumen zwischen 300 l und 1000 l. Für besondere Anwendungen können Wasserspeicher als Jahreszeitspeichern mit mehreren Kubikmetern Volumen (bis zu 30.000 l für ein Einfamilienhaus) eingesetzt werden oder das Erdreich in einem definierten Bereich aufgewärmt werden. Gegenstand von Forschung und Entwicklung sind sogenannte Latentwärmespeicher (PCM-Speicher nach **phase change material**), in denen ein Phasenübergang genutzt wird, also am Beispiel von Wasser: Energie wird entzogen, wenn es gefriert und zugeführt, wenn es schmilzt. Anwendung finden Latentwärmespeicher im Konsumentenbereich z.B. als Taschenwärmer. Für den Haustechnikbereich sind Parafin oder Salze in der Diskussion. In einem gewissen Temperaturbereich haben Latentwärmespeicher den Vorteil eines geringeren Platzbedarfes, da beim Phasenübergang im Vergleich zu einer Temperaturerhöhung relativ viel Energie gespeichert wird. Das relativiert sich jedoch, wenn ein großer Temperaturbereich ausgenutzt werden kann, denn die Wärmekapazität von Wasser ist höher als bei anderen Materialien. Dies sei in folgendem Beispiel veranschaulicht:

Angenommen, der nutzbare Wärmebereich ist von 10°C – 80°C , so kann man in Wasser 8,1 kWh/100 l speichern und in Parafin 8,5 kWh/100 l. Ist der nutzbare Bereich nur 35°C – 70°C , reduziert sich der Wärmehalt bei Wasser auf 4,1 kWh/100 l und bei Parafin auf 6,8kWh/100 l.

Im angepassten Temperaturbereich haben Latentwärmespeicher auch den Vorteil von geringeren Verlusten, da für gleiche Wärmemenge in einem Wasserspeicher ein größerer Temperaturunterschied nötig ist, der zu höheren Verlusten führt. Einige Produkte sind auf dem Markt. Hier ist mit einer weiteren Entwicklung zu rechnen.

7.1.3 Nachheizung

Wie schon oben erwähnt ist in der Regel ein System nötig, um das Wasser weiter zu erhitzen, wenn die Sonne nicht ausreichend scheint. Das kann zum Beispiel ein Öl- oder Gaskessel, eine Wärmepumpe, ein Pellet- oder Kaminofen oder eine Fernwärmestation sein. Alternativ kann auch direkt mit Strom, im Falle von Trinkwasser z. B. mit einem elektrischen Durchlauferhitzer das benötigte Wasser auf die gewünschte Temperatur erwärmt werden ohne dass das Wasser im Pufferspeicher nachgeheizt wird.

7.1.4 Besonderheiten zum Einsatz von Solarthermie zur Heizung

Ob eine Heizung mit Solarthermie sinnvoll ist hängt von den geographischen Gegebenheiten und dem Hauskonzept bzw. Wärmebedarf ab. Kann der solarthermische Ertrag in der Übergangszeit und im Winter voll zur Unterstützung der Warmwasserbereitung genutzt werden erübrigt sich die Überlegung. Ist das Gebäude optimal mit Fensterflächen ausgerichtet, kann durch direkte Sonneneinstrahlung auch viel erreicht werden. Je geringer die Vorlauftemperatur der Heizung ist, desto eher ist eine Nutzung von Solarthermie in Kombination mit einem entsprechenden Speicher interessant. Hierbei ist zu beachten, wie das System zur Heizung an das für Warmwasser gekoppelt ist. Wird z. B. derselbe Pufferspeicher verwendet sollte Wärme für

Warmwasser und Heizung an unterschiedlichen Positionen / Temperaturen entnommen werden können. Solche unterschiedlichen Temperaturen werden Schichtenspeicher erreicht. Da kaltes Wasser schwerer ist als warmes Wasser und Wasser ansich die Wärme schlecht leitet ist der obere Bereich eines Schichtenspeichers warm, der Untere ist kalt. Dies lässt sich z.B. auch in einem See beobachten, unten ist es im Sommer immer kälter als an der Wasseroberfläche². Dabei ist es wichtig, dass die Schichtung nicht durch Strömung bei der Entnahme oder Einleitung von Wasser zerstört wird.

7.2 Nutzung von Strom zur Wärmeerzeugung

Generell gilt beim Energieverbrauch, dass zunächst der Verbrauch reduziert und dann der Restbedarf möglichst umweltfreundlich gedeckt werden sollte. Es gilt also abzuwägen, welchen Aufwand man für Einsparung von Energie und die Deckung des Restbedarfs betreibt. Bei dieser Abwägung sollte die Energiebilanz im Lebenszyklus der Gebäude berücksichtigt werden, also Herstellung, Betrieb und Rückbau.

Aufgrund des hohen Primärenergiefaktors von Strom in Deutschland (siehe Kap. 3) erscheint es zunächst einmal nicht sinnvoll und auch teuer Strom für die Erzeugung von Wärme zu nutzen.

Ist der Wärmebedarf sehr gering und eine sehr gute Regelbarkeit erforderlich, kann es in einigen Fällen dennoch sinnvoll sein, Strom zur Wärmeerzeugung einzusetzen. Diese Ausnahmen sollen im Folgenden näher erläutert werden.

7.2.1 Wärme für Trinkwarmwasser

Wird eine großzügig dimensionierte solarthermische Anlage installiert, muss nur noch Zusatzheizung bereitgestellt werden, wenn z.B. im Winter nicht ausreichend Solarertrag erzielt wird. Für diesen Fall muss die Warmwasser Bereitungsanlage (in der Regel ist das die Heizungsanlage) ausgelegt werden, denn dann wird die höchste Leistung benötigt und kaum jemand akzeptiert auch nur wenige Male im Jahr kalt statt warm zu duschen, weil die Leistung nicht reicht. Dies ist insbesondere bei Mehrfamilienhäusern relevant, da ja evt. viele Bewohner gleichzeitig Duschen wollen und die Leitungswege vom Solarspeicher größer als bei Einfamilienhäusern sind. Um häufiges An- und Ausschalten der Warmwasser Bereitungsanlage zu vermeiden wird in einigen Einfamilienhäusern und häufig in Mehrfamilienhäusern Trinkwasser in einem Tank bevorratet und mit einer Zirkulationsleitung ständig umgewälzt. Dabei sind hohe Temperaturen von ca. 65°C nötig, um die Bildung von Legionellen in stehendem warmen Wasser zu verhindern. Dies wiederum führt dazu, dass die Verluste mit mehr als 33% im Vergleich zur gezapften Wassermenge sehr hoch sind.

Abhängig vom Deckungsbeitrag der Solarthermieanlage ist es sinnvoll, die Zusatzheizung rein über direktelektrische Durchlauferhitzer zu realisieren, denn es muss dann nur das wirklich benötigte Wasser auf die wirklich benötigte Temperatur erhitzt werden und nicht der obere Bereich des Solarspeichers auf die eventuell benötigte Temperatur. Die Verteilungsverluste im Haus sind dann mit ca. 25% geringer als im konventionellem Fall.

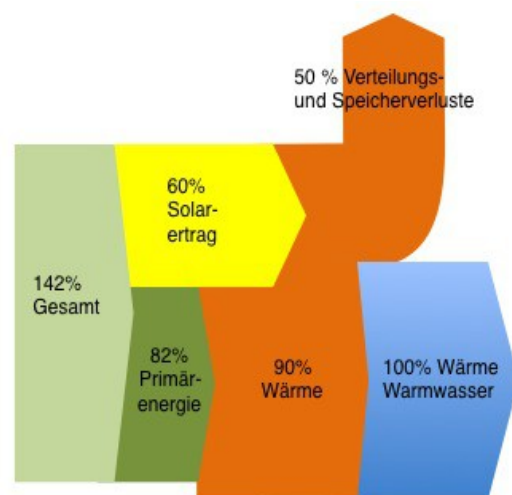


Abbildung 8: Konventionelle Wärmeerzeugung, die Zusatzheizung zur Solarthermie wird durch Verbrennung z.B. von Gas mit dem Primärenergiefaktor 1,1 erreicht. Die Verteilungsverluste im Haus sind mit ca. 33% sehr hoch.

² Wasser hat bei 4°C seine höchste Dichte. Sinkt die Oberflächentemperatur im Winter unter 4°C, so sinkt dieses kalte Wasser nicht nach unten und es bildet sich Eis an der Oberfläche, was auf dem Wasser schwimmt.

Im Einfamilienhäusern lässt sich ein solarer Deckungsbeitrag von über 80% erreichen und somit lohnt es nicht, eine konventionelle Heizung zur Warmwasserbereitung zu installieren. Erfahrungen aus Einfamilienhäusern zeigen, dass ein Stromverbrauch inklusive Zusatzheizung für Raumwärme und Trinkwarmwasser unter 1000 kWh/Person und Jahr möglich ist. Bei diesem Energiebedarf ist auch die Belastung des Stromnetzes unkritisch.

Bei Mehrfamilienhäusern ist es unter Umständen schwierig, einen hohen Deckungsbeitrag zu erreichen, da die geeignete Fläche auf dem Dach und in der Fassade begrenzt ist. Für diesen Fall muss dann doch der Solarspeicher nachgeheizt werden. Werden für den Spitzenbedarf elektrische Durchlauferhitzer in den Wohnungen installiert, kann die Leistung der Nachheizung des Solarspeichers moderat ausgelegt werden, denn die Durchlauferhitzer übernehmen die Spitzenleistung und die Leistungsreserve. Das Wasser wird im Solarspeicher nur im Durchflussverfahren erwärmt um größere Mengen stehendes Wasser und somit die Bildung von Legionellen zu verhindern.

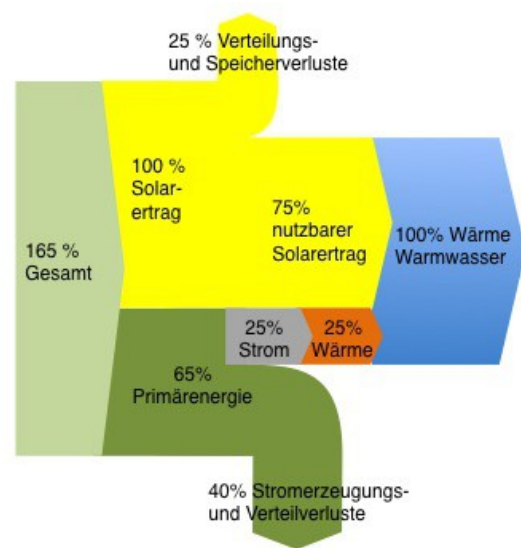


Abbildung 9: Alternativ: Die Solarthermie wird wesentlich grösser ausgelegt, Zusatzheizung wird über Strom mit dem Primärenergiefaktor 2,6 bereitgestellt. Die Verteilverluste im Haus sind mit ca. 25% geringer.

Der gesamte Energieeinsatz ist höher, aber der Anteil an nicht erneuerbarer Primärenergie geringer.

7.2.2 Heizwärme

Heute lassen sich Gebäude so bauen, dass nur noch ein Wärmebedarf von 5-10 kWh/m² a besteht, also z.B. in einer 150 m² Wohnung lediglich 750-1500 kWh im Jahr. Damit liegt man unterhalb des Passivhausstandards von 15 kWh/m² a.

In derart sehr gut gedämmten Gebäuden wird aufgrund des geringen Wärmeverlustes und des Wärmeeintrags durch direkte Solarstrahlung zeitlich und räumlich häufig nur punktuell Wärme benötigt. Weiterhin ist die Wohlfühltemperatur nicht nur von der Luft- und Umgebungstemperatur abhängig, sondern z.B. auch davon ob jemand sich im Haus bewegt oder sitzt, bei einigen auch ob sie ausgeschlafen oder müde sind.

Daraus ergibt sich, dass die optimale Heizung für solch ein Haus sehr schnell regelbar sein sollte und deshalb ist eine höhere Heizleistung sinnvoll, als sie nötig wäre um das Haus z.B. auf konstant 21°C zu halten.

Wenn nur eine kleine Wärmemenge benötigt wird, sind bei einer wasserführenden Heizung die Verluste vom Wärmeerzeuger bis zur Heizfläche und der benötigte Pumpenstrom signifikant. Eine in Niedrigenergiehäusern beliebte im Estrich verlegte Fußbodenheizung reagiert sehr träge und ist demnach schlecht regelbar.

Direktelektrische Heizflächen oder Heizstrahler sind jedoch sehr gut regelbar und die Leistung lässt sich gut dem Bedarf anpassen. So kann man z.B. im Bad über einen 1500W Heizstrahler sehr schnell vor dem Baden die Temperatur erhöhen, in einem Schlafzimmer reicht in der Regel eine kleine 300W Heizfläche.

7.2.3 Wirtschaftlichkeit

Die direkte Wärmeerzeugung über Strom ist in vielen Fällen mit den geringsten Investitionskosten verbunden, da Anschlusskosten an Gas- oder Fernwärmenetz bzw. Bau eines Schornsteins oder Erschließung einer Wärmequelle für eine Wärmepumpe nicht anfallen. Bei Mehrfamilienhäusern entfällt auch die Abrechnung über Wärmemengenzähler und die damit verbundenen Kosten.

Da Verluste vermieden werden, sind die Wärmeerzeugungskosten in der Regel nicht höher als über andere Quellen, auch wenn der Strompreis/kWh höher ist als bei Brennstoffen.

Den größten Vorteil hat das System in den sehr geringen Wartungskosten, dem geringem Verschleiß sowie der geringen Fehleranfälligkeit.

7.2.4 Aussicht

Häuser und auch Wärmeversorgungsanlagen werden für einen Zeitraum von mehreren Jahrzehnten gebaut, deshalb lohnt es sich über zukünftige Entwicklungen nachzudenken.

Aufgrund des Risikos und der CO₂ Emissionen will man den Einsatz von Kernenergie und fossilen Energieträgern drastisch reduzieren. Biomasse steht aufgrund der geringen Flächeneffizienz nur in begrenztem Umfang zur Verfügung und deren Verbrennung ist im innerstädtischen Bereich aufgrund der Feinstaubemissionen und Geruchsbelästigung nur begrenzt sinnvoll.

Der Anteil an erneuerbar erzeugtem Strom wird demnach steigen und damit der Primärenergiefaktor für Strom sinken, schon heute kann man einen Stromversorger wählen, der „Ökostrom“ entsprechend eines Durchschnittsbedarfs (Lastprofil) ins Netz einspeist. Zwar stehen Erneuerbare Energien unständig zur Verfügung, jedoch wird dies durch die Weiterentwicklung von Speichertechnologie, sei es im Haus oder zentral überbrückt werden.

7.2.5 Schlussfolgerungen

Strom zur Deckung des Wärmebedarfs ist dann sinnvoll, wenn der Wärmebedarf sehr gering ist und somit der Gesamtstrombedarf bei stromsparender Lebensweise immer noch in der Größenordnung des Bundesdurchschnitts von ca. 1300 kWh/Person und Jahr ist.

Aufgrund der Vermeidung von Verteilungsverlusten können sowohl Kosten als auch ökologische Bewertung der Wärmeerzeugung durch Strom über die Primärenergie günstiger sein, als bei herkömmlichen Konzepten.

Der Aufwand sehr gut zu Dämmen und eine Solarthermieanlage grosszügig auszulegen kann sich also lohnen.

7.3 Strom in Verbindung mit Wärmepumpe

In den letzten Jahren werden Wärmepumpen stark beworben und häufig eingesetzt. Eine Wärmepumpe arbeitet nach dem gleichen Prinzip wie ein Kühlschrank. Einem kalten Reservoir (dem Innenraum des Kühlschranks oder dem Erdreich, bzw. der Aussenluft) wird Wärme entzogen und in ein warmes Reservoir geleitet (der Luft an der Kühlschrankrückseite bzw. dem Heizungswasser). Für die Effizienz ist es wichtig, daß der Temperaturunterschied gering ist. Ist die Rückwand des Kühlschranks schlecht belüftet oder steht der Kühlschrank neben dem Backofen ist das genauso ungünstig, wie wenn Wasser auf 40-50°C erhitzt werden soll und die Wärme der -10°C kalten Luft entzogen werden muss.

Die Effizienz einer Wärmepumpe wird durch (Jahres-) Arbeitszahl beschrieben, dem Verhältnis von eingesetzter Elektrischer Energie zur erzielten Wärme. Hat eine Wärmepumpe eine Arbeitszahl von 3, so braucht sie nur 1/3 des Stroms eines direkt-elektrischen Systems. Daraus ergibt sich, daß Wärmepumpen, die der Aussenluft Wärme entziehen im Winter ineffizienter sind, als solche, die die relativ hohe Temperatur im Erdreich nutzen. Die Arbeitszahl sinkt um bis zu 0,5, wenn die Temperaturdifferenz zwischen warmen und kaltem Reservoir um 5K steigt. Es ist also beim Einsatz einer Wärmepumpe darauf zu achten, daß die zur Berechnung der Arbeitszahl im Prospekt verwendeten Temperaturen mit denen in der Praxis auftretenden übereinstimmen, sonst wird weder die Umwelt geschont, noch Geld gespart. Eine umfangreiche Datensammlung findet sich z.B. unter www.wpz.ch. Am ungünstigsten ist es wenn das warme Trinkwasser in einem Trinkwasser erwärmt wird, der aufgrund der Legionellengefahr regelmäßig auf 60-70°C aufgeheizt werden muss. Da ist es besser, einen Heizungspufferspeicher einzusetzen, diesen auf ca 30-40°C zu erhitzen und mittels Frischwasserstation und direktelektrischen Durchlauferhitzer die benötigte Menge Wasser auf die benötigte Temperatur zu bringen.

Attraktiv kann es sein eine Wärmepumpe mit einer Solarstromanlage zu koppeln und den erzeugten Solarstrom so in Form von Wärme zu speichern. Im Vergleich zu einer Solarthermie Anlage hat man da den Vorteil, dass immer eine Wunschtemperatur erreicht wird und Überschüsse im Sommer ins Stromnetz eingespeist werden können.

7.4 Holzfeuerung

Holzfeuerung, sei es in Kaminöfen oder in Form von Stückholz oder Holzpellets, hat in den letzten Jahren an Beliebtheit gewonnen. Eine sichtbare Flamme wird oft als gemütlich empfunden, Holz ist ein nachwachsender Rohstoff und manchmal ist eine preiswerte Quelle für Holz vorhanden. Dennoch gibt es zwei Punkte zu beachten: Zum einen sollte Holz vorwiegend als Baustoff genutzt werden und nicht primär zur Verbrennung, denn sonst wird mehr Holz verbraucht als in der gleichen Zeit nachwachsen kann (siehe auch <http://www.holz-verantwortung.de/>). Zum anderen würde die Feinstaub- und Geruchsbelastung nach derzeitigem Standard in dicht besiedelten Regionen, wie Städten unverträglich hoch.

Die Verwendung eines Kaminofens in einem Passivhaus ist grundsätzlich möglich, jedoch muss er die Verbrennungsluft unabhängig vom Raum erhalten und mit der Lüftungsanlage gekoppelt sein, damit bei Ausfall der Zuluft die Verbrennungsabgase nicht durch Unterdruck in das Haus gezogen werden. Da die Leistung eines Ofens oft in der Größenordnung um 7- 12 KW liegt, wäre in einem gut isolierten Haus ein Raum überhitzt, sofern nicht genug Luftaustausch mit den anderen Räumen im Haus gegeben ist. Deshalb gibt es die Möglichkeit einen Ofen sozusagen mit Wasser zu „kühlen“ und mit diesem so erwärmte Wasser einen Wasserspeicher aufzuladen, dessen Wärme dann wiederum zur Trinkwassererwärmung oder Heizung anderer Räume genutzt werden kann.

7.5 Heizung für ein Passivhaus

Die Auswahl des geeigneten Heizsystems und der Energiequelle hängt neben Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von dem Bedarf an Heizleistung und dem Nutzungsverhalten ab. Somit ist folgendes Vorgehen empfehlenswert: Zunächst sollte die Heizlast, also die benötigte maximale Heizleistung für das Haus und evtl. einzelner Räume ermittelt werden. Für die Bestimmung der in der Praxis nötigen Heizleistung eines Raumes muss das Nutzerverhalten der dort lebenden Personen berücksichtigt werden. Damit ist insbesondere gemeint, dass berücksichtigt werden muss, wie schnell ein Raum bei Bedarf aufgeheizt werden soll. Um z. B. eine schnelle Erwärmung der Luft im Badezimmer für kurze Zeit zu erreichen, sind direktelektrische Systeme wie Heizstrahler oder Heizlüfter durchaus gut geeignet, während man für die Grundlast möglichst auf andere Systeme zurückgreifen sollte. Zur finalen Entscheidung sollte die Warmwasserbereitung mit einbezogen werden, denn in einem Passivhaus liegt der für Warmwasserbereitung nötige Energiebedarf in der gleichen Größenordnung wie der Heizenergiebedarf.

Nachdem wir die Wärmeerzeugung schon diskutiert haben gehen wir im Folgenden auf die Wärmeübergabesysteme ein:

7.5.1 Luftheizung über die kontrollierte Wohnraumlüftung

Es war die ursprüngliche Idee des Passivhauses das sowieso zur kontrollierten Wohnraumlüftung vorhandene System auch für die Beheizung zu nutzen und Kosten für eine konventionelle Heizung einzusparen. Jedoch ist die Übergabeleistung einer solchen Heizung im Vergleich zu anderen Systemen gering und lässt sich folgendermaßen berechnen:

Frischluft kann auf ca. 50°C erhitzt werden, die Wärmekapazität von Luft ist bei 21°C und Normaldruck 0,33Wh/(m³K), der empfohlene Luftwechsel ist 30 m³/hPers. Damit ergibt sich pro Person und für eine Raumtemperatur von 20 °C eine Heizleistung von: $30\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Person}) \cdot 0,33\text{Wh}/(\text{m}^3\text{K}) \cdot (50-20)\text{K} = 300 \text{ W/Person}$. Nimmt man nun 30m² Wohnfläche je Person an, so ergibt es 10W/m² Heizleistung und das wiederum entspricht in Mitteleuropa im Durchschnitt ca. 15 kWh/(m²a) Energiebedarf für Heizwärme. In Südeuropa wären es weniger und in Nordeuropa mehr. Somit ist es grundsätzlich für ein Passivhaus ausreichend, weil der Standard ja so definiert worden ist (siehe Kap. 3). Eine Zuluftheizung ist jedoch nicht zwangsläufig für jeden Raum ausreichend. Eventuell muss z.B: im Bad ein zusätzlicher Heizstrahler oder Heizkörper installiert werden. In sogenannten Kompaktgeräten wird die Zuluft durch eine Wärmepumpe erwärmt, die der schon durch den Wärmeübertrager abgekühlten Fortluft weitere Energie entzieht. Alternativ kann durch andere Systeme erwärmtes Wasser in Heizregistern genutzt werden. Dies kann zentral geschehen, oder das Heizregister kann in das Zuluftrohr für einen Raum eingebaut werden und dieser individuell geregelt werden. (mehr Infos dazu unter <http://www.fi-lu.de/luftherhitzer.html>). Die Kombination der Heizung und Lüftung ist aber nicht nur ein Vorteil, sondern hat auch den Nachteil, dass in einem sehr kalten Winter relativ viel Luft zum Heizen benötigt wird und sofern man Luft nicht teilweise aus dem Innenraum verwendet sondern nur die Zuluft aufheizt

dadurch die Raumluft unangenehm trocken wird. Dies ist insbesondere der Fall, wenn auf eine Person deutlich mehr als 30m² Wohnfläche kommen und damit mehr Luft eingetragen wird, als zum Frischluftbedarf für die Bewohner nötig wäre. Trockene Luft ist kein Phänomen eines Passivhauses sondern eines von hoher Frischluftzufuhr bei kalten Aussentemperaturen (siehe. 6.1)

7.5.2 Bauteilaktivierung

Unter einer Bauteilaktivierung versteht man das Erwärmen oder Kühlen eines massiven Bauteils innerhalb der thermischen Hülle mit dem Ziel, das Raumklima zu beeinflussen. In der Praxis sieht es so aus, dass analog zu einer Fußbodenheizung Heizschlangen in einer massiven Betondecke zwischen zwei Wohngeschossen verlegt werden und diese Decke dann Wärme an die anliegenden Räume abgibt oder sie kühlt. Bei einem sehr gut gedämmten Haus ist es nicht wichtig, ob die Wärmequelle der Fußboden, Decke oder Wand ist. Das System ist natürlich extrem träge und kann nicht als alleinige Heizung genutzt werden.

7.5.3 Fußbodenheizung

Eine Fußbodenheizung ist in einem Gebäude mit hohem durchschnittlichem Heizenergiebedarf deshalb interessant, weil sich ein starker Temperaturgradient zwischen Boden und Decke einstellt. Die vom Boden ausgehende Strahlungswärme wird wahrgenommen und warme Füße werden in der Regel als angenehm empfunden. Hier kann also Energie gespart werden, weil die zum Wohlbefinden nötige mittlere Raumtemperatur oft geringer sein kann als mit einer Heizung über herkömmliche Heizkörper. Eine Fußbodenheizung in der klassischen Bauweise erwärmt zunächst die große Masse des Estrichs und gibt diese Energie dann langsam ab, dadurch ist sie sehr träge in der Reaktionszeit und nicht geeignet, wenn die Temperatur in einem Raum schnell regelbar sein soll. Diese Trägheit wird verringert, wenn z. B. die Wärmeleitfähigkeit im Fußboden durch ein Blech erhöht wird. Im Gegenzug wird die Trägheit durch einen Fußbodenbelag aus Holz und Teppich erhöht. In einem Passivhaus ist eine Fußbodenheizung aus folgenden Gründen in der Regel nicht sinnvoll:

- Die momentane Heizleistung kann nicht gut angepasst werden, da immer erst der Fußboden mit einer hohen Masse aufgewärmt werden muss bzw. die Momentanleistung nur sehr langsam durch Abklingen der Fußbodentemperatur sinkt. Es wird so insbesondere in der Übergangszeit viel mehr Energie verbraucht, als zur reinen Erwärmung des Raumes auf eine Zieltemperatur nötig wäre.
- Aufgrund der geringen Heizleistung im Passivhaus müsste der Fußboden nur geringfügig wärmer sein als die Wände und wird somit auch nur wenig als warm wahrgenommen.

Soll z.B. im Bad der warme Fliesenboden ein Komfortmerkmal sein, kann man natürlich eine Fußbodenheizung einbauen, auch wenn es energetisch nicht optimal ist, alternativ zu einer wasserführenden Fußbodenheizung könnte auch eine elektrische verwendet werden. Mit der Fußbodenheizung ist es jedoch nicht möglich, dass Bad schnell z.B. von 21°C auf 24°C aufzuheizen, ist das gewünscht, muss eine zusätzliche Heizquelle wie z.B. ein elektrischer Heizstrahler eingebaut werden.

7.5.4 Wandheizung

Bei einer Wandheizung werden wasserführende Rohre analog zu einer Fußbodenheizung unter den Putz oder in einer Trockenbauplatte verlegt. Die thermische Masse ist viel geringer als der Estrich im Fußboden, da der Putz nicht so dick ist und auch einzelne Teile der Wand, z.B. in 60 cm Breite beheizt werden können. Somit verbindet die Wandheizung den Vorteil einer relativ schnellen Reaktionszeit und Regelbarkeit mit dem einer flächig strahlenden Heizquelle und ist für ein Passivhaus geeignet. Mittels einer Thermofolie, die unterschiedliche Farben je nach Temperatur annimmt kann die Position der Leitungen gut bestimmt werden und somit auch Löcher gebohrt werden oder Nägel eingeschlagen werden. Natürlich sollte die mit der Wandheizung versehene Wand nicht mit Möbeln zugestellt werden.

7.5.5 Wasserführende Heizkörper

Heizung über Heizkörper ist ein klassisches System; Luft wird am Heizkörper erwärmt und steigt zur Decke, fällt dann wieder auf den Boden. Deshalb wurden sie besonders gerne vor bzw. unter Fenstern angelegt, da dort die Konvektion besonders stark ist und die das Strahlungsempfinden der kalten Fensterfläche abmildern. Der Fußboden ist dann oft kalt und deshalb wird oft gesagt, dass die zum Wohlfühlen benötigte Lufttemperatur mit Fußbodenheizung geringer sein kann als bei Verwendung von

Heizkörpern. In einem gut gedämmten Haus ist der Unterschied zwischen Lufttemperatur an der Decke und Fußboden nur ca. 1K und die Konvektion nicht so stark und deshalb ist die Heizung mit einem herkömmlichen Heizkörper vom Temperaturempfinden nicht ungünstiger als eine Fußbodenheizung. Aufgrund der geringeren Fläche benötigen Heizkörper eine höhere Vorlauftemperatur als eine Fußbodenheizung und sind deshalb in Kombination mit einer Wärmepumpe weniger gut geeignet. Da die Temperatur von Heizkörpern gut regelbar und die thermische Masse im Vergleich zu einer Fußbodenheizung gering ist, sind sie gut für ein Passivhaus geeignet. Wasserführende Badheizkörper, die über einen Elektroheizstab geheizt werden, sind aufgrund der großen thermischen Masse des Wassers träge und erreichen oft nur Temperaturen um 40° und sind somit nicht zu schneller Erwärmung eines Bades geeignet, sondern eher zur Erwärmung und Trocknung eines Handtuchs und zur Deckung der Spitzenheizlast, wenn es mal sehr kalt ist. Dies sollte berücksichtigt werden, wenn für ein Passivhaus solche Systeme evaluiert werden.

8 Der Weg zum Passivhaus

8.1 Grundstück

Zunächst muss man selbstverständlich ein Grundstück haben. Um solare Gewinne optimal zu nutzen, sollte ein Haus möglichst so gebaut werden können, dass ca. 40-50% der Fensterfläche im Winter unverschattet nach Süden ausgerichtet sind. Man kann ein Passivhaus auch unter ungünstigeren Bedingungen bauen, wobei Verschattung stärkere Auswirkung hat als eine Abweichung in der Ausrichtung; Eventuell ist mit finanziellem Mehraufwand zu rechnen. Bei einem innerstädtischen Mehrfamilienhaus hat man den Nachteil, daß Ausrichtung und Verschattung oft nicht optimal sind. Dafür ist das Oberflächen- zu Volumenverhältnis besser als beim Einfamilienhaus. Manchmal erreicht das Haus als ganzes Passivhausstandard, aber die unteren Wohnungen für sich betrachtet nicht.

8.2 Planer

Der wichtigste Planer ist natürlich der Architekt. Er leitet gewöhnlich das Gesamtprojekt, hat sein Spezialwissen im Aufbau und Design des Gebäudes und sollte Grundwissen über die Haustechnik haben. Passivhäuser zu bauen ist keine Zauberei und wurde schon zehntausendfach gemacht. Dennoch muss man über gewisse Detailkenntnisse und Unterschiede zum normalen Baustandard gut Bescheid wissen. Da es wie immer nicht sinnvoll ist bei der Planung zu sparen sollte der Architekt entweder selber über gute Erfahrung und fundiertes Wissen im Passivhausbau verfügen oder sich für Detailfragen beraten lassen.

In den wenigsten Fällen hat einer in allen relevanten Bereichen ausreichend Spezialwissen und so ist es sinnvoll, ein Planerteam schon in der frühen Projektphase zusammenzustellen und Grundzüge sehr früh abzusprechen („integrale Planung“). Wenn man sich für einen Architekten/Planerteam ohne Passivhauserfahrung entscheidet, ist es sinnvoll die Zertifizierung des Hauses zu vereinbaren. Das kostet einige Tausend Euro mehr, dafür wird das Projekt von einem Experten von der Planung bis zur Fertigstellung begleitet und dem Bauherren die Sicherheit gegeben, dass keine wesentlichen Fehler gemacht werden. Korrekturen nach der Fertigstellung sind oft nicht oder nur mit unverhältnismäßig großem Aufwand machbar.

8.3 Integrale Planung

Schon bei der Grundlagenermittlung und Vorplanung sollte das Energiekonzept entwickelt werden. In der frühen Phase sind die Einflussmöglichkeiten auf Energieeffizienz und Kosten noch sehr hoch. Es sollten also insbesondere beim Passivhausbau alle am Bau beteiligten Planer (Architekt, Haustechnik, Statik) frühzeitig einbezogen werden und so integral, also gleichzeitig an dem Projekt arbeiten. Es ist sehr aufwändig, im Zuge der Werkplanung noch große Kosten einzusparen oder die Energieeffizienz zu erhöhen.

Insbesondere stellt sich die Frage, ob eine großflächige Solarstrom- oder solarthermische Anlage vorgesehen werden soll. Das ist sinnvoll, wenn der Primärenergiekennwert, also die Energiemenge, die im Jahr im Haus verbraucht wird, gering sein soll. Hierbei wird berücksichtigt, daß z.B. im Mittel das 2 fache des Strombedarfs an Primärenergie aufgewendet werden muss um

den Strom zu erzeugen. Für Solarstrom ist eine Ausrichtung nach Süden mit einer Neigung von 35° in Mitteleuropa ideal für den Jahresertrag. Eine geringere Neigung oder eine Ost-West Ausrichtung hat jedoch für den Eigenverbrauch Vorteile. solarthermischen Anlagen zur Warmwasserbereitung sollten eher mit mind. 60° geneigt sein, um einen möglichst hohen Deckungsgrad zu erreichen, da im Hochsommer bei 35° Neigung meist eine Überdeckung erreicht würde, aber im Winter die Anlage mit Schnee bedeckt sein kann und sehr wenig Ertrag liefert. Sie können auch in die Fassade integriert werden, was auch den Vorteil hat, dass die Wand als Bauteil erwärmt wird und deshalb weniger Wärme abgibt, als man es über eine reine Berechnung anhand der U-Werte erwarten würde.

Auch die Frage mit welcher Technik der Hauptenergiebedarf für Warmwasser und Heizung gedeckt werden soll bedarf einer frühen Klärung. Eventuell besteht Anschlusszwang an ein Fernwärmenetz, keine Möglichkeit eines Gasanschlusses oder aufgrund der Bodenbeschaffenheit ergeben sich Einschränkungen bei der Nutzung einer Sole - Erdwärmepumpe. Ferner sind natürlich auch wirtschaftliche Belange bedeutend, da manchmal der Anschluss an Fernwärme oder Gasnetz mit hohen Grundgebühren verbunden ist und bei dem geringen Verbrauch in einem Passivhaus damit nicht kosteneffizient ist.

Insgesamt sollte auch abgewägt werden, ob Technik eingesetzt wird, die evtl. fehleranfällig ist. Leider gibt es selten Ideallösungen und man muss Kompromisse schließen.

8.4 Von der Vergabe bis zum Einzug

Bei Vergabe von Gewerken sollte auf spezielle Abnahmekriterien wie zum Beispiel die nötige Luftdichtigkeit hingewiesen werden und während des Baus ständig kritische Punkte kontrolliert werden. Der investierte Aufwand in eine klare Formulierung der Anforderungen und gute Detailplanung lohnt sich mit Sicherheit. Der Bau eines Passivhauses erfordert eine besondere Sorgfalt der beteiligten Handwerker.

Selbst beim Einzug gibt es noch Passivhaustypische Details zu berücksichtigen. Für ein Passivhaus reicht üblicherweise eine maximale Heizleistung von 10W/m². Mit dieser Leistung dauert es im Winter einige Tage, das gesamte Haus von vielleicht 15°C auf komfortable 21°C hochzuheizen. Folglich sollte das Haus schon vor dem Einzug entsprechen aufgeheizt werden, damit das Bewohnen des Hauses von Anfang an angenehm ist.

Für jedes kleine elektrische Gerät ist eine Gebrauchsanleitung selbstverständlich, für Wohnungen und Häuser jedoch unüblich. Es ist sinnvoll, die Bewohner auf einige spezielle Dinge wie die Bedienung der Lüftungsanlage hinzuweisen. Damit ist nicht nur die rein technische Bedienung gemeint, sondern insbesondere der Verweis auf den Zusammenhang von Aussenlufttemperatur, Volumenstrom der Lüftung und Luftfeuchtigkeit. Hilfreich kann dazu das vom Passivhausinstitut erstellte Nutzerhandbuch sein.

8.5 Passivhaus im Altbau

Da der höchste Energiebedarf im Altbau liegt, ist natürlich hier energetische Sanierung erforderlich. Passivhauskriterien können manchmal nicht alle erreicht werden, da eine entsprechend dicke Dämmung auf der Außenseite nicht realisiert werden kann und über eine bauphysikalisch vertretbare Innendämmung der nötigen Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) nicht erreicht wird. Auch lassen sich eventuell nicht alle Wärmebrücken so weit reduzieren, dass die Heizlast ausreichend gering wird. Vom Passivhausinstitut wird auch ein Qualitätszertifikat für Altbauten „Enerphit“ vergeben, wenn der Passivhaus Standard nicht erreicht wird, aber die Sanierung mit Passivhaus tauglichen Komponenten erfolgt.

Das Einsparungspotential ist häufig in der Größenordnung Faktor 10 und die energetische Sanierung ökonomisch und ökologisch sinnvoll.

Wichtig ist jedoch die genauen Gegebenheiten zu betrachten, leider passiert es häufig, dass neue Fenster eingebaut werden ohne Wärmebrücken zu adressieren. Die Folge ist dann Schimmelbildung an kalten Stellen der Gebäudehülle.

9 Ziel ist das Nullemissionshaus: Bilanzierungsbetrachtungen

Der Begriff Nullemissionshaus ist nicht geschützt und somit auch nicht eindeutig definiert. Eine übliche Definition ist: Die Jahresbilanz an CO₂-Emission oder der Energieverbrauch muss ausgeglichen sein. Durch Integration einer großen Solarstromanlage ist es möglich, in einem Haus im Laufe eines Jahres mehr Energie umweltfreundlich zu erzeugen als zu verbrauchen. Dies wurde von dem Architekten Rolf Disch in Freiburg anhand einer Siedlung demonstriert und so der Begriff Plusenergiehaus ® geprägt.

Je nach Definition wird hierbei manchmal nur der Heizenergieverbrauch, manchmal der gesamte Verbrauch bei Betrieb (Primärenergiekennwert) und selten der gesamte Bedarf im Lebenszyklus des Hauses, also inclusive. Herstellung und Rückbau / Recycling berücksichtigt.

9.1 Bilanzierung Grundlagen

Betrachten wir zunächst den Energiebedarf, der sich typischerweise bei einem Passivhaus folgendermaßen aufschlüsselt:

15 kWh/ m ² a	Heizenergiebedarf nach Passivhausstandard
20 kWh/ m ² a	Trinkwarmwasser bei einem Verbrauch von 25l /Person und Tag, einem Temperaturhub von 10°C auf 60°C und Platzbedarf von 33m ² /Person.
30 kWh/ m ² a	Strom bei einem Verbrauch von 1.000 kWh/Person und Jahr und Platzbedarf von 33m ² /Person
15-30 kWh/ m ² a	Die für die Herstellung benötigte "graue Energie" (Primärenergieinhalt) je nach Bauweise gerechnet auf eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 75 Jahren.

Damit ergibt sich ein Energiebedarf von 80 kWh/m²a – 95 kWh/m²a. Hier wird deutlich, dass das Kriterium eines Heizenergieverbrauches von 15 kWh/ m²a gegenüber dem heute im Neubau üblichen 55 kWh/ m²a Heizenergiebedarf zwar sehr wichtig ist, aber als alleiniges Kriterium nicht ausreicht um den Gesamtenergiebedarf zu charakterisieren. Das Passivhauskriterium eines Primärenergiekennwertes von 120 kWh/m²a ist nicht sehr ambitioniert und schließt die Baustoffe nicht mit ein.

Es kann je nach Standort des Hauses bei festem Budget ökologisch sinnvoll sein etwas über den 15kWh/m² a Heizenergiebedarf zu sein und dafür ökologisch vorteilhafte Baustoffe zu verwenden.

9.2 Bewertung der Energieflüsse

Für den Energiebedarf ist eine Bilanzierung mit einem Bewertungsfaktor der Energie, die die Bilanzgrenze (also z. B. die Grundstücksgrenze) verlässt, und solche, die importiert wird sinnvoll. (siehe Abbildung 10)

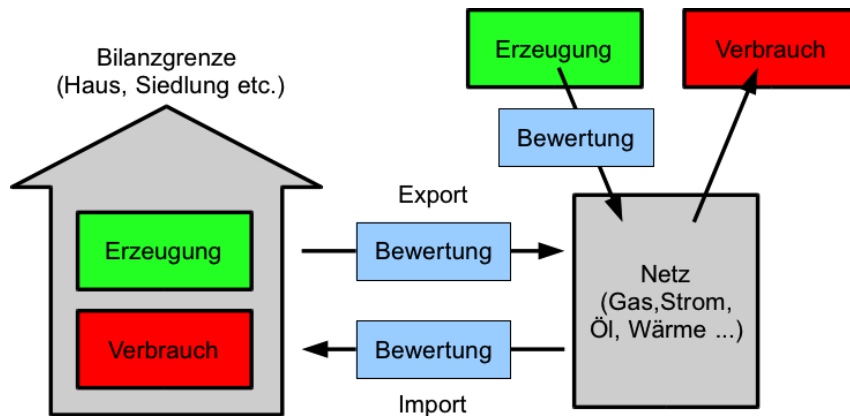


Abbildung 10: Schematische Darstellung einer Energiebilanz.

Import = Summe Energieträger i ($E_{import,i} * f_i$) und entsprechend

Export = Summe Energieträger i ($E_{export,i} * f_i$).

Nun stellt sich die Frage, was der Faktor f_i abbilden sollte. Im häufig verwendeten Modell bildet er zum Beispiel den Primärenergiefaktor der transferierten Energie ab. Wird also eine kWh Strom entnommen oder eingespeist, so wird dies z.B. nach EnEV mit dem Faktor 2,6 bewertet, eine kWh Gas mit 1,1. Dies führt dazu, dass eine kWh Strom im Sommer genauso viel Wert ist, wie im Winter. Bei steigendem Anteil von erneuerbarer Energie ist das aber aus ökologischer Sicht nicht mehr unbedingt der Fall. Eine kWh Strom könnte im Sommer zu einem großen Anteil aus Photovoltaik kommen, im Winter hauptsächlich aus fossilen und atomaren Quellen oder natürlich aus Windenergie. Ökologisch ist es nötig, möglichst viele ineffiziente Kraftwerke auf Basis fossiler Energiequellen abzuschalten, aus der Kernenergie auszusteigen und auch negative Effekte der Biomasse (Flächenverbrauch etc.) zu berücksichtigen. Ein weiterer Ansatz ist es, die Netzinteraktion zu betrachten und zu minimieren, aber auch dabei müsste bewertet werden, welche Umweltauswirkungen eine Interaktion zu einem Zeitpunkt hat. Somit müsste der Faktor f_i für Energieträger i zeitlich variable sein und z.B. für Strom den derzeitigen Strommix im Netz abbilden.

Beim heutigen Energiemix ist es kein großer Unterschied. Wird der Anteil der erneuerbaren Energie weiter ausgebaut kann der Unterschied jedoch signifikant werden, denn der Anteil im Netz ist dann z.B. bei hoher Einspeisung von Solarstrom und Windstrom signifikant verschieden zu dem z.B. Nachts bei Windstille (siehe Abbildung 11 /Abbildung 12).

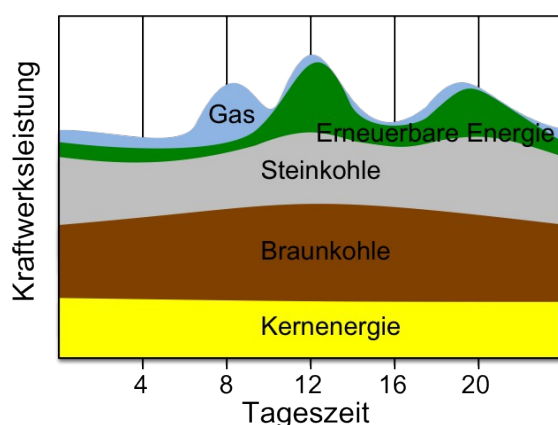


Abbildung 11: Schematische Darstellung einer möglichen Lastkurve im Stromnetz 2010

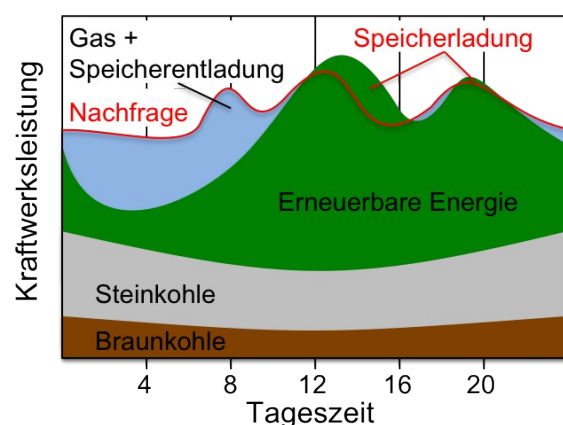


Abbildung 12: Schematische Darstellung einer möglichen Lastkurve im Stromnetz 2020. Der Bedarf an Grundlast deutlich geringer, Da sich Kohlekraftwerke nicht schnell regeln lassen ist der Bedarf an Speicher und Gaskraftwerken deutlich höher.

Eine solche Bilanzierung hätte zur Folge, dass der Nutzen von Solarthermie mit einem Warmwasserspeicher besser bewertet wird als ohne zeitabhängigem Faktor. Die Pumpleistung der Solaranlage und die Verluste des Speichers würden gegen eine alternative Wassererwärmung gerechnet.

Interessant ist in diesem Zusammenhang das Konzept von virtuellen Kraftwerken, auch „Schwarmkraftwerk“ genannt. Im Gegensatz zum Betrieb eines mini BHKW in der Grundlast werden hier sehr viele kleine Kraftwerke virtuell zusammengeschlossen. (siehe dazu: <http://www.lichtblick.de/privatkunden/bhkw/>).

Analog kann dies auch mit Wärmepumpen gemacht werden. Es ist von Vattenfall ein virtuelles Kraftwerk mit BHKS und Wärmepumpen in Berlin in Betrieb [siehe dazu <http://www.vattenfall.de/de/virtuelles-kraftwerk.htm>].

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang auch die Verwendung von Biogas oder Methan, was durch Elektrolyse gewonnen wurde (auch „solar fuel“ oder „Windgas“, siehe <http://www.solar-fuel.net>) genannt. So kann überschüssiger Strom aus erneuerbaren Quellen effektiv genutzt werden. Bis zu einem gewissen Anteil von ca 2 % kann auch Wasserstoff dem Gas direkt zugesetzt werden. Kritiker bemängeln die Effizienz des System Strom-Elektrolyse-Methan-Strom (-Wärme). „Effektiv“ ist auch nicht immer „effizient“, viele Systeme in der Natur sind nicht effizient, z.B. die Photosynthese, aber sehr erfolgreich und eben effektiv. Regenerative Energien sind im Überschuss vorhanden, deshalb ist es an einigen Stellen durchaus sinnvoll sie effektiv zu nutzen, statt dies nicht zu tun, weil die eine effizientere Nutzung angestrebt wird. Der Vorteil der Nutzung von Methan ist in diesem Fall das vorhandene Verteilnetz bzw die Speicher, sowie die Möglichkeit eines gleitenden Übergangs der Systeme.

Dieses Beispiel verdeutlicht wie, wichtig bei der Bilanzierung der zeitliche Faktor und die Bilanzgrenze bzw. die regionale Vernetzung ist. Wärmepumpen alleine können im Netz das Problem erhöhter Nachfrage in Engpasszeiten hervorrufen, im Verbund mit einer regionalen Steuerung aber z. B. zu Zeiten hoher Einspeisung von Windstrom das Problem der Lastspitzen lösen.

Eine zeitliche Bewertung einzuführen ist sicherlich aufwendig, aber durchaus denkbar. Sie könnte analog zum Strompreis der Strombörse Leipzig sein, der eine momentane Situation abbildet. Durch hohe Einspeisung von Strom aus Windkraft kam es an der Leipziger Strombörse deshalb schon zu negativen Strompreisen. Über sogenannte Smart Meter und Smart Grids wäre es möglich, das Netz zu entlasten und kosteneffektiv zu sein, wenn Strom z.B. in einem hausinternen Speicher zwischengepuffert würde und vorzugsweise dann entnommen wird, wenn der Strom „billig“ ist bzw. eingespeist wird, wenn er „teuer“ ist. Ähnlich könnte es für die ökologischen Aspekte sein.

Auch ist zu betrachten wie es sich ein Zertifikathandel auswirken soll: Wird ein mit Strom beheiztes Haus in Süddeutschland zum Nullemissionshaus, wenn man über seinen Stromversorger ein Zertifikat über Norwegischen Wasserkraftstrom gekauft hat. ? Diese Vorstellung bereitet vielen ein Problem, irgendwie erscheint es nicht gleichwertig, als wäre das Wasserkraftwerk in einem Bach, der am Haus vorbeifließt. Genau wie der Strom aus der PV Anlage nicht gleichzustellen ist mit Solarstrom aus der Wüste, z.B. bei Realisierung von Desertec ? Aus ökologischer Sicht sollte zunächst die Verbrauchsreduzierung kommen und die Deckung des Verbrauchs innerhalb der Region / der Bilanzgrenze bevorzugt werden. Der Bewertungsfaktor sollte dies entsprechend abbilden.

9.3 Bilanzierung der Baustoffe

Bei den Baustoffen ist die Messung des Energiebedarfes und die Haltbarkeit des Baustoffes wichtig, auch wird manchmal nicht zwischen Energieaufwand „erneuerbar“ und „nicht erneuerbar“ unterschieden und dadurch können die Ergebnisse beträchtlich voneinander abweichen. Häufig wird z.B. ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) auf Basis von polystyrolähnlichen Dämmstoffen verwendet, bei denen der Energiebedarf in der Herstellung sehr hoch ist. Hier ist wichtig zu klären, ob das WDVS 30 oder 50 Jahre hält (Beispiel: Für Styrodur® C der BASF wird von auf der Webseite der DGNB für Außenwände ein Austauschzyklus von 40 Jahren angegeben) und welche Potentiale der Energieeinsparung es in der Herstellung gibt. Von höchster Bedeutung ist auch die Frage des Recyclings und dessen Bewertung. Können Baustoffe, wie z.B. Stahl, nach Rückbau eines Hauses wiederverwertet werden ist dies vorteilhaft. Besser ist es noch, wenn direkt recyceltes Material verwendet wird,

wie z.B. bei Zellulosedämmung. Für eine Ökobilanz wird gewöhnlich neben dem Primärenergieinhalt auch der CO₂ Bedarf und das Versauerungspotential betrachtet. (siehe z.B. <http://www.baubook.at> , <http://www.dgnb.de> oder <http://www.nachhaltigesbauen.de/baustoff-und-gebaeuedaten.html>)).

Der Weg zum Erreichen eines Nullemissionsstandards könnte also sein:

- den Verbrauch zu senken, nicht nur den Heizenergiebedarf, sondern auch Warmwasser, Strom und graue Energie zu Herstellung der Baustoffe zu betrachten. Hierzu sind entsprechende Kennzahlen zu etablieren, wie es z.B. in der Schweiz mit den verschiedenen Minergie ® Standards, insbesondere dem Standard Minergie A gemacht wird.
- eine Bilanz mit zeitlich variablem Faktor der Netzinteraktion einzuführen.
- nicht nur effiziente Technologien, sondern auch Effektive betrachten. Dies insbesondere im Bereich erneuerbare Energie und eingesetzte Materialien.

LOKAL.PLAN GmbH & Co GK, Arnoldstr. 26, 04299 Leipzig
www.lokalplan.net; info@lokalplan.net