

0	Vorwort	3
1	Grundlagen für die Eingruppierung von Gebäuden	4
1.1	Gebäude nach EnEV	4
1.2	Gebäude als 3- Liter Haus	6
1.2.1	3- Liter Haus vom Fraunhofer Institut	6
1.2.2	3- Liter Haus nach KfW- Energiesparhaus 60	6
1.3	Gebäude als Passivhaus	7
1.3.1	Das Passivhaus nach Dr. Wolfgang Feist	7
1.3.2	Das Prinzip des Passivhauses	7
1.3.1.1	Wärmeschutz	8
1.3.1.2	Wärmebrückenfreies Konstruieren	9
1.3.1.3	Luftdichte Hülle	9
1.3.1.4	Passive Nutzung der Sonnenenergie	10
1.3.1.5	Lüftung	11
1.3.3	Passivhaus nach KfW- Energiesparhaus 40	12
2	Anlagentechnik	14
2.1	Anlagentechnik allgemein	14
2.2	Eingesetzte Anlagentechnik	15
2.2.1	Anlagentechnik im Gebäude nach EnEV	15
2.2.2	Anlagentechnik im 3- Liter Haus	17
2.2.3	Anlagentechnik im Passivhaus	19
3	Berechnung eines Gebäudes in Holztafelbauweise nach EnEV	26
3.1	Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes	26
3.1.1	Bauteilaufbau	27
3.1.2	Fenster	28
3.1.3	Wärmebrücken	29
3.1.4	Anlagentechnik	31
3.1.5	Randbedingungen und Festlegungen für die Berechnung des Gebäudes	31
3.2	Bestimmung des Energieverbrauches	31
3.2.1	Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6	31
3.2.2	Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation	32
3.3	Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 3.2.1 und 3.2.2	35
4	Berechnung eines Gebäudes als 3- Liter Haus	41
4.1	Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes	41
4.1.1	Bauteilaufbau	41
4.1.2	Fenster	43
4.1.3	Wärmebrücken	44
4.1.4	Anlagentechnik	45
4.1.5	Randbedingungen und Festlegungen für den Nachweis nach EnEV	45
4.2	Bestimmung des Energieverbrauches	46
4.2.1	Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6	46
4.2.2	Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation	47
4.3	Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 4.2.1 und 4.2.2	49

5	Berechnung eines Gebäudes als Passivhaus	54
5.1	Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes.....	54
5.1.1	Bauteilaufbau.....	54
5.1.2	Fenster.....	57
5.1.3	Wärmebrücken	58
5.1.4	Anlagentechnik	60
5.1.5	Randbedingungen und Festlegungen für die Berechnungen.....	60
5.2	Bestimmung des Energieverbrauches	60
5.2.1	Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6.....	60
5.2.2	Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation	62
5.3	Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 3.2.1 und 3.2.2	63
6	Bewertung der Berechnungsverfahren	68
6.1	Grundsätzliches	68
6.2	Bewertung der Wärmeverluste	69
6.3	Bewertung der Wärmegewinne	71
6.4	Zusammenfassung	72
7	Bewertung und Optimierung von Passivhäusern in Holztafelbauart.....	75
7.1	Bewertung des Passivhauses	75
7.2	Optimierung der Gebäudehülle	76
7.2.1	Außenwandkonstruktion	76
7.2.2	Sockelbereich und Grundfläche	79
7.3	Bestimmung des Energieverbrauchs der optimierten Gebäudehülle	84
8	Zusammenfassung.....	86
9	Quellenverzeichnis.....	87

0 Vorwort

Zweck und Ziel des energiesparenden Bauens¹

Der Gesetzgeber hat in den letzten Jahren ein zunehmendes Bestreben den spezifischen Heizwärmebedarf zu senken. Gründe dafür sind die Reduzierung der Emissionen von Spurengasen (CO₂) und Schadstoffen, sowie die zunehmende Verknappung der fossilen Energieträger.

Ein Großteil der Heizenergie für Gebäude wird heute durch Kohle, Gas und Heizöl gedeckt. Nach heutigen Schätzungen reichen die gewinnbaren Vorräte noch ca. 100 Jahre aus. Wenn man jedoch den steigenden Bevölkerungszuwachs und die fortschreitende Industrialisierung in den Entwicklungsländern berücksichtigt, so liegt die Reichweite der Reserven nur noch bei der Hälfte, also 50 Jahren.

Aus diesem Grund ist die deutliche Reduktion des Energieverbrauches notwendig. Durch Senkung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden kann man schon eine deutliche Verringerung des Gesamtenergieverbrauches bewirken, denn nur ca. 35% der Endenergie werden für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasserbereitung genutzt.

Ein weiterer Aspekt ist, dass bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern erhebliche Mengen von Schadstoffen und Spurengasen anfallen, die zu Umweltverschmutzung und einem verstärktem Treibhauseffekt führen. Das ausgestoßene CO₂ reichert sich in der Erdatmosphäre an und führt damit zum Treibhauseffekt und den dadurch hervorgerufenen klimatischen Veränderungen.

Deutschland hat sich verpflichtet den CO₂- Ausstoß von 1990-2005 um 25% zu senken. Da im Gebäudebereich zur Zeit 30% der CO₂- Emissionen anfallen, kann dort bei gezielten Energieeinsparmaßnahmen ein wesentlicher Teil der Reduktion geleistet werden.

Die bauliche Umsetzung von Niedrigenergiehäusern ist aufgrund der Weiterentwicklung von Baustoffen und Baukonstruktionen, die durch die verschärften Anforderungen an das energiesparende Bauen in den Novellierungen der WschVO initiiert wurden, machbar und wirtschaftlich vertretbar geworden. Der Nutzen für den Umweltschutz ist unbestreitbar und der sparsame Umgang mit nicht erneuerbaren Energieträgern verständlicherweise unverzichtbar.

Die genannten Gründe sollten dazu führen, energiesparendes Bauen stärker zu fördern und umzusetzen sowie „in“ die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu intensivieren, sofern diese wirtschaftlich vertretbar sind.

¹ Energiesparhäuser in Text und Bild, Prof. Dr. Martin Pfeiffer

1 Grundlagen für die Eingruppierung von Gebäuden

1.1 Gebäude nach EnEV²³

Durch die EnEV scheint das in der WschVO definierte Niedrigenergiehaus zum Standard zu werden.

Die EnEV stellt folgende Anforderungen an Gebäude mit normalen Innentemperaturen, d.h. Gebäude, die nach ihrem Verwendungszweck auf eine Innentemperatur von 19°C und mehr die jährlich mehr als 4 Monate beheizt werden, einschließlich ihrer zur Heizungs-, raumluftechnischen und zur Warmwasserbereitung dienenden Anlagen der Gebäudetechnik.

Die Bewertungsgrößen der EnEV sind der Jahresprimärenergiebedarf Q_p , sowie der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_{AT} .

- Bei Neubauten mit normalen Innentemperaturen darf der Jahresprimärenergiebedarf je nach A/V- Verhältnis maximal rund 70–150 kWh/m²a betragen und der Transmissionswärmeverlust in Abhängigkeit vom A/V- Verhältnis muss auf zwischen 1,05 und 0,44 W/m²K begrenzt sein.

Nach EnEV können diese Forderungen erreicht werden, zum einen durch einen möglichst niedrigen Heizenergiebedarf und zum anderen durch effektive Methoden der Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe, die durch einen Bedarf an Primärenergie die erforderliche Heizwärme zur Verfügung stellt.

Die Dichtheit und der Mindestluftwechsel bei zu errichtenden Gebäuden ist so auszuführen, dass die wärmeübertragende Umfassungsfläche einschließlich ihrer Fugen dauerhaft luftundurchlässig entsprechend dem Stand der Technik abgedichtet ist.

Dabei muss die Fugendurchlässigkeit außenliegender Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenstern je nach Anzahl der Vollgeschosse den Klassen der Fugendurchlässigkeit, nach DIN EN 12207 –1, 2 und 3 genügen.

² Energieeinsparverordnung – EnEV vom 01. Februar 2002

³ Neue Energieeinsparverordnung, Dipl.-Ing. Thorsten Schoch

Wird die Dichtheit des Gebäudes überprüft, so sollte der bei einer Druckdifferenz zwischen Innen und Außen von 50 Pa gemessenen Volumenstrom, bezogen auf das beheizte Luftvolumen, bei Gebäuden

- ohne raumluftechnische Anlagen 3h^{-1} und
- mit raumluftechnischen Anlagen $1,5\text{h}^{-1}$

nicht überschreiten.

Zum Zwecke der Gesundheit und der Beheizung sollte der erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt sein.

Werden andere Lüftungseinrichtungen als Fenster verwendet, so müssen diese in der Gebäudehülle einstellbar und leicht regulierbar sein und im geschlossenen Zustand je nach Anzahl der Vollgeschosse den Klassen der Fugendurchlässigkeit, nach DIN EN 12207 –1, 2 und 3 entsprechen. Dieses gilt nicht, wenn Lüftungseinrichtungen mit selbstständig regelbaren Außenluftdurchlässen unter Verwendung einer geeigneten Führungsgröße eingesetzt werden.

Der Mindestwärmeschutz muss, bei Bauteilen, die gegen Außenluft, das Erdreich oder Gebäudeteile mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen abgrenzen, nach den anerkannten Regeln der Technik erfüllt sein.

Der Einfluss von Wärmebrücken soll so gering wie möglich gehalten werden, der verbleibende Einfluss wird berücksichtigt:

- Durch Erhöhung des Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,10\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche
- Durch Erhöhung des Wärmedurchgangskoeffizienten, nach Anwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108 Bbl. 2: 1998-08, um $\Delta U_{WB} = 0,20\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche.
- Indem ein genauer Nachweis der Wärmebrücken, in Verbindung mit den anerkannten Regeln der Technik erbracht wird.

Beschreibung der Anlagentechnik siehe gesondert unter Kapitel 2.

1.2 Gebäude als 3- Liter Haus

1.2.1 3- Liter Haus vom Fraunhofer Institut⁴

Ein 3- Liter Haus ist ein Niedrigenergiegebäude, das einen jährlichen Primärenergiebedarf von weniger als 34 kWh je m² Nutzfläche eines Gebäudes aufweist. Dieser Wert entspricht einem Energiegehalt von 3 Liter Heizöl oder 2,9 m³ Erdgas pro m² Nutzfläche.

In diesem Wert werden die Wärmeverluste der Anlagentechnik und die erforderlichen Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren, sowie die Brennstoffart berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wird die Energie zur Warmwasserbereitung und der Haushaltsstrom.

1.2.2 3- Liter Haus nach KfW- Energiesparhaus 60⁵

Die Kreditanstalt für Wiederaufbau fördert ein 3 Liter Haus mit ihrem Förderprogramm „KfW- Energiesparhaus 60“, was bedeutet, dass der Jahres- Primärenergiebedarf bis zu 60 kWh je m² Gebäudenutzfläche betragen darf.

Die KfW schlägt folgende Maßnahmen vor, um den niedrigen Energiebedarf zu erreichen:

- Hochgedämmte Außenwände (je nach Dämmstoffqualität zwischen 20 und 40 cm Dämmstoffdicke)
- Hochgedämmtes Dach und hochgedämmte oberste Geschossdecke gegen ein nicht ausgebautes Dachgeschoss
- Gedämmte Kellerdecke
- Zweischeiben- oder Dreischeiben- Wärmeschutzglas mit wärmedämmenden Fensterrahmen
- Vermeidung von Wärmebrücken (Bauteile, die Wärme nach außen transportieren können).
- Lüftungsanlage, kontrollierte Lüftung mit ca. 80% Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- Hohe Luftdichtheit des Gebäudes
- Thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserversorgung, evtl. auch der Heizung
- Energieeffiziente elektrische Antriebe für die Haustechnik
- Energieeffiziente Heizungsanlage, Brennwertkessel oder Niedertemperaturkessel, Holzheizung

⁴ www.3-liter.com

⁵ Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) - (www.kfw.de)

1.3 Gebäude als Passivhaus

Im Hinblick auf die EnEV ist ein Passivhaus als wegweisend und fortschrittlich zu betrachten. Der Erfolg der Passivhäuser liegt im wesentlichen in einer hochdämmenden und luftdichten Gebäudehülle, geeigneten Fenstern und einer hocheffizienten Wärmerückgewinnungsanlage. Allerdings fließen bei solch einem Gebäudetyp die einstrahlende passive Sonnenenergie und die internen Wärmegevinne (Personen, Haushaltsgeräte) wesentlich in die Berechnung ein. Aufgrund dessen kann auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet werden, jedoch muss eine Restheizung vorgesehen werden, mit welcher der maximale Wärmebedarf gedeckt werden kann.

Die Kriterien für den Bau von Passivhäusern sind folgendermaßen definiert:

1. Der spezifische Heizwärmebedarf – bestimmt nach dem „Passivhaus-Projektierungs-Paket“ – darf 15 kWh/(m²a) nicht überschreiten.
2. Der gesamte Primärenergiebedarf für alle Haushalts-Anwendungen (Heizung, Warmwasser und Strom) darf 120 kWh/(m²a) nicht überschreiten.

1.3.1 Das Passivhaus nach Dr. Wolfgang Feist⁶

1.3.2 Das Prinzip des Passivhauses

Das Grundprinzip für den Bau eines Passivhauses lautet:

- Verluste verringern –
- Passive solare Gewinne optimieren

In unseren Klimaten ist die wichtigste Maßnahme die Verringerung der Verluste. Ohne außerordentliche Verbesserung im Wärmeschutz ist kein Passivhaus möglich!

Bei den Wärmeverlusten wird unterschieden zwischen „Transmission“ = Verlust der Wärme in Form von Wärmedurchgang durch luftdichte Bauteile in Folge der Wärmeleitung, und „Ventilation“ = der Wärmeverlust durch Luftströmung. Beide Wärmeverluste müssen im Passivhaus gegenüber einem normalen Gebäude stark verringert werden: Nur dann reichen die winterlichen Wärmegevinne aus, um die Restverluste auszugleichen.

Folgende Techniken sind zu beachten um die Verluste zu verringern:

- die sinnvolle Wärmedämmung von Standard- Bauteilen (1.3.2.1)
- die sorgfältige Verringerung von Wärmebrücken (1.3.2.2)

⁶ Dr. Wolfgang Feist- Gestaltungsgrundlagen Passivhäuser

- die Abdichtung der Gebäudehülle (1.3.2.3)
- der Einsatz von Passivhausfenstern (1.3.2.4)
- die hocheffiziente Wärmerückgewinnung aus der Abluft (1.3.2.5)

Es ist festzuhalten, dass ein Passivhaus gerade keine grundsätzlich neuen oder andersartigen Bauteile und Anlagen benötigt, sondern mit einer Verbesserung des üblichen auskommt allerdings muss es eine sehr weitgehende Verbesserung sein!

Alle Details sind so sorgfältig zu kombinieren, dass dabei eine funktionstüchtige Gesamtlösung entsteht.

1.3.1.1 Wärmeschutz

Der Wärmeschutz der Hülle eines Passivhauses bestimmt den verbleibenden Heizwärmebedarf entscheidend, dieser muss:

- höchste Qualität haben,
- geschlossen und ohne Unterbrechung rundum das gesamte Gebäude erfassen.

Der beste Wärmeschutz ist die gänzliche Vermeidung von Wärmeverlusten und ist am einfachsten durch eine maximale Reduzierung der Außenflächen erreichbar, d.h.

- möglichst kompakte Bauweise mit guten A/V- Verhältnis
- Anbauen anstelle Freistehender Häuser
- Vermeiden von komplizierten Formen in der thermischen Hülle

So lauten die Grundprinzipien für einen guten Wärmeschutz:

- Eine den gesamten Komfortbereich umfassende, geschlossene thermische Hülle muss bestimmt werden. Alle Räume, deren Temperaturen im Winter über 15°C liegen sollen, liegen innerhalb dieser Hülle.
- Die Hülle muss ringsum einen sehr guten Wärmeschutz aufweisen. Die „Mindestdämmstärke“ beträgt an jeder Stelle der Hülle 25 cm (WLG 040)

In der Praxis ist es sogar wünschenswert, die Dämmung der nichttransparenten Außenbauteile nach Möglichkeit noch weiter zu verbessern um für den Wärmedurchgangskoeffizienten Zielwerte um 0,1 W/(m²K) zu erreichen, dies entspricht einer Dämmstoffstärke von 0,4 m. Dennoch sollte man sich im Bereich der Kosten in einem vertretbaren Rahmen bewegen.

Komplizierte Konstruktionen sollten vermieden werden, da sie einen höheren Zeitaufwand und somit auch einen Kostenanstieg bewirken. Außerdem ist eine gewissenhafte Ausführung wichtig, und es sollte von Anfang an auf eine gewerkengerechte Ausführbarkeit geachtet werden.

1.3.1.2 Wärmebrückenfreies Konstruieren

Ein Gebäude besteht nicht nur aus Regelkonstruktionen, sondern auch aus Ecken, Kanten, Anschlüssen und Durchdringungen. An diesen Stellen wird der Wärmeverlust erhöht. Dieser kann jedoch durch eine sorgfältige Planung und Ausführung stark verringert werden.

Vier Regeln, so Feist, sollen helfen, um Wärmebrücken zu verringern:

1. Vermeidungsregel: Wo möglich, die dämmende Hülle nicht durchbrechen
2. Durchstoßungsregel: Wenn eine unterbrochene Dämmschicht unvermeidbar ist, so sollte der Wärmedurchgangswiderstand in der Dämmebene möglichst hoch sein; z.B. verwendet man dort Porenbeton oder Holz
3. Anschlussregel: Dämmlagen an Bauteilanschlüssen lückenlos ineinander überführen- Anschluss in der vollen Fläche
4. Geometrieregeln: Kanten mit möglichst stumpfen Winkel wählen

Wärmebrückenfreies Konstruieren ist wie folgt definiert: Die durch die Wärmebrückentherme gegebenen Beiträge sind kleiner oder gleich Null.

Details sind von vornherein als „wärmebrückenfrei“ zu klassifizieren, bei denen der außenmaßbezogene Wärmebrückenverlustkoeffizient $\psi_a < 0,01 \text{ W7(mK)}$ ist. Diese Bedingung betrifft alle Strukturen, wie Anschlüsse, Kanten und einzelne Störungen in den Regelflächen

1.3.1.3 Luftdichte Hülle

Gebäude-Außenhüllen müssen luftdicht sein. Keine Fugenlüftung, denn wenn diese Wärmeverluste durch Fugen strömen, ist eine Wärmerückgewinnungsanlage unwirksam. Der notwendige Luftaustausch wird über eine Lüftungsanlage gesichert.

Wenn [streiche: die] eine dichte Grundkonstruktion gewählt ist, dann kommt es besonders auf die luftdichten Anschlüsse zwischen den Bauteilen an. Dabei ist zu beachten:

- Die luftdichte Hülle umgibt das beheizte Volumen als vollständig geschlossenen Fläche. Das heißt, dass die luftdichten Ebenen der verschiedenen Bauteile jeweils aneinander angeschlossen werden müssen. Es muss eine luftdichte Hüllfläche entstehen. Laut Feist sind diese Anschlüsse leicht zu erreichen, indem:
 - alle Details so geplant sind, dass sie einfach auszuführen sind,
 - möglichst große geschlossene Flächen mit einer zuverlässigen und bewährten Grundkonstruktion ausgeführt werden können,
 - eine Prinziptreue bei den Anschlüssen herrscht,
 - eine Durchdringung der Hülle konsequent vermieden wird.

1.3.1.4 Passive Nutzung der Sonnenenergie

Die Fenster eines Passivhauses wirken wie Sonnenkollektoren, die dadurch gewonnenen passiven Solarengewinne sind bedeutende Anteile zum Ausgleich der Wärmeverluste. Dennoch ist das Ziel aber nicht, möglichst viel Sonnenenergie zu gewinnen, Ziel ist es den restlichen Heizwärmebedarf so gering wie möglich zu halten.

Entscheidend für den Restverbrauch sind die Kernmonate des Winters, d.h. Dezember, Januar, Februar. Das Problem ist in diesen Monaten nicht nur die geringe Sonneneinstrahlung, sondern auch die erheblich niedrigeren Außentemperaturen, denn dadurch ist in dieser Zeit der Wärmeverlust am höchsten.

Als Prinzipien gelten:

- Die Wärmeverluste, auch der transparenten Flächen müssen gering gehalten werden: Hochwertige Verglasungen, die einen hohen Energiedurchlass, aber vor allem einen niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten (U- Wert) haben, sind gefragt.
- Die übrigen Verluste rund ums Fenster müssen klein gehalten werden: Wärmebrücken am Scheibenrandverbund, Fensterrahmen etc. erhöhen die Verluste beträchtlich
- Der Solargewinn durch die transparenten Flächen muss auch möglich sein: Das bedeutet vor allem geeignete Orientierung (Süden ist für die Wintermonate ideal) und Verschattungsfreiheit! Vor der Fassade angebrachte schattengebende Bauteile sperren die Sonne aus. Die Verglasung kann dann ihre Kollektorfunktion nicht erfüllen, weist aber immer noch die erhöhten Wärmeverluste auf.

Wirkliche passive Gewinne stellen sich aber erst bei Verwendung von hochwertigen Verglasungen ein, wie z.B. eine Dreischeiben- Wärmeschutzverglasung (auch

Passivhausverglasung genannt). Große, südorientierte und weitgehend verschattungsfreie Fenster dieser Qualität lassen eine Halbierung der Energiekennwerte gegenüber dem nur opak supergedämmten Haus zu.

Daraus lässt sich schließen, dass die Verglasungsqualität bedeutender als die Verglasungsquantität ist.

Doch der solare Wärmegewinn kann durch schlechte Fensterrahmen und Wärmebrücken im Fensterbereich wieder zunichte gemacht werden. Um die solaren Gewinne nicht gleich wieder durch diese Verluste zu verlieren, muss ein Fensterrahmen mit besonders hoher thermischer Qualität verwendet werden.

Für den Rahmen gilt folgendes Kriterium:

- Der Rahmen muss zusammen mit der Verglasung mit $U_g = 0,7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ einen gesamten U-Wert für das Fenster von $U_{w,\text{eff}} < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ erreichen.

Eine weitere thermische Schwachstelle ist Randverbund. Um diese Stelle zu entschärfen, sollte statt eines üblichen Aluminiumrandverbundes ein thermisch getrennter Abstandshalter gewählt werden. Oder man wählt einen höheren Randeinstand und kann so durch „Einpacken“ die Wärmebrücke mindern.

Passive Solargewinne werden vor allem im Winter gebraucht und vergleicht man die solaren Gewinne der verschiedenen orientierten Flächen, so wird deutlich dass die Südrichtung im Winter die besten Werte aufweist.

Ungünstig sind große ost- und westorientierte Glasflächen, nicht nur weil die solaren Wärmegewinne im Winter sehr gering sind, sondern hauptsächlich auch die hohe solare Last im Sommer. Nordverglasungen haben diesen Nachteil nicht, haben allerdings auch nur geringe Gewinne im Winter, aus diesem Grund sollten die nördlich orientierten Fensterflächen nicht allzu groß werden.

Zusammengefasst sei gesagt, dass ein Passivhaus über nach Süden orientierte, verschattungsarme Fenster mit Dreischeiben- Wärmeschutzverglasungen und hochgedämmten Fensterrahmen bei kleinem Rahmenanteil verfügen sollte.

1.3.1.5 Lüftung

Bei Passivhäusern wird eine Lüftungsanlage mit einer hocheffizienten Wärmerückgewinnung empfohlen, dabei ist zu beachten:

- Die Häuser müssen eine sehr gute luftdichte Hülle haben.
- Die Wärmerückgewinnung muss höchst effizient sein. Es sind Wärmebereitstellungsgrade von über 75 % erforderlich. Diese sind heute jedoch nur mit

großen Gegenstromwärmetauschern oder mehrfachen Kreuzstromwärmetauschern zu erreichen.

- Der Stromverbrauch für das Lüftungsgerät muss gering gehalten werden: Dies betrifft die Ventilatoren selbst wie auch die Regelung und Steuerung. Ein Richtwert ist 0,3 – 0,45 Watt Gesamtleistung je gefördertem Kubikmeter Luftvolumen pro Stunde. Erreichbar sind derart geringe elektrische Bedarfswerte durch strömungstechnische Optimierung und die Verwendung von hocheffizienten Gleichstromventilatoren.
- Die Anlagenintegration sollte sorgfältig geplant werden: sinnvoll ist eine möglichst kurze, unverzweigte, wenig verzogene Führung der Lüftungskanäle.

Entscheidend bleibt: Die Lüftungsanlage dient im eigentlichen der Lufthygiene, dennoch sind hohe Wärmebereitstellungsgrade (>75%) für Passivhäuser unerlässlich.

Gesonderte Beschreibung der Anlagentechnik siehe unter Kapitel 2.

1.3.3 Passivhaus nach KfW- Energiesparhaus 40⁷

Derzeit werden Passivhäuser, das sogenannte KfW- Energiesparhaus 40, durch das KfW- Programm zur Minimierung von CO₂ gefördert. Es wird ein Jahres- Primärenergiebedarf bis maximal 40 kWh je m² Gebäudenutzfläche bezogen gefordert. Die KfW schlägt folgende Maßnahmen zur Realisierung solch eines Gebäudes vor:

- Hochgedämmte Außenwände (je nach Dämmstoff und Wandaufbau bis zu 45 cm Dämmstoffdicke)
- Hoch gedämmtes Dach und hoch gedämmte oberste Geschossdecke gegen ein nicht ausgebautes Dachgeschoss
- Gedämmte Kellerdecke
- Dreischeiben- Wärmeschutzglas, hoch wärmedämmender Fensterrahmen
- Vollständige Vermeidung von Wärmebrücken
- Lüftungsanlage, kontrollierte Lüftung mit mehr als 80% Wärmerückgewinnung aus der Abluft
- Luftdichtigkeit des Gebäudes, Erdwärmetauscher
- thermische Solaranlage zur Unterstützung der Warmwasserversorgung, Aufheizung der Zuluft aus dem Solarspeicher
- Energieeffiziente elektrische Haustechnik
- Energieeffiziente Heizung, eventuell Zuheizung für die Zugluft

⁷ Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) - (www.kfw.de)

Die Bedingungen an ein Passivhaus gelten dann als erfüllt, wenn der Passivhausstandard erreicht wird und gewährleistet ist, dass der Jahres- Heizwärmebedarf von 15 kWh/m²a nicht überschritten wird.

Passivhäuser sind nach dem Passivhaus- Projektierungspaket (PHPP) oder mit der Passivhaus- Vorprojektierung (PHVP) zu berechnen und nachzuweisen.

2 Anlagentechnik

2.1 Anlagentechnik allgemein¹

Der Anspruch der EnEV besteht darin, sowohl das Gebäude als auch die Anlagentechnik gemeinsam in der energetischen Bewertung zu betrachten, sowie auch die eingesetzte Primärenergie als Bezug zu dieser Bewertung zu betrachten.

Heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen sind so zu planen, dass Heizkessel, die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen betrieben werden und deren Nennwärmeleistung mindestens 4 kW und höchstens 400 kW beträgt, nur in Gebäuden aufgestellt oder eingebaut werden dürfen, wenn diese mit der CE- Kennzeichnung versehen sind.

Ist die Nennwärmeleistung dieser Anlagen kleiner als 4 kW oder größer als 400 kW dürfen diese nur aufgestellt oder eingebaut werden, wenn sie nach den Regeln der Technik gegen Wärmeverluste gedämmt sind.

Zentralheizungen in Gebäuden, müssen mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr, sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe in Abhängigkeit von:

- Außentemperatur und
- Zeit

ausgestattet sein.

Die Anlage muss mit einer Raumweisen Regelung der Raumtemperatur ausgestattet sein.

Bei dem Einbau von Umwälzpumpen in Heizkreisen, sollten diese so beschaffen sein, dass die elektrische Leistungsaufnahme dem betriebsbedingten Förderbedarf selbstständig in mindestens drei Stufen angepasst wird.

Zirkulationspumpen, die in Warmwasseranlagen eingebaut sind, müssen selbsttätig wirkende Einrichtungen zum Ein- und Ausschalten haben.

Die Wärmeabgabe von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen ist durch eine geeignete Wärmedämmung mit einer Mindestdicke nach Anhang 5, Tab.1 zu begrenzen.

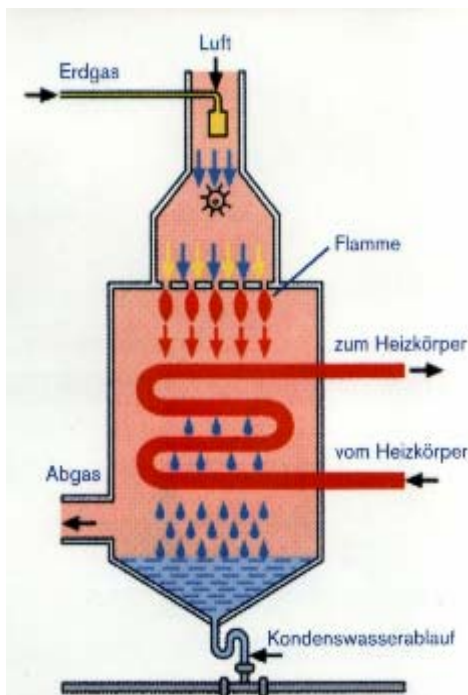
Die Wärmeabgabe von Einrichtungen in denen Heiz- und Warmwasser gespeichert wird, muss nach den Regeln der Technik begrenzt werden.

¹ Energiesparhäuser in Text und Bild, Prof. .Dr. Martin Pfeiffer

2.2 Eingesetzte Anlagentechnik

2.2.1 Anlagentechnik im Gebäude nach EnEV

In diesem Gebäude wird die Anlage ZSBR 3 16A 21 der Firma Bosch-Junker eingesetzt.



Es ist ein Gas- Brennwertkessel d.h., dass der entstehende Wasserdampf, der normalerweise bei jeder Verbrennung mit den Abgasen entweicht, kondensiert aufgrund der Wärmetauscher noch im Gerät. Die freiwerdende Kondensationswärme wird wieder dem Heizkreislauf zugeführt. Anhand der nebenstehenden Grafik ist dieses Prinzip noch einmal zu sehen.

Bild 2 - 1 Prinzip der Brennwerttechnik

Diese Anlage ist ein sogenanntes „Kombigerät“, bei dem die Warmwasserbereitung bereits im Heizgerät integriert ist. Dabei wird Wasser im Durchlaufverfahren erwärmt. Wird Wasser benötigt, geht der Brenner in Betrieb und stellt warmes Wasser zur Verfügung.

Systembeschreibung:

Trinkwasser:

Wärmeübergabe:	freie Heizflächen (Heizkörper)
Wärmeerzeuger:	Brennwertkessel
Verwendung von Kombikesseln:	- keine -
Vertikale Stränge:	innenliegend
Verlegung der Verteilung:	innerhalb der Thermischen Hülle
Trinkwasserverteilung:	mit Zirkulation
Trinkwassererzeuger:	Brennwertkessel
Trinkwasseranlagentyp:	gebäudezentrales System
Systemtemperaturen:	55/45
Speicherung:	keine
Speicheraufstellung:	innerhalb der thermischen Hülle
Speicherart:	indirekt beheizter Speicher
Regelung:	Thermostatventile mit Proportionalbereich 2K
Primärenergieträger:	Erdgas H
Primärenergieerzeuger:	Erdgas H

Lüftung:

Lüftungsanlage:	- keine -
-----------------	-----------

Heizung:

Heizungssystem	Wasserheizung
Wärmeübergabe:	freie Heizflächen
Anordnung der Heizflächen:	überwiegend im Außenwandbereich
Regelung:	Thermostatventile mit Proportionalbereich 2K
Horizontale Verteilung:	innerhalb der Thermischen Hülle
Vertikale Stränge:	innenliegend
Systemtemperaturen:	55/45
Heizwasserpumpe:	geregelt
Speicherung:	keine
Heizkreistemperaturen:	55/45
Primärenergieträger:	Erdgas H
Wärmeerzeuger:	Brennwertkessel
Aufstellung des Wärmeerzeugers	innerhalb der thermischen Hülle, Betriebsweise raumluftunabhängig

2.2.2 Anlagentechnik im 3-Liter Haus

Für das 3-Liter Haus wird die gleiche Anlage eingesetzt wie unter 2.2.1 beschrieben, diese wird zusätzlich kombiniert mit dem Kreuzwärmetauscher LP 225, ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung zur kontrollierten Be- und Entlüftung des Gebäudes. Das heißt, dass das Gebäude unterteilt wird in Abluftbereiche, wie Küche, Bad, Dusche, WC, und in Zuluftbereiche, wie Schlaf- und Wohnräume. Flure dienen zum Überströmen von Zuluft- in den Abluftbereich. Aus den Abluftbereichen wird ständig Luft aus dem Gebäude herausgeholt und mit der gleichen Menge an Frischluft versorgt. Da diese Abluft über Kanäle aus dem Gebäude geholt wird, kann über einen Wärmeübertrager der Großteil der Wärme zurückgewonnen werden. Damit wird die eingebrachte Außenluft nahezu auf Raumtemperatur vorerwärmt. Bei sehr niedrigen Außentemperaturen wird dann die noch kühle Zuluft mittels des integrierten thermostatisch geregelten Nachheizregisters auf Raumtemperatur nachgeheizt. Das Prinzip ist in der folgenden Grafik nachgestellt.

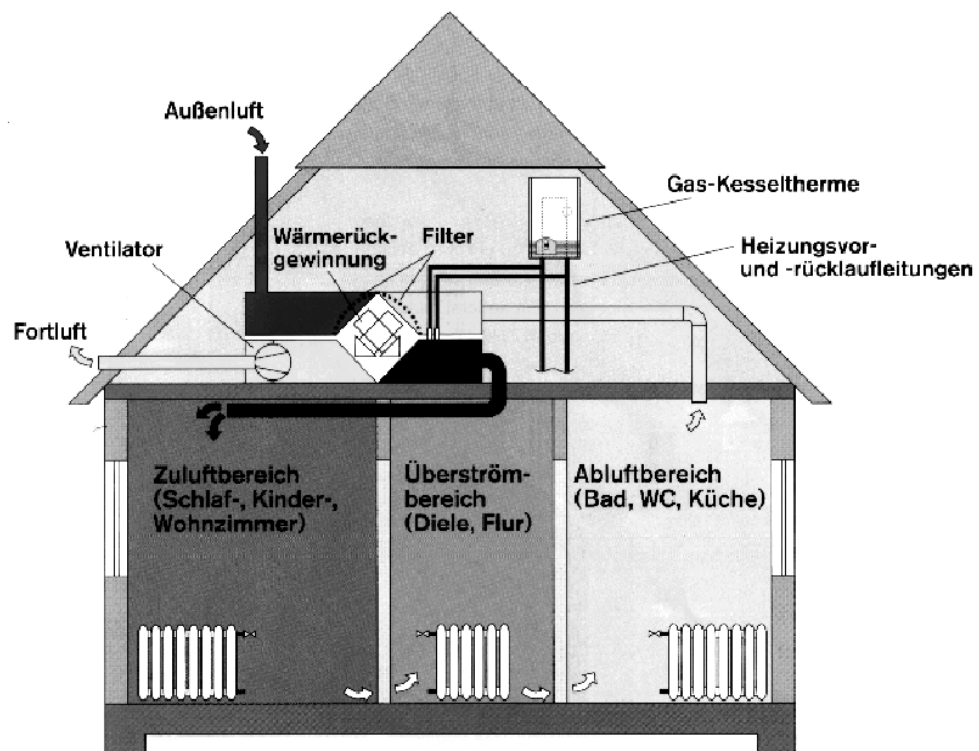


Bild 2 - 2 Installationsbeispiel der Anlagentechnik mit einer WRG

Doch bei dem 3- Liter Haus ist die Brennwerttherme nicht wie in der Grafik im Dachgeschoss untergebracht, sondern im Hauswirtschaftsraumes des Erdgeschosses.

Systembeschreibung der ZSBR 16 A-21 in Verbindung mit der LP 225:

Trinkwasser:

Wärmeübergabe:	freie Heizflächen (Heizkörper)
Wärmeerzeuger:	Brennwertkessel
Verwendung von Kombikesseln:	- keine -
Vertikale Stränge:	innenliegend
Verlegung der Verteilung:	innerhalb der Thermischen Hülle
Trinkwasserverteilung:	mit Zirkulation
Trinkwassererzeuger:	Brennwertkessel
Trinkwasseranlagentyp:	gebäudezentrales System
Systemtemperaturen:	55/45
Speicherung:	keine
Speicheraufstellung:	innerhalb der thermischen Hülle
Speicherart:	indirekt beheizter Speicher
Regelung:	Thermostatventile mit Proportionalbereich 2K
Primärenergieerzeuger:	Erdgas H

Lüftung:

Lüftungsanlage:	zentral
Anlagentyp:	Zu- und Abluft
Verlegung der Verteilleitungen:	innerhalb der thermischen Hülle
Anlagenluftwechsel	$n = 0,26 \text{ h}^{-1}$
Ventilatoren:	DC (Gleichstrom)
Wärmerückgewinnung:	mit
Wärmerückgewinnungsgrad:	85%

Heizung:

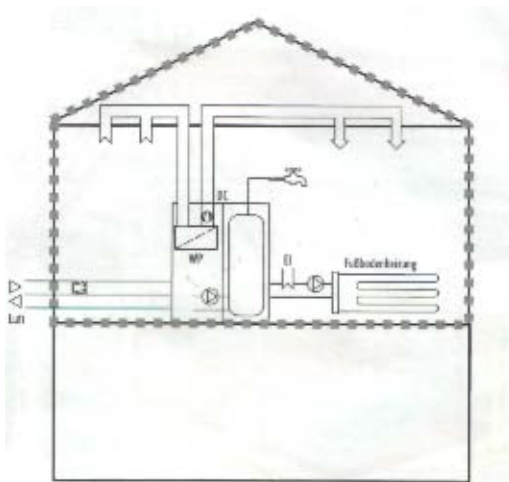
Heizungssystem	Wasserheizung
Wärmeübergabe:	freie Heizflächen
Anordnung der Heizflächen:	überwiegend im Außenwandbereich
Regelung:	Thermostatventile mit Proportionalbereich 1K
Horizontale Verteilung:	innerhalb der Thermischen Hülle
Vertikale Stränge:	innenliegend
Systemtemperaturen:	55/45
Heizwasserpumpe:	Geregelt
Speicherung:	Keine
Heizkreistemperaturen:	55/45
Primärenergieträger:	Erdgas H
Wärmeerzeuger:	Brennwertkessel
Aufstellung des Wärmeerzeugers	innerhalb der thermischen Hülle, Betriebsweise raumluftunabhängig

2.2.3 Anlagentechnik im Passivhaus

Für das Passivhaus stehen 3 verschiedene Anlagensysteme zur Verfügung.

1. „Integralsystemsystem LWZ 303“

Das „Integralsystemsystem LWZ 303“ der Firma Stiebel Eltron. In dem System ist Lüften, Heizen und die Warmwasserbereitung kombiniert.



Ein Kreuz- Gegenstrom- Wärmeaustauscher entzieht der Abluft bis zu 90% der Wärmeenergie und setzt sie in Heizwärme um. Die Restwärme der Abluft wird über die integrierte Luft/Wasser- Wärmepumpe sowohl für die Heizung als auch für die Warmwasserbereitung genutzt. Zusätzlich benötigte Energie wird auf umweltfreundliche Weise der Außenluft entzogen. Der integrierte Warmwasserspeicher hält 200 Liter warmes Wasser bereit.

Bild 2 - 3 Systemdarstellung

Systembeschreibung:

Trinkwasser:

Trinkwasseranlagentyp:

Trinkwasserverteilung:

Verlegung der Verteilung:

Speicherart:

Speicheraufstellung:

Trinkwassererzeuger:

Primärenergieträger:

Spitzenlast

Lüftung:

Lüftungsanlage:

Anlagentyp:

Verlegung der Verteilleitungen:

Anlagenluftwechsel

Ventilatoren:

Wärmerückgewinnung:

Wärmerückgewinnungsgrad:

Gebäudezentrales System

ohne Zirkulation

innerhalb

der Thermischen Hülle

indirekt beheizter Speicher

innerhalb der thermischen Hülle

Heizungs-Wärmepumpe

Luft/Wasser

Strom- Mix

Elektro- Heizstab

zentral

Zu- und Abluft

innerhalb der thermischen Hülle

$n = 0,4 \text{ h}^{-1}$

DC (Gleichstrom)

mit

84%

Heizung:

Heizungssystem
Wärmeübergabe:
Regelung:

Horizontale Verteilung:
Vertikale Stränge:
Systemtemperaturen:
Heizwasserpumpe:
Primärenergieträger:
Wärmeerzeuger:

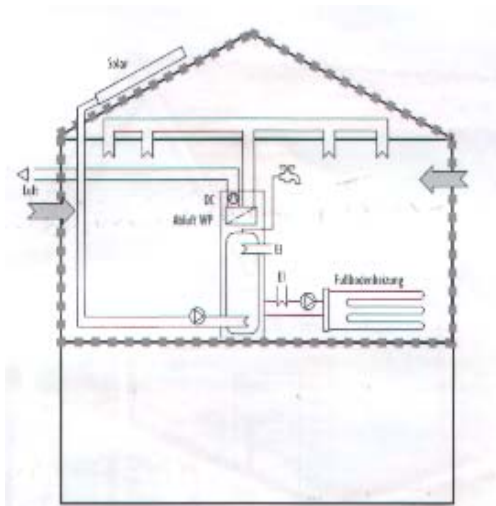
Spitzenlast

Wasserheizung
integrierte Heizflächen
Einzelraumregelung mit
Zweipunktregler, Schaltdifferenz
1K
innerhalb der Thermischen Hülle
innenliegend
35/28 °C
ungeregelt
Strom- Mix
Heizungs-Wärmepumpe
Luft/Wasser
Elektro- Heizstab

2. Integralsystem LWA 303 SOL

Ein weiteres Anlagensystem der Firma Stiebel Eltron, das „Integralsystem LWA 303 SOL“ in Verbindung mit Hochleistungsflachkollektoren „SOL 25 S“.

Wie auch bei der LWZ 303 wird die Wärmemenge der Raumluft über die integrierte Wärmepumpe zum Heizen und für die Warmwasserbereitung genutzt.



So wird der größte Teil des Heizenergiebedarfs durch die Wärmepumpe gedeckt und an kalten Tagen und bei Spitzenbedarf elektrisch nacherwärmt. Durch die Kombination mit Solarkollektoren wird eine weitere Reduzierung des Primärenergiebedarfs erreicht, so dass bis zu 60 % des Warmwasserbedarfs im Jahresmittel mit der Solaranlage abgedeckt werden kann.

Bild 2 - 4 Systemdarstellung

Systembeschreibung:

Trinkwasser:

Trinkwasseranlagentyp:
Trinkwasserverteilung:
Verlegung der Verteilung:

Speicherart:
Speicheraufstellung:
Trinkwassererzeuger:

Primärenergieträger:
Spitzenlast

gebäudezentrales System
ohne Zirkulation
innerhalb
der thermischen Hülle
Bivalenter Solar-Speicher
innerhalb der thermischen Hülle
Heizungs-Wärmepumpe
Abluft/Wasser
Strom- Mix
Elektro- Heizstab, mit solarer
Trinkwasserbereitung

Lüftung:

Lüftungsanlage:
Anlagentyp:
Verlegung der Verteilleitungen:
Anlagenluftwechsel
Ventilatoren:
Wärmerückgewinnung
Wärmepumpe:

zentral
Abluftanlage
innerhalb der thermischen Hülle
 $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
DC (Gleichstrom)
keine
mit Wärmepumpe
zur Trinkwasserbereitung

Heizung:

Heizungssystem
Wärmeübergabe:
Regelung:

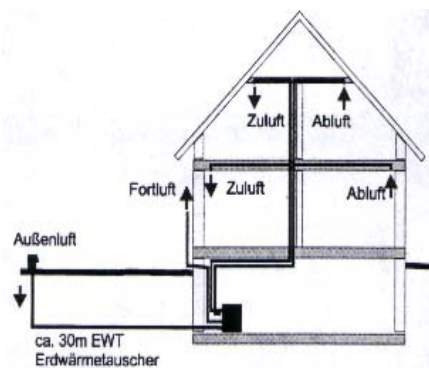
Horizontale Verteilung:
Vertikale Stränge:
Systemtemperaturen:
Heizwasserpumpe:
Primärenergieträger:
Wärmeerzeuger:

Spitzenlast

Wasserheizung
integrierte Heizflächen
Einzelraumregelung mit
Zweipunktregler, Schaltdifferenz
2K
innerhalb der Thermischen Hülle
innenliegend
35/28 °C
ungeregelt
Strom- Mix
Heizungs-Wärmepumpe
Abluft/Wasser
(ohne Wärmerückgewinnung)
Elektro- Heizstab

3. Compact 350 DC mit Erdwärmetauscher der Firma Paul

Das Kompaktgerät „compact 350 DC“ erfüllt 4 Funktionsweisen. Die Lüftung, das Heizen, die Warmwasserbereitung und die Kühlung des Gebäudes.



Die Außenluft für die Wärmepumpe und die Luft für die Hausbelüftung treten über einen gemeinsamen Ansaugstutzen in das Gerät ein. Die Trennung der Luftströme erfolgt im Gerät. Der Außenluftstrom wird vom Außenluftventilator über den Wärmetauscher in die Wohnräume geblasen. Die Be- und Entlüftung der Wohnung mit Wärmerückgewinnung erfolgt über Zu- und Ablufträume.

Bild 2 - 5 Systemdarstellung

Die aus der Wohnung abgesaugte Abluft gelangt über den Abluftfilter in den Wärmetauscher, in dem die Wärmeenergie an den Außenluftstrom abgegeben wird. Das System verfügt über einen Gegenstrom-Kanalwärmetauscher zur Wärmerückgewinnung, der einen Wärmerückgewinnungsgrad von bis zu 99% besitzt. Die entzogene Restwärme der Abluft wird über den Wärmepumpen-Prozess auf höherem Temperaturniveau an das Heizungswasser abgegeben. Das Heizungswasser erwärmt im Durchlauf den Speicherinhalt. Das Speicherwasser wird zur Zulufterwärmung über ein Nachheizregister und zum Betrieb der Fußbodenheizung sowie zur Brauchwassererwärmung genutzt. Die abgekühlte Luft (Außenluft und Abluft) verlässt über einen Ventilator das Gebäude. In Verbindung mit diesem System ist ein Erdwärmetauscher untergebracht. Dieser wird außerhalb des Gebäudes in Form eines Rohrleitungssystem in mindestens 1m Tiefe im Erdboden verlegt. Durch die Ausnutzung der Erdwärme wird die Frischluft im Winter erwärmt, so dass kaum noch Luft mit Minustemperaturen in den Wärmetauscher gelangen kann. So kann Energie, die zur zusätzlichen Erwärmung der Frischluft aufgebracht werden muss eingespart werden. Im Sommer dient der Erdwärmetauscher der Kühlung warmer Sommerluft, die hohen Außentemperaturen kühlen infolge der Erdwärme ab. So kann wiederum Energie, die zur Kühlung der Raumluft aufgebracht werden muss, eingespart werden.

In der folgenden Darstellung ist der Aufbau und die Verlegung eines solchen EWT zu sehen.

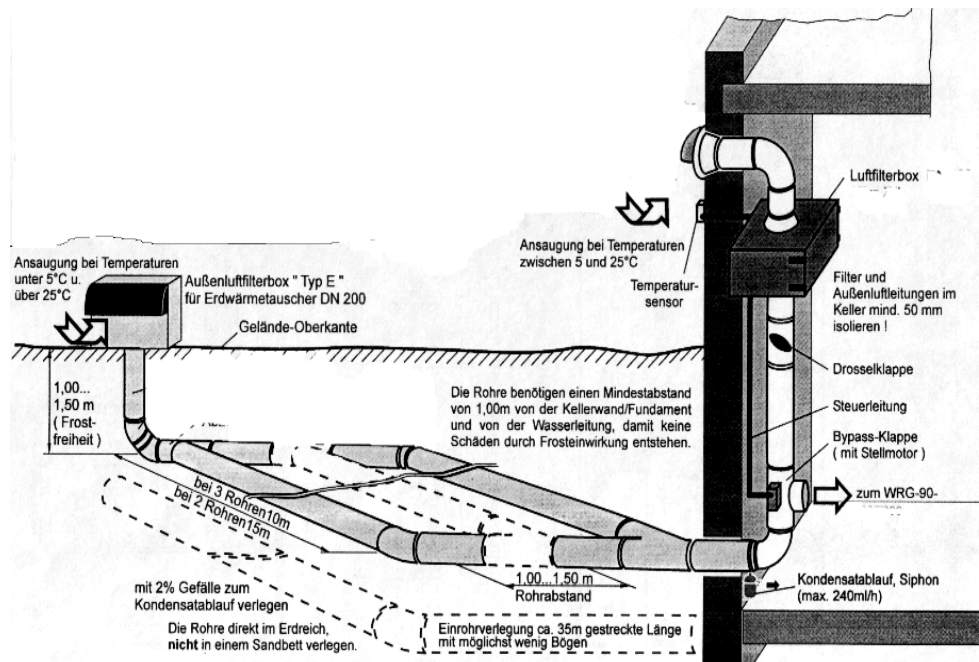


Bild 2 - 5 Aufbau und Verlegung eines Erdwärmetauschers

Systembeschreibung:

Trinkwasser:

Trinkwasseranlagentyp:

Trinkwasserverteilung:

Verlegung der Verteilung:

Speicherart:

Speicheraufstellung:

Trinkwassererzeuger:

Primärenergieträger:

Spitzenlast

gebäudezentrales System

ohne Zirkulation

innerhalb

der Thermischen Hülle

indirekt beheizter Speicher

innerhalb der thermischen Hülle

Heizungs-Wärmepumpe

Luft/Wasser

Strom- Mix

Elektro- Heizstab

Lüftung:

Lüftungsanlage:

Anlagentyp:

Verlegung der Verteilungen:

Anlagenluftwechsel

Ventilatoren:

Wärmerückgewinnung:

Wärmerückgewinnungsgrad:

zentral

Zu- und Abluft

innerhalb der thermischen Hülle

$n = 0,4 \text{ h}^{-1}$

DC (Gleichstrom)

mit

99 %

Heizung:

Heizungssystem
Wärmeübergabe:
Regelung:

Horizontale Verteilung:
Vertikale Stränge:
Systemtemperaturen:
Heizwasserpumpe:
Primärenergieträger:
Wärmeerzeuger:

Spitzenlast

Wasserheizung
integrierte Heizflächen
Einzelraumregelung mit
Zweipunktregler, Schaltdifferenz
2K
innerhalb der Thermischen Hülle
innenliegend
35/28 °C
ungeregelt
Strom- Mix
Heizungs-Wärmepumpe
Luft/Wasser
Elektro- Heizstab

5. Fighter 600P in Kombination mit Solarkollektoren der Firma Niebe

Dies ist eine mechanische Be- und Entlüftungsanlage in Kombination mit einer Wärmepumpe, die aus Abluft- und Außenluftenergie warmes Brauch- und Heizungswasser bereitet.

Bei diesem Gerät kann die Außenluftenergie bis zu -5°C genutzt werden, dann schaltet die Anlage automatisch auf alleinige Abluftenergieerückgewinnung um. Als Zusatzheizung ist ein Heizstab integriert, der sich nur bei Bedarf automatisch einschaltet, denn die Grundlastwärmerückgewinnung erfolgt durch die Wärmepumpe. Über den Wärmetauscher, der sich im aktiven Kreis der Wärmepumpe befindetet, wird warme Abluft durch die im Ventilationssystem integrierte Lüftereinheit aus den angeschlossenen Räumen gesogen.

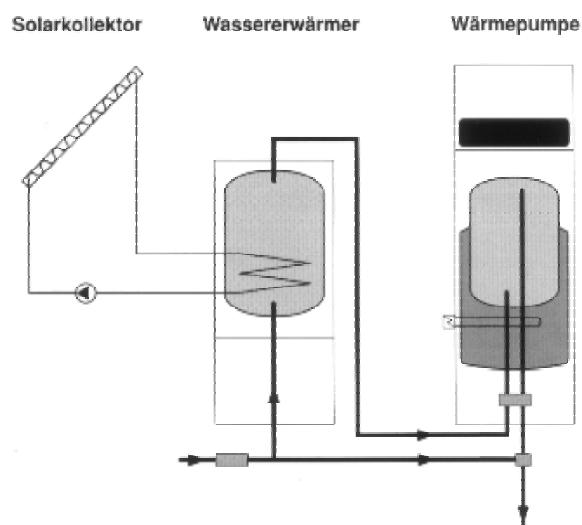


Bild 2 - 6 Funktionsprinzip FIGHTER 600P in Kombination mit Solarkollektoren

Wie auch in der Grafik zu sehen ist, wird die wiedergewonnene sowie die neugewonnene Energie zunächst auf den Heizkreis und von diesem auf das Brauchwasser übertragen. Dieses System arbeitet in Verbindung mit Sonnenkollektoren. Die Sonnenenergie kann beim Erwärmen des Brauchwassers genutzt werden. Da das Brauchwasser im Pufferspeicher durch die Sonnenkollektoren vorgewärmt wird, sinkt der Energieverbrauch des Systems in entsprechendem Grad. In der Übergangszeit kann die Solarenergie auch zur Heizunterstützung genutzt werden

Die folgende Abbildung zeigt das Funktionsprinzip des Fighters 600P in Kombination mit Solarkollektoren

Systembeschreibung:

Trinkwasser:

Trinkwasseranlagentyp:	gebäudezentrales System
Trinkwasserverteilung:	ohne Zirkulation
Verlegung der Verteilung:	innerhalb der thermischen Hülle
Speicherart:	Bivalenter Solar-Speicher
Speicheraufstellung:	innerhalb der thermischen Hülle
Trinkwassererzeuger:	Heizungs-Wärmepumpe
	Luft/Wasser
Primärenergieträger:	Strom- Mix
Spitzenlast	Elektro- Heizstab, mit solarer Trinkwasserbereitung

Lüftung:

Lüftungsanlage:	zentral
Anlagentyp:	Zu- und Abluft
Verlegung der Verteilleitungen:	innerhalb der thermischen Hülle
Anlagenluftwechsel	$n = 0,4 \text{ h}^{-1}$
Ventilatoren:	DC (Gleichstrom)
Wärmerückgewinnung:	mit
Wärmerückgewinnungsgrad:	85 %

Heizung:

Heizungssystem	Wasserheizung
Wärmeübergabe:	integrierte Heizflächen
Regelung:	Einzelraumregelung mit Zweipunktregler, Schaltdifferenz 2K
Horizontale Verteilung:	innerhalb der Thermischen Hülle
Vertikale Stränge:	innenliegend
Systemtemperaturen:	35/28 °C
Heizwasserpumpe:	ungeregelt
Primärenergieträger:	Strom- Mix
Wärmeerzeuger:	Heizungs-Wärmepumpe
	Luft/Wasser
Spitzenlast	Elektro- Heizstab

Unter den folgenden Punkten 3.,4. und 5. wird für jedes Gebäude eine monatliche Bilanz der Wärmegewinne und -Verluste mittels der nachstehend aufgeführten Berechnungsverfahren aufgestellt und diese miteinander verglichen. Eine Bewertung erfolgt unter 6. -Bewertung der Ergebnisse der Berechnungsverfahren.

3 Berechnung eines Gebäudes in Holztafelbauweise nach EnEV

3.1 Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes

Bei all den gewählten Gebäuden handelt es sich um Häuser in Holztafelbauweise der Firma Haacke & Haacke. Das Gebäude nach EnEV ist ein Einfamilienhaus aus der Hausserie „Family“. Es hat einen rechteckigen Grundriss mit einer Fläche von 10,24 x 8,24 m. Das Gebäude besitzt ein Satteldach mit einer Neigung von 48°. Das Haus ist nicht unterkellert. Die Geschosshöhe beträgt im Erdgeschoss 2,70m und im Dachgeschoss weist es eine lichte Höhe von 2,42m auf. Die Fassade besteht im Erdgeschoss aus einem Isolierklinker, der Eingangsbereich und die Giebelfassaden aus einer Profilholzschalung. Das Dach ist mit Betondachsteinen eingedeckt. Die Raumaufteilung sieht im Erdgeschoss einen Wohn- und Essbereich, eine Küche, einen Hauswirtschaftsraum, ein Gäste-WC sowie einen Dielenbereich vor. Im Obergeschoss befinden sich drei Zimmer, ein Bad und eine Galerie. Einen genaueren Einblick geben Grundrisse, Schnitte und Ansichten im Anhang.

3.1.1 Bauteilaufbau

Vorab sei gesagt, dass die Firma Haacke das Holzständersystem in einem Raster von 62,5 cm fertigt, daraus ergibt sich für die Berechnungen der inhomogenen Schichten ein Feldanteil von 90,4 % und ein Balkenanteil von 9,6 %.

1. Außenwandaufbau mit Isolierklinkerfassade (AW 611):

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Spaltklinker	15	0,96
Polystyrol- Hartschaum 035	79	0,035
Unterspannbahn	0,20	0,70
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	200	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,172 W/(m²K)

2. Außenwandaufbau mit Profilholzfassade (AW 631):

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Profilholz	21	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	73	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	200	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,196 W/(m²K)

3. Aufbau Kehlbalkenebene:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Mineralwolle040/ Kehlbalken	200	0,04 / 0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Luftschicht waagrecht/ Lattung	21	0,123 / 0,13
Gipskartonplatte	12,5	0,21

Die Kehlbalkenebene hat einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,215 W/(m²K)

4. Satteldachaufbau:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Unterspannbahn	0,30	0,70
Mineralwolle040/ Kehlbalken	200	0,04 / 0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Luftschicht senkrecht/ Lattung	21	0,124 / 0,13
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Dachaufbau hat einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,218 W/(m²K)

4. Aufbau der Bodenplatte:

Bauteilschicht von innen nach außen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Anhydritestrich	45	1,2
PE- Folie	0,12	0,30
Polystyrol- Hartschaum 040	110	0,40
Stahlbetonplatte	160	2,1

Die Bodenplatte hat einen Wärmedurchgangskoeffizient von 0,330 W/(m²K)

3.1.2 Fenster

Bei diesem Gebäude wird eine 2- Scheiben Wärmeschutz-Verglasung eingesetzt. Die Fenster setzen sich zusammen aus einer Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von 1,40 W/m²K mit einem Energiedurchlassgrad von 63 %, dessen Scheibenzwischenraum mit Argon gefüllt ist, einem Hartholzrahmen mit einem Wärmeleitwert von 0,17 w/mK und einem Randverbund mit einem thermisch trennende

Kunststoffabstandshalter. Für alle Fenster wird einen mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von $1,776 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angesetzt.

3.1.3 Wärmebrücken

Wärmebrücken werden laut EnEV berücksichtigt, indem der Wärmedurchgangskoeffizient der wärmetauschenden Gebäudehülle mit einem pauschalen Faktor erhöht wird, oder der Faktor durch einen genauen Nachweis der Wärmebrücken ermittelt wird.

In meinem Praxissemester bei der Firma Haacke + Haacke habe ich bereits einen genauen Nachweis der Wärmebrücken mit der Programm „THERM 2.1“ für dieses Gebäude angefertigt. Die nachfolgende Tabelle zeigt für die einzelnen Wärmebrücken den jeweiligen Wärmebrückenverlustkoeffizient multipliziert mit der entsprechenden Gebäudelänge und einem Korrekturfaktor. Die Summe aller Werte bezogen auf die gesamte wärmetauschende Hüllfläche des Gebäudes, entspricht einem spezifischen Wärmebrückenzuschlag, der über die einzelnen U-Werte berücksichtigt wird.

Übersicht der Wärmebrücken:

Tabelle 3 - 1 Wärmebrückennachweis, Gebäude nach EnEV

Daraus ergibt sich ein spezifischer Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = -0,0624 \text{ W/m}^2\text{K}$

3.1.4 Anlagentechnik

Genauere Anlagenbeschreibung siehe unter 2.2.1

3.1.5 Randbedingungen und Festlegungen für die Berechnung des Gebäudes

Beide Berechnungsverfahren basieren auf den Klimadaten des Standortes Braunschweig. Für den Nachweis des Heizwärmebedarfes nach EnEV wird eigentlich grundsätzlich ein Referenzklima „Deutschland“ nach Tabelle D.5. DIN 4108-6 unabhängig vom Standort Deutschland gewählt, um so eine allgemeine gültige Berechnungsgrundlage zu haben. Da aber aus den beiden Berechnungsverfahren ein Vergleich erstellt werden soll, es aber bei HELIOS kein Referenzklima gibt, und es nicht möglich ist sich einen eigenen Standort zu definieren, wird bei allen folgenden Berechnungen der Standort Braunschweig gewählt. Woraus dann die Außentemperatur resultiert, die Innentemperatur ist mit 19°C angesetzt. Der Mindestluftwechsel beträgt $0,7 \text{ h}^{-1}$ und die internen Lasten werden bei Wohngebäuden mit 5 W/m^2 angesetzt.

3.2 Bestimmung des Energieverbrauches

3.2.1 Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6

Der Energieverbrauch nach EnEV in Verbindung mit der DIN 4108-6 wurde mit Hilfe des Programms „Wärme und Dampf“ nach dem Monatsbilanzverfahren berechnet.

In der folgenden Übersicht sind die Werte, die den Energieverbrauch des Gebäudes bestimmen, zusammen gestellt. Es werden die Wärmegewinne, aus Strahlung und internen Lasten, der Heizwärmebedarf, also die Energie die dem Gebäude über die Anlagentechnik, allein für die Erwärmung der Raumluft zugeführt werden muss, und die Wärmeverluste infolge Transmission und Luftwechsel dargestellt. Die Gewinne aus der Wärmebrückenberechnung werden über den Transmissionswärmeverlust dem Gebäude wieder gut geschrieben.

Die Berechnungen sind dem Anhang beigelegt.

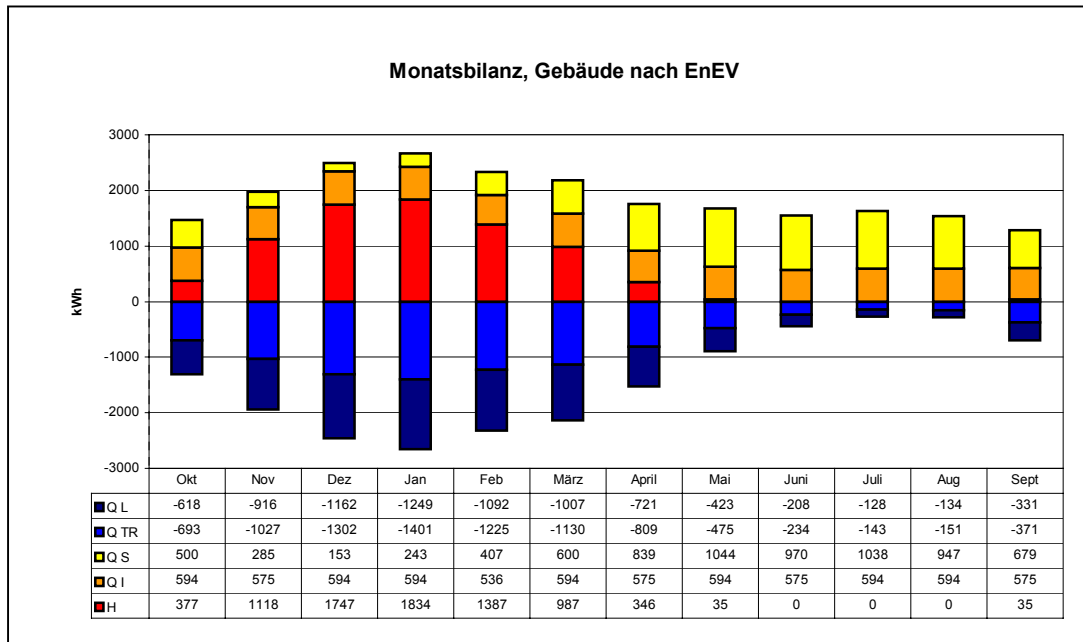


Diagramm 3 - 1 Monatsbilanz, Berechnung mittels Wärme und Dampf

Daraus ergibt sich eine Zusammenfassung wie folgt:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L)	7989 kWh/a
Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR})	8961 kWh/a
Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S)	7705 kWh/a
Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_I)	6994 kWh/a
Heizwärmebedarf (H)	7866 kWh/a

Auf die Nutzfläche von 159,6 m² errechnet sich ein Heizenergiebedarf von 49,19 kWh/m²a

3.2.2 Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation

Die Berechnungen des Energieverbrauchs mittels einer dynamischen Gebäudesimulation werden mit dem Programm HELIOS durchgeführt.

HELIOS ist ein dynamisches 1- Zonen Simulationsmodell zu Erfassung des thermischen Verhaltens von Gebäuden unter Berücksichtigung der kurz- und langwelligen Strahlungsvorgänge. Das Rechenmodell verwendet die Energiebilanzmethode, deren Berechnungen im Stundenschritt durchgeführt werden.

Das gesamte Gebäude wird über die grafische Bedieneroberfläche HELEX bestehend aus EXCEL- Tabellenblättern eingegeben und dann mittels HELIOS simuliert.

Unter dem Tabellenblatt „Allgemeines“ wird zuerst der Standort ausgewählt. Des weiteren die Nutzungsart, also ein Wohngebäude, dann die Möblierungsdichte, die ich mittelmäßig eingestuft habe, das Luftvolumen mit 76% des Gebäudevolumens, den Luftwechsel ($0,7 \text{ h}^{-1}$) und die internen Lasten mit 5 W/m^2 Nutzfläche..

Als nächstes folgt die Anlagentechnik, diese gibt in erster Linie Auskunft über die Grenz- und Starttemperatur, in diesem Fall 19°C , die weiteren Angaben bezüglich der Anlagentechnik sind dann nur für verschiedene Randbedingungen nötig. Der Heizflächentyp, hier Raditoren, gibt die prozentuale Verteilung des Heizungsanteil an, das heißt wie viel Wärme konvektiv, durch Strahlung über die Bodenfläche und über Decke und Wand verteilt wird. Über die Regelung wird die Regelstrategie für Heizen und Kühlen festgelegt, während die Art des Heizungskessels den Wirkungsgrad des Kessels bestimmt.

Erst dann wird die Gebäudehülle beschrieben. Dazu wird jedes Bauteil mit dem jeweiligen Schichtaufbau mittels der Materialien aus dem Baustoffkatalog oder selbstdefiniert erfasst. Daraus wird dann der entsprechende U- Wert errechnet. Da bei diesem Programm Wärmebrückeneffekte nicht berücksichtigt werden können, sind diese direkt mittels des ermittelten spezifischen Wärmebrückenzuschlages über die Bauteile der wärmetauschenden Gebäudehülle berücksichtigt. Diese werden dann dem Bauteiltyp und der Ausrichtung entsprechend über die reine Fläche, abzüglich Tür- und Fensteröffnungen dem Gebäude zugeordnet. Fenster und Türen werden auch über ihren Aufbau definiert und werden dann über ihre Fläche dem jeweiligen Bauteiltyp zugeordnet. Zuletzt werden die innenliegenden Bauteile, wie Geschossdecken und Innenwände mit ihrem Schichtaufbau und der Fläche dem Gebäude zugefügt. Da die Innenwände hier alle den gleichen Aufbau aufweisen, können diese dann als eine gesamte Fläche angesetzt werden, dabei ist zu beachten, das hier die wirkliche Ist- Fläche angesetzt werden muss, das heißt Vor- und Rückseite einer Wand.. Des weitem werden innenliegende Bauteile, wie Innenwände und Geschossdecken, mit Fläche und U-Werten benötigt.

Nach Bestimmung des zu berechnenden Zeitraumes der zu ermittelnden Größen, wird die Simulation auf der HELIOS- Ebene gestartet.

Als Ergebnis erhält man dann in Form von Excel- Tabellenblättern, eine HELIOS- Ausgabe, in der die Eingangparameter und eine Zusammenfassung der Berechnung zu finden ist. Des weiteren die HELIOS- Daten, dort sind die ausgewählten Größen für jede Stunde des entsprechenden Zeitraumes berechnet. Zuletzt die sogenannte Statistik, hier sind die Werte aus den HELIOS- Daten für den jeweiligen Monat zusammengefasst, die dann wie gewohnt in EXCEL verarbeitet werden können.

Aus der Berechnung ist die nachstehende Monatsbilanz der Gewinne und Verluste erstellt worden.

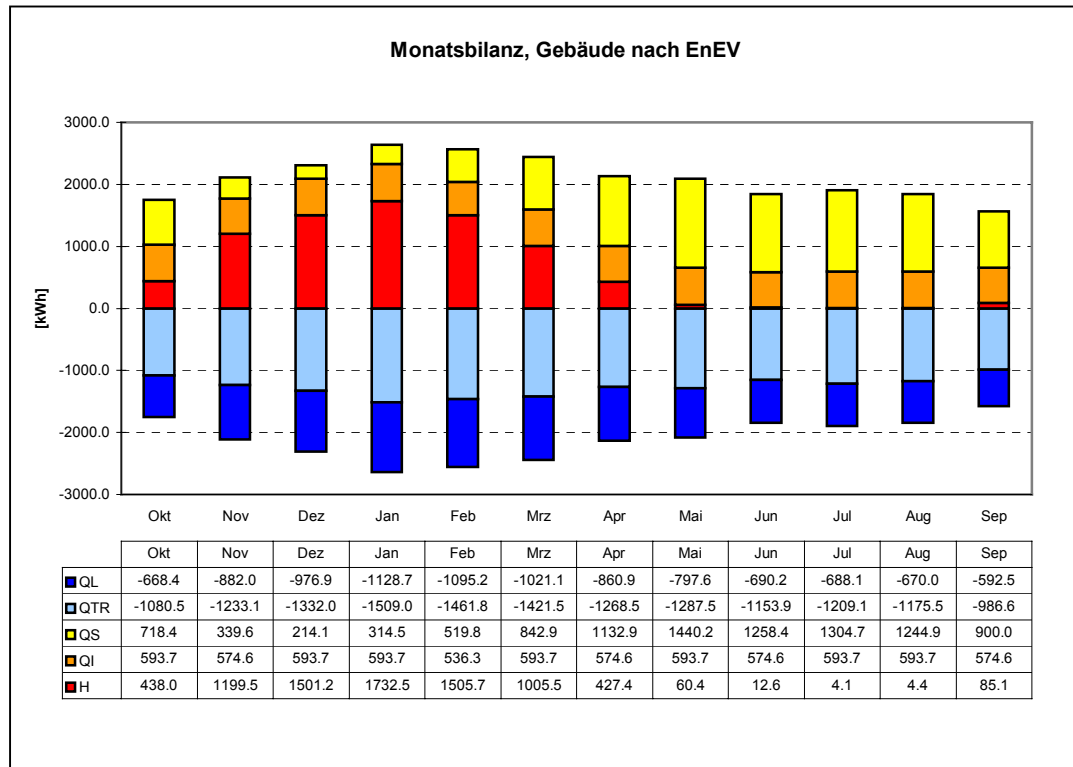


Diagramm 3 - 2 Monatsbilanz, nach HELIOS

Zusammengefasst ist das folgende jährlich Gewinne und Verluste:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L) 10462 kWh/a

Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR}) 15570 kWh/a

Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S) 10742 kWh/a

Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_I) 6991 kWh/a

Heizwärmebedarf (H) 8308 kWh/a

Das ergibt einen Heizwärme bedarf bezogen auf die Nutzfläche von 52,06 kWh/m²a

Die Berechnungsergebnisse sind dem Anhang beigefügt.

3.3 Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 3.2.1 und 3.2.2

Ziel ist es im Vergleich zu untersuchen, ob verwendete Berechnungsverfahren von realitätsnahen Berechnungsansätzen abweichen und so zu unschlüssigen und falschen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse aus beiden Berechnungen werden in der folgenden Übersicht im Vergleich dargestellt.

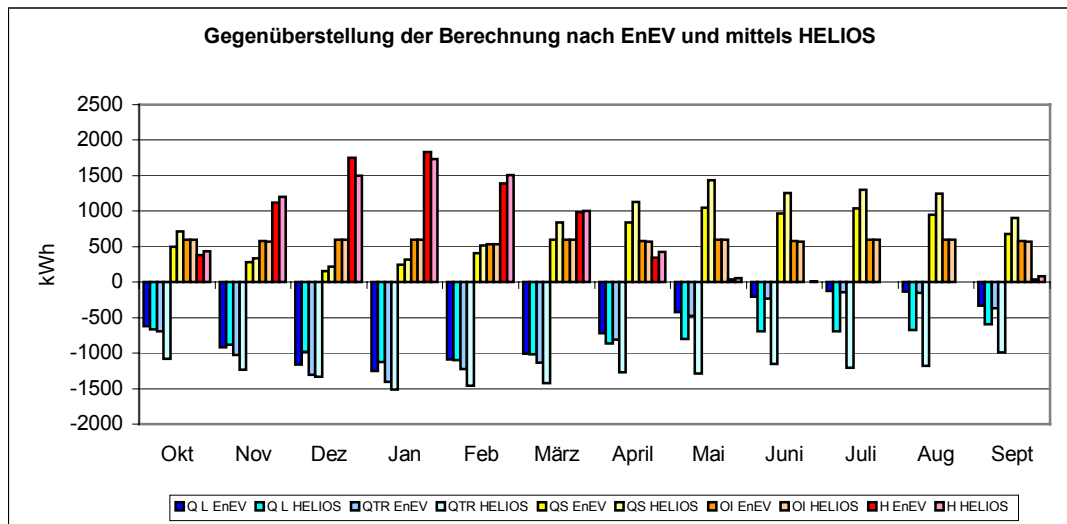


Diagramm 3 - 3 Vergleich der Berechnungen aus 3.2.1 und 3.2.2

Hier ist deutlich zusehen, dass sich Unterschiede auf der Seite der Wärmegewinnung infolge von Strahlung und auf der Seite der Wärmeverluste infolge Transmission und Luftwechsel auf zeigen. In den weiteren Diagrammen sind diese herausgegriffen, um genauer betrachtet werden zu können.

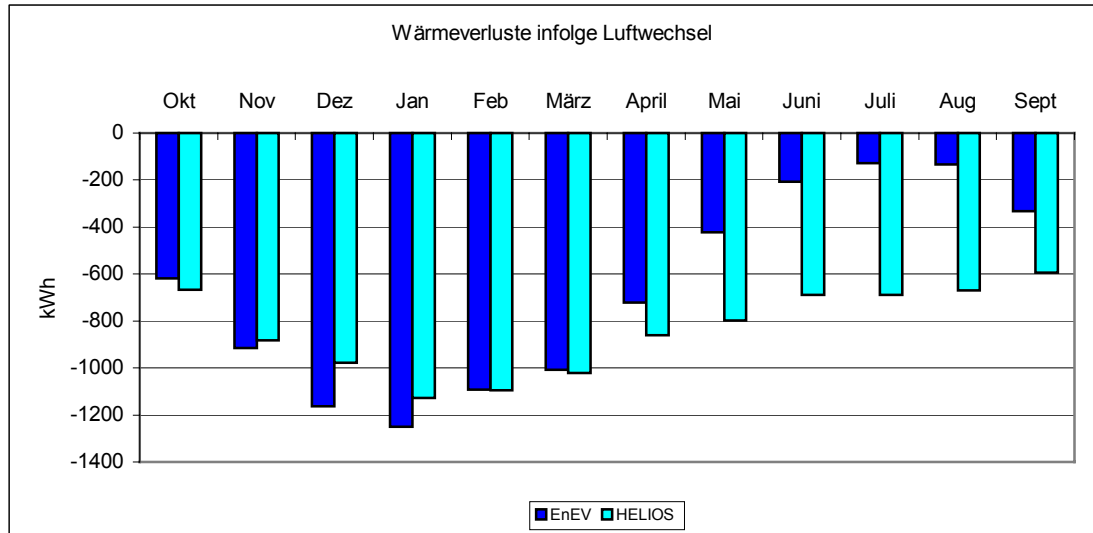
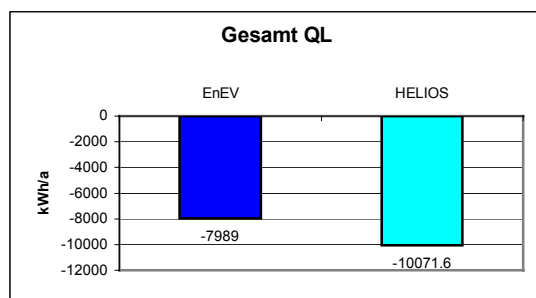


Diagramm 3 - 4 Vergleich der Luftwechselperluste

Bei der Darstellung der Verluste über den Luftwechsel sind hier deutliche Unterschiede in den Monaten April bis Mai zu sehen. Demnach ist die Wärme, die über den Luftwechsel verloren geht bei der Berechnung mittels HELIOS im Vergleich zu der Berechnung nach EnEV in Verbindung mit der DIN 4108-6 höher. Beide Berechnungen sind mit den gleichen Eingangsparametern, nämlich mit einer Luftwechselrate von $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ in die Berechnung eingegangen.



In einem Jahr sind das 2082.6 kWh/a mehr die nach HELIOS verloren gehen.

Diagramm 3 - 5 Vergleich der jährlichen Luftwechselperluste

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei den Transmissionsverlusten, denn auch diese liegen nach den Berechnungen mit HELIOS, besonders in den Monaten April bis September, weitaus höher im Vergleich zu den Berechnungen nach EnEV und DIN 4108-6. Demnach kann mehr Wärme über die Bauteile der Gebäudehülle dem Gebäude entweichen.

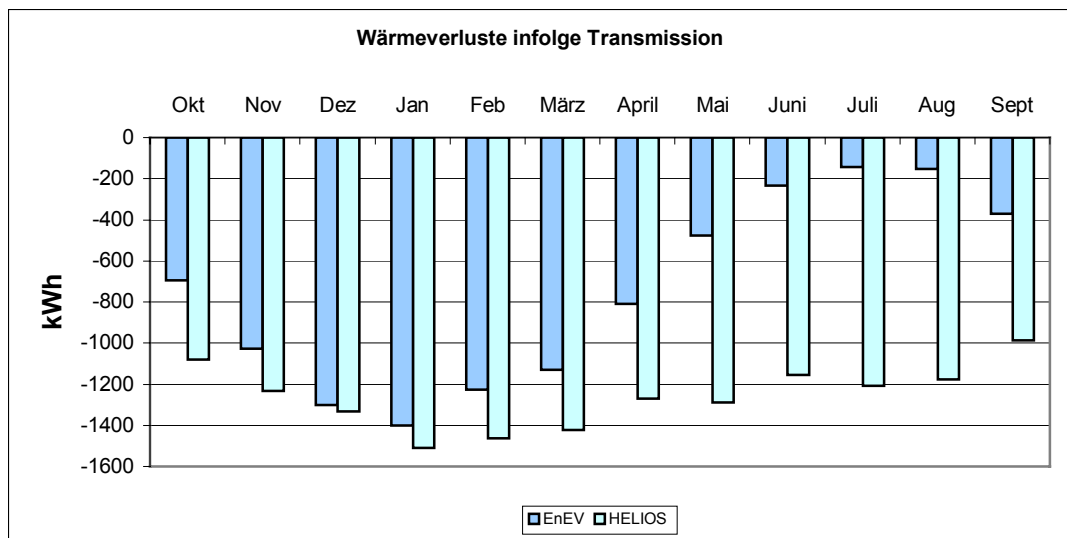
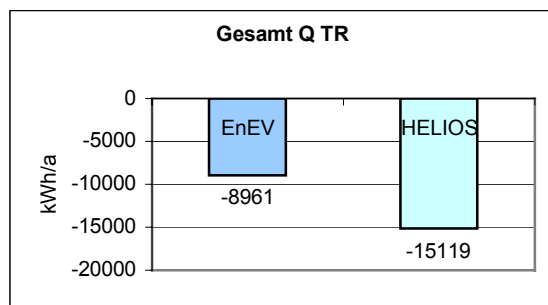


Diagramm 3 - 6 Vergleich der Transmissionswärmeverluste



Daraus folgt, dass nach HELIOS ein jährlicher Mehrverlust von 6158 kWh/a gegenüber der Berechnung nach EnEV vorhanden ist.

Diagramm 3 - 7 Vergleich der jährlichen Transmissionswärmeverluste

Im Gegensatz dazu sind die Gewinne infolge Sonneneinstrahlung, auch diese sind nach den Berechnungen mittels HELIOS immer höher als sie es aus den Berechnungen nach EnEV wären. Diese Unterschiede fallen besonderes in den Monaten April bis September ins Gewicht.

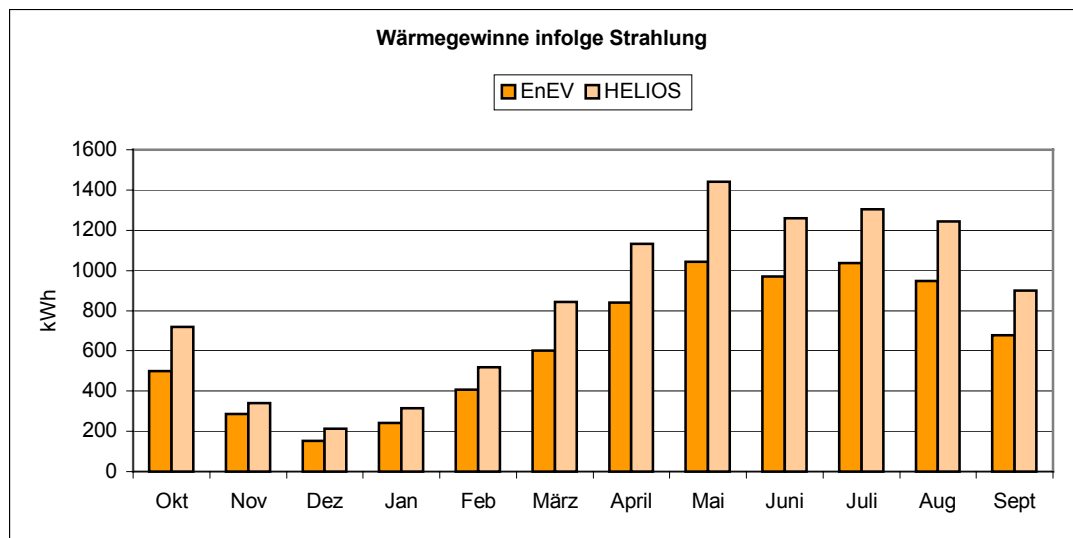
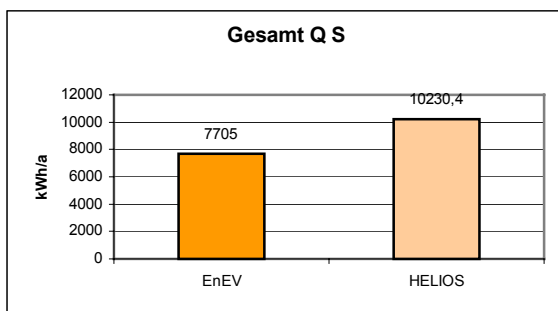


Diagramm 3 - 8 Vergleich der Strahlungsgewinne



Jährlich kommt demnach durch die Sonneneinstrahlung nach HELIOS eine Wärmemenge von 2525,4 kWh/a mehr über die Fensterflächen in das Gebäude, als im Vergleich zu der Berechnung unter 3.2.1.

Diagramm 3 - 9 Vergleich der jährlichen Strahlungsgewinne

Doch letztendlich entscheidend für den Nutzer des Gebäudes ist der Heizwärmebedarf, die Wärmemenge die mittels Anlagentechnik dem Gebäude zugeführt werden muss, um es ständig auf einer Raumtemperatur von 19°C halten zu können. Allerdings gleicht sich dieser nach beiden Berechnungsverfahren trotz der hohen Unterschiede auf der Seite der Verluste.

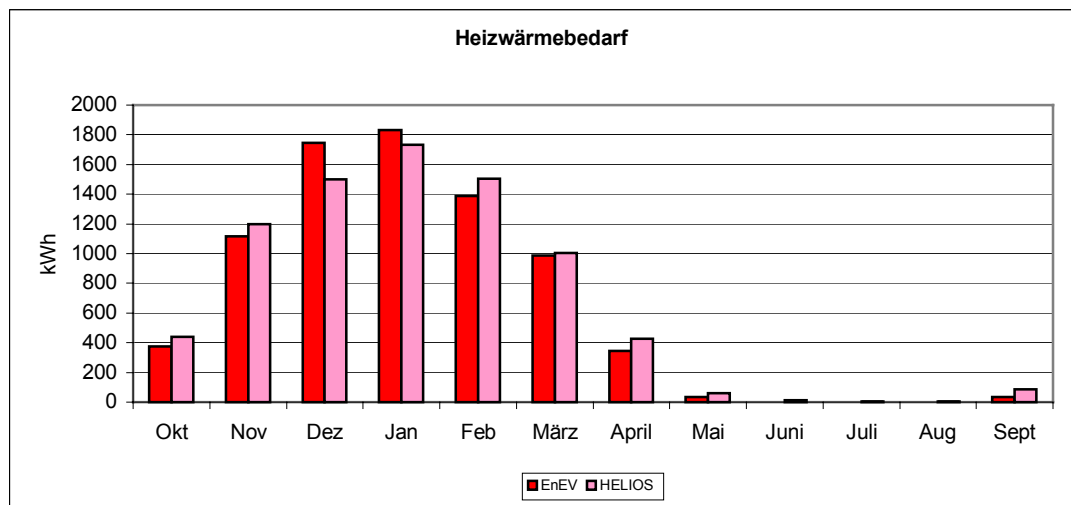
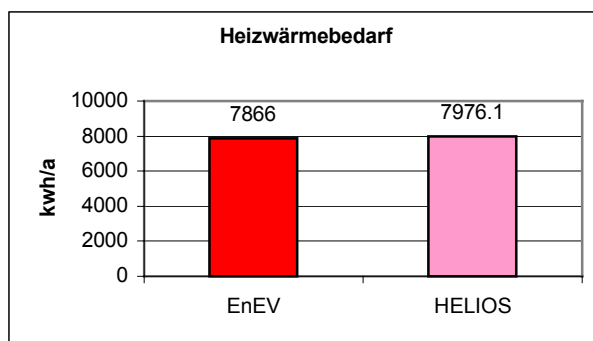


Diagramm 3 - 10 Vergleich des Heizwärmebedarfes



Die monatliche Verteilung weicht etwas von einander ab, aber die Gesamtmenge, die jährlich aufgebracht werden muss, unterscheidet sich in beiden Verfahren um 110,1 kWh/a, was pro m² Nutzfläche einen Mehraufwand von 0,69 kWh/m²a nach sich zieht.

Diagramm 3 - 11 Vergleich des Heizwärmebedarfes

Abschließen soll dieser Vergleich mit einer Übersicht aller Wärmegewinne und –Verluste bezogen auf ein Jahr.

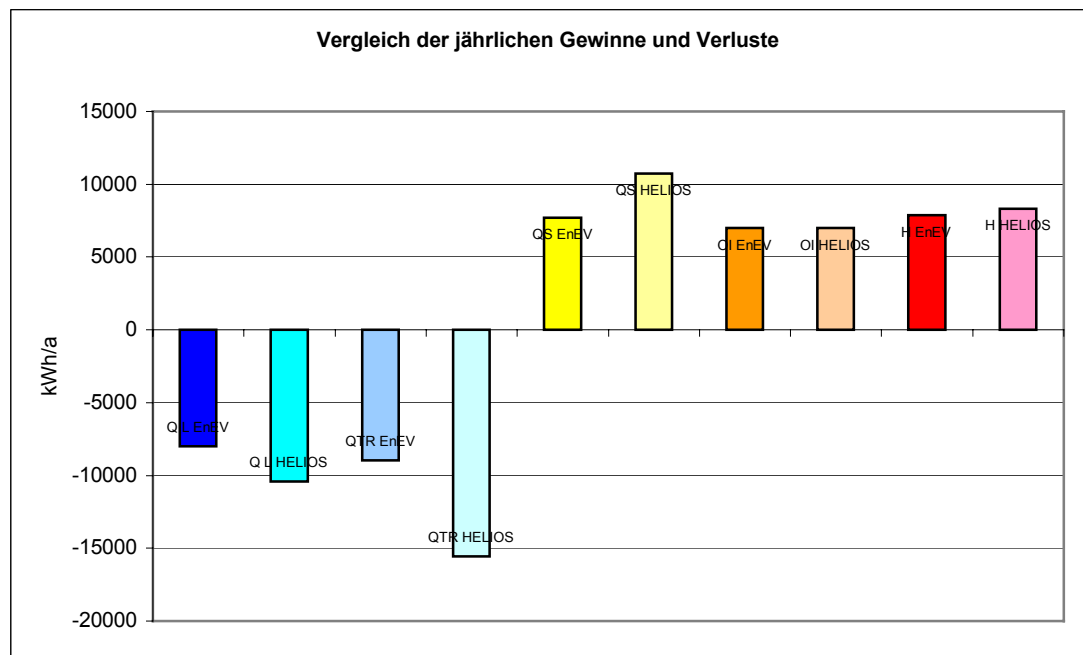


Diagramm 3 - 12 Zusammenstellung aller jährlichen Gewinne und Verluste

Daraus ist zu sehen, dass sich durch die Berechnung mit Hilfe der Gebäudesimulation nicht eine völlig andere Abbildung des Gebäudes ergibt, sondern dass sich der Verlauf der jeweiligen Verluste und Gewinne ähnelt, aber die Ergebnisse aus der Simulation gegenüber denen aus der Berechnung nach EnEV meist höher sind.

4 Berechnung eines Gebäudes als 3-Liter Haus

4.1 Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes

Bei diesem Gebäude handelt es sich ebenfalls um ein Einfamilienhaus, diesmal jedoch aus der Hauserie „Stadthaus“. Der rechteckige Grundriss hat die Abmessungen 9,24 x 11,99 m. Das Gebäude ist nicht unterkellert und hat unter der Bodenplatte eine zusätzliche 120 mm dicke Dämmstoffsschicht. Die Geschosshöhe beträgt im Erdgeschoss 2,74m und das Dachgeschoss hat eine lichte Höhe von 2,42 m. Die Fassade besteht bis zu einer Höhe von 3,87m aus einem Kunstharzputz, der weitere Teil aus einer mit einem hellgrauen Anstrich versehenen Profilholzfassade.

Das Gebäude besitzt ein Satteldach mit einer Neigung von 25°, die Eindeckung erfolgt mit dunklen Betondachsteinen. Das Gebäude ist so konzipiert, dass alle Wohn- und Aufenthaltsräume im Süden liegen, während Räume, in denen man üblicherweise kürzer verweilt, an der Nordseite angeordnet sind. Es befinden sich alle Wohnbereiche im Erdgeschoss und die Schlafbereiche zusammen im Obergeschoss.

Einen genaueren Einblick geben wiederum die Grundrisse, Schnitte und Ansichten im Anhang.

4.1.1 Bauteilaufbau

Bei dem 3-Liter Haus werden 3 verschiedene Wandaufbauten verwendet:

1. Außenwandaufbau mit Isolierputzfassade (AW 121) bis zu einer Höhe von 2,76m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Kunstharzputz	6	0,70
Polystyrol- Hartschaum 040	85	0,04
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	200	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,143 W/(m²K)

2. Außenwandaufbau mit Isolierputzfassade (AW 321) mit einer Höhe von 1,114m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Kunstharpuz	6	0,70
Polystyrol- Hartschaum	85	0,40
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	100	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	200	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,108 W/(m²K)

2. Außenwandaufbau mit Isolierputzfassade (AW 151) mit einer Höhe von 1,01m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Profilholz	32	0,13
Luftschicht / Holz	21	0,124 / 0,13
USB Tectothern	0,20	0,70
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle040/ Holzständer	200	0,04 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,161 W/(m²K)

3. Aufbau Sockelbereich:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Beton	300	2,1
Polystyrol- Hartschaum	50	0,04
Kunstharpuz	6	0,70

Der Sockelbereich hat einen U-Wert von 0,653 W/(m²K)

4. Satteldachaufbau:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Unterspannbahn	0,30	0,70
Mineralwolle040/ Kehlbalcken	200	0,04 / 0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Luftschicht senkrecht/ Lattung	21	0,124 / 0,13
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Dachaufbau hat einen U-Wert von 0,218 W/(m²K)

5. Aufbau der Bodenplatte:

Bauteilschicht von innen nach außen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Zementestrich	50	1,4
PE- Folie	0,12	0,30
Polystyrol- Hartschaum 035	120	0,035
Normalbeton	160	2,1
PE- Folie	0,12	0,30
Roofmatte	120	0,04

Die Bodenplatte hat einen U-Wert von 0,149 W/(m²K)

4.1.2 Fenster

Die Fenster bestehen aus einer 2- Scheiben Wärmeschutz Verglasung mit einem U- Wert von 1,20 W/m²K, umgeben von einem Hartholzrahmen mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,17 W/mK. Deren Scheibenzwischenraum ist mit dem Edelgas Argon gefüllt, der Randverbund mit THERMIX- Abstandshaltern. In einer gesonderten Berechnung wurden die U- Werte für jedes Fenster nach DIN 10077-1 ermittelt. In prozentualer Abhängigkeit in Bezug auf den gesamten Fensteranteil wurde ein mittlerer U- Wert von 1,55 W/m²K errechnet. Für die Haustür im Norden wurde ein Wärmedurchgangskoeffizient von 0,8431 W/m²K errechnet.

4.1.3 Wärmebrücken

Auch für dieses Gebäude habe ich während meines Praxissemesters einen detaillierten Wärmebrückennachweis erstellt.

Übersicht der Wärmebrücken:

Tabelle 4 - 1 Wärmebrückennachweis, 3-Liter Haus

Daraus ergibt sich ein spezifischer Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = -0,0171 \text{ W/m}^2\text{K}$

4.1.4 Anlagentechnik

Genauere Anlagenbeschreibung siehe unter 2.2.2

4.1.5 Randbedingungen und Festlegungen für den Nachweis nach EnEV

Die Klimadaten entsprechen denen des Standortes Braunschweig. Woraus dann die Außentemperatur resultiert, die Innentemperatur ist mit 19°C angesetzt.

Da bei diesem Gebäude eine maschinelle Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung eingesetzt wird, errechnet sich die Luftwechselrate n nach DIN 4108-6. Daraus folgt:

$$n = n_A (1 - \eta_V) + n_X$$

mit:

$n_A = 0,4 \text{ h}^{-1}$ nach DIN 4701-10

η_A = Nutzungsfaktor des Wärmerückgewinnungssystems nach 4701-10 (hier 85%)

$n_X = 0,2 \text{ h}^{-1}$ für Zu- und Abluftanlagen

Daraus ergibt sich eine anzusetzende Luftwechselrate von $0,26 \text{ h}^{-1}$. die Internen Lasten werden mit 5 W/m^2 Wohnfläche angesetzt.

4.2 Bestimmung des Energieverbrauches

4.2.1 Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6

Auch hier habe ich die Energiebilanz, aus der Berechnung nach EnEV mittels des Programms „Wärme und Dampf“ in der nachfolgenden Monatsbilanz zusammen gefasst.

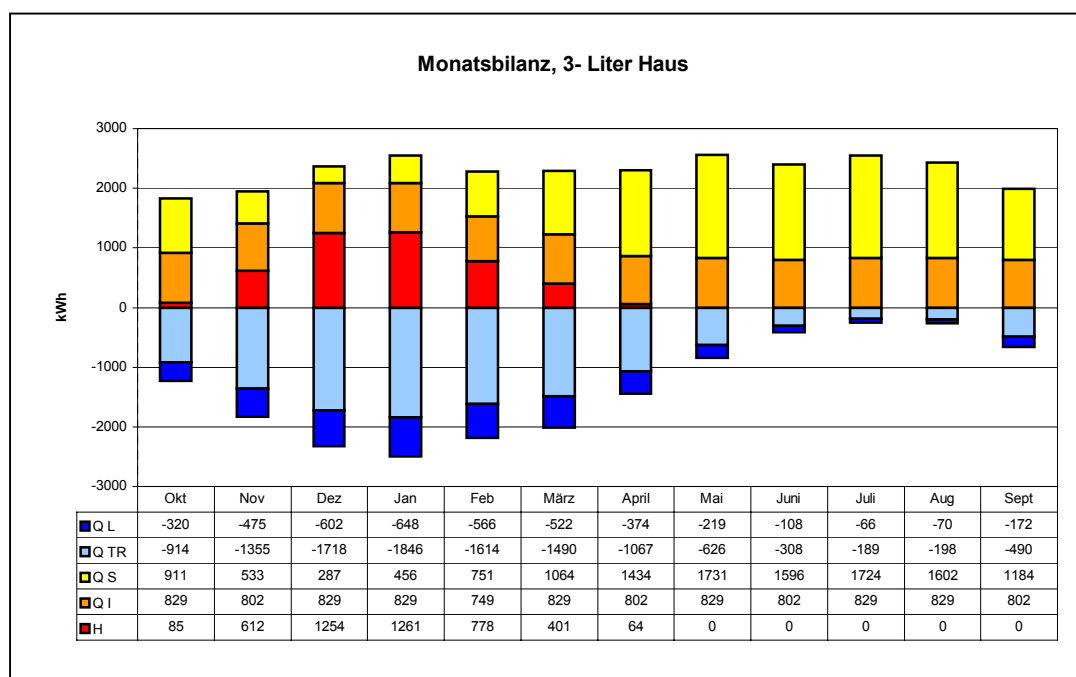


Diagramm 4 -1 Monatsbilanz, Berechnung mittels Wärme und Dampf

Zusammengefasst auf den jährlichen Bedarf bedeutet das:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L)	4142 kWh/a
Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR})	11813 kWh/a
Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S)	13274 kWh/a
Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_I)	9762 kWh/a
Heizwärmebedarf (H)	4455 kWh/a

Das entspricht einen Heizenergiebedarf von 19,99 kWh/m²a.

Die ausführlichen Berechnungen der Energiebilanz sind dem Anhang beigelegt.

4.2.2 Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation

Bei der Berechnung dieses Gebäudes mittels der Simulation bin ich an eine Programmgrenze gestoßen, denn HELIOS kann bei seiner Berechnung nur 15 opake Bauteile und 10 Verglasungen berücksichtigen. Da aber eine komplette Fassade, wie unter 4.1.1 zu sehen ist, aus 3 verschiedenen Wandaufbauten mit unterschiedlichen U-Werten und Oberflächenarten plus Sockel besteht, wären nach Erstellen aller 4 Außenwände, 16 Bauteile vorhanden, wobei noch kein Dachaufbau, keine Bodenfläche und keine innenliegenden Bauteile berücksichtigt sind. Aus diesem Grund habe ich mit jedem Wandaufbau ein einfaches Gebäude mit Dach und Bodenfläche simuliert. Dieses habe ich dann einmal mit und einmal ohne einer inneren Speichermasse (Innenwand) berechnet. Die Ergebnisse der Raumtemperatur, Außentemperatur und der gespeicherten Energie habe ich dann verglichen, um zu erfahren ob nur die inneren Bauteile als Speichermasse angesetzt werden und so die Außenwände nur mit der jeweiligen Fläche und dem dazugehörigen U-Wert in die Berechnung eingehen, oder ob auch die Außenwände mit der entsprechenden Bauteildicke als Speichermasse dienen. Das Ergebnis aller Gegenüberstellungen war aber doch wie vermutet, dass wirklich nur die inneren Bauteile Speichermasse sind, und die Außenwände wirklich nur über den Wärmedurchgangskoeffizienten und der Fläche als wärmetauschende Gebäudehülle angesetzt werden. Durch diese Erkenntnis konnten dann mehrere Bauteile zu einem zusammen gefasst werden. Dem zufolge sind die Außenwände mit der gleichen Oberfläche zu einer Fläche zusammen geführt worden, um daraus dann den resultierenden U-Wert aus der jeweiligen prozentualen Anteiligkeit zu ermitteln. Die Wärmebrücken habe ich dann wieder mittels des spezifischen Wärmebrückenzuschlages direkt über die Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile der Gebäudehülle berücksichtigt.

Die Eingangsparameter unterscheiden sich nur im Luftvolumen mit 529,3 m³ und in der Luftwechselrate, die unter 4.1.5 ermittelt wurde von der Berechnung unter 3.2.2

Aus der Berechnung ergibt sich die nachstehende Monatsbilanz.

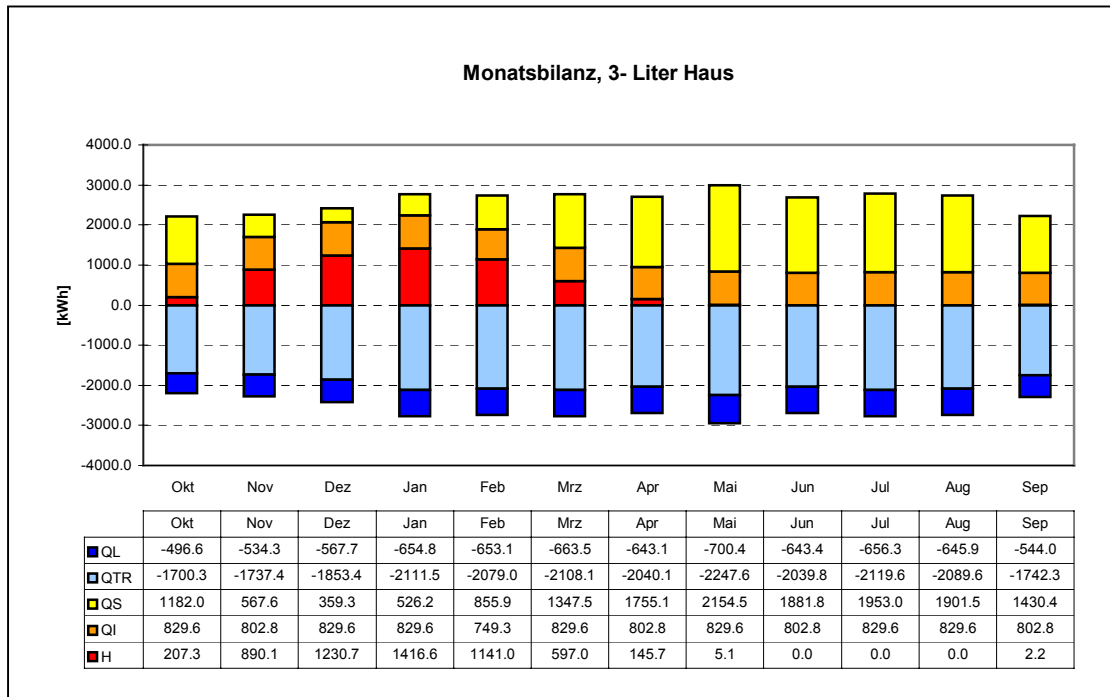


Diagramm 4 -2 Monatsbilanz, nach HELIOS

Daraus resultieren folgende jährliche Gewinne und Verluste:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L)	7403 kWh/a
Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR})	23869 kWh/a
Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S)	15915 kWh/a
Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_I)	9767 kWh/a
Heizwärmebedarf (H)	5636 kWh/a

Bezogen auf die Nutzfläche ergibt das einen Jahresheizwärmebedarf von 25,3 kWh/m²a.

4.3 Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 4.2.1 und 4.2.2

Um auch hier einen Überblick über Wärmegewinn und -Verluste beider Berechnungen zu bekommen, sind beide Berechnungen in dem folgendem Diagramm verglichen.

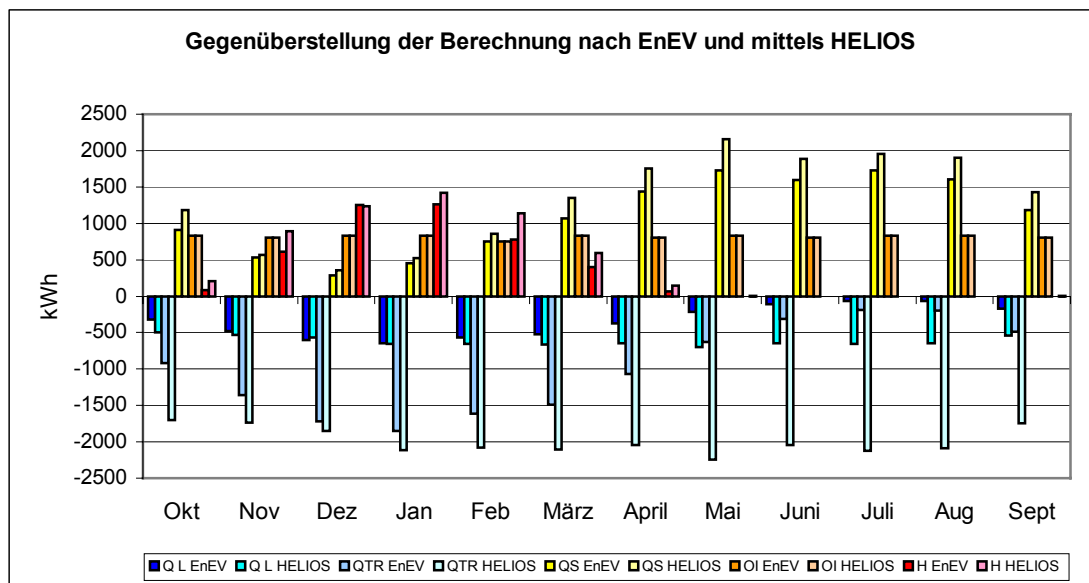


Diagramm 4 -3 Vergleich der Berechnungen nach 4.2.1 und 4.2.2

Auch bei diesem Gebäude lässt sich ähnliches erkennen wie bei dem berechneten Gebäude unter 3.. Es treten sehr große Unterschiede bei den Transmissionswärme- und bei den Luftwechselverlusten auf. In den folgenden Diagrammen werden auch diese einzeln herausgegriffen.

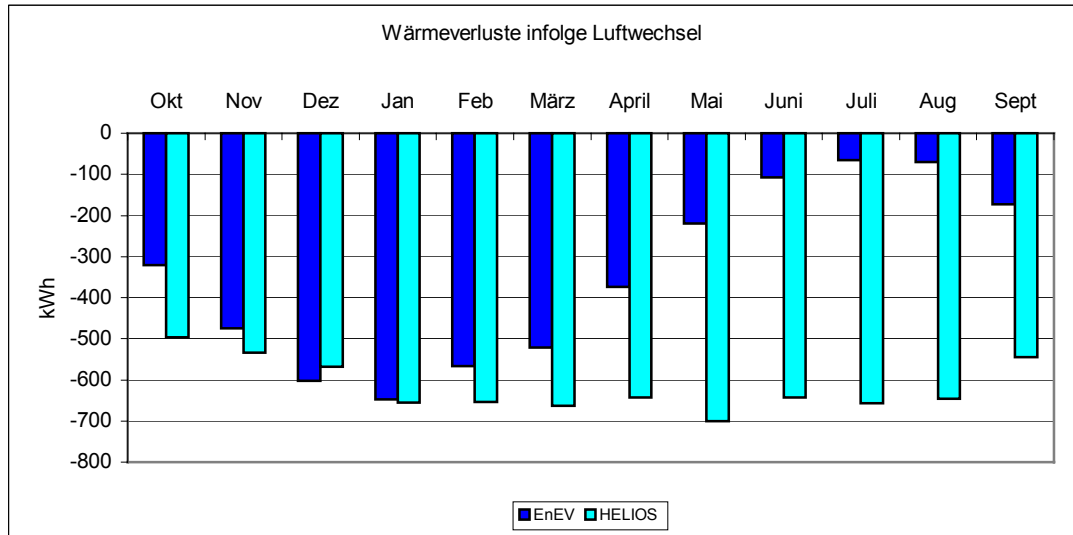


Diagramm 4 -4 Vergleich der Luftwechselverluste

Infolge des Luftwechsels treten auch hier besonders in den Monaten April bis September sehr große Unterschiede der Ergebnisse der beiden Berechnungsverfahren auf.

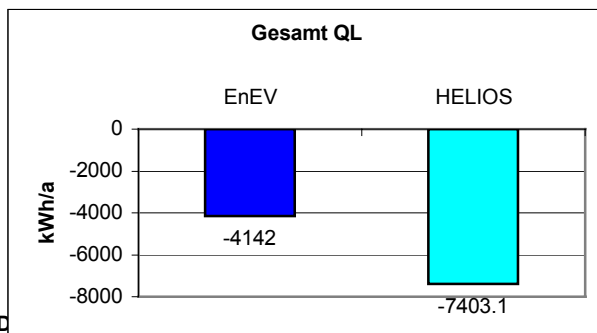


Diagramm 4 -6
Diagramm 4 -7 Vergleich des jährlichen Luftwechselverlust

Das bedeutet nach HELIOS einen um 3261 kWh/a größeren Verlust im Jahr.

Ebenso sieht es beim Vergleich der Verluste über die Bauteile aus. Die Verluste nach EnEV liegen immer unter denen aus HELIOS, aber besonders in der Übergangszeit und in den Sommermonaten sind diese weitaus höher.

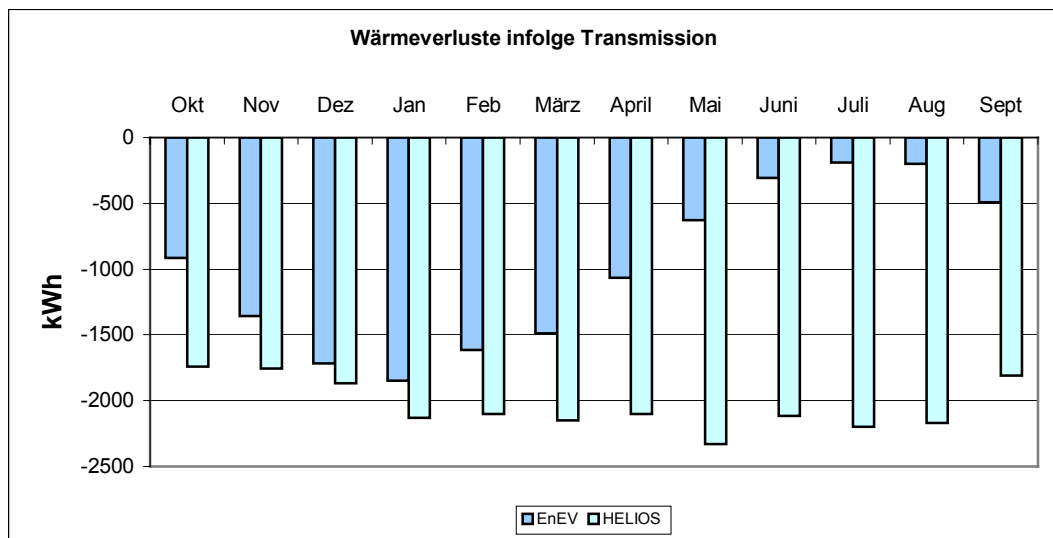
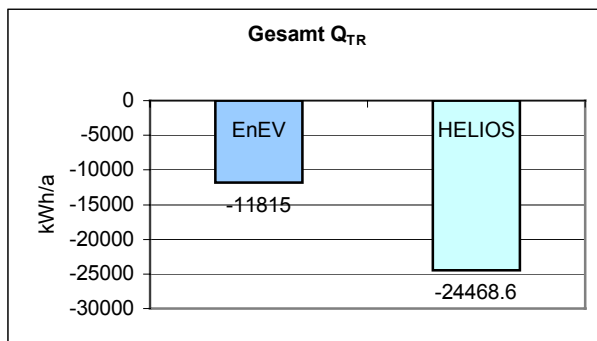


Diagramm 4 -8 Vergleich der Transmissionsverluste



Die Transmissionsverluste sind auch hier, auf ein Jahr bezogen, mehr als doppelt so hoch.

Diagramm 4 -9 Vergleich der jährlichen Transmissionsverluste

Wie aber anhand des folgenden Diagramms zu sehen ist, reichen die Gewinne aus internen Lasten und Strahlungsgewinnen in den Monaten Mai bis September nach beiden Berechnungsverfahren dennoch aus, um die Verluste auszugleichen und so auch trotz der höheren Verluste keine Heizenergie aufbringen zu müssen, um das Gebäude auf dem entsprechenden Temperaturniveau zu halten. Dementsprechend müssen auch die Gewinne aus Strahlung in dieser Zeit höher sein, da die internen Lasten bei beiden Berechnungen gleich sind, also, das Gebäude mehr Energie nutzen kann als in der Berechnung nach EnEV.

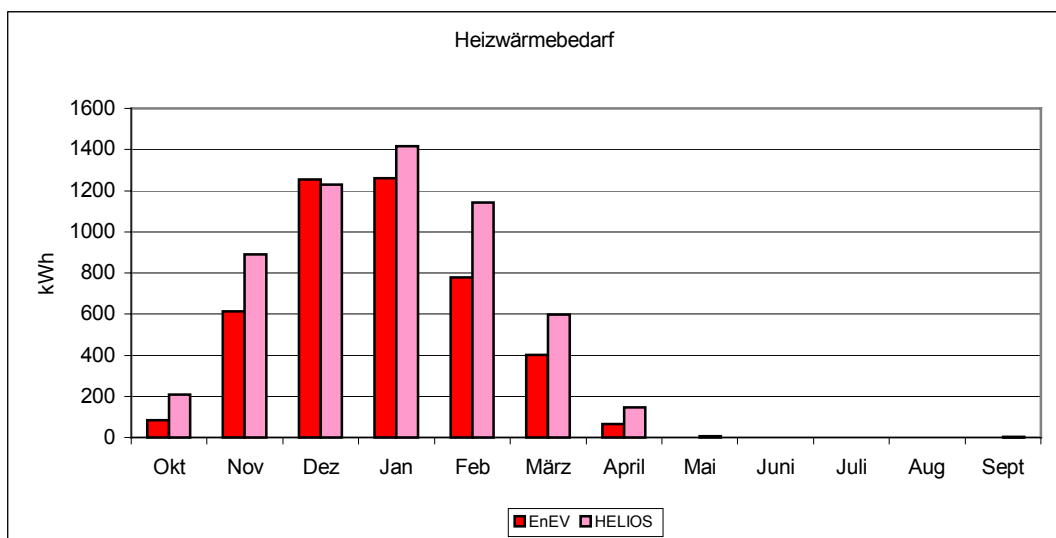


Diagramm 4 -10 Vergleich des Heizwärmebedarfs

Aber im Ganzen betrachtet liegt der Energiebedarf der durch die Anlage, einschließlich für die Erwärmung des Gebäudes zu Verfügung stehen soll, bei HELIOS höher.

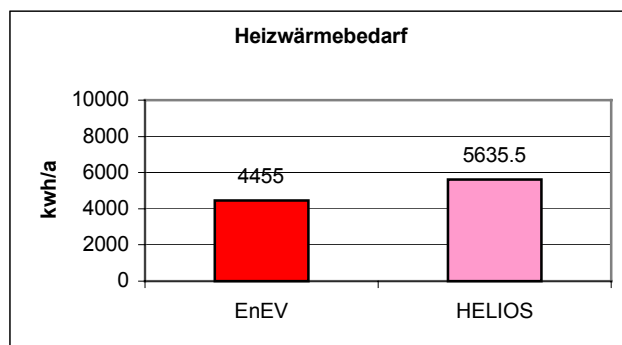


Diagramm 4 -11 Vergleich des jährlichen Heizwärmebedarfs

Das führt zu einem jährlichen Heizwärmebedarf bezogen auf die Nutzfläche von 222,9 m² nach EnEV zu 19,99 kWh/m²a und bei HELIOS zu 25,3 kWh/m²a. Demnach muss dem Gebäude 5,31 kWh/m²a mehr an Energie zugefügt werden.

In dem kommenden Diagramm sind noch einmal alle Gewinne und Verluste der beiden Berechnungsverfahren im Vergleich zu sehen.

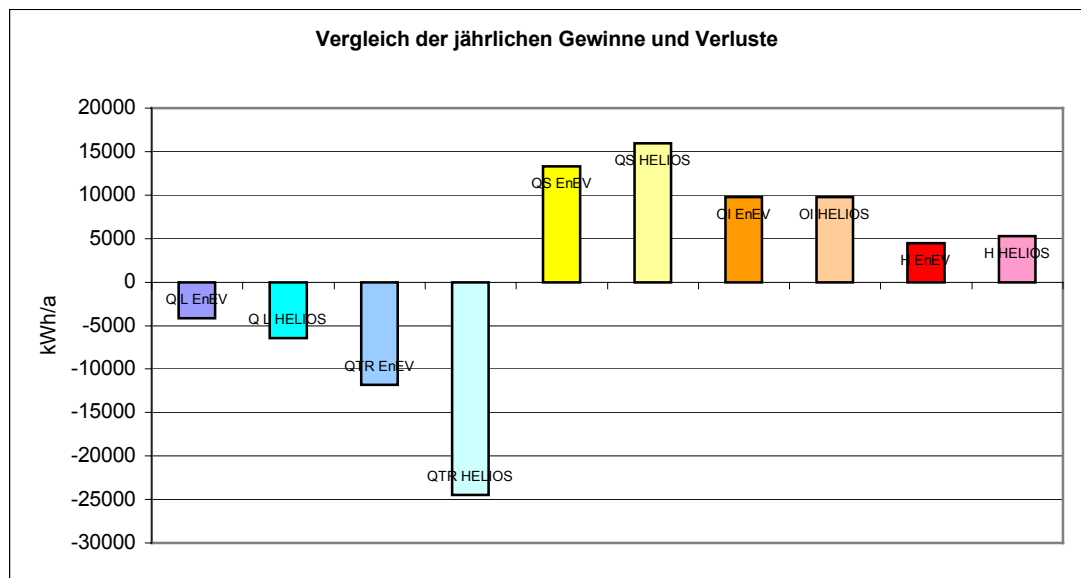


Diagramm 4 -12 Zusammenfassung aller Gewinne und Verluste

Zusammengefasst sei zu diesem Gebäude bezüglich der Simulation mit HELIOS gesagt, dass durch das Zusammenfassen mehrerer Bauteile, es schnell durch Rundungen zu ungenaueren Werten kommen kann. Durch den unterschiedlichen Aufbau der Bauteile, hier die Außenwände, muss ein gemeinsamer vereinfachter Aufbau gewählt werden, der dann letztendlich den „resultierenden“ Wärmedurchgangskoeffizienten besitzt und dann werden an diesem die Wärmebrückeneffekte berücksichtigt. Es ist aber nicht möglich direkt den genauen U- Wert einzugeben. Dieser kann nur direkt über das Bauteil, durch den entsprechenden Schichtaufbau definiert werden. Bereits während der Rechnung wird dieser auf 2 Stellen hinter dem Komma gerundet. Um weitere Stellen nach dem Komma sehen zu können, muss man in die Eingabemaske wechseln in der das Gebäude bestimmt wird (Beschreibung der Fassade). Dieser Ablauf tritt nicht nur bei dem Zusammenfassen von Bauteilen ein, denn da bei dieser Simulation Wärmebrückeneffekte nicht anderes berücksichtigt werden können, als direkt über den Bauteilaufbau, so muss dieser, wenn man Wärmebrücken berücksichtigt, bei jedem Bauteil der wärmetauschenden Gebäudehülle durchgeführt werden. Das ist nicht nur sehr umständlich, sondern führt vor allen Dingen, wie schon gesagt, bei mehreren Bauteilen zu ungenauen Angaben bezüglich der Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle.

5 Berechnung eines Gebäudes als Passivhaus

5.1 Gebäudebeschreibung des gewählten Gebäudes

Es ist ein Gebäude vom Typ „Stadtvilla“ mit einem rechteckigen Grundriss dessen Fläche 9,115 x 10,365m beträgt. Ein Zeltdach mit einer Neigung von 25° schließt das Gebäude nach oben ab, es ist nicht unterkellert, besitzt aber auch unterhalb der Bodenplatte eine zusätzliche 120mm dicke Dämmstoffschicht. Das Erdgeschoss besitzt eine Höhe von 2,555m und das Dachgeschoss eine lichte Höhe von 2,50m. Die Fassade besteht aus einer Isolierklinkerfassade die bei einer Höhe 2.95m in eine Profilholzfassade übergeht, das Dach ist mit Betondachsteinen eingedeckt. Im Erdgeschoss erstreckt sich ein südlich orientierter Wohn- und Essbereich, des weiteren sind Küche, Speisekammer, Hauswirtschaftsraum, WC und Diele nördlich orientiert. Im Dachgeschoss sind 3 Schlafräume, ein Arbeitszimmer und ein Bad vorgesehen. Einen genaueren Einblick geben Grundrisse, Schnitte und Ansichten im Anhang.

5.1.1 Bauteilaufbau

Auch bei diesem Gebäude werden 3 verschiedene Wandaufbauten verwendet.

1. Außenwandaufbau mit Isolierklinkerfassade (AW 312) bis zu einer Höhe von 2,76m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Isolierklinker	15	0,96
Polystyrol- Hartschaum 035	25	0,035
Unterspannbahn	0,20	0,70
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle035/ Holzständer	200	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Mineralwolle035/ Holzständer	60	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,134 W/(m²K)

2. Außenwandaufbau mit Isolierklinkerfassade (AW 421) mit einer Höhe von 1,114m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Isolierklinker	15	0,96
Polystyrol- Hartschaum 035	25	0,035
Unterspannbahn	0,20	0,70
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle035/ Holzständer	100	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle035/ Holzständer	200	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Mineralwolle035/ Holzständer	60	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,101 W/(m²K)

2. Außenwandaufbau mit Profilholzfassade (AW 332) mit einer Höhe von 1,01m:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Profilholz	32	0,13
USB Tectothen	0,20	0,70
Mineralwolle035/ Holz	21	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle035/ Holzständer	200	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
Mineralwolle035/ Holzständer	60	0,035 / 0,13
Spanplatte	13	0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Wandaufbau hat einen U-Wert von 0,138 W/(m²K)

3. Aufbau Sockelbereich:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Beton	300	2,1
Polystyrol- Hartschaum	50	0,04
Kunstharzputz	6	0,70

Der Sockelbereich hat einen U-Wert von 0,653 W/(m²K)

4. Zeldachaufbau:

Bauteilschicht von außen nach innen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Unterspannbahn	0,30	0,70
Mineralwolle035/ Balken	240	0,035 / 0,13
PE- Folie	0,20	0,30
Mineralwolle035/ Lattung	21	0,035 / 0,13
Gipskartonplatte	9,5	0,21

Dieser Dachaufbau hat einen U-Wert von 0,141 W/(m²K)

5. Aufbau der Bodenplatte:

Bauteilschicht von innen nach außen	Dicke mm	Wärmeleitfähigkeit W/(mK)
Zementestrich	50	1,4
PE- Folie	0,12	0,30
Polystyrol- Hartschaum 035	120	0,035
Normalbeton	160	2,1
PE- Folie	0,12	0,30
Roofmatte	120	0,04

Die Bodenplatte hat einen U-Wert von 0,149 W/(m²K)

5.1.2 Fenster

Die Passivhausfenster bestehen aus einer 3- Scheiben Wärmeschutzverglasung. Die Verglasung hat einem U- Wert von $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem Energiedurchlassgrad von 53 %. Der 16 mm Starke Scheibenzwischenraum ist mit Argon gefüllt. Diese sind umschlossen von einem Weichholzrahmen mit einer Leitfähigkeit von $0,13 \text{ W/mK}$, der Randverbund der Verglasung ist mit Thermix- Abstandshaltern thermisch getrennt. Daraus errechnet sich nach DIN 10777 ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient von $0,806 \text{ W/m}^2\text{K}$ im Mittel für alle Fenster.

5.1.3 Wärmebrücken

Für dieses Gebäude habe ich den folgenden Wärmebrückennachweis erstellt, um dann direkt auch an den Stellen anknüpfen zu können, an denen es zu möglichen Schwachpunkten kommen kann.

5.1.4 Anlagentechnik

Genauere Anlagenbeschreibung siehe unter 2.2.3

Bei den folgenden Berechnungen, nach EnEV und mittels der Gebäudesimulation, die ich dann miteinander vergleichen möchte, werde ich die geplante Anlage, die LWZ 303 von Stiebel Eltron eingesetzt.

Die weiteren aufgeführten Anlagen, erst in den dann folgenden weiterführenden Berechnungen zur möglichen Optimierung des Gebäudes zum Einsatz kommen.

5.1.5 Randbedingungen und Festlegungen für die Berechnungen

Folgende Randbedingungen gelten bei den Berechnungen nach EnEV und mittels der Gebäudesimulation:

Auch hier ist der Standort Braunschweig gewählt. Die Innentemperatur Θ_i ist mit 19°C angesetzt.

Bei den internen Wärmegewinnen wird ein pauschaler Ansatz von 5 W/m² Nutzfläche angesetzt. Aufgrund der maschinellen Lüftung mit einer Wärmerückgewinnung von 84% errechnet, wie in der Berechnung unter 4.1.5, eine Luftwechselrate von 0,264 h⁻¹.

5.2 Bestimmung des Energieverbrauches

5.2.1 Energieverbrauch nach EnEV und DIN 4108-6

In dem folgenden Diagramm sind die Ergebnisse nach EnEV in Verbindung mit der DIN 4108-6 die mittels „Wärme und Dampf“ ermittelt wurden zu einer Monatsbilanz zusammen gefasst.

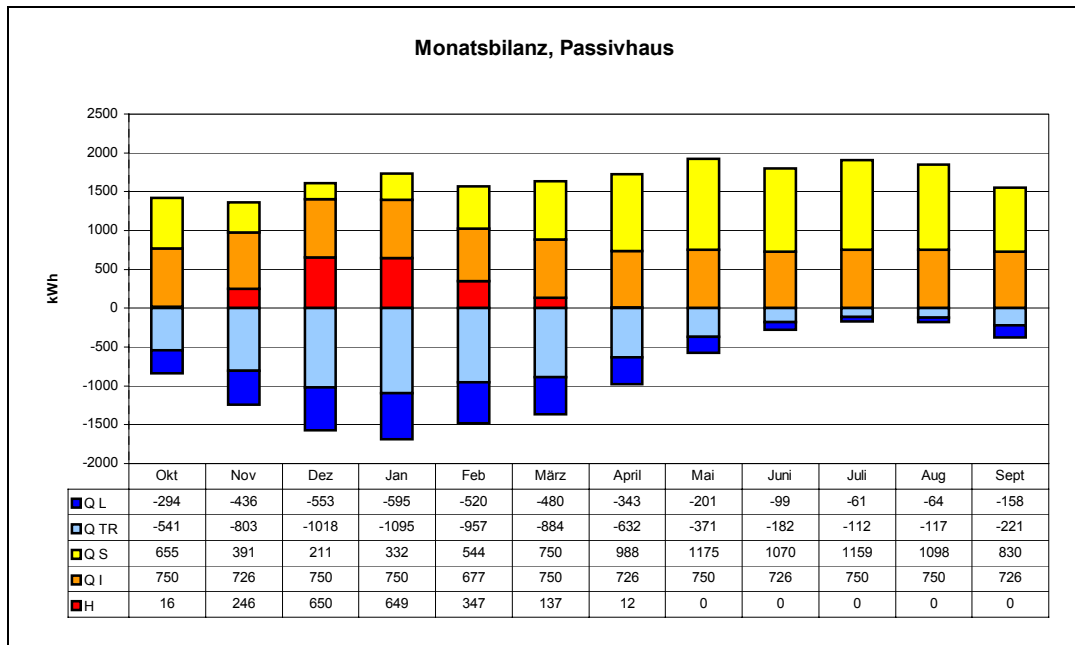


Diagramm 5 -1 Monatsbilanz nach Wärme und Dampf

Jährlich zusammengefasst ergibt das:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L) 3804 kWh/a

Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR}) 7005 kWh/a

Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S) 9204 kWh/a

Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_I) 8830 kWh/a

Heizwärmebedarf (H) 2057 kWh/a

Bei einer Nutzfläche von 201.6 m² ergibt sich ein jährlicher Heizwärmebedarf von 10,20 kWh/m²

Dieser Wert erscheint als ausgesprochen gut, und nach der Berechnung ist es sehr wohl ein Passivhaus, sogar ein sehr gutes, aber es muss ganz klar gesagt werden, dass hier keinerlei Verschattungen angenommen wurden und dass der gewählte Klimaort nicht wie in den Berechnungen nach EnEV dem Referenzklima vom Standort Deutschland entspricht. Auf welchen Gründen das basiert ist unter 6.2 genauer erläutert.

5.2.2 Energieverbrauch berechnet mittels einer dynamischen Gebäudesimulation

Wie schon bei der Simulation des 3-Liter Hauses, wurden auch bei dieser Simulation, die einzelnen Wandaufbauten der jeweiligen Fassade zu einem Bauteil zusammen gefasst und dementsprechend der Wärmedurchgangskoeffizient über die jeweilige prozentuale Anteiligkeit jedes einzelnen ermittelt und zugleich in diesem Wert, wie auch bei allen anderen Bauteilen der wärmetauschenden Hülle, die Effekte aus den Wärmebrücken berücksichtigt. Allerdings ist hier keine Heizungsanlage gewählt worden, sondern der Wirkungsgrad zur Wärmeerzeugung direkt mit 95% eingegeben worden. Des weiteren wird die Wärme über freie Flächen verteilt.

Auf der Berechnung basiert folgende Monatsbilanz:

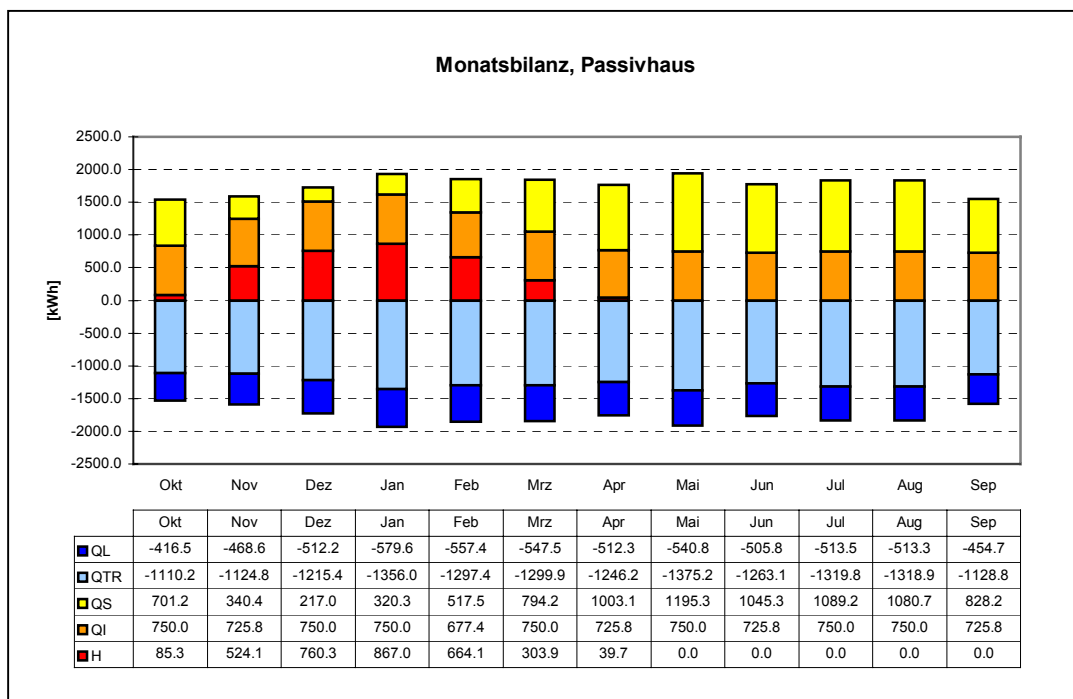


Diagramm 5 -2 Monatsbilanz nach HELIOS

Zusammengefasst bedeutet das für das energetische Verhalten eines Jahres:

Wärmeverlust infolge Luftwechsel (Q_L)	6122 kWh/a
Wärmeverluste infolge Transmission (Q_{TR})	15056 kWh/a
Wärmegewinne infolge Strahlung (Q_S)	9133 kWh/a
Wärmegewinne infolge internen Lasten (Q_i)	8830 kWh/a
Heizwärmebedarf (H)	3244 kWh/a

Bezogen auf die Nutzfläche des Gebäudes erhält man einen Heizenergiebedarf von 16,1 kWh/m²a.

5.3 Vergleich der Ergebnisse aus den Berechnungen 3.2.1 und 3.2.2

Aus den beiden Berechnungen resultiert folgende Gegenüberstellung.

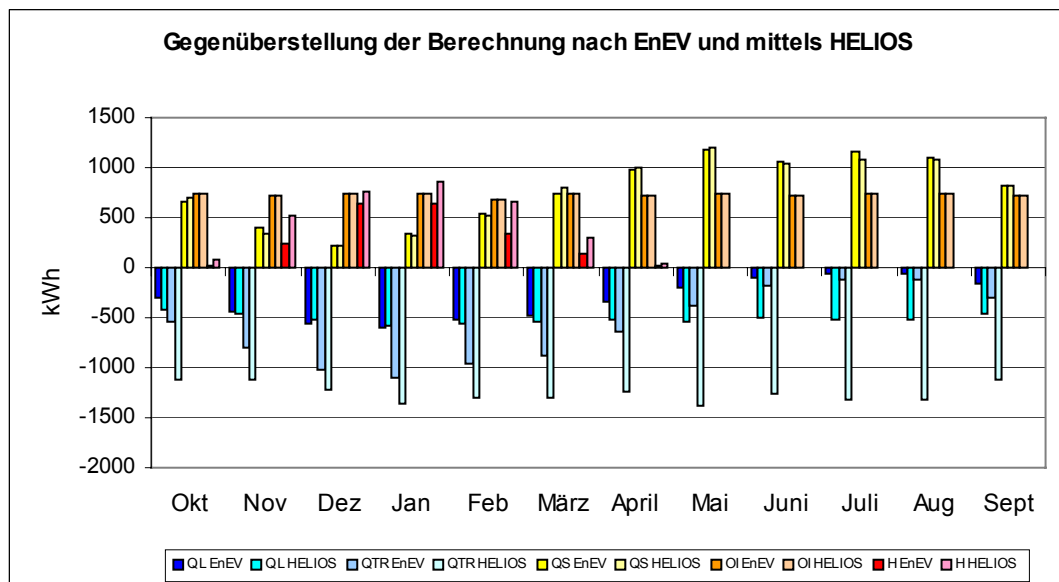


Diagramm 5 -3 Vergleich der Berechnungen nach 5.2.1 und 5.2.2

Anhand dieser Werte ist wiederum sehr deutlich zu sehen, dass auch hier die Berechnungen der Wärmeverluste infolge Transmission und Luftwechsel und die Gewinne infolge Strahlung mit der Berechnung mittels HELIOS höher sind, gegenüber denen, die nach EnEV berechnet

wurden. Der Verlauf der genannten Gewinne und Verluste gleicht denen aus den vorher berechneten Gebäuden, wie in den folgenden Diagrammen zu sehen ist.

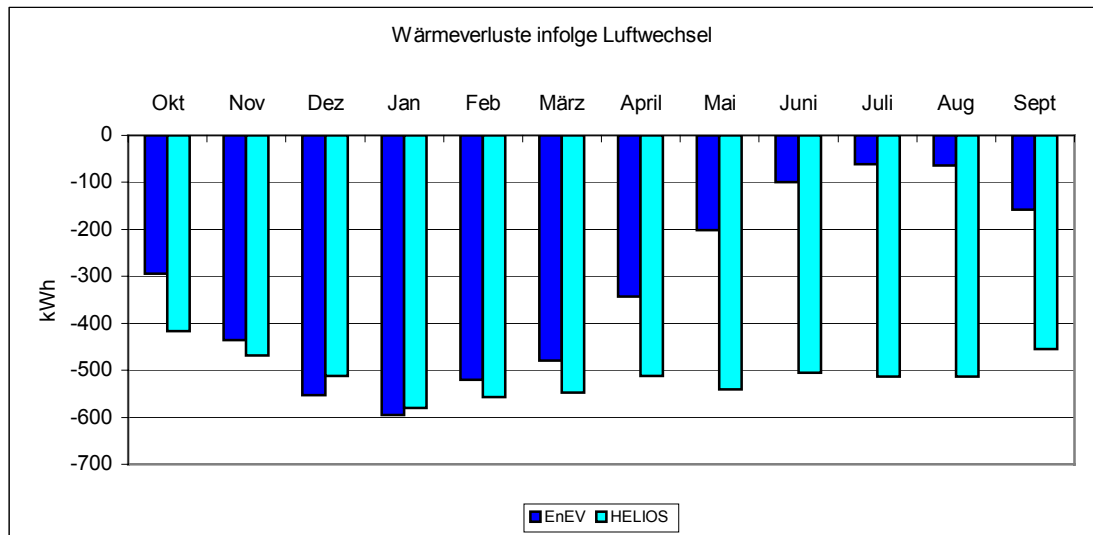
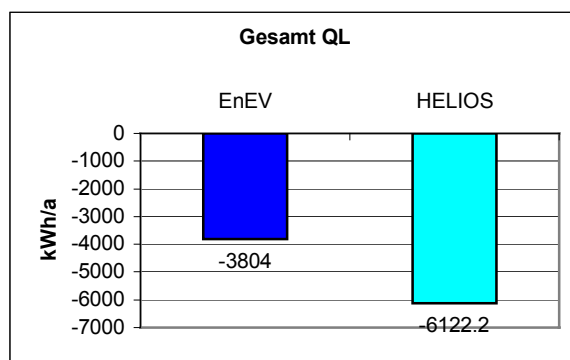


Diagramm 5 -4 Vergleich der Luftwechselverluste



Die Energieverluste über den Luftwechsel unterscheiden sich bezogen auf ein Jahr um 2318 kWh/a

Diagramm 5 -5 Vergleich der jährlichen Luftwechselverluste

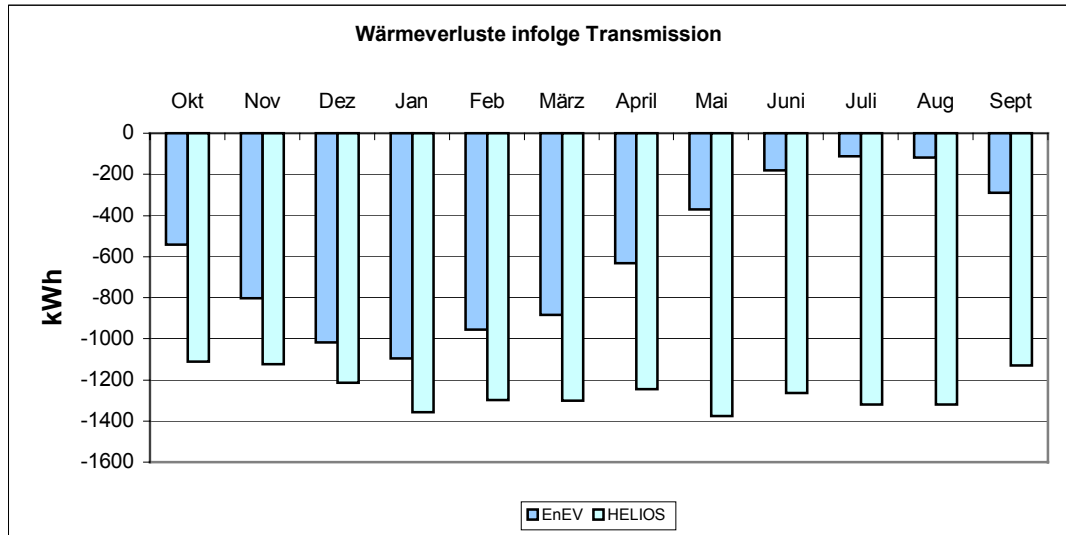
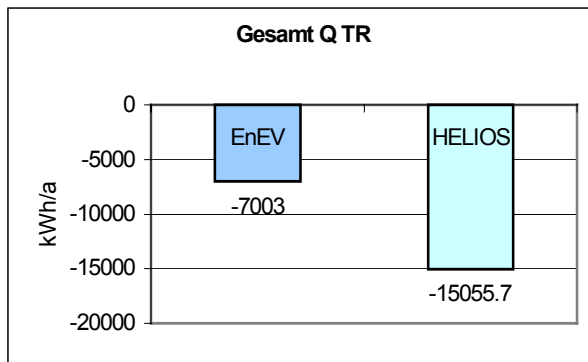


Diagramm 5 -6 Vergleich der Transmissionsverluste



Bei den Transmissionswärmeverlusten zeigt sich ähnliches, hier sind die Energieverluste über das Bauteil nach HELIOS pro Jahr mehr als doppelt so groß.

Diagramm 5 -7 Vergleich der jährlichen Transmissionsverluste

Zuletzt der Heizwärmebedarf: Auch der ist nach der Berechnung mittels HELIOS größer, allein in den Monaten Mai bis September decken sich die Ergebnisse der Berechnungen, dass dort keine Heizenergie aufgebracht werden muss.

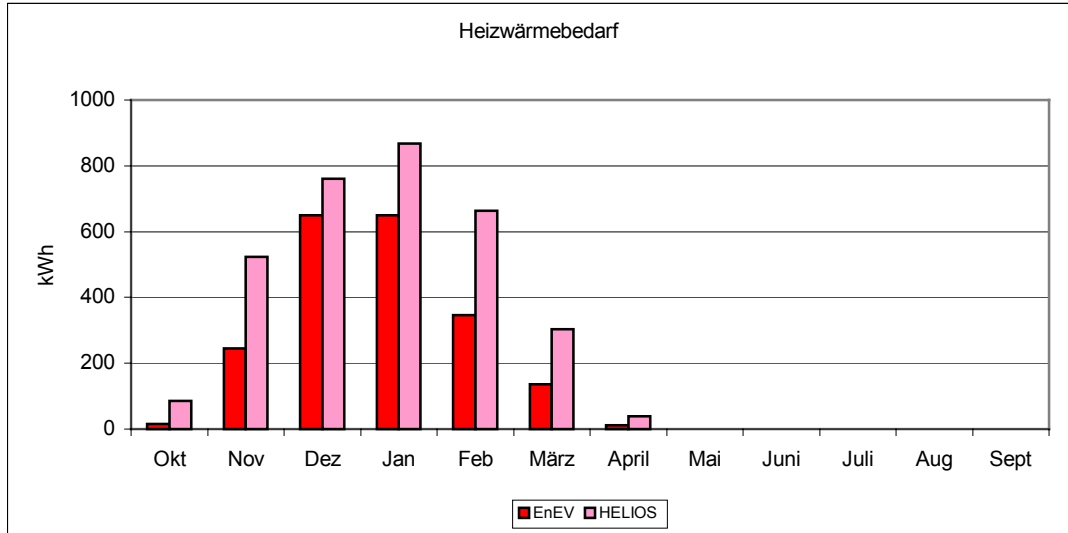
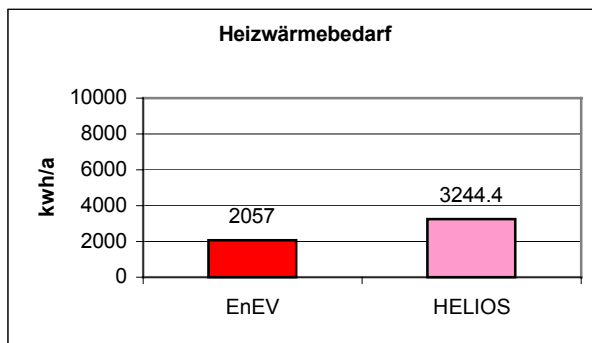


Diagramm 5 -8 Vergleich des Heizwärmebedarfs



Die errechneten Werte bezogen auf die Nutzfläche und pro Jahr ergeben nach HELIOS einen Energiemehraufwand von 5,9 kWh/m²a.

Diagramm 5 -9 Vergleich des jährlichen Heizwärmebedarfs

Abschließend dazu sollen anhand des jährlichen Vergleiches der Gewinne und Verluste noch einmal die Unterschiede in kompakter Form gezeigt werden.

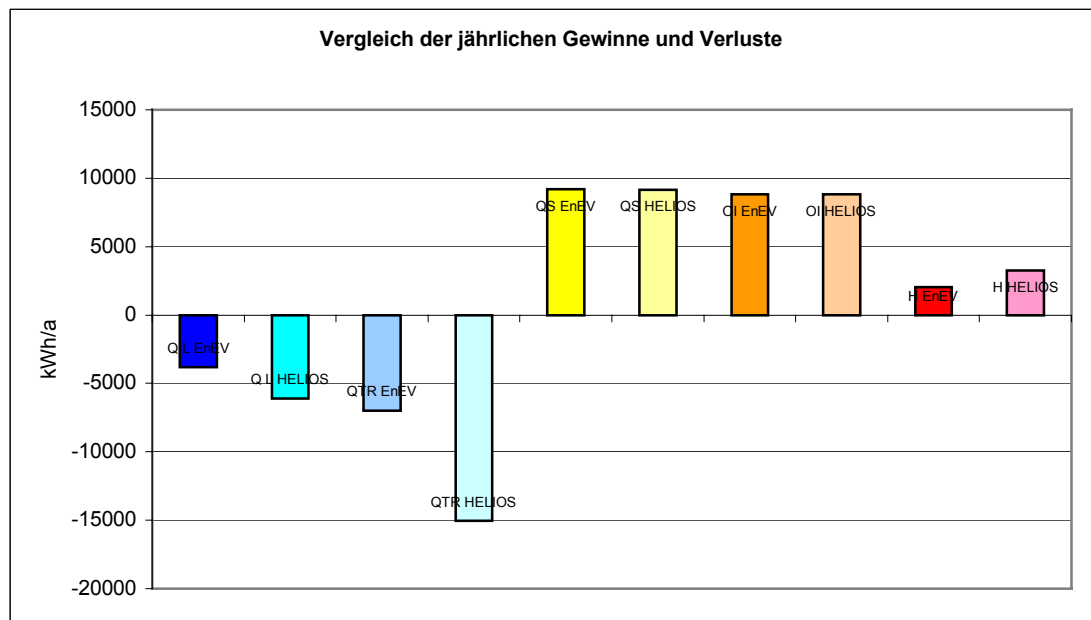


Diagramm 5 -10 Vergleich aller Gewinne und Verluste

Da sich bei allen Gebäude ein ziemlich gleiches Abbild bei dem Vergleich der Berechnungen zeigt, werden unter dem folgenden Punkt, 5. Bewertung der Berechnungsverfahren, diese Unterschiede genau aufgeschlüsselt.

6 Bewertung der Berechnungsverfahren

6.1 Grundsätzliches

Bevor die voran gegangenen Berechnungen bewertet werden, soll hier noch einmal genau erklärt werden, in welcher Form die Gebäude berechnet wurden.

Die Energiebilanz eines Gebäudes ist das Gesamtbild der einzelnen Verluste und Gewinne, mit der Berücksichtigung der Gewinne, die über die Anlagentechnik allein zur Erwärmung des Gebäudes benötigt werden. Diese ist eigentlich nur ein Teil der Berechnungen nach EnEV. Sie soll im Zusammenspiel mit den zusätzlichen Energieverlusten bei der Energieerzeugung, den vorhandenen Jahres- Primärenergiebedarf des Gebäudes angeben. Demnach ist es falsch zuzusagen „Ich vergleiche die Berechnungen nach EnEV mit der Berechnung einer Gebäudesimulation“, denn verglichen wird nur die Berechnung der Energiebilanz, auf deren Berechnungsverfahren aus der DIN 4108-6 in der EnEV verwiesen wird. Dieses Berechnungsverfahren lehnt sich an die allgemeinen Randbedingungen und pauschalen Eingangswerte an, wie beispielsweise, die wirksame Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes, also wie Speicherfähigkeit der innenliegenden Bauteile. Im Gegensatz dazu, ist es das Ziel einer Berechnung, mittels der Gebäudesimulation, über das vollständig, mit jeder einzelnen Fläche, definierte Gebäude, ein möglichst realitätsnahes Abbild des energetischen Verhaltens zu geben.

Die Gebäude wurden ohne jegliche Verschattungen eingegeben, dass das nicht unbedingt der Realität entspricht, ist außer Frage. Ein Grund dafür ist, dass ich die Gebäude in der Eingabe so schlicht wie möglich halten wollte. Damit ist gemeint, dass wirklich nur das reine Gebäude betrachtet wird, definiert über die wärmetauschende Hülle. So sind Berechnungsverfahren bei dem Vergleich der Ergebnisse auf dem gleichen Stand, so dass keine zusätzlichen möglichen Unterschiede auftreten können. Diese Berechnungen sollen ausschließlich Auskunft über das Verhalten der Gebäude, in Form von Gewinnen und Verlusten geben. Wobei die Seite der Gewinne sehr direkt in der Eingabe definiert wird. Was damit im Genauen gemeint ist, wird im Punkt 6.3.3- Bewertung der Wärmegewinne, erläutert.

Zur Folge hat das, dass der berechnete Heizwärmebedarf bei allen Gebäuden etwas niedriger ist, da ohne Verschattungen die Strahlungsgewinne etwas höher werden. Da das Ziel aber darin liegt, zu zeigen, ob die Berechnungen nach EnEV und DIN 4108-6, dem realitätsnahen Verhalten des Gebäudes, das mittels der Gebäudesimulation nachempfunden werden soll, entsprechen, liegt der Schwerpunkt nicht darin, den genauen Heizwärmebedarf zu ermitteln.

In den Berechnungen nach EnEV mittels Wärme und Dampf, wird mit dem pauschalen Ansatz der DIN 4108-6 eine bestimmte spezifische Speicherfähigkeit des Gebäudes über die Gebäudeart angenommen, und somit innenliegende Bauteile berücksichtigt. Daraus resultiert ein Ausnutzungsgrad η , der die Ausnutzung der solaren Gewinne bestimmt. Dieser gibt an, wie viel % der Sonneneinstrahlung gebraucht werden, um das Gebäude immer auf dem gewünschten Temperaturniveau zu halten. Aber in dem Vergleich der Ergebnisse der Berechnungsverfahren ist dieser bewusst nicht berücksichtigt, da in der Gebäudesimulation auch nur die tatsächlichen Gewinne berechnet werden.

6.2 Bewertung der Wärmeverluste

In dem folgenden Diagramm ist der jährliche Verlauf der Wärmeverluste, die über den Luftwechsel verloren gehen, von Oktober bis September zu sehen

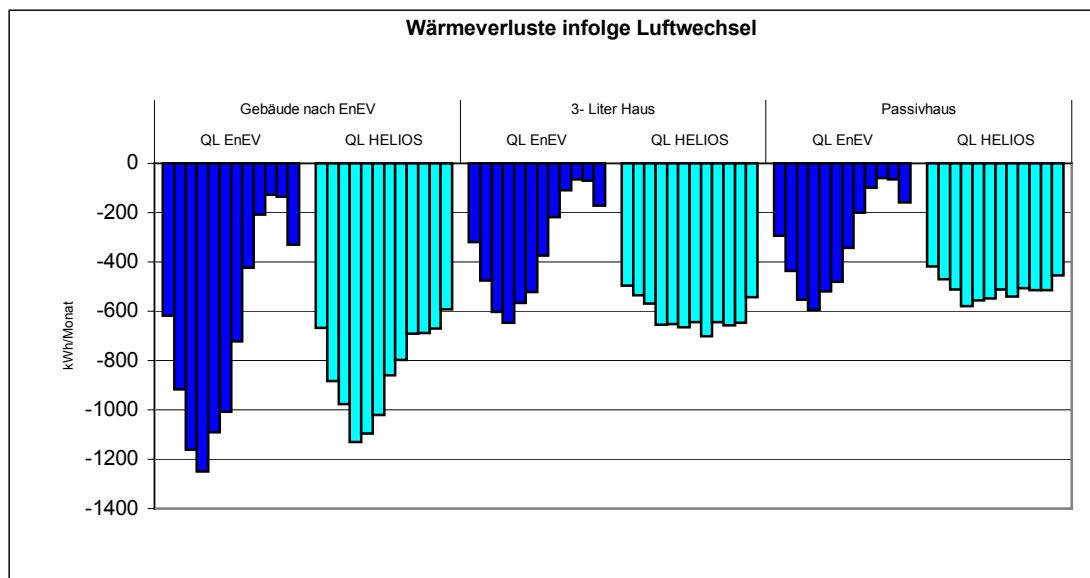


Diagramm 6 -1 Luftwechselperluste

Anhand der Werte ist zu sehen, dass sich in allen 3 Gebäuden der Verlauf, unter Berücksichtigung der Luftwechselrate und des Luftvolumens, gleich. Bei der Berechnung mittels der Simulation zeigt sich hingegen bei allen ein ungleiches Bild im Vergleich untereinander. Lüftungswärmeverluste eines Gebäudes sind abhängig, u.a. von der Gebäudeform und den Lüftungsgewohnheiten.

Die Lüftungsgewohnheiten sind aber bei beiden Berechnungsverfahren jeweils mit dem gleichen Wert in die Berechnung eingegangen, und auch die Gebäudeformen, beschrieben über das A/V- Verhältnis, sind gleich. Ein anderer Grund könnte eine unterschiedliche Temperaturdifferenz sein, das heißt, dass sich die Klimadaten der Berechnungsverfahren nicht decken, wie die folgende Tabelle zeigt:

°C	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept
EnEV	9.8	4.9	1.7	0.4	1.0	4.0	7.9	12.7	15.8	17.1	17.0	13.9
HELIOS	9.9	4.5	3.1	1.2	0.8	4.6	8.4	13.5	15.4	17.5	17.4	13.6

Das würde einen Erklärungsansatz liefern, warum sich der Verlauf beider Berechnungsverfahren unterscheidet, aber nicht warum sich die Gebäude untereinander unterscheiden. Nach HELIOS ist sehr gut das Zusammenspiel zwischen Luftvolumen und Luftwechselrate zu sehen. Das 3- Liter Haus und das Passivhaus sind auch bei HELIOS mit der gleichen Luftwechselrate in die Berechnung eingegangen, somit ist der Verlauf auch gleich bezogen auf das entsprechende Luftvolumen. Dagegen das Gebäude nach EnEV mit einer höheren Luftwechselrate, aber einem geringeren Luftvolumen, ein ganz anderen Verlauf zeigt.

In dem Vergleich der Transmissionswärmeverluste zeigt sich auch bei Berechnung nach EnEV, zu der Berechnung mittels HELIOS, ein anderes Abbild der jährlichen Verluste.

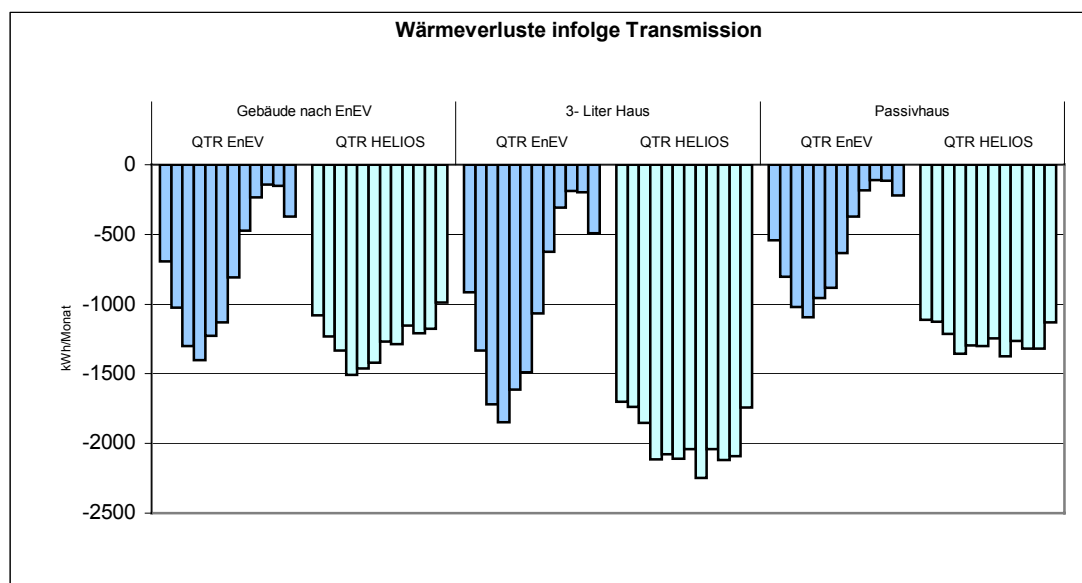


Diagramm 6 -2 Transmissionsverluste

Bei der Berechnung von Transmissionswärmeverlusten mittels Wärmedurchgangskoeffizienten geht die DIN 4108 vereinfacht davon aus, dass die Wärmeströme senkrecht zur Bauteiloberfläche verlaufen und Querleitungen nicht stattfinden. Bei der Ausgabe der Berechnung nach HELIOS ist es nicht zu erkennen wie Transmissionsverluste berechnet werden, da aber hier viel größere Verluste über das Bauteil auftreten, könnte angenommen werden, dass hier solche Querleitungen auch in die Berechnung mit einfließen. Auch hier lässt sich aus der Grafik schließen, dass z.B. das Gebäude nach EnEV zwar eine kleinere wärmeübertragende Gebäudehülle im Vergleich zu den anderen Gebäuden hat, aber dementsprechend auch höhere Wärmedurchgangskoeffizienten besitzt.

6.3 Bewertung der Wärmegewinne

Im folgenden wird nur auf die Wärmegewinne infolge Sonneneinstrahlung eingegangen. Wie aus den voran gegangenen Berechnungen zu sehen ist, gehen nach beiden Verfahren die internen Lasten mit dem gleichen pauschalen Faktor in die Rechnung ein, und mittels der Diagramme 3-3, 4-3 und 5-3 ist zu sehen, dass sich diese decken.

Der Verlauf der Ergebnisse aus den beiden Berechnungsverfahren ähnelt sich, dennoch sind die Gewinne der Sonneneinstrahlung nach HELIOS bei allen Gebäuden höher. Demnach wird wirklich mehr Energie aus Sonneneinstrahlung zur Verfügung gestellt.

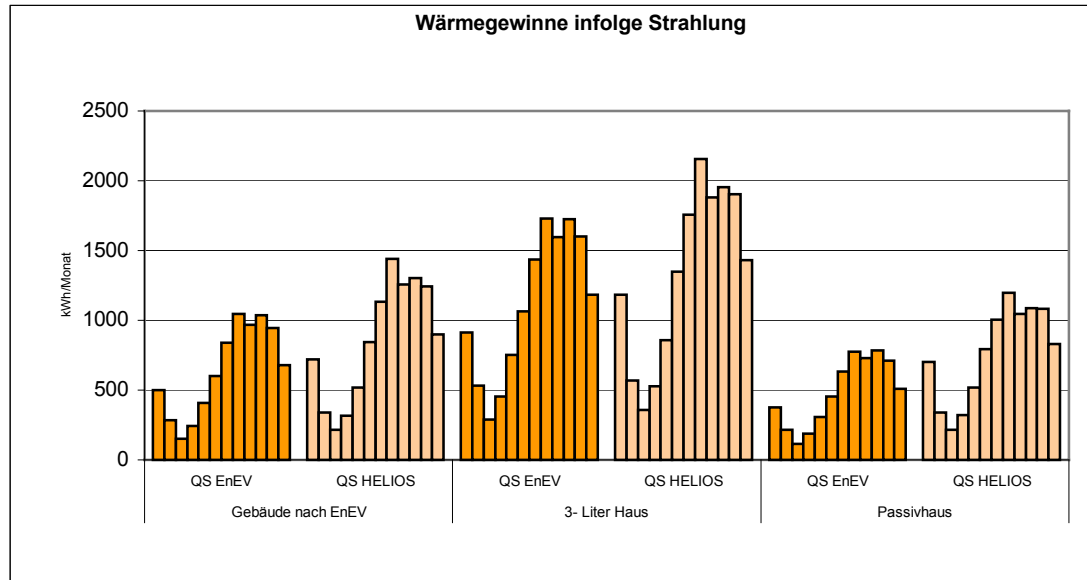


Diagramm 6 -3 Strahlungsgewinne

6.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist in dem nachstehenden Diagramm die Energiebilanz nach beiden Berechnungsverfahren des jeweiligen Gebäudes zusehen.

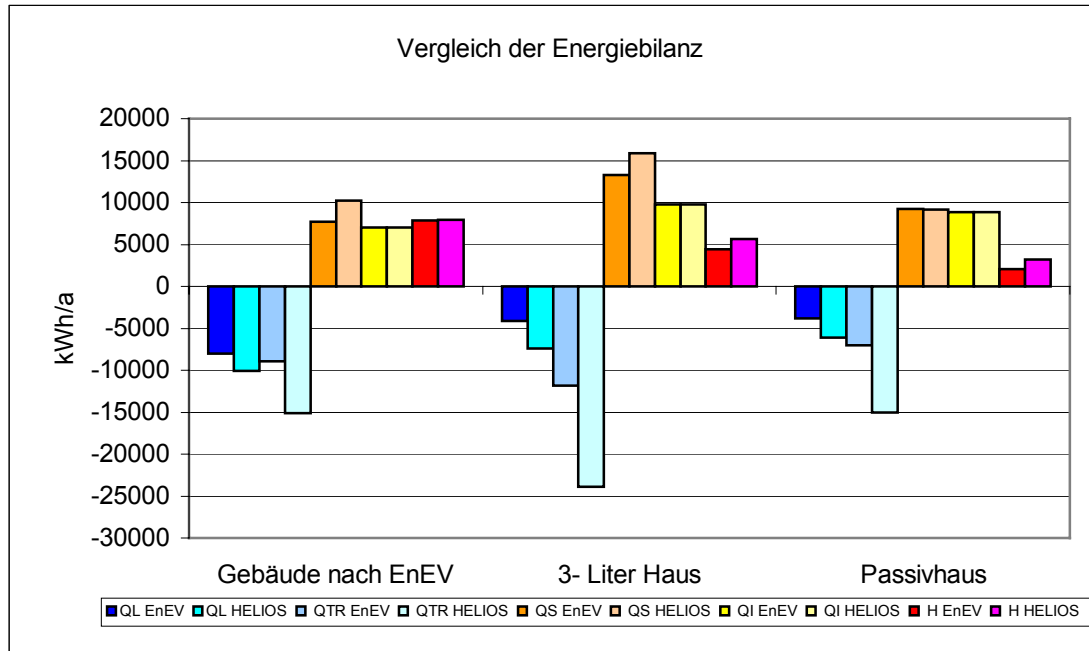


Diagramm 6 -4 Vergleich der Energiebilanzen der Berechnungen nach 3.2, 4.2 und 5.2

Wie zu sehen ist, entspricht die Energiebilanz, die bei der Berechnung nach EnEV in Verbindung mit der DIN 4108-6 erstellt wird, nicht der einer Gebäudesimulation.

Eigentlich richten sich die Berechnungen nach EnEV an den Gebäudenutzer, aber auch an den Planer. Dem Bauherren will man im Vorfeld Informationen über den zu erwartenden Energieverbrauch seines zukünftigen Gebäudes geben. Dabei wird meines Erachtens jedoch übersehen, dass für den Bauherren die einzelnen Wärmegewinne und -verluste relativ uninteressant sind. Ihn interessiert in erster Linie die Energie, die am Ende aufgebracht und von ihm bezahlt werden muss.

Für die Planer zählt in erster Linie, ob maximal zulässige Grenzwerte eingehalten werden. Erst bei energiesparenden Gebäuden, wie z.B. Passivhäuser, die nicht nur in Bezug des Primärenergiebedarfs die Grenzwerte einhalten müssen, sondern auch der Heizwärmebedarf ein Grenzwert ist, beginnt der Zeitpunkt, wo man sich genauer mit der Energiebilanz auseinandersetzt. Das sollte auch der Punkt sein, an dem eine Gebäudesimulation beginnen sollte. Denn dann ist es sehr sinnvoll, die energetischen Vorgänge eines Gebäudes zu simulieren. Mittels dieser kann direkt an den Stellen angeknüpft werden, die einer Überarbeitung bedürfen.

Zu dem Programm HELIOS sei gesagt, dass das kein besonders kompliziertes Programm ist. Es ist eine relativ schnelle und einfache Eingabe des Gebäudes möglich. Dennoch ist es

an einigen Stellen sehr umständlich und eingeschränkt. Wie bereits unter 4.3 erwähnt, können Wärmebrückeneffekte nur direkt über das Bauteil selber, den Schichtaufbau berücksichtigt werden, was zu ungenauen Ergebnissen führt. Hinzu kommt die eingeschränkte Eingabe von 15 opaken Bauteilen und 10 Verglasungen, wobei durch das Zusammenfassen die gleiche Problematik entsteht. Es muss ein mittlerer U- Wert gebildet werden, der wieder über einen Schichtaufbau definiert werden muss.

Zuletzt die Ausgabe: In dieser sind nur wenige Rechenvorgänge zu erkennen, so dass wenige Randbedingungen zu ersehen sind.

7 Bewertung und Optimierung von Passivhäusern in Holztafelbauart

7.1 Bewertung des Passivhauses

Das bereits unter 5.2 berechnete Gebäude wird nochmals mit Berücksichtigung aller Randbedingungen, z. B. Verschattungen und für den Standort Deutschland berechnet.

Aus der Berechnung, die dem Anhang beigelegt ist, errechnet sich ein jährlicher Heizwärmebedarf von 16,14 kWh/m². Daraus resultiert, dass das Gebäude so nicht den Passivhausstandard entspricht.

In der folgenden Energiebilanz ist zu sehen, wie sich der Heizwärmebedarf zusammensetzt. Dabei sind alle Gewinne mit den vollständigen Betrag zu sehen, der Ausnutzungsgrad ist nicht berücksichtigt.

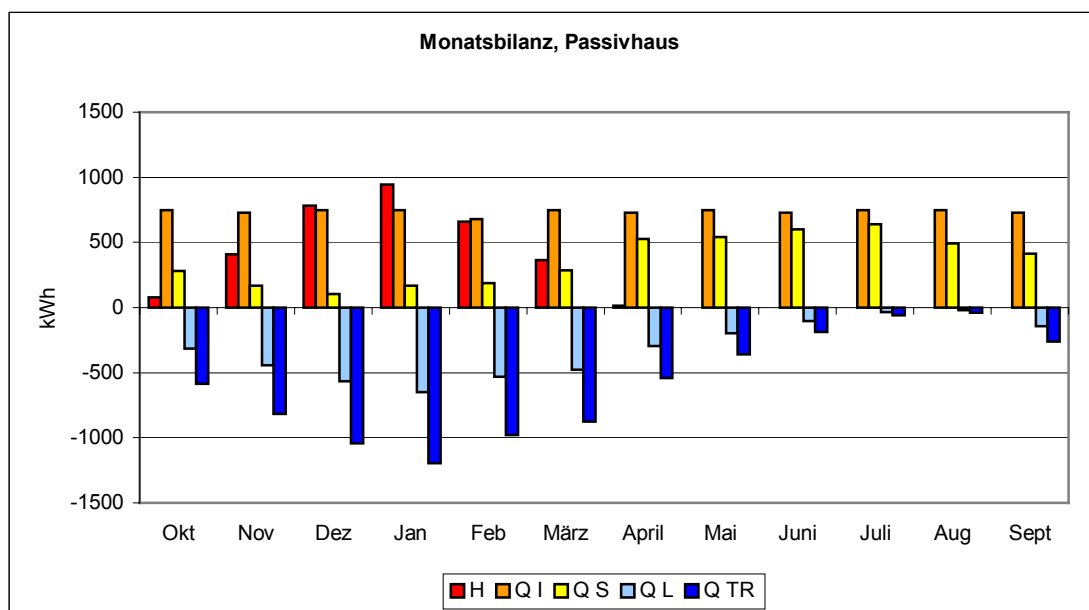


Diagramm 7 -1 Monatsbilanz, Passivhaus

Hier ist deutlich zusehen, dass noch viel sehr Energie über die Bauteile der Gebäudehülle entweicht.

Aus diesem Grund wird das Gebäude bezüglich seines Wärmeschutzes untersucht.

Als erster Anhaltswert bei Passivhäusern für Dach, Wand und Boden wird ein U- Wert von < 0,15 W/(m²K) herangezogen, der wie bereits unter 1.3.1.1 erwähnt, einer Dämmstoffdicke

von > 25 cm entspricht. Bei freistehenden Einfamilienhäusern sollte sogar ein U- Wert von < 0,1 W/(m²K) angezielt werden, daraus würde eine Dämmstoffdicke von 40 cm resultieren.

Zu prüfen ist , ob alle Bauteile in diesem Bereich liegen.

Verwendeten Bauteile mit dem dazugehörigen U- Wert:

Außenwand (AW 312)	0,134 W/(m ² K)
Außenwand (AW 412)	0,101 W/(m ² K)
Außenwand (AW 332)	0,138 W/(m ² K)
Sockel	0,653 W/(m ² K)
Dach	0,141 W/(m ² K)
Bodenplatte	0,149 W/(m ² K)

Anhand dieser Werte ist zu sehen, dass sich alle - der Sockel sei mal außen vor gelassen- zwar in dem Rahmen der Anhaltswerte befinden, aber jedoch nicht den optimalen entsprechen. Da es sich hier um ein feistehendes Einfamilienhaus handelt, sollte geprüft werden, ob es nicht Möglichkeiten gibt, um die U- Werte der Außenwände, des Sockelbereichs und der Bodenplatte zu verbessern.

Im folgenden ist zu untersuchen, durch welche Maßnahmen die Außenwände, der Sockel und die Bodenplatte verbessert werden können.

7.2 Optimierung der Gebäudehülle

7.2.1 Außenwandkonstruktion

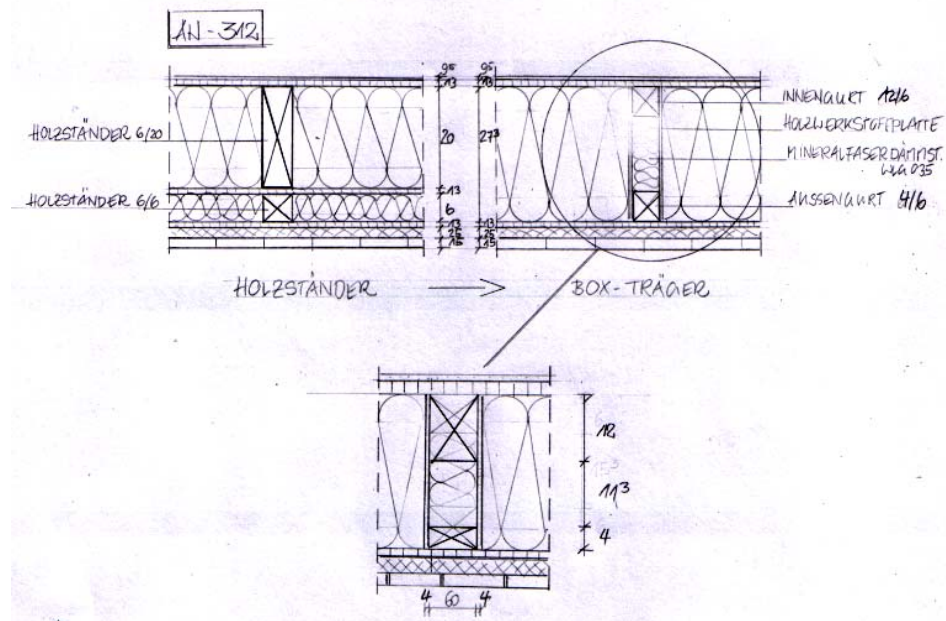
Ziel ist gesetzt, die Außenwandkonstruktion soweit zu verbessern dass sich die U-Werte dem Anhaltswert von 0,1 W/(m²K) annähern. Dabei soll das eigentliche Gebäude erhalten bleiben und wirklich nur das Bauteil selber optimiert werden. Im Holzbau Handbuch Das Passivhaus- Energie- Effizientes Bauen vom Informationsdienst Holz⁸, sowie in dem Buch Grundlagen und Bau eines Passivhauses⁹ bin ich auf Regelaufbauarten von Holzrahmenkonstruktionen gestoßen. Hier werden die Holzständer einer Wand, die die Dämmstoffschicht unterbrechen, durch sogenannte „Boxträger“ ersetzt. Diese bestehen aus Innengurt und Außengurt die mit einer Holzwerkstoffplatte beblankt sind. Der Zwischenraum ist mit Mineralfaserdämmstoff gedämmt. Der innere Gurt (12 x 6 cm) übernimmt die statisch tragende Funktion, dieser wird mit dem inneren Gurt, mittels einer beidseitigen Beplankung

⁸ Das Passivhaus- Energie- Effizientes Bauen, Holzbau Handbuch (Informationsdienst HOLZ)

⁹ Grundlagen und Bau eines Passivhauses, Dieter Pregizer

aus einer 4 mm starken Holzwerkstoffplatte, verbunden. Die Beplankung und der äußere Gurt spielen bei dem Lastenabtrag eher eine untergeordnete Rolle, sie tragen nur die Fassadenlasten ab. Mit Hilfe solcher Träger, können mehrere Dämmschichten zu einer zusammengefasst werden, und es führt zu einer rationellen Fertigung, da das gesamte Gefach in einem Arbeitsgang mit Dämmstoff gefüllt werden kann.

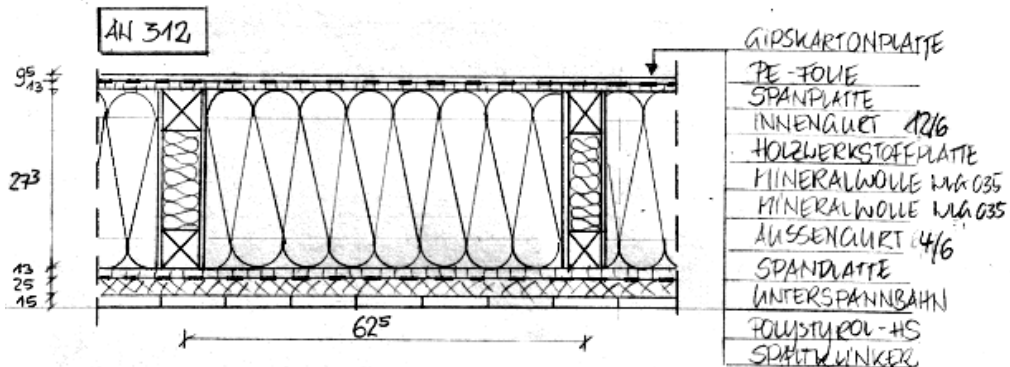
An den 3 Außenwandtypen diese Gebäudes werden die vorhandenen Dämmebenen, die sich in der gesamten Fassade durchziehen, zu einer zusammengefasst, und anstatt der Holzständer ein Boxträger eingesetzt, der außen- und innenliegende Wandaufbau bleibt bestehen. In der folgenden Skizze, ist für den Außenwandtyp AW 312 in einer Gegenüberstellung der Aufbau und die Veränderung zu sehen.



Zeichnung 7 -1 Außenwandkonstruktion im Vergleich

Durch den Einsatz dieser Träger, wird die höhere Wärmeleitfähigkeit der Holzständer im Vergleich zur Dämmstoffschicht gesenkt. Damit wird eine Verbesserung, und somit eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit, um 23% erreicht.

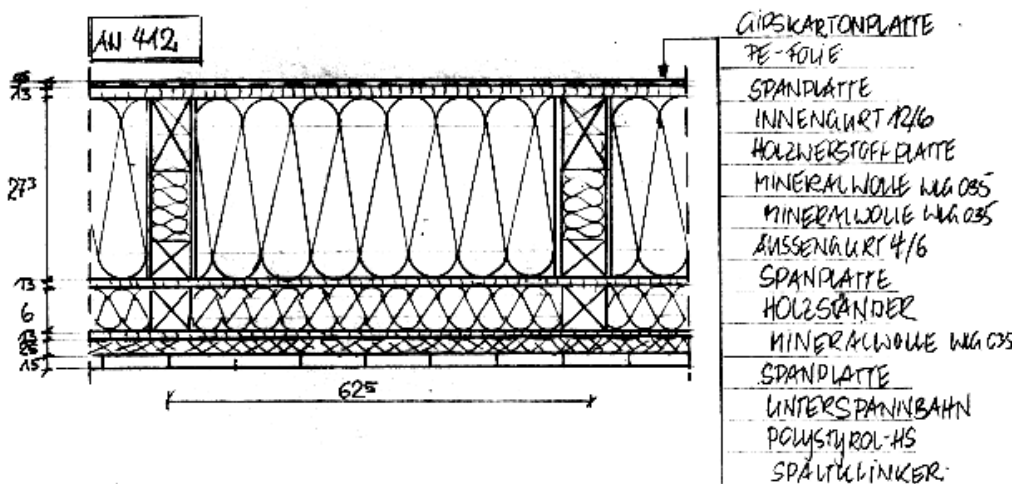
Diese Dämmstoffschicht durchzieht alle Wandbautypen der Fassade. Die verschiedenen Typen werden mit ihrem neuen Aufbau in den folgenden Skizzen dargestellt.



Zeichnung 7 -2 Außenwand mit Spaltklinkerfassade

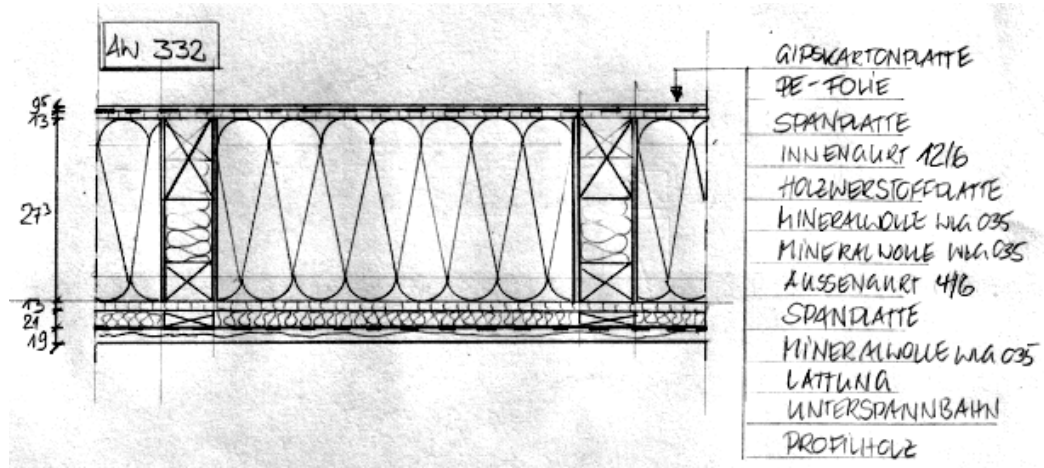
Durch das Zusammenfassen der Dämmebenen verbessert sich der U- Wert auf 0,126 W/m²K.

Bei der folgenden Konstruktion werden die beiden inneren Dämmebenen zusammen gefasst, die äußere bleibt in ihrem Aufbau bestehen



Zeichnung 7 -3 Außenwand mit Spaltklinkerfassade und zusätzlicher Dämmstoffschicht

Hier wird durch den Einsatz von Boxträgern eine Verbesserung des U- Wertes um 8% erreicht. Dieser Aufbau besitzt einen U- Wert von 0,096 W/m²K.



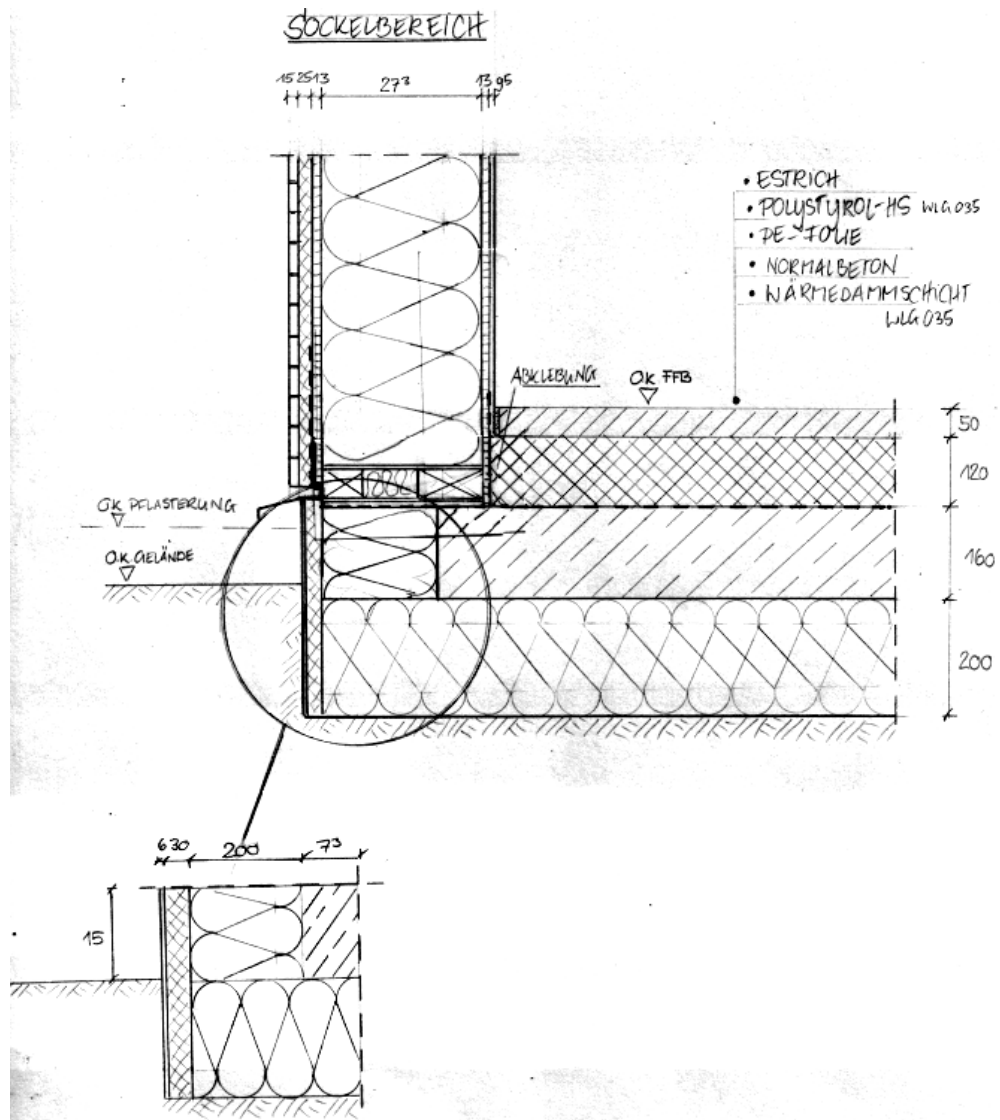
Zeichnung 7 -4 Außenwand mit Profilholzfassade

Ebenso bei der Außenwandkonstruktion im Obergeschoss, dort wird die gesamte Dämmebene zu einer zusammengezogen, das daraus ein U- Wert von $0,128 \text{ W/m}^2\text{K}$ erfolgt.

7.2.2 Sockelbereich und Grundfläche

Ein weiterer Schwachpunkt der Gebäudehülle, über den Energie verloren geht, können die Grundflächen und der entsprechende Sockelbereich sein.

In der folgenden Grafik, ist eine Optimierung dieser Bereiche zu sehen.



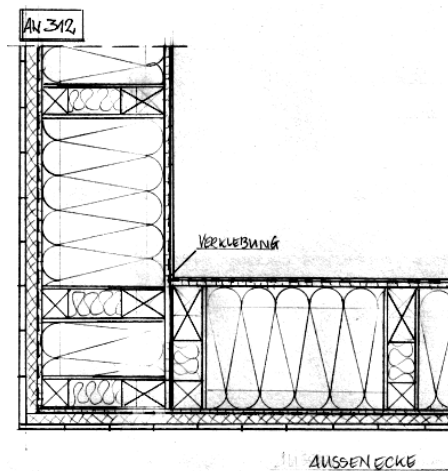
Zeichnung 7 -5 Detail- optimierter Sockelbereich

Der Sockelbereich ist stark verändert, auf eine Frostschräge wird hier völlig verzichtet. Diese wird durch eine 20 cm starke Wärmedämmung aus der WLK 040 ersetzt, die ebenfalls unterhalb der Bodenplatte vorhanden ist. Des Weiteren, ist eine 30 mm breite Polystyrol- Hartschaumschicht angeordnet, die zum Erdreich mit einem Isolierputz abschließt. Dieser Bereich hat einen U- Wert von $0,144 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Die Grundfläche selber ist in ihrem Aufbau bestehen geblieben, dennoch ist die Dämmschicht unterhalb der Bodenplatte auf 20 cm erhöht worden. Darausfolgend errechnet sich ein Wärmedurchgangskoeffizient von $0,115 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Diese Veränderungen an Wand- und Grundfläche haben zur Folge, dass sich auch einige Anschlussdetails ändern. Anhand einer Auswahl der prägnanten Details, in Form von Skizzen, sollen diese Veränderungen gezeigt werden.

Detail Außenecke AW 312



Zeichnung 7 -6 Außenwandecke AW312

Wichtig ist hier die Verklebung der luftdichten Beplankung in der inneren Kante.

Detail Fensterlaibung AW 412

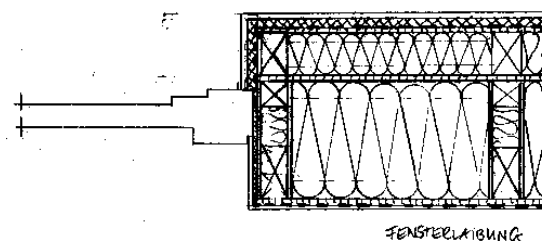
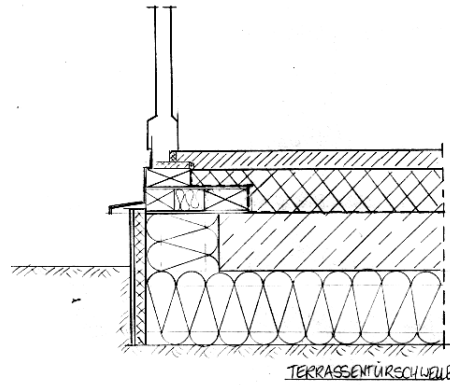


Diagramm 7 -2 Fensterlaibung

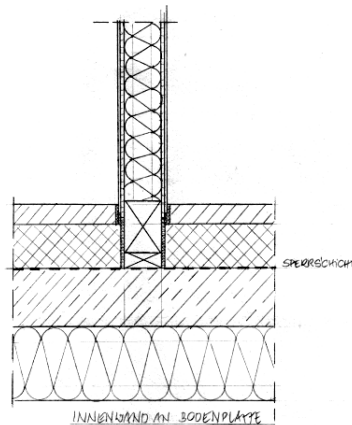
Dieser Aufbau unterscheidet sich nicht außerordentlich von dem Eigentlichen, zeigt aber noch mal den Einsatz der Boxträger im Bauteilaufbau.

Detail Terrassentürschwelle



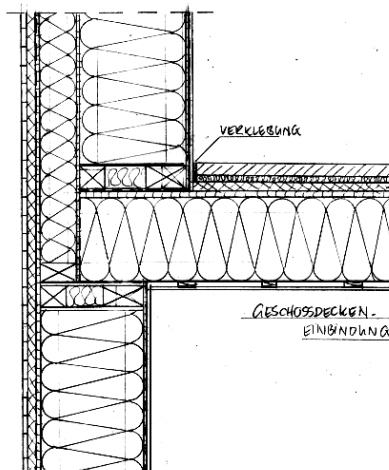
Zeichnung 7 -7 Terrassentürschwelle

Detail Innenwand an Bodenplatte



Zeichnung 7 -8 Innenwand an Bodenplatte

Geschossdeckeneinbindung



Übersicht der Wärmebrücken:

Tabelle 7 -1 Wärmebrückennachweis, optimiertes Passivhaus

Daraus ergibt sich ein spezifischer Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = -0,0098 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

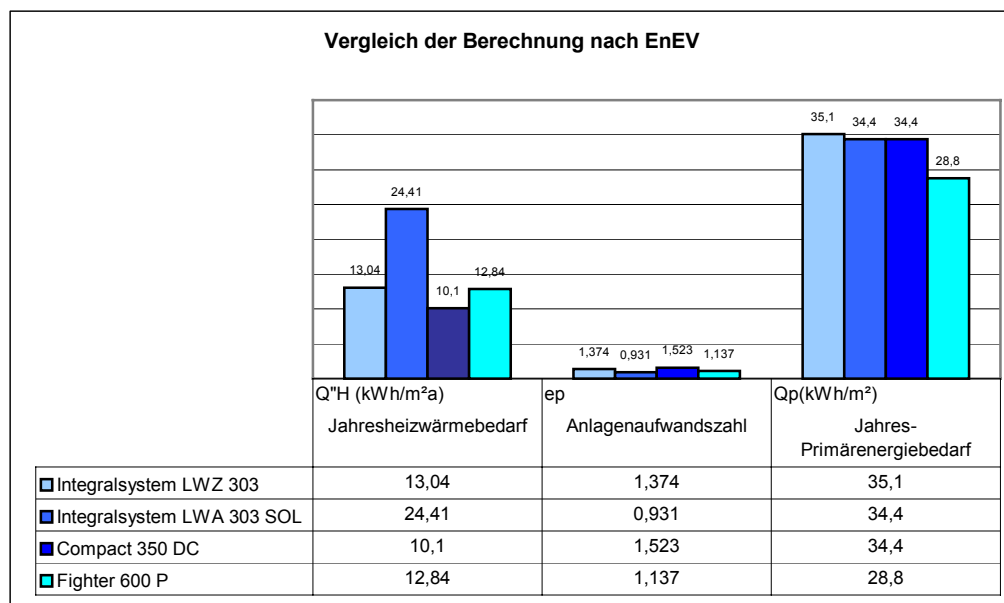
7.3 Bestimmung des Energieverbrauchs der optimierten Gebäudehülle

Bei den folgenden Berechnungen, gemäß EnEV, wird das Gebäude, mit Berücksichtigung der unter 2.2.3 erläuterten Anlagen berechnet.

Das Gebäude mit der entsprechenden Anlagentechnik wird in Bezug auf den Jahresheizwärmebedarf, der Anlagenaufwandzahl und dem Jahres- Primärenergiebedarf untersucht.

Mittels des Jahresheizwärmebedarfes bezogen auf die Nutzfläche, ist im Vorfeld zu beurteilen, ob das Gebäude mit der entsprechen Anlagentechnik, dem Passivhausstandard entspricht. Dann die Anlagenaufwandzahl, diese gibt Auskunft über das Verhältnis von Aufwand zu erwünschtem Nutzen (Bedarf). Zuletzt der Jahres- Primärenergiebedarf, der den gesamten Energieverbrauch des Gebäudes, aus Warmwasser, Stromverbrauch und Heizung angibt, die aber beim Passivhaus eher irrelevant ist.

In einem dann folgenden Vergleich werden diese gegenüber gestellt.



Anhand dieser Gegenüberstellung stellen sich deutliche Unterschiede ein. Ins Auge fällt besonders, dass das Gebäude in Kombination mit dem Integralsystem LWA 303 SOL nicht dem Passivhausstandard entspricht. Durch den Einsatz dieser Anlage stellt sich ein weitaus

höherer Jahresheizwärmebedarf ein, weit höher als der zulässige Grenzwert von 15 kWh/m²a. Demnach ist diese Anlage für ein Passivhaus nicht geeignet. Dagegen der Fighter 600P in Kombination mit Solarkollektoren zeigt sowohl auf der Seite des Jahresheizwärmebedarfs mit 12,84 kWh/m²a, der noch unter dem geforderten Grenzwert liegt, als auch auf der Seite des Jahres-Primärenergiebedarfs im Vergleich zu den anderen Anlagen einen niedrigen Wert auf.

Wie effektiv die Nutzung von Erdwärmetauschern ist, zeigt sich nach der Berechnung unter Einsatz des Compact 350DC, der Firma Paul. Mit dieser Anlage kann ein sehr niedriger Heizwärmebedarf erreicht werden, dennoch sollte man dann auch nicht außer Acht gelassen werden, das dort auch ein finanzieller Mehraufwand der durch die Installation entsteht, nötig ist.

Aus diesem Grund ist es zu empfehlen die das Integralsystem LWZ 303 einzusetzen. Diese Anlage bewegt sich im Vergleich zu den anderen im Mittelfeld, und um diese Werte zu erreichen sind keine zusätzlichen Elemente wie Beispielsweise Sonnenkollektoren oder Erdwärmetauscher nötig.

8 Zusammenfassung

9 Quellenverzeichnis

Literatur:

- (1) Energiesparhäuser in Text und Bild
Prof. Dr. Martin Pfeiffer
 - (3) Neue Energieeinsparverordnung
Band 1 Wohnungsbau
Torsten Schoch
1.Auflage Berlin: Bauwerk 2002
Bauwerk Verlag GmbH, Berlin 2002
 - (6) Gestaltungsgrundlagen – Passivhäuser – 2001
Dr. Wolfgang Feist
Verlag: Das Beispiel GmbH
 - (7) Das Passivhaus- Energie- Effizientes- Bauen
Holzbau Handbuch, Reihe Teil 3 Folge 10
Informationsdienst Holz, Oktober 2002
 - (8) Grundlagen und Bau eines Passivhauses
Dieter Pregizer
C.F. Müller Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, 2002
- Das Passivhaus – Wohnen ohne Heizung
Aktuelle Beispiele aus Deutschland, Österreich und der Schweiz
Anton Graf
Verlag Georg D. W. Callwey GmbH & Co., Streifeldstr.35, 81673 München, 2000
- Konstruktiver Wärmeschutz
Niedrigenergie-Hochbaukonstruktionen
Prof. Dr.-Ing. Erich W. Krüger
Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2000
- Vorlesungsskript zur Bauphysik der Fachhochschule Hildesheim
„Wärmeschutz“, SS 2001, Prof. Dr.-Ing. H.-P. Leimer
- Vorlesungsskript zur Bauphysik der Fachhochschule Hildesheim
„EnEV- Energieeinsparverordnung“, SS 2001, Prof. Dr.-Ing. H.-P. Leimer
- Schneider Bautabellen 14. Auflage
Werner Verlag, 2001

Normen/Richtlinien:

(2) EnEV-	Energieeinsparverordnung, vom 01.Feb.2002
DIN V 4108-6	„Berechnung der Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“, Nov. 2000
Bbl. 2 zu DIN 4108	Wärmebrücken, August 1998
DIN V 4701-10	Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen „Heizungen, Trinkwassererwärmung, Lüftungen“, Februar 2001
DIN EN 6946	Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient „Berechnungsverfahren“, November 1996
DIN EN ISO 10077-1	Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten „Vereinfachtes Verfahren, Fenster, Türen und Anschlüsse“, November 2000
DIN EN ISO 10211-2	Wärmebrücken im Hochbau „Linienförmige Wärmebrücken“, August 2001

PC – Programme:

- Therm 2.1. „Programm zur 2 dimensionalen Wärmebrückenberechnung“
- EnEV Wärme & Dampf, ROWA- Soft GmbH
- Helios- Gebäudesimulationsprogramm econzept Energieplanung GmbH

Internet:

- (5, 7) www.kfw.de
- (4) www.3-liter.com
- www.passivhaus-institut.de

ANHANG 1

Gebäude nach EnEV

ANHANG 2

3-Liter Haus

ANHANG 3

Passivhaus