

Anhang

I Bedienungsanleitung und Beschreibung des „LowEx“-Berechnungswerkzeugs

Die folgende Beschreibung ist als eigenständiges Dokument gedacht, hier im Anhang aus Gründen der vollständigen Dokumentation des Projektes aufgeführt.



Bedienungsanleitung und Beschreibung „LowEx“-Berechnungswerkzeug

Berechnungsblatt Exergiebedarf zur
Wärmeversorgung von Gebäuden
Heizperiodenbilanz-Verfahren

(in Anlehnung an das
ECBCS Annex 37
Berechnungsverfahren)

Inhalt

Symbole, Einheiten und Indizes	133
1. Allgemeines	137
2. Struktur des Berechnungswerkzeugs	138
3. Beschreibung des Werkzeugs	141
4. Berechnungsblatt	143
4.1 Gebäudedaten, Randbedingungen	143
4.2 Wärmeverluste	144
4.2.1 Transmissionswärmeverluste H_T [W/K]	144
4.2.2 Lüftungswärmeverlust H_V [W/K]	146
4.3 Wärmegewinne	147
4.3.1 Solare Wärmegewinne $Q_{S,HP}$ [kWh/a]	147
4.3.2 Interne Wärmegewinne $Q_{i,HP}$ [kWh/a]	147
4.4 sonstige Gewinne	149
4.4.1 Trinkwassererzeugung	149
4.5 Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]	150
4.6 Spezifikation von Eingangsdaten für die Haustechnik	151
4.7 Ergebnis der Energie-/ Exergieberechnung	156
4.7.1 Gebäudehülle	156
4.7.2 Raumluft	156
4.7.3 Übergabe	157
4.7.4 Verteilung	158
4.7.5 Speicherung	158
4.7.6 Erzeugung	159
4.7.7 Primär-Energieumwandlung	160
4.8 Systemüberprüfung	162
4.9 Auswertung	164
Anhang A - Berechnungsblatt	169
Anhang B	176
Anhang C	177

Symbole, Einheiten und Indizes

<u>Symbol</u>	<u>Einheit</u>	<u>Bezeichnung</u>
A	m^2	Gesamtfläche aller Bauteile
A_i	m^2	Fläche der einzelnen Bauteile
A_N	m^2	Gebäudenutzfläche
A_{Wj}	m^2	Fensterfläche
$C_{CO_2,gen,S1}$	g/kWh_{end}	Spezifische CO_2 Emission Quelle 1
$C_{CO_2,gen,S2}$	g/kWh_{end}	Spezifische CO_2 Emission Quelle 2
C_p	$kJ/(kg \cdot K)$	Spezifische Wärmekapazität
d_{HP}	-	Anzahl der Heiztage ($10^\circ C$)
$En_{gen,fos,S1}$	kWh/a	Energie Erzeugung fossil Quelle 1
$En_{gen,fos,S2}$	kWh/a	Energie Erzeugung fossil Quelle 2
$En_{gen,ren,S1}$	kWh/a	Energie Erzeugung regenerativ Quelle 1
$En_{gen,ren,S2}$	kWh/a	Energie Erzeugung regenerativ Quelle 2
$En_{in,Tot}$	kWh/a	Totaler Energieinput
$En_{prim,fos,S1}$	kWh/a	Energie input fossil Quelle 1
$En_{prim,fos,S2}$	kWh/a	Energie input fossil Quelle 2
$En_{prim,ren,S1}$	kWh/a	Energie input regenerativ Quelle 1
$En_{prim,ren,S2}$	kWh/a	Energie input regenerativ Quelle 2
$En_{prim,W}$	kWh/a	Trinkwasser Primär Energie
$En_{W,fos,S1}$	kWh/a	Energiebedarf Trinkwasserzeugung fossil Quelle 1
$En_{W,fos,S2}$	kWh/a	Energiebedarf Trinkwasserzeugung fossil Quelle 2
$En_{W,ren,S1}$	kWh/a	Energiebedarf Trinkwasserzeugung regenerativ
$En_{W,ren,S2}$	kWh/a	Energiebedarf Trinkwasserzeugung regenerativ
ΔEx_{ce}	kWh/a	Jahres-Exergiebedarf Übergabe
Ex_{ce}	kWh/a	Exergie Übergabe
ΔEx_d	kWh/a	Exergiebedarf Verteilung
Ex_d	kWh/a	Exergie Verteilung
$Ex_{gen,fos,S1}$	kWh/a	Exergie Erzeugung fossil Quelle 1
$Ex_{gen,fos,S2}$	kWh/a	Exergie Erzeugung fossil Quelle 2
$Ex_{gen,ren,S1}$	kWh/a	Exergie Erzeugung regenerativ Quelle 1
$Ex_{gen,ren,S2}$	kWh/a	Exergie Erzeugung regenerativ Quelle 2
Ex_h	kWh/a	Jahres-Exergiebedarf Wärmeabgabe
$Ex_{in,Tot}$	kWh/a	Totaler Exergieinput
Ex_{plant}	kWh/a	Exergie der Anlage
$Ex_{prim,fos,S1}$	kWh/a	Exergie input fossil Quelle 1
$Ex_{prim,fos,S2}$	kWh/a	Exergie input fossil Quelle 2
$Ex_{prim,ren,S1}$	kWh/a	Exergie input regenerativ Quelle 1
$Ex_{prim,ren,S2}$	kWh/a	Exergie input regenerativ Quelle 2
$Ex_{prim,plant}$	kWh/a	Exergie primär
$Ex_{prim,W}$	kWh/a	Trinkwasser Primär Exergie
Ex_r	kWh/a	Jahres-Exergiebedarf Raumheizung
ΔEx_s	kWh/a	Exergiebedarf Speicherung

EX_S	kWh/a	Exergie Speicherung
$EX_{W, fos, S1}$	kWh/a	Exergiebedarf TW-Bereitung fossil Quelle 1
$EX_{W, fos, S2}$	kWh/a	Exergiebedarf TW-Bereitung fossil Quelle 2
$EX_{W, ren, S1}$	kWh/a	Exergiebedarf TW-Bereitung regen Quelle 1
$EX_{W, ren, S2}$	kWh/a	Exergiebedarf TW-Bereitung regen Quelle 2
F_c	-	Sonnenschutzvorrichtung
$F_{env, HP, S1}$	-	Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen Quelle 1
$F_{env, HP, S2}$	-	Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen Quelle 2
F_f	-	Fensterrahmenanteil
$f_{P, fos, S1}$	-	Primärenergiefaktor Erzeugung fossil Quelle 1
$f_{P, fos, S2}$	-	Primärenergiefaktor Erzeugung fossil Quelle 2
$f_{P, ren, S1}$	-	Primärenergiefaktor Erzeugung regen Quelle 1
$f_{P, ren, S2}$	-	Primärenergiefaktor Erzeugung regen Quelle 2
$f_{P, fos, W, S1}$	-	Primärenergiefaktor fossil TW-Bereitung Quelle 1
$f_{P, fos, W, S2}$	-	Primärenergiefaktor fossil TW-Bereitung Quelle 2
$f_{P, ren, W, S1}$	-	Primärenergiefaktor regen TW-Bereitung Quelle 1
$f_{P, ren, W, S2}$	-	Primärenergiefaktor regen TW-Bereitung Quelle 2
$f_{q, fos, S1}$	-	Qualitätsfaktor Erzeugung fossil Quelle 1
$f_{q, fos, S2}$	-	Qualitätsfaktor Erzeugung fossil Quelle 2
$f_{q, ren, S1}$	-	Qualitätsfaktor Erzeugung regen. Quelle 1
$f_{q, ren, S2}$	-	Qualitätsfaktor Erzeugung regen. Quelle 2
$f_{q, fos, W, S1}$	-	Qualitätsfaktor TW-Bereitung fossil Quelle 1
$f_{q, fos, W, S2}$	-	Qualitätsfaktor TW-Bereitung fossil Quelle 2
$f_{q, ren, W, S1}$	-	Qualitätsfaktor TW-Bereitung regen Quelle 1
$f_{q, ren, W, S2}$	-	Qualitätsfaktor TW-Bereitung regen Quelle 2
$F_{q, h}$	-	Carnot-Faktor Wärmeabgabe
$F_{q, r}$	-	Carnot-Faktor Rumluft
F_s	-	Verschattung
F_{S1}	-	Anteil Erzeugung Quelle 1
F_{S2}	-	Anteil Erzeugung Quelle 2
F_{Sol}	-	Solaranteil
$F_{W, S1}$	-	Anteil TW-Bereitung Quelle 1
$F_{W, S2}$	-	Anteil TW-Bereitung Quelle 2
F_{xi}	-	Temperatur-Korrekturfaktor
g_{\perp}	-	Gesamtenergiedurchlassgrad
$H_{Is, ce}$	kWh/a	Wärmeverlust Übergabe
$H_{Is, d}$	kWh/a	Wärmeverlust Verteilung
$H_{Is, gen, S1}$	kWh/a	Wärmeverlust Erzeugung Quelle 1
$H_{Is, gen, S2}$	kWh/a	Wärmeverlust Erzeugung Quelle 2
$H_{Is, prim, S1}$	kWh/a	Wärmeverlust primär Quelle 1
$H_{Is, prim, S2}$	kWh/a	Wärmeverlust primär Quelle 2
$H_{Is, S}$	kWh/a	Wärmeverlust Speicherung
H_T	W/K	Transmissionswärmeverlust
H_{WB}	W/K	Wärmebrückenwärmeverlust
H_V	W/K	Lüftungswärmeverlust
$I_{s, j}$	kWh/m ²	Sonneneinstrahlung

n	1/h	Luftwechselrate in Abhängigkeit von der Lüftung
n_A	1/h	Luftwechselrate
$P_{fos,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie/ -exergie fossil
$P_{ren,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie/ -exergie regenerativ
$p_{n,max}$	W/m ²	Max. Wärmeleistung
P_{plant}	kWh/a	Energie der Anlage
$P_{prim,plant}$	kWh/a	Energie primär
Q_{ce}	kWh/a	Energie Übergabe
$q_{ce,HE}$	kWh/m ² a	spez. Hilfsenergie Übergabe (o. als Absolutwert)
$q_{ce,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie Übergabe
Q_d	kWh/a	Energie Verteilung
$q_{d,HE}$	kWh/m ² a	spez. Hilfsenergie Verteilung (o. als Absolutwert)
$q_{d,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie Verteilung
Q_h	kWh/a	Jahres-Heizwärmebedarf
Q''_h	kWh/m ²	spezifischer Heizwärmebedarf
q_i	W/m ²	mittlere interne Wärmeleistung
$Q_{i,HP}$	kWh/a	Interne Wärmegewinne
$Q_{gen,S1}$	kWh/a	Wärmebedarf Erzeugung Quelle 1
$Q_{gen,S2}$	kWh/a	Wärmebedarf Erzeugung Quelle 2
$q_{gen,HE,S1}$	kWh/m ² a	spez. Hilfsenergie Erzeugung (o. als Absolutwert)
$q_{gen,HE,S2}$	kWh/m ² a	spez. Hilfsenergie Erzeugung (o. als Absolutwert)
$q_{gen,HE,S1}$	kWh/a	Hilfsenergie Erzeugung Quelle 1
$q_{gen,HE,S2}$	kWh/a	Hilfsenergie Erzeugung Quelle 2
Q_s	kWh/a	Energie Speicherung
$q_{s,HE}$	kWh/m ² a	spez. Hilfsenergie Speicher (o. als Absolutwert)
$q_{s,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie Speicherung
$Q_{s,HP}$	kWh/a	Solare Wärmegewinne
q_{sonst}	kWh/m ²	Sonstige Gewinne
Q_{sonst}	kWh/a	Sonstige Gewinne
q_w	W	Energiebedarf Warmwasserbereitung
$q_{w,HE}$	kWh/a	Hilfsenergie Trinkwasser
t_A	h	Anzahl der Bürostunden
T_d	K	Design Temperatur
ΔT_d	K	Verlusttemperatur der Verteilung
T_e	K	Außentemperatur
T_h	K	Heiztemperatur
T_i	K	Innentemperatur
T_{in}	K	Vorlauftemperatur
T_{ref}	K	Referenztemperatur
T_{ret}	K	Rücklauftemperatur
ΔT_s	K	Verlusttemperatur der Speicherung
U_1 bzw.	W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient
V	m ³	Beheiztes Gebäudevolumen in Abhängigkeit von der Gebäudeart
V_1	m ³	Beheiztes Gebäudevolumen bis zu 3 Vollgeschossen
V_2	m ³	Beheiztes Gebäudevolumen in den übrigen Fällen

V_e	m^3	Beheiztes Gebäudevolumen
V_w	$l/pers \cdot d$	Brauchwasserbedarf
η_{ce}	-	Nutzungsgrad Übergabe
η_D	-	Wärmeverlust/ Nutzungsgrad Verteilung
$\eta_{gen,S1}$	-	Nutzungsgrad Erzeugung, Quelle 1
$\eta_{gen,S2}$	-	Nutzungsgrad Erzeugung, Quelle 2
$\eta_{G,W,S1}$	-	Nutzungsgrad Trinkwasserbereitung Quelle 1
$\eta_{G,W,S2}$	-	Nutzungsgrad Trinkwasserbereitung Quelle 2
η_{HP}	-	Jahresnutzungsgrad Heizsystem (der internen Gewinne)
η_s	-	Nutzungsgrad Speicherung
η_v	-	Wärmerückgewinnungsgrad
$\theta_e = \theta_{ref}$	$^{\circ}C$	Lufttemperatur mittlere, HP (Heizperiode) = Referenztemperatur
θ_h	$^{\circ}C$	Heiztemperatur
θ_i	$^{\circ}C$	Lufttemperatur innen
θ_{in}	$^{\circ}C$	Vorlauftemperatur
θ_{ret}	$^{\circ}C$	Rücklauftemperatur
$\theta_{S1,max}$	$^{\circ}C$	Max. Versorgungstemperatur Quelle 1
$\theta_{S2,max}$	$^{\circ}C$	Max. Versorgungstemperatur Quelle 2
ρ	kg/m^3	Rohdichte

1. Allgemeines

Exergie ist der theoretisch vollständig in jede beliebige Energieform umwandelbare Teil der Energie bzw. sie bezeichnet den Anteil der Gesamtenergie eines Systems, der Arbeit verrichten kann. Die unter dem Oberbegriff Exergie zusammengefassten Energieformen lassen sich bei reversiblen Prozessen vollständig ineinander umwandeln und durch reversible und irreversible Prozesse auch in die nur beschränkt umwandelbaren Energieformen wie z.B. innere Energie und Wärme transformieren. Durch eine exergetische Betrachtung einer Anlage oder eines Prozesses können Hinweise auf mögliche Verbesserungspotenziale einzelner Anlagenkomponenten gewonnen werden.

Mit Hilfe des vorliegenden Berechnungstools sollen Rückschlüsse auf Optimierungen bspw. der Anlagentechnik oder der Gebäudehülle gezogen werden können.

Die Grundlage des „LowEx“-Berechnungswerkzeugs bildet die Energieeinsparverordnung (EnEV-2006), die sich zum Ziel gesetzt hat den „rechnerischen Energieverbrauch von Gebäuden (unter normativen Randbedingungen) zur Sicherstellung eines wirtschaftlichen vertretbaren Energiesparziels des Staates“¹ zu begrenzen. Dabei konzentriert sich der Geltungsbereich vorrangig auf Gebäude mit normalen bzw. niedrigen Innentemperaturen. Zu den Gebäuden mit normalen Innentemperaturen zählen Gebäude, die ständiger Nutzung unterliegen und stets behagliche Temperaturen aufweisen wie z.B. Wohngebäude, Kindertagesstätten und Bürogebäude. Die Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen werden jedoch nur durch ein konkretes Beheizungsniveau definiert.⁹

Um das Verständnis für Exergieflüsse zu erhöhen und weitere Verbesserungen in der Energieanwendung von Gebäuden zu ermöglichen, wurde im Rahmen der abgeschlossenen Arbeit für den ECBCS Anhang 37 ein Analyse-Tool entwickelt. Ziel war es, ein einfaches und „transparentes“ Tool als Ganzes zu entwickeln, das für Anwender aus der Praxis, wie Architekten und Bauingenieure, leicht verständlich und nachvollziehbar ist. Weitere Prämissen waren, dass die Exergieanalyse näherungsweise klar gebildet werden soll und die erforderlichen Eingabedaten begrenzt werden müssen.

Auf der Basis dieses Tools wurde nun das vorliegende Microsoft-Excel Berechnungsblatt für das Verbundvorhaben LowEx erstellt. Auf zwei Seiten werden alle relevanten Daten eingegeben bzw. Anlagentechnik ausgewählt und auf zwei weiteren Seiten werden die Ergebnisse in Tabellen bzw. Diagrammen zusammengefasst. Alle Schritte der Energiekette - von der Primärenergiequelle, über das Gebäude, zur Umgebung (d.h. das umgebende Klima) - werden in der Analyse berücksichtigt. Alle Elemente, Hochbauteile der Gebäudehülle und der Technischen Gebäudeausrüstung besitzen Eingabemöglichkeiten, die mit fortlaufender Gliederung immer mehr verfeinert werden.

⁹ Energieeinsparverordnung EnEV - für die Praxis kommentiert; Hegner, Vogler

2. Struktur des Berechnungswerkzeugs

Die Ermittlung der Exergiekennwerte erfolgt ausgehend von dem nach EnEV ermittelten Jahresheizwärmebedarf (Q_H). Dabei wird in Teilen das Heizperiodenverfahren angewendet. Die Berechnung von (Q_H) erfolgt näherungsweise, um für ein möglichst breites Spektrum von Gebäuden den Energiebedarf zu ermitteln.

Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen sowie die Strahlungswerte werden nach Auswahl der Klimaregion angepasst. Das Berechnungswerkzeug ist in folgende Blöcke und Untersysteme untergliedert (in Richtung des Energieflusses):

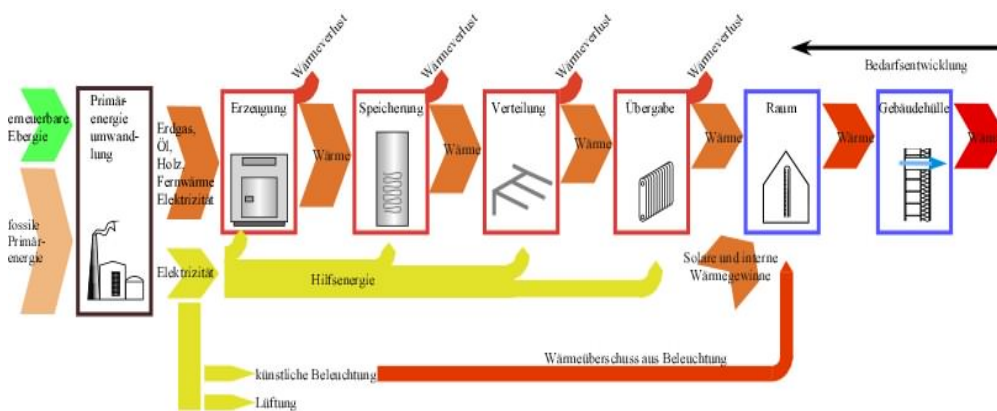
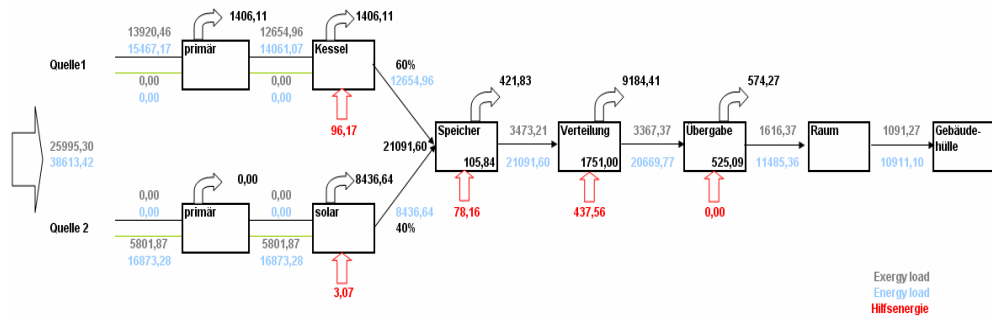


Bild 2.1: Energieflüsse durch ein Gebäude, wie sie im vorliegenden „LowEx“ Berechnungswerkzeug abgebildet werden. Die Energieflüsse werden von der Quelle bis zur ultimativen Senke, in Anlehnung an die DIN 4701-10, betrachtet.

In dem Berechnungswerkzeug ist es möglich zwei unterschiedliche Erzeuger auszuwählen:

Auswertung Berechnungsbla EFH J

Erzeugung



TWW

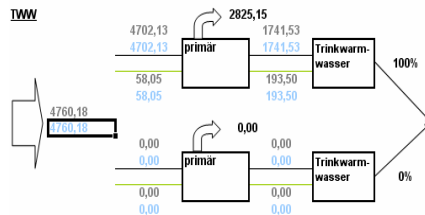


Bild 2.2: Modifizierungen des obigen Modells wurde vorgenommen durch Aufgliederung des Erzeugung- und Primäranteils jeweils in einen fossilen und regenerativen Anteil.

Dabei wurden der Erzeugungs- und Primäranteil jeweils in einen fossilen und einen regenerativen Anteil aufgegliedert. Dies ist notwendig, wenn z.B. Brennwärtekessel zusätzlich zu einem bestimmten Prozentsatz mit Solarkollektoren betrieben werden, um die Heizung bzw. Warmwasserbereitung regenerativ zu unterstützen. Dadurch wird eine genaue Bestimmung des rein-regenerativen Anteils möglich, welcher in der EnEV-Berechnung nicht mitbilanziert wird. Ein weiterer Vorteil dieser Strukturierung besteht darin, dass die Trinkwasserbereitung gesondert untersucht und somit die Anschaulichkeit des gesamten Systems erhöht wird.

1. Primärenergieumwandlung:

Die von der Natur gelieferten erschöpflichen und unerschöpflichen Energien werden als Primärenergie bezeichnet. Diese Energieträger müssen gefördert und in eine für das Gebäude nutzbare Form umgewandelt werden. Auch der Transport der Energieträger erfordert zusätzliche Energie. Alle diese Prozesse werden im ersten Block berücksichtigt. Es ist möglich, den Klimaaspekt der Energienutzung (wie CO₂-Emissionen) in dieser Analyse mit in Betracht zu ziehen, da Quellen der regenerativen Energien separat von den fossilen behandelt werden. Dieses ist für die Elektrizitätserzeugung und -verteilung besonders wichtig, da hierbei hohe Verluste entstehen.

2. Erzeugung:

Die Energie tritt als Endenergie in die Gebäudehülle ein. Für die Beheizung der Räume muss der Energieträger (z.B. Öl, Erdgas oder die Elektrizität) in Wärme umgewandelt werden. Dieses wird gewöhnlich durch einen Verbrennungsprozess in einem Heizessel durchgeführt. Für diesen Prozess benötigt der Wärmeerzeuger normalerweise zusätzliche Energie (Elektrizität)

z.B. für den Betrieb von Pumpen und Ventilatoren. Weiterhin treten Wärmeverluste auf.

Im Fall einer Fernwärmeheizung jedoch findet der Wärmeumwandlungsprozess außerhalb des Hauses statt. Wird die Fernwärme mittels fossilen Brennstoffen in einem Heizwerk produziert, so erfolgt die Berechnung analog zu einem Standardkessel. Wird sie jedoch durch Abwärme aus Industrieprozessen, Kraft-Wärme-Kopplung oder Grubenwasser gewonnen, so wird nur die ankommende Wärme bilanziert und nicht die Wärmeumwandlung.

3. Speicherung:

Häufig schließt die Anlagenplanung eine Wärmespeicherung ein. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn eine Wärmepumpe oder Solarkollektoren zum Einsatz kommen. Die im Speicher auftretenden Verluste und wenn erforderlich ein Bedarf an zusätzlicher Energie für den Transport müssen berücksichtigt werden.

4. Verteilung:

Die Wärme, die durch den Wärmeerzeuger bereitgestellt und möglicherweise im Speicher gespeichert wird, muss zum Übergabesystem über ein Verteilungssystem transportiert werden. Für die Systeme werden Rohre in Wände und in Decken hin zum Übergabesystem gelegt. In Anlehnung an die Dämmstandards der Rohre, treten Wärmeverluste auf und zusätzliche Energie kann für den Wärmetransport und Regelung erforderlich werden.

5. Übergabe:

Typische Übergabesysteme sind Heizkörper oder Fußbodenheizungen, die Wärme nach der Verteilung an das Übergabesystem an den Raum übergeben, um ihn zu erwärmen. Abhängig vom Systemdesign können Wärmeverluste auftreten und zusätzliche Energien benötigt werden.

6. Raumluft:

Wärme geht an der Oberfläche des Übergabesystems in den Raum über. An diesem Punkt treten keine Wärmeverluste auf, da sich die Temperaturstufe ändert, wird die Wärme im Raum verteilt und der Exergiegehalt ändert sich.

7. Gebäudehülle:

Alle Wärmeströme verlassen das Gebäude über deren Hülle als Transmissions- und Lüftungswärmeverluste. In diesem Untersystem wird der gesamte Wärmestrom auf einer höheren Temperaturstufe als bei der abschließenden Senke, der äußeren natürlichen Umgebung untersucht.

3. Beschreibung des Werkzeugs

Das Berechnungswerkzeug ist in folgende 10 Tabellenblätter aufgeteilt:

Berechnungsblatt:	Eingabeblatt für Gebäude- und Anlagenkennwerte, Energie- und Exergieanalyse Auswertung der Berechnung in Diagrammen
Allgemeine Werte:	Zusammenstellung aller errechneten Werte aus Berechnungsblatt Bilanzierung der Energie und Exergie
Werte Erzeugung:	die Berechnung der Wärmeverluste Erzeugung erforderliche Anlagenwerte [Primärenergiebedarf, Qualitätsfaktoren, Auslegungstemperaturen, Hilfsenergie, Anlagenaufwandszahl]
Werte Speicherung:	für die Berechnung der Speicherverluste erforderliche Anlagenwerte [Nutzungsgrad, Hilfsenergie, Solaranteil]
Werte Verteilung:	die Berechnung der Verteilungsverluste erforderliche Anlagenwerte [Wirkungsgrad, Temperaturspreizung, Auslegungstemperatur]
Werte Übergabe:	für die Berechnung der Übergabe erforderliche Anlagenwerte [Vor- und Rücklauftemperatur, Hilfsenergie, max. Heiztemperatur]
Werte WW:	die Berechnung des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung erforderliche Anlagenwerte [Vorlauftemperatur, Versorgungstemperatur, Durchfluss, Wirkungsgrad, Primärenergiefaktor, Qualitätsfaktor]
Heiztage:	Aufgliederung Deutschlands in 15 Klimaregionen [Jahresdurchschnittstemperaturen, Gradtagszahl, Globalstrahlung]
Auswertung:	Zuordnung der Rechenergebnisse vom Erzeuger bis zur Gebäudehülle
Gebäudetypologie:	Hinterlegung der IWU- Gebäudetypologie

Im Berechnungsblatt ist zunächst der Objektname einzutragen oder es kann aus einer Anzahl an Beispielobjekten der IWU-Gebäudetypologie gewählt werden.

Objekt:	<i>EFH Sichte</i>
---------	-------------------

Das Berechnungsblatt ist in sechs unterschiedliche Abschnitte für die Eingabe und die Berechnung von Werten untergliedert.

- Abschnitt 1: *Gebäudedaten, Randbedingungen:*
hier werden Objektdaten und Randbedingungen für die Analyse abgefragt (Volumen, Flächen und U-Werte).
- Abschnitt 2: *Wärmeverluste:*
Ermittlung der Wärmeverluste infolge von Transmission durch die Gebäudehülle und Lüftung
- Abschnitte 3 u. 4: *Wärmegewinne und sonstige Gewinne:*
Ermittlung der solaren und Internen Wärmegewinne, welche anschließend von den Wärmeverlusten subtrahiert werden.
- Abschnitt 5: *Jahres-Heizwärmebedarf:*
Aufstellung der Wärmebilanz entsprechend dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik, wobei die Gewinne und Verluste miteinander verrechnet werden.
- Abschnitt 6: *Wärmeproduktion und –abgabe:*
Wahl der Anlagentechnik, detaillierte Eingaben für Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe sowie für die Energiequellen (regenerativ, fossil)
- Abschnitt 7: *Ergebnis der Exergieberechnung:*
ausführliche Exergieanalyse

4. Berechnungsblatt

Das Berechnungsblatt stellt sowohl das Eingabeformular als auch die Auswertung für den Anwender dar. Die notwendigen Eingaben müssen in den „gelben Zellen“ gemacht werden.

4.1 Gebäudedaten, Randbedingungen

Im ersten Abschnitt hat der Anwender die Möglichkeit Gebäudedaten und Randbedingungen einzugeben, wie:

- das zu beheizende Gebäudevolumen V_e in $[m^3]$
- und die Innenraumtemperatur

Die übrigen Daten werden aus den Eingabedaten automatisch berechnet bzw. ergeben sich durch Auswahl des Standorts des Gebäudes

- die Nutzfläche A_N in $[m^2]$
- die Anzahl der Heitztage d_{HP} unter $10^\circ C$, welche sich in Abhängigkeit von der Region ergeben
- Außentemperaturen im Jahresdurchschnitt in $[^\circ C]$

Bei der quasi-stationären Berechnung repräsentiert die Außentemperatur die Bezugstemperatur (Referenztemperatur) für die Analyse in Abhängigkeit der gewählten Klimaregion.

1. Gebäudedaten, Randbedingungen			
2	Volumen (aussen) $[m^3]$	$V_e =$ 651,8	$V_1 =$ 495,4 $V_2 =$
3	Nettofläche $[m^2]$	$A_N =$ 208,6	
4	Anzahl der Heitztage ($10^\circ C$)	$d_{HP} =$ 211	Region 5 Braunschweig ▾
5	Lufttemperatur innen $[^\circ C]$	$\theta_i =$ 19	
6	Lufttemperatur mittl., HP $[^\circ C]$	$\theta_e =$ 5,2	= θ_{ref} Referenztemperatur

Die Volumene V_1 oder V_2 sind dabei abhängig von der Anzahl der Vollgeschosse.

V_1 = bis zu 3 Vollgeschosse und

V_2 = alle anderen Gebäudearten.

Ausgewählt werden können diese beiden Gebäudetypen über:

GEBÄUDEGRÖÖE bitte auswählen

EFH und MFH bis 3 Vollgeschosse

Gebäude >3 Vollgeschosse (übrige)

4.2 Wärmeverluste

Für die Berechnung des Wärmebedarfes eines Gebäudes, muss zunächst der Wärmeverlust errechnet werden. Der Wärmeverlust durch die Gebäudehülle wird dabei in zwei Arten untergliedert, in Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverluste.

7	2. Wärmeverluste
---	-------------------------

4.2.1 Transmissionswärmeverluste H_T [W/K]

Die Berechnung der Wärmeverluste infolge der Transmission durch Wände, Fenster, Türen, Fußböden und Decken erfolgt anhand der Energieeinsparverordnung (EnEV). Alle Hüllflächen werden durch die äußeren Maße der Gebäudeteile ermittelt. Der Gesamtwärmeverlust ist die Summe über die Verluste aller Flächen. Die Eintragungen durch den Anwender erfolgt in den gelb markierten Zellen.

- Fläche A_i in [m²]
- Wärmedurchgangskoeffizient U_i bzw. ΔU_{WB} in [W/m²K]
- Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi} (siehe Anhang B)

Die Verwendung von Temperatur-Korrekturfaktoren ersetzt umfangreiche Einzelberechnungen des Wärmeüberganges vom beheizten zum unbeheizten Raum bzw. nach außen. Diese Methode ist für die Baupraxis hinreichend genau. Mit Hilfe der eingegebenen Werte können dann die Transmissionswärmeverluste aller Gebäudeteile berechnet werden.

8	2.1 Transmissionsverluste \dot{H}_T [W/K]						
9	Gebäudeteile	Symbole	Fläche A_i [m ²]	Wärmedurchgangskoeffizient U_i bzw. ΔU_{WB} [W/m ² K]	$U_i \cdot A_i$ [W/K]	Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi} [-]	$U_i \cdot A_i \cdot F_{xi}$ [W/K]
10	Außenwand	AW 1	51,41	0,23	11,82	1	11,82
11		AW 2	32,38	0,23	7,45	1	7,45
12		AW 3	37,80	0,23	8,69	1	8,69
13		AW 4	29,77	0,23	6,85	1	6,85
14	Fenster (Rohbaumaße)	W 1 (Nord)	4,08	1,5	6,12	1	6,12
15		W 2 (Süd)	10,9	1,5	16,35	1	16,35
16		W 3 (Ost)	8,83	1,7	15,01	1	15,01
17		W 4 (West)	12,35	1,80	22,23	1	22,23
18	Tür	T 1	1,90	3,00	5,70	1	5,70
19	Dach	D 1	71,27	0,21	14,97	1	14,97
20		D 2	70,35	0,21	14,77	1	14,77
21		D 3					
22	oberste Geschossdecke	D 4					
23		D 5					
24	Wand zum Dachgeschoss (Abseitenwand)	AbW 1					
25		AbW 2					
26	Wand- und Deckenflächen zu unbeheizten Räumen	uHW 1					
27		uHW 2					
28	Flächen der Kellerräume zum Erdreich	G 1	110	0,5	55,00	0,8	44,00
29		G 2					
30		G 3					
31		G 4					
32		G 5					
33	Gesamtfläche	$\Sigma A_i = A =$	441,04				
34	Wärmebrücken	$H_{WB} =$	$A \cdot \Delta U_{WB}$	0,05			22,05
35	Transmissionswärmeverlust [W/K]	$\dot{H}_T = \Sigma (U_i \cdot A_i \cdot F_{xi})$				$\dot{H}_T =$	196,02

Die Bestimmung der Wärmebrückenverluste erfolgt gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 und kann entweder vorausgewählt oder von Hand eingegeben werden:

– WÄRMEBRÜCKEN bitte auswählen –

pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2

pauschal - mit Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2

detailliert - gem. DIN EN ISO 10211-2

- pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2
wenn keine Maßnahmen gemäß DIN 4108 Bbl. 2 zur Reduzierung der Wärmebrückenwirkung durchgeführt werden, $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- pauschal – mit Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2
Anwendung von Konstruktionen zur Vermeidung von Wärmebrücken aus DIN 4108 Bbl. 2, $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- detailliert – gem. DIN EN ISO 10211-2
genauer Nachweis der Wärmebrücken mit DIN V 4108-6 und den anerkannten Regeln der Technik. Manuelle Eingabe des Faktors.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, typische U-Werte und Temperatur-Korrekturfaktoren nicht manuell einzutragen, sondern aus einer vordefinierten Liste auszuwählen. Es wurde eine Gebäudetopologie¹⁰ für verschiedene Gebäudearten und Baujahre zusammengestellt, auf die mittels folgender Schaltflächen zugegriffen werden kann:

Einfamilienhaus		Reihenhaus		Mehrfamilienhaus		großes Mehrfamilienhaus				
EFH_A vor 1918	EFH_B vor 1918		RH_B vor 1918	MFH_A vor 1918	MFH_B vor 1918	GMH_B vor 1918	GMH_C 1918 bis 1948	GMH_D 1949 bis 1957	GMH_E 1958 bis 1968	GMH_F 1969 bis 1978
EFH_C 1918 bis 1948	EFH_D 1949 bis 1957	RH_C 1918 bis 1948	RH_D 1949 bis 1957	MFH_C 1918 bis 1948	MFH_D 1949 bis 1957	Hochhaus		industriell gefertigt		
EFH_E 1958 bis 1968	EFH_F 1969 bis 1978	RH_E 1958 bis 1968	RH_F 1969 bis 1978	MFH_E 1958 bis 1968	MFH_F 1969 bis 1978	HH_E 1958 bis 1968	HH_F 1969 bis 1978	NBL_HH_F 1970 bis 1980	NBL_HH_G 1981 bis 1985	
EFH_G 1979 bis 1983	EFH_H 1984 bis 1994	RH_G 1979 bis 1983	RH_H 1984 bis 1994	MFH_G 1979 bis 1983	MFH_H 1984 bis 1994	Industriell gefertigte Mehrfamilienhäuser				
EFH_I 1995 bis 2001	EFH_J 2002 bis heute	RH_I 1995 bis 2001	RH_J 2002 bis heute	MFH_I 1995 bis 2001	MFH_J 2002 bis heute	NBL_MFH_D 1946 bis 1960	NBL_MFH_E 1961 bis 1969	NBL_GMH_F 1970 bis 1980	NBL_GMH_G 1981 bis 1985	NBL_GMH_H 1986 bis 1990
						Sonderbauten				
						ZUB	EFH_Sicke	EFH_EneV	MFH_Han	AO_Vechta

Die voreingestellten Werte können nachträglich bearbeitet bzw. dem zu untersuchenden Gebäude angepasst werden.

¹⁰ Auf Basis der IWU-Gebäudetopologie 2003

4.2.2 Lüftungswärmeverlust H_v [W/K]

Der Lüftungswärmeverlust H_v wird auf direkte und einfache Weise nach DIN EN 832 bzw. DIN V 4108-6 berechnet. Der Anwender trägt die Luftwechselrate n_A ein und wenn ein mechanisches ausgeglichenes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung gewählt wird, ist der Wärmerückgewinnungsgrad η_v ebenfalls einzutragen.

36		2.2 Lüftungswärmeverlust H_v [W/K]			
37	maschinelle oder Fensterlüftung				
38	Luftwechselrate [1/h]	$n_A =$	0,7	$n =$	0,7
39	Wärmerückgewinnungsgrad [-]	$\eta_v =$			
40	Lüftungswärmeverlust [W/K]	$H_v =$	$c_p \cdot \rho \cdot V \cdot n$		
		$H_v =$	0,34	* 346,76	$H_v =$ 116,16

Die Luftwechselrate n richtet sich dabei nach der Lüftungsanlage:

LÜFTUNG bitte auswählen

- Fensterlüftung ohne Luftdichtheitsprüfung
- Fensterlüftung mit Luftdichtheitsprüfung
- masch. Abluftanlage
- masch. Zu- und Abluftanlage
- masch. Zu- und Abluftanl. m. WRG

- Fensterlüftung ohne Luftdichtheitsprüfung: $n=0,7 \text{ h}^{-1}$ (Mittelwert)
- Fensterlüftung mit Luftdichtheitsprüfung: $n=0,6 \text{ h}^{-1}$ (bei Optimierung der Anschlussstellen)
- Maschinelle Abluftanlage: $n=0,85 \text{ h}^{-1}$
- Maschinelle Zu- und Abluftanlage: $n=0,9 \text{ h}^{-1}$
- Maschinelle Zu- und Abluftanlage mit WRG: Wert muss manuell eingetragen werden nach rechnerischem Ansatz aus DIN V 4701-10¹¹

¹¹ Energieeinsparverordnung EnEV - für die Praxis kommentiert; Hegner, Vogler

4.3 Wärmegewinne

Ähnlich wie die Verluste müssen auch die Wärmegewinne in der Bilanz berücksichtigt werden. Sie sind in zwei Kategorien untergliedert, zum einen in die solaren Wärmegewinne und zum Anderen in die internen Wärmegewinne.

41	3. Wärmegewinne
----	------------------------

4.3.1 Solare Wärmegewinne $Q_{s,HP}$ [kWh/a]

Für die Berechnung der solaren Wärmegewinne muss die Sonneneinstrahlung, die durch das Glas eines Fensters in das Gebäude gelangt und dort in Wärme umgewandelt wird, berechnet werden. Der Anwender muss den Abminderungsfaktor für den Fensterrahmenanteil F_f angeben und für jede Himmelsrichtung folgende Faktoren definieren:

- Sonnenscheineinstrahlung $I_{s,j}$ in [kWh/m²] (wird automatisch eingetragen)
- Abminderungsfaktor für die Sonnenschutzvorrichtung F_c
- Abminderungsfaktor für die Verschattung F_s
- Fensterfläche A_{Wj} in [m²] Bruttofläche der strahlungsaufnehmenden Oberfläche (wird automatisch übernommen)
- wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp} und
- den Abminderungsfaktor $F_w=0,9$ (Anzuwenden, da kein senkrechter Strahlungseinfall)¹² (ist hinterlegt)

3.1 Solare Wärmegewinne $Q_{s,HP}$ [kWh/a]								
42								
43	Fensterrahmenanteil [-]	$F_f =$		0,3				
44	Ausrichtung	Sonneneinstrahlung $I_{s,j}$ [kWh/m ²]	Sonnenschutzvorrichtung F_c [-]	Verschattung F_s [-]	Fensterfläche A_{Wj} [m ²]	Gesamtenergiedurchlassgrad g_{\perp} [-]	$I_{s,j} * (1-F_f) * F_s * F_c * A_{Wj} * F_w * g_{\perp}$ [kWh/a]	
	[j]							
45	Nord	146	1,0	1,0	4,08	0,50	187,64	
46	Süd	367	1,0	1,0	10,90	0,50	1.260,09	
47	Ost	227	1,0	1,0	8,83	0,50	631,39	
48	West	227	1,0	1,0	12,36	0,50	883,09	
49	Andere	227	1,0	1,0	1,90	0,40	108,69	
50	Andere							
51	Dachfenster	320	1,0	1,0	6,44	0,60	778,98	
52	Solare Wärmegewinne [kWh/a]: $Q_{s,HP} = \sum (I_{s,j} * (1-F_f) * A_{Wj} * F_s * F_w * F_c * g_{\perp})$						$Q_{s,HP} =$	3.849,88

4.3.2 Interne Wärmegewinne $Q_{i,HP}$ [kWh/a]

Die internen Wärmegewinne Q_i von Wohngebäuden unterscheiden sich von den internen Gewinnen von Büro- und Verwaltungsgebäuden. In Bürogebäuden sind die internen Lasten aufgrund der Bürotechnik höher. Somit ergeben sich folgende Werte/ Eingabemöglichkeiten:

- mittlere interne Wärmeleistung q_i in [W/m²]
 $q_i=5$ W/m² für Wohngebäude
 $q_i=6$ W/m² für Büro- und Verwaltungsgebäude

¹² Energieeinsparverordnung EnEV - für die Praxis kommentiert; Hegner, Vogler

– die Anzahl der Bürostunden t_A in [h]

53		3.2 Interne Wärmegewinne $Q_{i,HP}$ [kWh/a]		
54	mittlere interne Wärmeleistung [W/m ²]	$q_i =$		
55	Anzahl der Bürostunden [h]	$t_A =$		
55	interne Wärmegewinne [kWh/a]	$Q_{i,HP} = 22 \cdot A_N$ bzw. $0.024 \cdot q_i \cdot A_N \cdot d_{HP}$		
		$Q_{i,HP} = 22 \cdot 208,58$	$Q_{i,HP} =$	4.588,67

Weiterhin kann ein Wert durch manuelle Eingabe in W/m² vorgegeben werden. Die Auswahl erfolgt dabei über:

– GEBÄUDE bitte auswählen

Wohngebäude

Nichtwohngebäude

manuelle Eingabe in [kWh/m²]

Ebenso unterscheiden sich die Berechnung für Wohngebäude und Nichtwohngebäude.

Für die Berechnung der Wohngebäude wird dabei die Formel $22 \cdot A_N$ nach EnEV 2007 im Berechnungsblatt automatisch verwendet und für die Nichtwohngebäude die Formel nach der DIN V 18599 mit $0.024 \cdot q_i \cdot A_N \cdot d_{HP}$

4.4 sonstige Gewinne

Sonstige Gewinne, wie z.B. infolge Maschinen, können hier ebenfalls durch manuelle Eingabe berücksichtigt werden.

56	4. sonstige Gewinne			
57	sonstige Gewinne [kWh/m ²]:	$q_{\text{sonst}} =$		
58	sonstige Gewinne [kWh/a]:	$Q_{\text{sonst}} = q_{\text{sonst}} \cdot A_N$		
		$Q_{\text{sonst}} =$	* 208,58	$Q_{\text{sonst}} =$

4.4.1 Trinkwassererzeugung

Bei der Betrachtung von Wohngebäuden kann der Einfluss der Warmwassererzeugung, die meist mit der Heizungsanlage gekoppelt ist, nicht vernachlässigt werden. Normalerweise ist die Warmwasserversorgung abhängig von der Personenanzahl, jedoch wird diese Abhängigkeit vernachlässigt, um nur die gebäude- und anlagentechnische Abhängigkeit darzustellen. Als Nutz-Wärmebedarf für die Warmwasserbereitung wird nach DIN V 4701-10: 2002-02 mit $q_{\text{TW}}=12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ angesetzt.

59	4.1 Trinkwassererzeugung		
60	Energiebedarf [W]	$q_{\text{W}} =$	12,50
	Warmwasserbereitung [W]	$q_{\text{W}} =$	

4.5 Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]

Alle Wärmeströme, die Verluste durch Transmission und Lüftung sowie die Gewinne intern und solar, werden in der Energiebilanz, die sich auf den ersten Hauptsatz der Thermodynamik bezieht, berücksichtigt:

Wärmebedarf = Summe Wärmeverluste - Summe Wärmegewinne.

$$Q_h = 66 \cdot (H_T + H_V) - 0,95 \cdot (Q_{s,HP} + Q_{i,HP}) \quad (59)$$

Der Wärmebedarf resultiert somit aus den unterschiedlichen Verlusten abzüglich der Gewinne in den vorhergehenden Systemabschnitten. Die 66 stellt dabei den Gradtagszahlfaktor und die 0,95 den Jahresnutzungsgrad des Heizsystems dar.

61	5. Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]			
62	Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]:	$Q_h = (H_T + H_V) \cdot 66 - \eta_{HP} \cdot (Q_{s,HP} + Q_{i,HP})$		
		$Q_h = 20.603,87 - 8.016,62$	$Q_h =$	12.587,24
63	spez. Heizwärmebedarf [kWh/m ²]	$Q''_h = Q_h / A_H$		
		$Q''_h = 12.587,24 / 208,58$	$Q''_h =$	60,35

4.6 Spezifikation von Eingangsdaten für die Haustechnik

In diesem Abschnitt werden die charakteristischen Daten für das Heizsystem und die Untersysteme, entsprechend dem Entwurf in Bild 2.2, festgelegt. Die gegebenen Daten werden dann in Werkzeugabschnitt-Abschnitt 7 verwendet, um die Analyse durchzuführen. Dieser Abschnitt ist wie folgt gegliedert in:

- Erzeugung
- Speicherung
- Verteilung
- Übergabe
- und Trinkwasserbereitung.

Erzeugung:

Der Anwender kann bei der Erzeugung zwischen 23 verschiedenen Heizungssystemen wählen:

- Standardheizkessel
- Niedertemperaturkessel 70/55
- Niedertemperaturkessel 55/45
- Niedertemperaturkessel 35/28
- Brennwertkessel 70/55
- Brennwertkessel 55/45
- Brennwertkessel 35/28
- verbesserter Brennwertkessel 70/55
- verbesserter Brennwertkessel 55/45
- verbesserter Brennwertkessel 35/28
- Elektroheizung
- Wärmepumpe Wasser/Wasser
- Wärmepumpe Sole/Wasser
- Wärmepumpe Luft/Luft (Außenluft)
- Wärmepumpe Luft/Luft (Abluft)
- Solar-Flachkollektoren
- Solar-Vakuumröhrenkollektoren
- Biomasse-Heizkessel (Pellet)
- Biomasse-Heizkessel (Hackschnitzel)
- KWK Fern-/ Nahwärme fossil
- KWK Fern-/ Nahwärme regenerativ
- Fern-/ Nahwärme fossil
- Fern-/ Nahwärme regenerativ

Erzeugung		Nutzungsgrad $\eta_{gen,s1}$ [-]	0,90	
		Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen $F_{env,HP,s1}$ [-]		
		Primärenergieumwandlungsfaktor fossil $f_{p,fos,s1}$ [-]	1,10	
		Primärenergieumwandlungsfaktor regenerativ $f_{p,ren,s1}$ [-]		
		Qualitätsfaktor fossil $f_{q,fos,s1}$ [-]	0,90	
		Qualitätsfaktor regenerativ $f_{q,ren,s1}$ [-]		
	Quelle 1:	<input type="text" value="Niedertemperaturkessel 55/45"/>	Max. Versorgungstemperatur $\theta_{s1,max}$ [°C]	70,00
			Hilfsenergie $q_{gen,HE,s1}$ [kWh/m²a]	0,63
			Hilfsenergie konst. $q_{gen,const,HE,s1}$ [kWh/a]	
			spezifische CO ₂ Emission $c_{CO2,gen,s1}$ [g/kWh _{end}]	

		Nutzungsgrad $\eta_{gen,s2}$ [-]	0,50	
		Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen $F_{env,HP,s2}$ [-]		
		Primärenergieumwandlungsfaktor fossil $f_{p,fos,s2}$ [-]		
		Primärenergieumwandlungsfaktor regenerativ $f_{p,ren,s2}$ [-]	1,00	
		Qualitätsfaktor fossil $f_{q,fos,s2}$ [-]		
		Qualitätsfaktor regenerativ $f_{q,ren,s2}$ [-]	0,34	
Anteil Quelle 2:	<input type="text" value="40%"/>	Max. Versorgungstemperatur $\theta_{s1,max}$ [°C]	150,00	
Quelle 2:	<input type="text" value="Solar-Vakuümrohrkollektoren"/>	Hilfsenergie $q_{gen,HE,s2}$ [kWh/m²a]	0,02	
		Hilfsenergie konst. $q_{gen,const,HE,s2}$ [kWh/a]		
		spezifische CO ₂ Emission $c_{CO2,gen,s2}$ [g/kWh _{end}]		

		Anteil Quelle 1 F_{s1} [-]	60%	
		Anteil Quelle 2 F_{s2} [-]	40%	

Diese Auswahl gilt sowohl für die fossile als auch für die regenerativen Quellen. Dabei ist es möglich nur eine Quelle zu definieren (z.B. Standardheizkessel) oder zwei Quellen (z.B. Niedertemperaturkessel mit Solar-Vakuümrohrkollektoren zur Warmwassererzeugung).

In die „gelbe Zelle“ muss im Anwendungsfall zusätzlich der Anteil der regenerativen Quelle an der Gesamterzeugung festgelegt werden.

Für jede Energiequelle wird im Anschluss die Primärenergieumwandlung durch den Primärenergiefaktor f_p und für die Exergieanalyse der Qualitätsfaktor der Energiequelle f_q angegeben. Unterschieden wird dabei zusätzlich, ob es sich dabei um eine fossile oder regenerative Energiequelle handelt. Folgende Parameter sind für den jeweiligen Erzeuger hinterlegt:

- Nutzungsgrad Erzeugung η_{gen}
- Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen $F_{env,HP}$
- Primärenergieumwandlungsfaktor fossil $f_{p,fos}$
- Primärenergieumwandlungsfaktor regenerativ $f_{p,ren}$
- Qualitätsfaktor Energiequelle fossil $f_{q,fos}$
- Qualitätsfaktor Energiequelle regenerativ $f_{q,ren}$
- Maximale Versorgungstemperatur $\theta_{s,max}$ in [°C]
- Hilfsenergie Erzeugung $q_{gen,HE}$ in [kWh/m²a]
- Spezifische CO₂ Emission $c_{CO2,gen}$ in [g/kWh_{end}]
- Anteil Quelle F_s

Speicherung:

Der Anwender kann bei den Wärmepichersystemen zwischen drei Speichertypen unterscheiden:

- keine Speicherung
- Kleinspeicher <100 l
- Speicher >100 l

Das Wärmespeichersystem wird durch 3 Parameter charakterisiert:

- Nutzungsgrad Speicherung η_s
- Hilfsenergie Speicherung $q_{s,HE}$ in [kWh/m²a]
- Solaranteil F_{Sol}

Verteilung:

Hier hat der Anwender die Möglichkeit zwischen 4 Verteilungsmerkmalen zu wählen bzw. diese genauer zu definieren:

- Kesselstandort
 - innerh. therm. Hülle
 - außerh. therm. Hülle
 - keine Verteilung
- Dämmung
 - keine Dämmung
 - schlechte Dämmung
 - gut gedämmt
 - keine Verteilung
- Auslegungstemp.
 - gering (<35°C)
 - mittel (<50°C)
 - hoch (andere)
 - keine Verteilung
- Temperaturabfall
 - gering (<5K)
 - mittel (<10K)
 - hoch (andere)
 - keine Verteilung

Dabei wird das Verteilungssystem durch folgende Parameter beschrieben:

- Wärmeverlust/Nutzungsgrad Verteilung η_D
- Hilfsenergie Verteilung $q_{d,HE}$ in [kWh/m²a]

Übergabe:

Der Anwender wählt das Übergabesystem aus einer Vorauswahl aus:

- Fußbodenheizung
- Wandheizung
- Heizkörper
- Luft-Heizung
- Deckenheizung
- Flächen-Heizung
- Freie Kühlung- Ventilation
- HT Radiatoren (DIN 255: 90/70)

- HT Radiatoren (DIN 255: 70/55)
- HT Radiatoren (DIN 255: 55/45)
- HT Radiatoren (DIN 255: 35/28)
- LT Radiatoren
- Wandheizung
- Deckenheizung
- Direkt-Elektroheizung

Die einzelnen Systeme werden durch die nachstehenden Parameter beschrieben:

- Vorlauftemperatur θ_{in} in [°C]
- Rücklauftemperatur θ_{ret} in [°C]
- Hilfsenergie Übergabe $q_{ce,HE}$ in [kWh/m²a]
- Maximale Wärmeleistung $p_{h,max}$ in [W/m²]
- Nutzungsgrad Übergabe η_{ce}

Trinkwasserbereitung:

Hier kann der Anwender wählen zwischen Trinkwasserbereitung mit und ohne Zirkulationsleitung und zwischen 9 Systemen:

- keine Brauchwassererwärmung
- Büro; lokaler elektr. Erhitzer
- Wohnung; lokaler elektr. Erhitzer
- Wohnung; Erzeugung mit Heizungsanlage
- Wohnung; Standardkessel
- Wohnung; Brennwertkessel
- Wohnung; Biomasse-Heizkessel
- Wohnung; Solar-Flachkollektoren
- Wohnung; Solar-Vakuümrohrenkollektoren

Trinkwasserbereitung:		Brauchwasserbedarf V_{W} [l/pers·d]	45,00
69	Quelle 1:	mit Zirkulationsleitung	Nutzungsgrad $\eta_{G,W,S1}$ [-]
		Wohnung; lokaler elektr. Erhitzer	Primärenergiefaktor $f_{P,fos,W,S1}$ [-]
			Primärenergiefaktor $f_{P,ren,W,S1}$ [-]
			Qualitätsfaktor Energiequelle $f_{q,fos,W,S1}$ [-]
			Qualitätsfaktor Energiequelle $f_{q,ren,W,S1}$ [-]
Anteil Quelle 2: 0%		Brauchwasserbedarf V_{W} [l/pers·d]	
Quelle 2:		keine Brauchwassererwärmung	Nutzungsgrad $\eta_{G,W,S2}$ [-]
			Primärenergiefaktor $f_{P,fos,W,S2}$ [-]
			Primärenergiefaktor $f_{P,ren,W,S2}$ [-]
			Qualitätsfaktor Energiequelle $f_{q,fos,W,S2}$ [-]
			Qualitätsfaktor Energiequelle $f_{q,ren,W,S2}$ [-]
		Anteil Quelle 1 $F_{W,S1}$ [-]	100%
		Anteil Quelle 2 $F_{W,S2}$ [-]	0%

Die Systemparameter sind dabei:

- Der Brauchwasserbedarf V_W in [l/Pers·a]
- Der Nutzungsgrad der Warmwasserbereitung $\eta_{G,W}$
- Der Primärenergiefaktor fossil $f_{p, fos, W}$
- Der Primärenergiefaktor regenerativ $f_{p, ren, W}$
- Qualitätsfaktor Energiequelle fossil $f_{q, fos, W}$
- Qualitätsfaktor Energiequelle regenerativ $f_{q, ren, W}$
- Anteil Quelle F_W

Auch hier kann eine Aufteilung der Quellen in fossil und regenerativ wie bei der Erzeugung erfolgen. Die Warmwasserbereitung kann einerseits nur durch eine fossile Heizungsanlage und andererseits auch durch die Kombination einer fossilen Heizungsanlage mit einer Solaranlage erfolgen. Auch hier muss der Anteil der regenerativen Quelle in der „gelben Zelle“ definiert werden.

4.7 Ergebnis der Energie-/ Exergieberechnung

Die nachfolgenden Berechnungen werden in der Richtung der Bedarfsentwicklung durchgeführt, wie in Bild 2.1 gezeigt. Zuerst muss der Bedarf des letzten Untersystems durch das Vorherige erfüllt werden. Hierzu werden die Verluste des untersuchten Systems addiert. Das Berechnungsverfahren erfolgt in folgenden Schritten:

70	7. Ergebnis der Exergieberechnung
----	--

4.7.1 Gebäudehülle

Die Grundlage für den 1. Berechnungsschritt bildet der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h des Gebäudes, der in Tool-Abschnitt 5 berechnet wurde. Der Qualitätsfaktor (Carnot-Faktor) der Raumluft $F_{q,r}$, wird mittels der Carnot Leistungsfähigkeit ermittelt. *[Der Carnot-Wirkungsgrad, auch Carnot-Faktor genannt, ist der höchste, theoretisch mögliche Wirkungsgrad eines Kreisprozesses einer Wärmekraftmaschine. Der Carnot-Wirkungsgrad ist umso höher, je größer das Temperaturgefälle zwischen T_e und T_i und je kleiner die untere Temperatur T_e ist.]*¹³ Danach wird der Jahres-Exergiebedarf der Raumheizung Ex_r , berechnet; d.h. der Exergiebedarf des Raumes, der durch das folgende Untersystem erfüllt werden muss. Dafür wird die Formel für den (mittleren) Carnot-Faktor, dem Verhältnis von Exergiebedarf Ex_r und Wärmebedarf Q_h

$$f_{ew,r} = \frac{Ex_r}{Q_h} = \frac{T_i - T_e}{T_i} \quad (60)$$

nach dem Jahres-Exergiebedarf der Raumheizung Ex_r umgestellt und folglich berechnet:

71	Carnot-Faktor Raumluft [-]:	$F_{q,r} = 1 - T_e / T_{in}$ $F_{q,r} = 0,06$			Gebäudehülle
			$F_{q,r} =$	0,06	
72	Jahres-Exergiebedarf Raumheizung [kWh/a]:	$Ex_r = Q_h * F_{q,r}$ $Ex_r = 10.911,10 * 0,06$		$Ex_r =$	612,05

4.7.2 Raumluft

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Oberfläche des Heizsystems, beispielsweise der Fußbodenheizung, auf einem einheitlichen Temperaturniveau befindet, dass von den Eintritts- und Austrittstemperaturen des Systems sowie dessen Raumlufttemperatur abhängig ist. Diese konstante Temperatur, T_h , ist die Oberflächentemperatur der Heizfläche, z.B.

¹⁴ Baehr: *Thermodynamik-Grundlagen und technische Anwendungen*, In: Springer Lehrbuch, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005; ISBN: 978-3-540-23870-6.

Fußbodenoberfläche, die im direkten Kontakt mit der Raumlufte steht. Ihr Wert wird üblicherweise durch die logarithmische Mitteltemperaturdifferenz (Gleichung 61) bestimmt. Unter Anhaltung der Bedingung in Gleichung 62 ist die Vereinfachung der logarithmischen Temperaturdifferenz zu einer arithmetischen Mitteltemperatur, T_{AM} , (Gleichung 62) zulässig [Recknagel, Sprenger, Schramek, 2007].

$$LMTD = \Delta \vartheta = \frac{(\vartheta_{in} - \vartheta_i) - (\vartheta_{ret} - \vartheta_i)}{\ln\left(\frac{\vartheta_{in} - \vartheta_i}{\vartheta_{ret} - \vartheta_i}\right)} \quad (61)$$

$$0.7 \leq \frac{T_{in,ce} - T_r}{T_{ret,ce} - T_r} \quad (62)$$

$$T_{AM} = \frac{T_{in,ce} - T_{ret,ce}}{2} = T_h \quad (63)$$

Danach erfolgt analog der Gebäudehülle die Berechnung des Carnot-Faktors der Wärmeabgabe $F_{q,h}$ bezogen auf die Heiztemperatur T_h und des Jahres-Exergiebedarfes der Wärmeabgabe durch Multiplikation des Jahres-Heizwärmebedarfes Q_h mit dem Carnot-Faktor der Wärmeabgabe $F_{q,h}$.

73	Heiztemperatur [°C]:	$\theta_h =$	$\Delta\theta/2$			Raumlufte
		$\theta_h =$	45,00	$\theta_h =$	45,00	
74	Carnot-Faktor Wärmeabgabe [-]:	$F_{q,h} =$	$1 - T_e / T_h$	$F_{q,h} =$	0,13	
		$F_{q,h} =$	0,13	$F_{q,h} =$	0,13	
75	Jahres-Exergiebedarf Wärmeabgabe [kWh/a]:	$Ex_h =$	$Q_h \cdot F_{q,h}$			
		$Ex_h =$	12.587,24 * 0,13	$Ex_h =$	1.574,64	

4.7.3 Übergabe

Bei der Übergabe des Wärmestroms treten Verluste auf. Die Wärmeverluste $H_{ls,ce}$ werden als Funktion aus Jahres-Heizwärmebedarf Q_h und Nutzungsgrad der Übergabe η_{ce} bestimmt. Der Bedarf an Hilfsenergien oder Strom des Übergabesystems ergeben sich aus den Hilfsenergien der Übergabe multipliziert mit der Nutzfläche A_N . Somit lässt sich der Gesamtexergiebedarf der Übergabe in Bezug auf die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur (θ_{in} und θ_{ret}) und der Strombedarf für Hilfsenergie des Systems bestimmen. Die Exergie- bzw. Energiemenge, die das System an die Raumlufte abgibt, werden aus der Summe aus Exergiebedarf Wärmeabgabe Ex_h mit dem Exergieverlust der Übergabe ΔEx_{ce} bzw. aus der Summe von Jahres-Heizwärmebedarf Q_h und Wärmeverluste Übergabe $H_{ls,ce}$ berechnet.

76	Wärmeverlust Übergabe [kWh/a]:	$\dot{H}_{Is,ce} = Q_h \cdot (1/\eta_{ce}-1)$ $\dot{H}_{Is,ce} = 10.911,10 \cdot 0,05$	$\dot{H}_{Is,ce} = 574,27$	Übergabe
77	Hilfsenergie Übergabe [kWh/a]:	$q_{ce,HE} = q_{ce,HE} \cdot A_N$ $q_{ce,HE} = 153,25$	$q_{ce,HE} = 153,25$	
78	Exergieverlust Übergabe [kWh/a]:	$\Delta E_{x_{ce}} = ((Q_h + \dot{H}_{Is,ce}) / (\theta_{in} - \theta_{ret})) \cdot ((\theta_{in} - \theta_{ret}) - T_{ref} \cdot \ln(T_{in} / T_{ret})) - E_{x_h}$ $\Delta E_{x_{ce}} = 1.148,54 \cdot 1,41 - 1091,27$	$\Delta E_{x_{ce}} = 525,09$	
79	Exergie Übergabe [kWh/a]:	$E_{x_{ce}} = E_{x_h} + \Delta E_{x_{ce}}$ $E_{x_{ce}} = 1.091,27 + 525,09$	$E_{x_{ce}} = 1.616,37$	
80	Energie Übergabe [kWh/a]:	$Q_{ce} = Q_h + \dot{H}_{Is,ce}$ $Q_{ce} = 10.911,10 + 574,27$	$Q_{ce} = 11.485,36$	

4.7.4 Verteilung

Die Verteilungsverluste werden analog zu den Übergabeverlusten berechnet. Zu beachten ist hierbei, dass bei der Berechnung der Verluste der Wärmeverlust der Übergabe $\dot{H}_{Is,ce}$ hinzu addiert werden muss, da durch den Transport in den Verteilungsleitungen ein gewisser Teil an Wärme zusätzlich zu den Verlusten der Übergabe verloren geht. Es wird mit Q_{ce} statt mit Q_h gerechnet. Der Exergieverlust der Verteilung kann in Bezug auf den Verlusttemperaturbereich der Verteilung ΔT_D ermittelt werden und sind somit als Funktion über die Temperaturdifferenz im Verteilungssystem zu berechnen.

81	Wärmeverlust Verteilung [kWh/a]:	$\dot{H}_{Is,d} = Q_{ce} \cdot (1/\eta_D-1)$ $\dot{H}_{Is,d} = 11.485,36 \cdot 0,80$	$\dot{H}_{Is,d} = 9.184,41$	Verteilung
82	Hilfsenergie Verteilung [kWh/a]:	$q_{d,HE} = q_{d,HE} \cdot A_N$ $q_{d,HE} = 2,86 \cdot 153,25$	$q_{d,HE} = 437,56$	
83	Exergieverlust Verteilung [kWh/a]:	$\Delta E_{x_d} = \{ \dot{H}_{Is,d} / \Delta T_D \} \cdot \{ \Delta T_D - T_{ref} \cdot \ln(T_d / (T_d - \Delta T_D)) \}$ $\Delta E_{x_d} = 459,22 \cdot 3,81$	$\Delta E_{x_d} = 1.751,00$	
84	Exergie Verteilung [kWh/a]:	$E_{x_d} = E_{x_{ce}} + \Delta E_{x_d}$ $E_{x_d} = 1.616,37 + 1.751,00$	$E_{x_d} = 3.367,37$	
85	Energie Verteilung [kWh/a]:	$Q_d = Q_{ce} + \dot{H}_{Is,d}$ $Q_d = 11.485,36 + 9.184,41$	$Q_d = 20.669,77$	

4.7.5 Speicherung

Auch hier müssen zur Berechnung der Wärmeverluste der Speicherung der Jahres-Heizwärmebedarf Q_h zu den Wärmeverlusten der Übergabe $\dot{H}_{Is,ce}$ und zu den Wärmeverlusten aus der Verteilung hinzu addiert werden. Somit ergibt sich der Exergieverlust der Speicherung bezogen auf die Verlusttemperatur der Speicherung ΔT_S folgendermaßen:

86	Wärmeverlust Speicherung [kWh/a]:	$\dot{H}_{Is,s} = Q_d \cdot (1/\eta_S-1)$ $\dot{H}_{Is,s} = 20.669,77 \cdot 0,02$	$\dot{H}_{Is,s} = 421,83$	Speicherung
87	Hilfsenergie Speicherung [kWh/a]:	$q_{s,HE} = q_{s,HE} \cdot A_N$ $q_{s,HE} = 0,51 \cdot 153,25$	$q_{s,HE} = 78,16$	
88	Exergieverlust Speicherung [kWh/a]:	$\Delta E_{x_s} = \{ \dot{H}_{Is,s} / \Delta T_S \} \cdot \{ \Delta T_S - T_{ref} \cdot \ln((T_d + \Delta T_d) / (T_d + \Delta T_d - \Delta T_S)) \}$ $\Delta E_{x_s} = 84,37 \cdot 1,25$	$\Delta E_{x_s} = 105,84$	
89	Exergie Speicherung [kWh/a]:	$E_{x_s} = E_{x_d} + \Delta E_{x_s}$ $E_{x_s} = 3.367,37 + 105,84$	$E_{x_s} = 3.473,21$	
90	Energie Speicherung [kWh/a]:	$Q_s = (Q_d + \dot{H}_{Is,s}) \cdot (1-F_{sol})$ $Q_s = 21.091,60 \cdot 1,00$	$Q_s = 21.091,60$	

Die Berechnung der Exergie- bzw. Energiemenge der Speicherung, erfolgt analog der Verteilung, jedoch unter Berücksichtigung des Solaranteils F_{sol} .

4.7.6 Erzeugung

Das Erzeugungssystem muss den Bedarf aller vorhergehenden Systeme decken. Hinzu kommen die Verluste aus dem System selbst bzw. Hilfsenergien. Somit ergibt sich Q_{gen} als erforderliche Energie, die vom Wärmeerzeuger gedeckt werden muss. Berücksichtigung finden hierbei die unterschiedlichen Quellen sowie die Unterscheidung in fossil oder regenerativ.

Die Berechnung der Wärmeverluste erfolgt analog zur Übergabe. Jedoch wird bei der Wärmepumpe als Erzeuger davon ausgegangen, dass keine Energie verloren geht, bzw. sowohl die Kompressionsenergie als auch die Umweltwärme in verfügbare Wärme umgewandelt werden. Die Berechnung der Exergie- bzw. Energiemenge, die an die Speicherung abgegeben wird, erfolgt analog der Übergabe. Um eine Zuordnung treffen zu können, ob es sich dabei um einen fossilen bzw. regenerativen Anteil handelt, müssen die Werte zusätzlich mit dem Verhältnis des fossilen bzw. regenerativen Primärenergiefaktors zum Gesamtprimärenergiefaktor multipliziert werden.

Die Vorgehensweise wird auf die Berechnung Trinkwassererzeugung sowie der Hilfsenergie übertragen.

91	Wärmebedarf Erzeugung [kWh/a]:	$Q_{gen,S1} = Q_s * F_{S1}$		
		$Q_{gen,S1} = 21.091,60 * 0,60$	$Q_{gen,S1} = 12.654,96$	
		$Q_{gen,S2} = Q_s * F_{S2}$		
		$Q_{gen,S2} = 21.091,60 * 0,40$	$Q_{gen,S2} = 8.436,64$	
92	Wärmeverlust Erzeugung [kWh/a]:	$H_{Is,gen,S1} = Q_{gen,S1} * (1/\eta_{gen,S1}-1) + (Q_{gen,S1}/\eta_{gen,S1}) * F_{env,HP,S1}$		
		$H_{Is,gen,S1} = 1.406,11 + 14.061,07 *$	$H_{Is,gen,S1} = 1.406,11$	
		$H_{Is,gen,S2} = Q_{gen,S2} * (1/\eta_{gen,S2}-1) + (Q_{gen,S2}/\eta_{gen,S2}) * F_{env,HP,S2}$		
		$H_{Is,gen,S2} = 8.436,64 + 16.873,28 *$	$H_{Is,gen,S2} = 8.436,64$	
93	Hilfsenergie Erzeugung [kWh/a]:	$q_{gen,HE,S1} = q_{gen,HE,S1} * A_N$		
		$q_{gen,HE,S1} = 0,63 * 153,25$	$q_{gen,HE,S1} = 96,17$	
		$q_{gen,HE,S2} = q_{gen,HE,S2} * A_N$		
		$q_{gen,HE,S2} = 0,02 * 153,25$	$q_{gen,HE,S2} = 3,07$	
94	Energie Erzeugung [kWh/a]:	$EN_{gen,fos,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,fos,S1} / (f_{p,fos,S1} + f_{p,ren,S1})$		
		$EN_{gen,fos,S1} = 14.061,07 * 1,00$	$EN_{gen,fos,S1} = 14.061,07$	
		$EN_{gen,ren,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,ren,S1} / (f_{p,fos,S1} + f_{p,ren,S1}) + (Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1}) * F_{env,HP,S1}$		
		$EN_{gen,ren,S1} = 14.061,07 * +$	$EN_{gen,ren,S1} =$	
		$EN_{gen,fos,S2} = Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2} * f_{p,fos,S2} / (f_{p,fos,S2} + f_{p,ren,S2})$		
		$EN_{gen,fos,S2} = 16.873,28 *$	$EN_{gen,fos,S2} =$	
		$EN_{gen,ren,S2} = Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2} * f_{p,ren,S2} / (f_{p,fos,S2} + f_{p,ren,S2}) + (Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2}) * F_{env,HP,S2}$		
		$EN_{gen,ren,S2} = 16.873,28 * 1,00 +$	$EN_{gen,ren,S2} = 16.873,28$	
95	Exergie Erzeugung [kWh/a]:	$EX_{gen,fos,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,fos,S1} / (f_{p,fos,S1} + f_{p,ren,S1}) * f_{q,fos,S1}$		
		$EX_{gen,fos,S1} = 14.061,07 * 1,00 * 0,90$	$EX_{gen,fos,S1} = 12.654,96$	
		$EX_{gen,ren,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,ren,S1} / (f_{p,fos,S1} + f_{p,ren,S1}) * f_{q,ren,S1} + (Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1}) * F_{env,HP,S1} * f_{q,ren,S1}$		
		$EX_{gen,ren,S1} = * + *$	$EX_{gen,ren,S1} =$	
		$EX_{gen,fos,S2} = Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2} * f_{p,fos,S2} / (f_{p,fos,S2} + f_{p,ren,S2}) * f_{q,fos,S2}$		
		$EX_{gen,fos,S2} = 16.873,28 * *$	$EX_{gen,fos,S2} =$	
		$EX_{gen,ren,S2} = Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2} * f_{p,ren,S2} / (f_{p,fos,S2} + f_{p,ren,S2}) * f_{q,ren,S2} + (Q_{gen,S2} / \eta_{gen,S2}) * F_{env,HP,S2} * f_{q,ren,S2}$		
		$EX_{gen,ren,S2} = 16.873,28 * 0,34 + *$	$EX_{gen,ren,S2} = 5.801,87$	

Erzeugung

	Hilfsenergie Trinkwasser [kWh/a]:	$q_{W,HE} = q_{W,HE} * \frac{A_N}{0,00}$	$q_{W,HE} =$
96	Trinkwassererzeugung Energiebedarf [kWh/a]	$E_{\eta_{W,fos,S1}} = q_{W,HE} * A_N / \eta_{G,W,S1} * f_{p,fos,W,S1} / (f_{p,fos,W,S1} + f_{p,ren,W,S1}) * F_{W,S1}$	$E_{\eta_{W,fos,S1}} =$
		$E_{\eta_{W,ren,S1}} = q_{W,HE} * A_N / \eta_{G,W,S1} * f_{p,ren,W,S1} / (f_{p,fos,W,S1} + f_{p,ren,W,S1}) * F_{W,S1}$	$E_{\eta_{W,ren,S1}} =$
		$E_{\eta_{W,fos,S2}} = q_{W,HE} * A_N / \eta_{G,W,S2} * f_{p,fos,W,S2} / (f_{p,fos,W,S2} + f_{p,ren,W,S2}) * F_{W,S2}$	$E_{\eta_{W,fos,S2}} =$
		$E_{\eta_{W,ren,S2}} = q_{W,HE} * A_N / \eta_{G,W,S2} * f_{p,ren,W,S2} / (f_{p,fos,W,S2} + f_{p,ren,W,S2}) * F_{W,S2}$	$E_{\eta_{W,ren,S2}} =$
97	Trinkwassererzeugung Exergiebedarf [kWh/a]	$EX_{W,fos,S1} = E_{\eta_{W,fos,S1}} * \dot{q}_{q,fos,W,S1}$	$EX_{W,fos,S1} =$
		$EX_{W,ren,S1} = E_{\eta_{W,ren,S1}} * \dot{q}_{q,ren,W,S1}$	$EX_{W,ren,S1} =$
		$EX_{W,fos,S2} = E_{\eta_{W,fos,S2}} * \dot{q}_{q,fos,W,S2}$	$EX_{W,fos,S2} =$
		$EX_{W,ren,S2} = E_{\eta_{W,ren,S2}} * \dot{q}_{q,ren,W,S2}$	$EX_{W,ren,S2} =$
98	Hilfsenergie/-exergie [kWh/a]:	$P_{fos,HE} = (\sum Q_{HE,i}) * \frac{f_{p,el,fos}}{(f_{p,el,fos} + f_{p,el,ren})}$	$P_{fos,HE} =$
		$P_{ren,HE} = (\sum Q_{HE,i}) * \frac{f_{p,el,ren}}{(f_{p,el,fos} + f_{p,el,ren})}$	$P_{ren,HE} =$
99	Energie der Anlage [kWh/a]:	$P_{plant} = P_{fos,HE} + P_{ren,HE}$	$P_{plant} =$
100	Exergie der Anlage [kWh/a]:	$EX_{plant} = P_{plant}$	$EX_{plant} =$
		$EX_{plant} = 0,00$	$EX_{plant} =$

4.7.7 Primär-Energieumwandlung

Aus dem Energie- bzw. Exergiebedarf des Gebäudes kann der Primärenergie- bzw. Primärenergiebedarf ermittelt werden. In diesem Schritt werden alle zuvor ermittelten Energien und Exergien mit dem Gesamtprimärenergiefaktor multipliziert. Dabei wird der regenerative Anteil in der Bilanz mit dem Faktor 1 für die regenerativen Energieflüsse angenommen, um alle Energieflüsse zu bilanzieren. Bei einer Bewertung regenerativer Energieanteile mit einem Primärenergiefaktor von 0 tauchen diese nicht in der Bilanz auf.

Anschließend müssen alle Energien und Exergien, ob regenerativ oder fossil addiert werden.

101	Primärenergie Heizung [kWh/a]	$E_{n,prim,bs,S1} = E_{n,gei,bs,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1})$ $E_{n,prim,bs,S1} = \frac{E_{n,gei,bs,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1})}{1}$ $E_{n,prim,rei,S1} = (E_{n,gei,rei,S1} - (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1}) * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1}) + (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1}$ $E_{n,prim,rei,S1} = \frac{E_{n,gei,rei,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1}) + (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1}}{1}$ <hr/> $E_{n,prim,bs,S2} = E_{n,gei,bs,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2})$ $E_{n,prim,bs,S2} = \frac{E_{n,gei,bs,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2})}{1}$ $E_{n,prim,rei,S2} = (E_{n,gei,rei,S2} - (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2}) * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2}) + (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2}$ $E_{n,prim,rei,S2} = \frac{E_{n,gei,rei,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2}) + (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2}}{1}$	$E_{n,prim,toi,S1} = E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}$ $E_{n,prim,toi,S1} = \frac{E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}}{1}$ <hr/> $E_{n,prim,toi,S2} = E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}$ $E_{n,prim,toi,S2} = \frac{E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}}{1}$
102	Exergie input [kWh/a]	$E_{x,prim,bs,S1} = E_{x,gei,bs,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1})$ $E_{x,prim,bs,S1} = \frac{E_{x,gei,bs,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1})}{1}$ $E_{x,prim,rei,S1} = (E_{x,gei,rei,S1} - (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1} * \eta_{q,rei,S1}) * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1}) + (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1} * \eta_{q,rei,S1}$ $E_{x,prim,rei,S1} = \frac{E_{x,gei,rei,S1} * (f_{p,bs,S1} + f_{p,rei,S1}) + (Q_{gei,S1} / \eta_{gei,S1}) * F_{ew,HP,S1} * \eta_{q,rei,S1}}{1}$ <hr/> $E_{x,prim,bs,S2} = E_{x,gei,bs,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2})$ $E_{x,prim,bs,S2} = \frac{E_{x,gei,bs,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2})}{1}$ $E_{x,prim,rei,S2} = (E_{x,gei,rei,S2} - (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2} * \eta_{q,rei,S2}) * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2}) + (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2} * \eta_{q,rei,S2}$ $E_{x,prim,rei,S2} = \frac{E_{x,gei,rei,S2} * (f_{p,bs,S2} + f_{p,rei,S2}) + (Q_{gei,S2} / \eta_{gei,S2}) * F_{ew,HP,S2} * \eta_{q,rei,S2}}{1}$	$E_{x,prim,toi,S1} = E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,rei,S1}$ $E_{x,prim,toi,S1} = \frac{E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,rei,S1}}{1}$ <hr/> $E_{x,prim,toi,S2} = E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S2}$ $E_{x,prim,toi,S2} = \frac{E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S2}}{1}$
103	Wärmeverlust Primärenergie-übertragung [kWh/a]	$H_{k,prim,S1} = (E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}) - (E_{n,gei,bs,S1} + E_{n,gei,rei,S1})$ $H_{k,prim,S1} = \frac{(E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}) - (E_{n,gei,bs,S1} + E_{n,gei,rei,S1})}{1}$ <hr/> $H_{k,prim,S2} = (E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}) - (E_{n,gei,bs,S2} + E_{n,gei,rei,S2})$ $H_{k,prim,S2} = \frac{(E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}) - (E_{n,gei,bs,S2} + E_{n,gei,rei,S2})}{1}$	$H_{k,prim,S1} = \frac{(E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}) - (E_{n,gei,bs,S1} + E_{n,gei,rei,S1})}{1}$ <hr/> $H_{k,prim,S2} = \frac{(E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}) - (E_{n,gei,bs,S2} + E_{n,gei,rei,S2})}{1}$
104	Trinkwasser Primär Energie [kWh/a]	$E_{n,prim,W} = E_{n,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{n,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{n,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{n,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}$ $E_{n,prim,W} = \frac{E_{n,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{n,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{n,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{n,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}}{1}$	$E_{n,prim,W} = \frac{E_{n,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{n,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{n,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{n,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}}{1}$
105	Trinkwasser Primär Exergie [kWh/a]	$E_{x,prim,W} = E_{x,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{x,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{x,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{x,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}$ $E_{x,prim,W} = \frac{E_{x,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{x,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{x,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{x,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}}{1}$	$E_{x,prim,W} = \frac{E_{x,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{x,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} + E_{x,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{x,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}}{1}$
106	Hilfsenergie primär [kWh/a]	$P_{prim,plant} = P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}$ $P_{prim,plant} = \frac{P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}}{1}$	$P_{prim,plant} = \frac{P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}}{1}$
107	Exergie primär [kWh/a]	$E_{x,prim,plant} = P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}$ $E_{x,prim,plant} = \frac{P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}}{1}$	$E_{x,prim,plant} = \frac{P_{bs,HE} * f_{p,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,rei}}{1}$
108	Energieinput primär [kWh/a]	$E_{n,in,Tot} = (E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S1} + E_{n,prim,rei,S2}) + P_{prim,plant} + E_{n,prim,W}$ $E_{n,in,Tot} = \frac{(E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S1} + E_{n,prim,rei,S2}) + P_{prim,plant} + E_{n,prim,W}}{1}$	$E_{n,in,Tot} = \frac{(E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S1} + E_{n,prim,rei,S2}) + P_{prim,plant} + E_{n,prim,W}}{1}$
109	Totaler Exergieinput [kWh/a]	$E_{x,in,Tot} = (E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S1} + E_{x,prim,rei,S2}) + E_{x,prim,plant} + E_{x,prim,W}$ $E_{x,in,Tot} = \frac{(E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S1} + E_{x,prim,rei,S2}) + E_{x,prim,plant} + E_{x,prim,W}}{1}$	$E_{x,in,Tot} = \frac{(E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S1} + E_{x,prim,rei,S2}) + E_{x,prim,plant} + E_{x,prim,W}}{1}$

Energieumwandlung

4.8 Systemüberprüfung

Das Werkzeug überprüft automatisch, ob das Gesamtsystem widerspruchsfrei ist. Die drei unterschiedlichen Tests sind:

1. Wenn der errechnete Wärmebedarf höher als die mögliche maximale Wärmeabgabe des Systems ist, wird eine Mitteilung angezeigt. Neue und moderne Gebäude mit fortgeschrittenen Übergabesystemen, wie thermisch aktivierten Bauteilen, benötigen eine entsprechende Gebäudehülle wegen der begrenzten Heizleistungsabgabe. So sollte ein Heizsystem mit einer höheren möglichen Wärmeabgabe verwendet oder die Heizlast sollte verringert werden, z.B. durch das Verbessern der Standarddämmung oder das Einbringen einer abgestimmten Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Wenn folgende Bedingung erfüllt ist wird unten stehende Fehlermeldung angezeigt:

$$\frac{Q_h}{1,5} > p_{h,max} \cdot A_N \quad (64)$$

“ACHTUNG: Heizleistung ist zu gering! Das System ist nicht ausreichend dimensioniert! Verbesserung der Gebäudehülle oder ein leistungsstärkeres System verwenden.“

2. Um zu überprüfen, ob die unterschiedlichen Komponenten des Heizsystems sorgfältig und richtig gewählt wurden, werden die Temperaturstufen miteinander verglichen. Die maximale Auslegungstemperatur des Kessels muss höher als die erforderliche Vorlauftemperatur des Übergabesystems sein.

Wenn folgende Bedingung erfüllt ist wird unten stehende Fehlermeldung angezeigt:

$$\theta_{S,max} < \theta_{in}$$

“ACHTUNG: Fehler in der Systemkonfiguration. Eine Vorlauftemperatur wird benötigt. Bitte die Systemkonfiguration ändern.“

3. Das Tool wurde nur für die Berechnung der Heizfälle entwickelt. Wenn der Wärmebedarf negativ ist wird unten stehende Fehlermeldung angezeigt:

$$(H_T + H_V) \cdot 66 < (Q_{S,HP} + Q_{i,HP}) \cdot \eta_{HP} \text{ oder } Q_h < 0 \quad (65)$$

“ACHTUNG: Überhitzung, eine Kühlung wird benötigt. Verschattung benutzen, Reduzierung interner Lasten!“

Außerdem wurde eine 2. Kontrolle eingebaut. Sobald ein Flachkollektor beziehungsweise ein Röhrenkollektor verwendet wird, erscheint die Mitteilung:

"Primärenergie kommt von der erneuerbaren Energiequelle- Energieabgabe des Kollektors repräsentiert die Primärenergie/ -exergie"

4.9 Auswertung

Nachdem alle Daten für das zu untersuchende Gebäude eingegeben worden sind, werden die Ergebnisse in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst.

Zusätzlich wird die Gesamt-Exergieeffizienz angegeben sowie die Exergieaufwandszahl. Die Gesamt-Exergieeffizienz gibt die Effizienz der gesamten Energieversorgungskette im Gebäude an, d.h. den Anteil der gesamt zugefügten Exergie die wirklich zur Beheizung des Raumes benötigt wird. Je größer, desto effizienter und besser ist das System.

Die Exergieaufwandszahl hingegen stellt den exergetischen Aufwand zum gewünschten Energienutzen dar, d.h. wie viel der zugeführten Exergie und Hilfsexergie können tatsächlich genutzt werden.

Ergebnisse in Kennzahlen	gesamt kWh/a	pro Fläche kWh/m²a	pro Volumen kWh/m³a
Endenergie	0	0,00	0,00
Primärenergiebedarf (Gesamt)	0	0,00	0,00
Heizwärmebedarf	0	0,00	0,00
Gesamt-Exergiezufuhr (Prim.-/Reg. Energie + int./solare Wärmegewinne + Hilfsenergie)	0	0,00	0,00
Totale Exergiezufuhr (Gesamt-Exergiezufuhr + TW)	0	0,00	0,00
<hr/>			
Gesamt-Exergieeffizienz (Anlagenexergie Raum / Gesamtexergie)			
Exergie-Flexibilitätsfaktor (Exergiebedarf Übergabe/ Exergiebedarf Gesamt)			

Die berechneten Energie- und Exergieflüsse werden in zwei Diagrammen dargestellt. Hierbei erfolgt eine Trennung nach Heizungsanlage und Trinkwarmwasserbereitung. Dadurch ist eine spezifische Analyse der Energie und Exergie möglich. Die Ergebnisse werden als Bedarf und Verlust durch die einzelnen Komponenten angezeigt. In diesem Diagramm ist es einfach ersichtlich, wo unwirtschaftliche Aspekte auftreten und mögliche Punkte für eine weitere Effizienzsteigerung erreicht werden können. Es wird weiterhin gezeigt, dass die größten Fehlerquellen in zwei Energieumwandlungskomponenten, der Primärenergieumwandlung und im Wärmeerzeuger, zu finden sind.

Ergebnisse der Berechnung

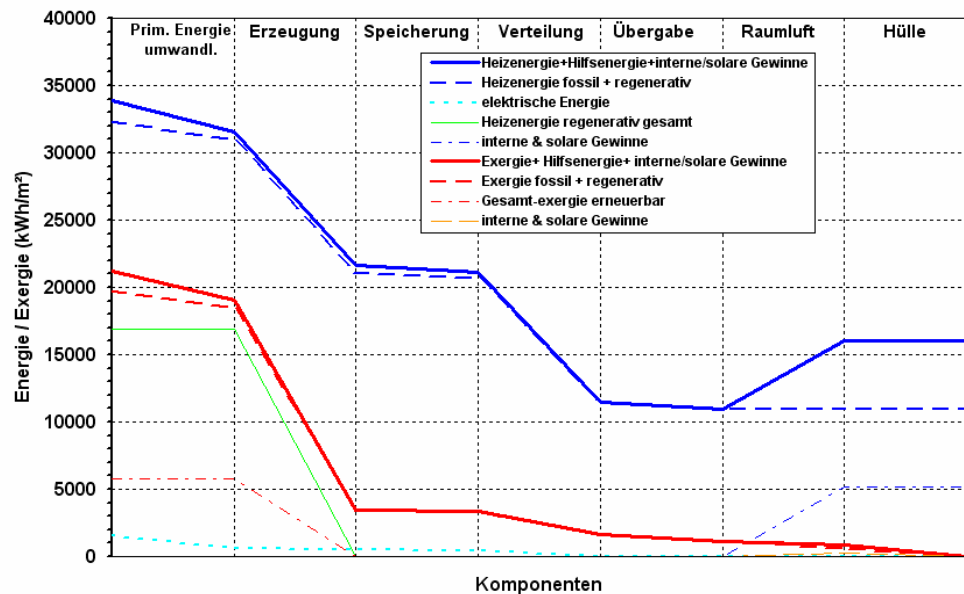


Bild 4.1: Exergie- und Energiefluss durch die Komponenten des Heizungssystems.

Das erste Diagramm (Bild 4.1) stellt nur die Energie- und Exergieflüsse der Heizungsanlage dar. Die hellgrüne und die orange Linien repräsentieren den regenerativen Bestandteil, der hauptsächlich in der Primärenergieumwandlung und in der Erzeugung von Bedeutung ist, da ab der Speicherung keine Aussage mehr darüber getroffen werden kann, ob die Energie aus der regenerativen oder fossilen Quelle entnommen wird. Solare Gewinne durch z.B. Fenster werden durch die orange und die dunkelblaue dünn gestrichelten Linien dargestellt. Durch diese Gewinne steht letztendlich mehr Energie für den Raum zur Verfügung als ohne interne und solare Gewinne. Mit dieser Aussage kann dann entschieden werden, ob diese Heizenergie wirklich benötigt wird, oder ob man sie in Abhängigkeit von den Gewinnen auch herabsetzen kann. Dies spielt eine große Rolle bei der Planung der Regelungsanlage für das Gebäude.

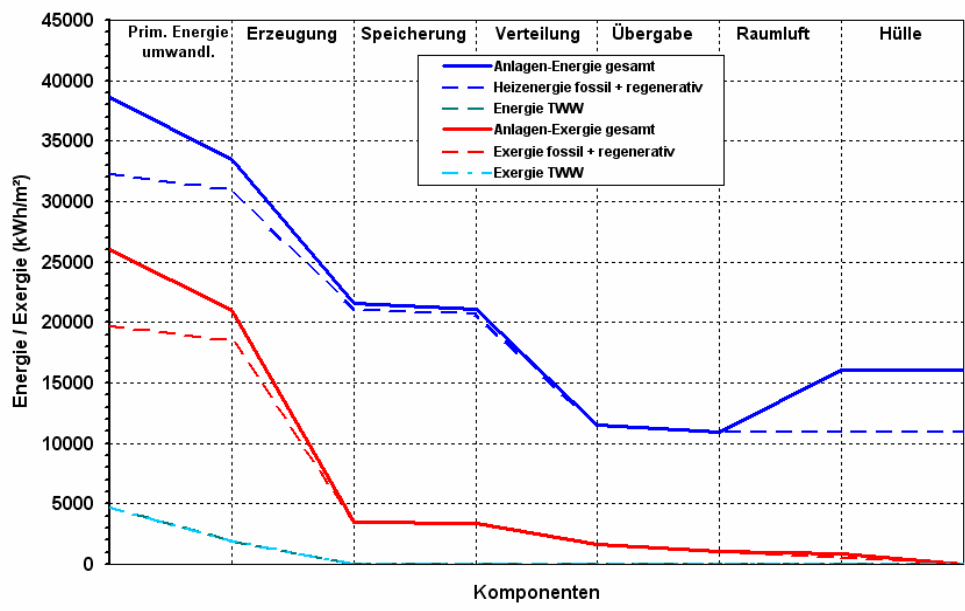


Bild 4.2: Exergie- und Energiefluss durch die Komponenten des Heizungs- und Trinkwarmwassersystems.

Im zweiten Diagramm (Bild 4.2) wird die Trinkwarmwasserbereitung ergänzt, wodurch ihr Einfluss auf die Gesamt-Energie-/ Exergiebilanz ersichtlich wird.

In der Bild 4.3 werden alle Energie- und Exergieverluste herausgegriffen und einzeln für die Komponenten dargestellt. Sobald negative Energieverluste auftreten heißt dies, dass Energiegewinne in dieser Komponente, z.B. solare Gewinne, zu verzeichnen sind. Die Exergie darf jedoch nie negativ werden!

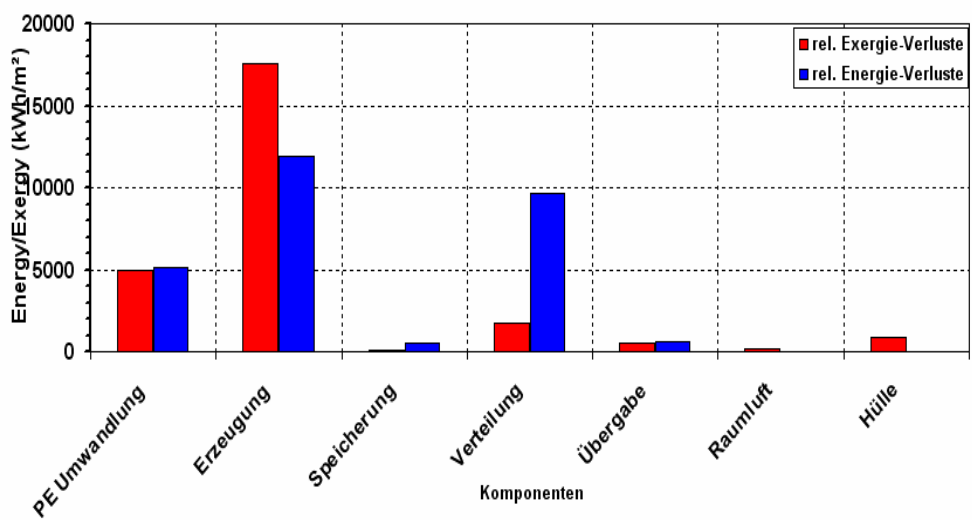


Bild 4.3: Exergie- Verluste/ Aufteilung nach Komponenten.

Die folgenden beiden Diagramme (Bild 4.4 und 4.5) stellen die Energie-/Exergiedeckung im Vergleich zum Energie-/Exergiebedarf dar. Entsprechend dem 1. Hauptsatz der Thermodynamik der besagt, dass die Deckung gleich dem Bedarf sein muss, da keine Energie verloren gehen kann, muss der Wert für Deckung und Bedarf gleich groß sein.

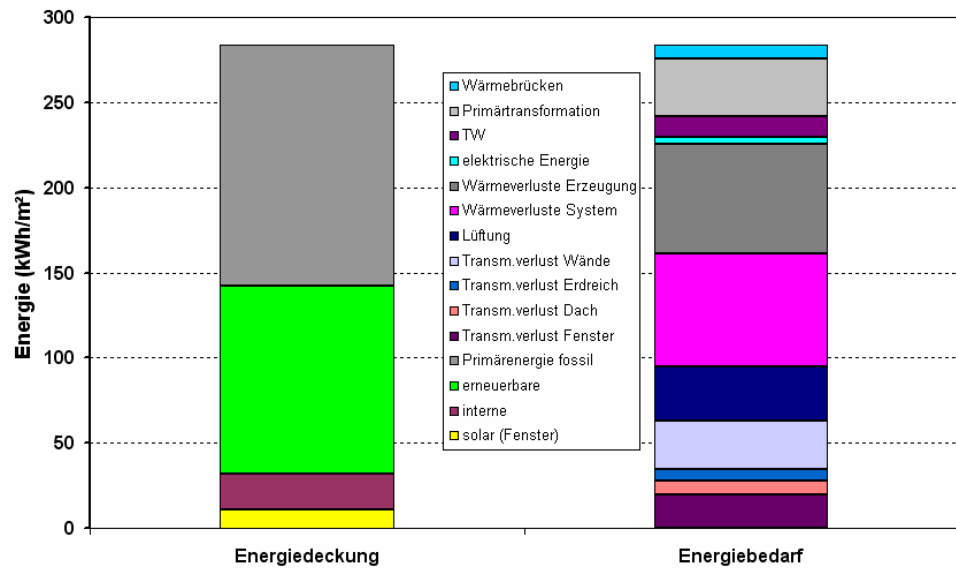


Bild 4.4: Energiedeckung- und bedarf.

Außerdem wird ersichtlich, dass die größten Verluste in der Primärenergieumwandlung (grau) auftreten, also in einem Teil, der kein Gebäudebestandteil ist. Dasselbe ist für die Ergebnisse der Exergieanalyse zutreffend, die in Bild 4.5 dargestellt sind.

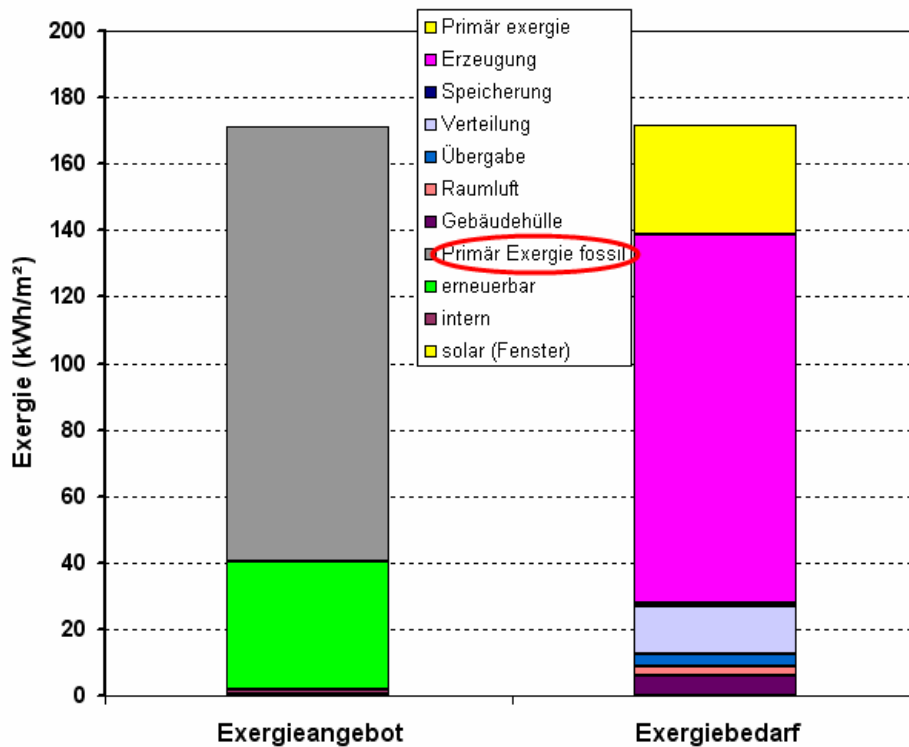





Bild 4.5: Exergieangebot und -bedarf.

Der Anwender kann dieses Werkzeug zum Beispiel auch zur Studie der:

- Auswirkung von Verbesserungen an der Gebäudehülle im Vergleich zu Verbesserungen in der Gebäudeausrüstung,
- Systemflexibilität und die mögliche Integration der Quellen der erneuerbaren Energie in Gebäudesysteme,
- Integration der Wärmepumpen in das Gebäudedesign und
- Integration der ausgeglichenen Lüftungssysteme
- Optimierung der Anlagenkomponenten

verwenden.

Anhang A - Berechnungsblatt

 		Berechnungsblatt Exergiebedarf zur Wärme- versorgung von Gebäuden Heizperiodenbilanz-Verfahren (in Anlehnung an IEA Annex 37)					
Objekt: EFH_Sicke							
1. Gebäudedaten, Randbedingungen							
1	Volumen (aussen) [m³]	$V_e =$	851,8	$V_i =$	495,4	$V_2 =$	
2	Nutzfläche [m²]	$A_N =$	208,6				
3	Anzahl der Heiztage (10°C)	$d_{HP} =$	211	Region 5 Braunschweig			
4	Lufttemperatur innen [°C]	$\theta_i =$	19				
5	Lufttemperatur mittl., HP [°C]	$\theta_e =$	5,2	= θ_{ref} Referenztemperatur			
6							
7	2. Wärmeverluste						
8	2.1 Transmissionsverluste H_T [WK]						
9	Gebäudeteile	Symbole	Fläche A_i [m²]	Wärmedurchgangskoeffizient U_i bzw. ΔU_{WB} [W/m²K]	$U_i * A_i$ [WK]	Temperaturkorrekturfaktor $F_{T,i}$ [-]	$U_i * A_i * F_{T,i}$ [WK]
10	Außenwand	AW 1	51,41	0,23	11,82	1	11,82
11		AW 2	32,38	0,23	7,45	1	7,45
12		AW 3	37,80	0,23	8,69	1	8,69
13		AW 4	29,77	0,23	6,85	1	6,85
14	Fenster (Rohbaumaße)	W 1 (Nord)	4,08	1,5	6,12	1	6,12
15		W 2 (Süd)	10,9	1,5	16,35	1	16,35
16		W 3 (Ost)	8,83	1,7	15,01	1	15,01
17		W 4 (West)	12,35	1,80	22,23	1	22,23
18	Tür	T 1	1,90	3,00	5,70	1	5,70
19	Dach	D 1	71,27	0,21	14,97	1	14,97
20		D 2	70,35	0,21	14,77	1	14,77
21		D 3					
22	oberste Geschossdecke	D 4					
23		D 5					
24	Wand zum Dachgeschoss (Abseitenwand)	AbW 1					
25		AbW 2					
26	Wand- und Deckenflächen zu unbeheizten Räumen	uhW 1					
27		uhW 2					
28	Flächen der Kellerräume zum Erdreich	G 1	110	0,5	55,00	0,8	44,00
29		G 2					
30		G 3					
31		G 4					
32		G 5					
33	Gesamtfläche	$\Sigma A_i = A =$	441,04				
34	Wärmebrücken	$H_{WB} =$	$A * \Delta U_{WB}$	0,05			22,05
35	Transmissionswärmeverlust [WK]	$H_T = \Sigma (U_i * A_i * F_{T,i})$					$H_T =$ 196,02
36	2.2 Lüftungswärmeverlust H_V [WK]						
37	maschinelle oder Fensterlüftung						
38	Luftwechselrate [1/h]	$n_A =$	0,7	$n =$	0,7		
39	Wärmerückgewinnungsgrad [-]	$\eta_V =$					
40	Lüftungswärmeverlust [WK]	$H_V =$	$c_p * \rho * V * n$				$H_V =$ 116,16
			0,34	* 346,76			
41	3. Wärmegewinne						
42	3.1 Solare Wärmegewinne $Q_{S,HP}$ [kWh/a]						
43	Fensterrahmenanteil [-]	$F_r =$	0,3				
44	Ausrichtung	Sonneneinstrahlung $I_{s,j}$ [kWh/m²]	Sonnenschutzvorrichtung F_c [-]	Verschattung F_s [-]	Fensterfläche A_{Wj} [m²]	Gesamtergiegedurchlassgrad g_L [-]	$I_{s,j} * (1-F_r) * F_s * F_c * A_{Wj} * g_L$ [kWh/a]
45	Nord	146	1,0	1,0	4,08	0,50	187,64
46	Süd	367	1,0	1,0	10,90	0,50	1.260,09
47	Ost	227	1,0	1,0	8,83	0,50	631,39
48	West	227	1,0	1,0	12,35	0,50	883,09
49	Andere	227	1,0	1,0	1,90	0,40	108,69
50	Andere						
51	Dachfenster	320	1,0	1,0	6,44	0,60	778,98
52	Solare Wärmegewinne [kWh/a]	$Q_{S,HP} = \Sigma (I_{s,j} * (1-F_r) * A_{Wj} * F_s * F_c * g_L)$					$Q_{S,HP} =$ 3.849,88

53	3.2 Interne Wärmegewinne $Q_{i,HP}$ [kWh/a]		
54	mittlere interne Wärmeleistung [W/m ²]	$q_i =$	
55	Anzahl der Bürostunden [h]	$t_b =$	
55	interne Wärmegewinne [kWh/a]	$Q_{i,HP} = 22 \cdot A_N \text{ bzw. } 0.024 \cdot q_i \cdot A_N \cdot d_{HP}$ $Q_{i,HP} = 22 \cdot 208,58$	$Q_{i,HP} = 4.588,67$
56	4. sonstige Gewinne		
57	sonstige Gewinne [kWh/m ²]	$q_{soest} =$	
58	sonstige Gewinne [kWh/a]	$Q_{soest} = q_{soest} \cdot A_N$ $Q_{soest} = \cdot 208,58$	$Q_{soest} =$
59	4.1 Trinkwassererzeugung		
60	Energiebedarf [W]	$Q_{WV} = 12,50$	
60	Warmwasserbereitung [W]	$Q_{WV} =$	
61	5. Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a]		
62	Jahres-Heizwärmebedarf [kWh/a]: $Q_h = (FF_T + FF_V) \cdot 66 - \eta_{HP} \cdot (Q_{i,HP} + Q_{i,HP})$ $Q_h = 20.603,87 - 8.016,62$		$Q_h = 12.587,24$
63	spez. Heizwärmebedarf [kWh/m ²]	$Q_h^* = Q_h / A_N$ $Q_h^* = 12.587,24 / 208,58$	$Q_h^* = 60,35$
64	6. Wärmeproduktion und -abgabe		
65	Erzeugung: Quelle 1: <input type="text" value="verbessertes Brennwärtekessel 55/45"/> Anteil Quelle 2: <input type="text" value="0%"/> Quelle 2: <input type="text"/>	Nutzungsgrad $\eta_{Ge1,S1}$ [-]	0,98
		Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen $F_{Env,HP,S1}$ [-]	
		Primärenergieumwandlungsfaktor fossil $f_{p,Ge1,S1}$ [-]	1,10
		Primärenergieumwandlungsfaktor regenerativ $f_{p,Re1,S1}$ [-]	
		Qualitätsfaktor fossil $q_{q,Ge1,S1}$ [-]	0,90
		Qualitätsfaktor regenerativ $q_{q,Re1,S1}$ [-]	
		Max. Versorgungstemperatur $\theta_{S1,max}$ [°C]	70,00
		Hilfsenergie $q_{Ge1,HE,S1}$ [kWh/m ² a]	0,63
		Hilfsenergie konst. $q_{Ge1,soest,HE,S1}$ [kWh/a]	
		spezifische CO ₂ Emission $CO_{2,Ge1,S1}$ [g/kWh _{end}]	
		Nutzungsgrad $\eta_{Ge1,S2}$ [-]	
		Faktor Umweltenergie für Wärmepumpen $F_{Env,HP,S2}$ [-]	
		Primärenergieumwandlungsfaktor fossil $f_{p,Ge1,S2}$ [-]	
		Primärenergieumwandlungsfaktor regenerativ $f_{p,Re1,S2}$ [-]	
		Qualitätsfaktor fossil $q_{q,Ge1,S2}$ [-]	
Qualitätsfaktor regenerativ $q_{q,Re1,S2}$ [-]			
Max. Versorgungstemperatur $\theta_{S1,max}$ [°C]			
Hilfsenergie $q_{Ge1,HE,S2}$ [kWh/m ² a]			
Hilfsenergie konst. $q_{Ge1,soest,HE,S2}$ [kWh/a]			
spezifische CO ₂ Emission $CO_{2,Ge1,S2}$ [g/kWh _{end}]			
Anteil Quelle 1 F_{S1} [-]	100%		
Anteil Quelle 2 F_{S2} [-]	0%		
Nutzungsgrad η_S [-]	0,95		
66	Speicherung: <input type="text" value="Kleinspeicher <100l"/>	Hilfsenergie $q_{s,HE}$ [kWh/m ² a]	0,41
		Solaranteil F_{Sol} [-]	
67	Verteilung: Kesselstandort: <input type="text" value="innerh. therm. Hülle"/> Dämmung: <input type="text" value="gut isoliert"/> Auslegungstemp.: <input type="text" value="mittel (<50°C)"/> Temperaturabfall: <input type="text" value="gering (<5K)"/>	Wärmeverlust/ Nutzungsgrad η_b [-]	0,91
		Hilfsenergie $q_{d,HE}$ [kWh/m ² a]	1,13
		Vorlauftemperatur θ_{Vn} [°C]	50,00
		Rücklauftemperatur θ_{ret} [°C]	40,00
68	Übergabe: <input type="text" value="wandheizung"/>	Hilfsenergie $q_{oe,HE}$ [kWh/m ² a]	
		Max. Wärmeleistung $P_{V,max}$ [W/m ²]	150,00
		Nutzungsgrad η_{oe} [-]	0,95
		Brauchwasserbedarf V_{WV} [l/pers·d]	45,00
69	Trinkwasserbereitung: Quelle1: <input type="text" value="Wohnung; Erzeugung mit Heizungsanlage"/> <input type="text" value="mit Zirkulationsleitung"/> Anteil Quelle 2: <input type="text" value="0%"/> Quelle 2: <input type="text" value="keine Brauchwassererwärmung"/>	Nutzungsgrad $\eta_{G,W,S1}$ [-]	0,98
		Primärenergiefaktor $f_{p,Ge1,W,S1}$ [-]	1,10
		Primärenergiefaktor $f_{p,Re1,W,S1}$ [-]	
		Qualitätsfaktor Energiequelle $q_{q,Ge1,W,S1}$ [-]	
		Qualitätsfaktor Energiequelle $q_{q,Re1,W,S1}$ [-]	
		Brauchwasserbedarf V_{WV} [l/pers·d]	
		Nutzungsgrad $\eta_{G,W,S2}$ [-]	
		Primärenergiefaktor $f_{p,Ge1,W,S2}$ [-]	
		Primärenergiefaktor $f_{p,Re1,W,S2}$ [-]	
		Qualitätsfaktor Energiequelle $q_{q,Ge1,W,S2}$ [-]	
		Qualitätsfaktor Energiequelle $q_{q,Re1,W,S2}$ [-]	
		Anteil Quelle 1 $F_{W,S1}$ [-]	100%
Anteil Quelle 2 $F_{W,S2}$ [-]	0%		

7. Ergebnis der Exergieberechnung				
70				
71	Carnot-Faktor Raumluf [-]:	$F_{q,r} = 1 - T_e / T_h$ $F_{q,r} = 0,05$	$F_{q,r} = 0,05$	Gebäudehülle
72	Jahres-Exergiebedarf Raumheizung [kWh/a]:	$Ex_r = Q_1 * F_{q,r}$ $Ex_r = 12.587,24 * 0,05$	$Ex_r = 594,57$	
73	Heiztemperatur [°C]:	$\theta_1 = \Delta\theta/2 + \theta_1$ $\theta_1 = 12,84 + 19,00$	$\theta_h = 31,84$	Raumluf
74	Carnot-Faktor Wärmeabgabe	$F_{q,h} = 1 - T_e / T_1$ $F_{q,h} = 0,09$	$F_{q,h} = 0,09$	
75	Jahres-Exergiebedarf Wärmeabgabe [kWh/a]:	$Ex_h = Q_1 * F_{q,h}$ $Ex_h = 12.587,24 * 0,09$	$Ex_h = 1.099,39$	Übergabe
76	Wärmeverlust Übergabe [kWh/a]:	$H_{k,oe} = Q_1 * (1/\eta_{oe}-1)$ $H_{k,oe} = 12.587,24 * 0,05$	$H_{k,oe} = 662,49$	
77	Hilfsenergie Übergabe [kWh/a]	$q_{oe,HE} = q_{oe,HE} * A_N$ $q_{oe,HE} = 208,58$	$q_{oe,HE} =$	Übergabe
78	Exergiebedarf Übergabe [kWh/a]:	$\Delta Ex_{oe} = \{ (Q_1 + H_{k,oe}) / (\theta_h - \theta_{ref}) \} * \{ (\theta_h - \theta_{ref}) - T_{ref} * \ln (T_h / T_{ref}) \} - Ex_h$ $\Delta Ex_{oe} = 1.324,97 * 1,25 - 1099,39$	$\Delta Ex_{oe} = 557,17$	
79	Exergie Übergabe [kWh/a]:	$Ex_{oe} = Ex_h + \Delta Ex_{oe}$ $Ex_{oe} = 1.099,39 + 557,17$	$Ex_{oe} = 1.656,56$	Übergabe
80	Energie Übergabe [kWh/a]:	$Q_{oe} = Q_1 + H_{k,oe}$ $Q_{oe} = 12.587,24 + 662,49$	$Q_{oe} = 13.249,73$	
81	Wärmeverlust Verteilung [kWh/a]:	$H_{k,d} = Q_{oe} * (1/\eta_D-1)$ $H_{k,d} = 13.249,73 * 0,10$	$H_{k,d} = 1.272,43$	Verteilung
82	Hilfsenergie Verteilung [kWh/a]	$q_{d,HE} = q_{d,HE} * A_N$ $q_{d,HE} = 1,13 * 208,58$	$q_{d,HE} = 235,69$	
83	Exergiebedarf Verteilung [kWh/a]:	$\Delta Ex_d = \{ H_{k,d} / \Delta T_d \} * \{ \Delta T_d - T_{ref} * \ln (T_d / (T_d - \Delta T_d)) \}$ $\Delta Ex_d = 254,49 * 0,66$	$\Delta Ex_d = 167,84$	Verteilung
84	Exergie Verteilung [kWh/a]:	$Ex_d = Ex_{oe} + \Delta Ex_d$ $Ex_d = 1.656,56 + 167,84$	$Ex_d = 1.824,40$	
85	Energie Verteilung [kWh/a]:	$Q_d = Q_{oe} + H_{k,d}$ $Q_d = 13.249,73 + 1.272,43$	$Q_d = 14.522,16$	Verteilung
86	Wärmeverlust Speicherung [kWh/a]:	$H_{k,s} = Q_d * (1/\eta_S-1)$ $H_{k,s} = 14.522,16 * 0,05$	$H_{k,s} = 764,32$	
87	Hilfsenergie Speicherung [kWh/a]:	$q_{s,HE} = q_{s,HE} * A_N$ $q_{s,HE} = 0,41 * 208,58$	$q_{s,HE} = 85,52$	Speicherung
88	Exergiebedarf Speicherung [kWh/a]:	$\Delta Ex_s = \{ H_{k,s} / \Delta T_s \} * \{ \Delta T_s - T_{ref} * \ln ((T_d + \Delta T_d) / (T_d + \Delta T_d - \Delta T_s)) \}$ $\Delta Ex_s = 277,94 * 0,41$	$\Delta Ex_s = 113,26$	
89	Exergie Speicherung [kWh/a]:	$Ex_s = Ex_d + \Delta Ex_s$ $Ex_s = 1.824,40 + 113,26$	$Ex_s = 1.937,66$	Speicherung
90	Energie Speicherung [kWh/a]:	$Q_s = (Q_d + H_{k,s}) * (1-F_{so})$ $Q_s = 14.522,16 + 764,32 * 1$	$Q_s = 15.286,48$	
91	Wärmebedarf Erzeugung [kWh/a]:	$Q_{gen,S1} = Q_s * F_{S1}$ $Q_{gen,S1} = 15.286,48 * 1,00$ $Q_{gen,S2} = Q_s * F_{S2}$ $Q_{gen,S2} = 15.286,48 *$	$Q_{gen,S1} = 15.286,48$ $Q_{gen,S2} =$	Speicherung
92	Wärmeverlust Erzeugung [kWh/a]:	$H_{k,gen,S1} = Q_{gen,S1} * (1/\eta_{gen,S1}-1) + (Q_{gen,S1}/\eta_{gen,S1}) * F_{ex,HP,S1}$ $H_{k,gen,S1} = 311,97 + 15.598,45 *$ $H_{k,gen,S2} = Q_{gen,S2} * (1/\eta_{gen,S2}-1) + (Q_{gen,S2}/\eta_{gen,S2}) * F_{ex,HP,S2}$ $H_{k,gen,S2} =$	$H_{k,gen,S1} = 311,97$ $H_{k,gen,S2} =$	
93	Hilfsenergie Erzeugung [kWh/a]:	$q_{gen,HE,S1} = q_{gen,HE,S1} * A_N$ $q_{gen,HE,S1} = 0,63 * 208,58$ $q_{gen,HE,S2} = q_{gen,HE,S2} * A_N$ $q_{gen,HE,S2} = 208,58$	$q_{gen,HE,S1} = 130,88$ $q_{gen,HE,S2} =$	Speicherung
94	Energie Erzeugung [kWh/a]:	$En_{gen,ex,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,ex,S1} / (f_{p,ex,S1} + f_{p,rel,S1})$ $En_{gen,ex,S1} = 15.598,45 * 1,00$ $En_{gen,rel,S1} = Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1} * f_{p,rel,S1} / (f_{p,ex,S1} + f_{p,rel,S1}) + (Q_{gen,S1} / \eta_{gen,S1}) * F_{ex,HP,S1}$ $En_{gen,rel,S1} = 15.598,45 * +$	$En_{gen,ex,S1} = 15.598,45$ $En_{gen,rel,S1} =$	

94		$EN_{gei,tos,s2} = Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2} * f_{p,tos,s2} / (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2})$ $EN_{gei,tos,s2} =$ $EN_{gen,toi,s2} =$ $EN_{gei,rei,s2} = Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2} * f_{p,rei,s2} / (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2}) + (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2}$ $EN_{gei,rei,s2} =$	
95	Exergie Erzeugung [kWh/a]:	$EX_{gei,tos,s1} = Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1} * f_{p,tos,s1} / (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1}) * f_{q,tos,s1}$ $EX_{gei,tos,s1} = 15.598,45 * 1,00 * 0,90$ $EX_{gen,toi,s1} = 14.038,61$ $EX_{gei,rei,s1} = Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1} * f_{p,rei,s1} / (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1}) * f_{q,rei,s1} + (Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1}) * F_{eu,HP,s1} * f_{q,rei,s1}$ $EX_{gei,rei,s1} =$	
		$EX_{gen,ren,s1} =$ $EX_{gei,tos,s2} = Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2} * f_{p,tos,s2} / (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2}) * f_{q,tos,s2}$ $EX_{gei,tos,s2} =$ $EX_{gen,toi,s2} =$ $EX_{gei,rei,s2} = Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2} * f_{p,rei,s2} / (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2}) * f_{q,rei,s2} + (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2} * f_{q,rei,s2}$ $EX_{gei,rei,s2} =$	
	Hilfsenergie Trinkwasser [kWh/a]:	$Q_{W,HE} = Q_{W,HE} * A_N$ $Q_{W,HE} = 2,00 * 208,58$ $Q_{W,HE} = 417,15$	
96	Trinkwassererzeugung Energiebedarf [kWh/a]	$EN_{W,tos,s1} = Q_W * A_N / \eta_{G,W,S1} * f_{p,tos,W,S1} / (f_{p,tos,W,S1} + f_{p,rei,W,S1}) * F_{W,S1}$ $EN_{W,tos,s1} = 2.660,41 * 1,00 * 1,00$ $EN_{W,toi,s1} = 2.660,41$ $EN_{W,rei,s1} = Q_W * A_N / \eta_{G,W,S1} * f_{p,rei,W,S1} / (f_{p,tos,W,S1} + f_{p,rei,W,S1}) * F_{W,S1}$ $EN_{W,rei,s1} = 2.660,41 * 1,00 * 1,00$	
		$EN_{W,tos,s2} = Q_W * A_N / \eta_{G,W,S2} * f_{p,tos,W,S2} / (f_{p,tos,W,S2} + f_{p,rei,W,S2}) * F_{W,S2}$ $EN_{W,tos,s2} =$ $EN_{W,rei,s2} = Q_W * A_N / \eta_{G,W,S2} * f_{p,rei,W,S2} / (f_{p,tos,W,S2} + f_{p,rei,W,S2}) * F_{W,S2}$ $EN_{W,rei,s2} =$	
97	Trinkwassererzeugung Exergiebedarf [kWh/a]	$EX_{W,tos,s1} = EN_{W,tos,s1} * f_{q,tos,W,S1}$ $EX_{W,tos,s1} = 2.660,41 * 1,00$ $EX_{W,toi,s1} = 2.660,41$ $EX_{W,rei,s1} = EN_{W,rei,s1} * f_{q,rei,W,S1}$ $EX_{W,rei,s1} = 2.660,41 * 1,00$	
		$EX_{W,tos,s2} = EN_{W,tos,s2} * f_{q,tos,W,S2}$ $EX_{W,tos,s2} =$ $EX_{W,rei,s2} = EN_{W,rei,s2} * f_{q,rei,W,S2}$ $EX_{W,rei,s2} =$	
98	Hilfsenergie/-exergie [kWh/a]:	$P_{ts,HE} = (\sum Q_{HE,i}) * f_{p,tos} / (f_{p,tos} + f_{p,rei})$ $P_{ts,HE} = 869,24 * 0,90$ $P_{toi,HE} = 782,32$ $P_{rei,HE} = (\sum Q_{HE,i}) * f_{p,rei} / (f_{p,tos} + f_{p,rei})$ $P_{rei,HE} = 869,24 * 0,10$ $P_{ren,HE} = 86,92$	
99	Energie der Anlage [kWh/a]:	$P_{plant} = P_{ts,HE} + P_{rei,HE}$ $P_{plant} = 782,32 + 86,92$ $P_{plant} = 869,24$	
100	Exergie der Anlage [kWh/a]:	$EX_{plant} = P_{plant}$ $EX_{plant} = 869,24$ $EX_{plant} = 869,24$	
101	Primärenergie Heizung [kWh/a]:	$EN_{prim,tos,s1} = EN_{gei,tos,s1} * (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1})$ $EN_{prim,tos,s1} = 15.598,45 * 1,10$ $EN_{prim,toi,s1} = 17.158,30$ $EN_{prim,rei,s1} = (EN_{gei,rei,s1} - (Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1}) * F_{eu,HP,s1}) * (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1}) + (Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1}) * F_{eu,HP,s1}$ $EN_{prim,rei,s1} =$	
		$EN_{prim,tos,s2} = EN_{gei,tos,s2} * (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2})$ $EN_{prim,tos,s2} =$ $EN_{prim,rei,s2} = (EN_{gei,rei,s2} - (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2}) * (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2}) + (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2}$ $EN_{prim,rei,s2} =$	
102	Exergie input [kWh/a]:	$EX_{prim,tos,s1} = EX_{gei,tos,s1} * (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1})$ $EX_{prim,tos,s1} = 14.038,61 * 1,10$ $EX_{prim,toi,s1} = 15.442,47$ $EX_{prim,rei,s1} = (EX_{gei,rei,s1} - (Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1}) * F_{eu,HP,s1}) * (f_{p,tos,s1} + f_{p,rei,s1}) + (Q_{gei,s1} / \eta_{gei,s1}) * F_{eu,HP,s1} * f_{q,rei,s1}$ $EX_{prim,rei,s1} =$	
		$EX_{prim,tos,s2} = EX_{gei,tos,s2} * (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2})$ $EX_{prim,tos,s2} =$ $EX_{prim,rei,s2} = (EX_{gei,rei,s2} - (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2}) * (f_{p,tos,s2} + f_{p,rei,s2}) + (Q_{gei,s2} / \eta_{gei,s2}) * F_{eu,HP,s2} * f_{q,rei,s2}$ $EX_{prim,rei,s2} =$	

Erzeugung

Endung

103	Wärmeverlust Primärenergie- übertragung [kWh/a]:	$H_{ls,prim,S1} = (E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,rei,S1}) - (E_{n,gei,bs,S1} + E_{n,gei,rei,S1})$ $H_{ls,prim,S1} = 17.158,30 - 15.598,45$ $H_{ls,prim,S2} = (E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S2}) - (E_{n,gei,bs,S2} + E_{n,gei,rei,S2})$ $H_{ls,prim,S2} = -$	$H_{ls,prim,S1} = 1.559,85$ $H_{ls,prim,S2} =$	Energieum-
104	Trinkwasser Primär Energie [kWh/a]:	$E_{n,prim,W} = E_{n,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{n,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} +$ $E_{n,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{n,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}$ $E_{n,prim,W} = 2.926,45 + + +$ $+ 1.126,31$	$E_{n,prim,W} = 4.052,76$	
105	Trinkwasser Primär Exergie [kWh/a]:	$E_{x,prim,W} = E_{x,W,bs,S1} * f_{p,bs,W,S1} + E_{x,W,rei,S1} * f_{p,rei,W,S1} +$ $E_{x,W,bs,S2} * f_{p,bs,W,S2} + E_{x,W,rei,S2} * f_{p,rei,W,S2}$ $E_{x,prim,W} = + + +$	$E_{x,prim,W} =$	
106	Hilfsenergie primär [kWh/a]:	$P_{prim,plant} = P_{bs,HE} * f_{p,el,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,el,rei}$ $P_{prim,plant} = 2.112,25 + 26,08$	$P_{prim,plant} = 2.138,33$	
107	Exergie primär [kWh/a]:	$E_{x,prim,plant} = P_{bs,HE} * f_{p,el,bs} + P_{rei,HE} * f_{p,el,rei}$ $E_{x,prim,plant} = 2.112,25 + 26,08$	$E_{x,prim,plant} = 2.138,33$	
108	Energieinput primär [kWh/a]:	$E_{n,in,Tot} = (E_{n,prim,bs,S1} + E_{n,prim,bs,S2} + E_{n,prim,rei,S1} + E_{n,prim,rei,S2}) + P_{prim,plant} + E_{n,prim,W}$ $E_{n,in,Tot} = 17.158,30 + 2.138,33 + 4.052,76$	$E_{n,in,Tot} = 23.349,39$	
109	Totaler Exergieinput [kWh/a]:	$E_{x,in,Tot} = (E_{x,prim,bs,S1} + E_{x,prim,bs,S2} + E_{x,prim,rei,S1} + E_{x,prim,rei,S2}) + E_{x,prim,plant} + E_{x,prim,W}$ $E_{x,in,Tot} = 15.442,47 + 2.138,33 +$	$E_{x,in,Tot} = 17.580,80$	

⁰ 0,9 für nicht senkrechte Einstrahlung

Ergebnisse in Kennzahlen	gesamt kWh/a	pro Fläche kWh/m²a	pro Volumen kWh/m³a
Endenergie	16.117	77,27	24,73
Primärenergiebedarf (Gesamt)	23.349	111,95	35,82
Heizwärmebedarf	12.587	60,35	19,31
Gesamt-Exergiezufuhr (Prim.-/Reg.Energie + int./solare Wärmegewinne + Hilfsenergie)	17.581	84,29	26,97
Totale Exergiezufuhr (Gesamt-Exergiezufuhr + Tw)	17.581	84,29	26,97
Gesamt-Exergieeffizienz (Anlagenexergie Raum / Gesamtexergie)	3%		
Exergie-Flexibilitätsfaktor (Exergiebedarf Übergabe/ Exergiebedarf Gesamt)	10%		

Ergebnisse der Berechnung

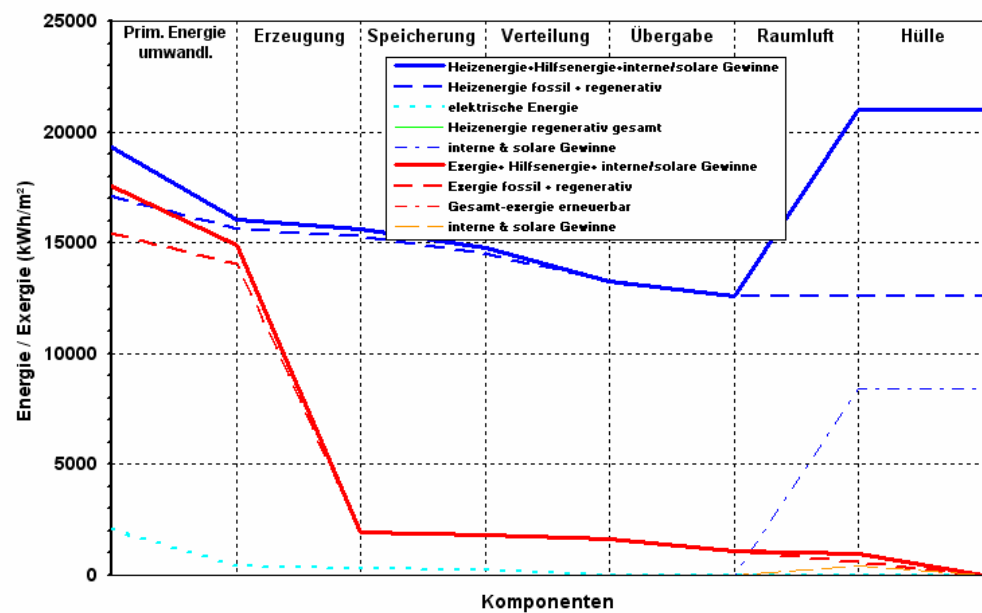


Abbildung 1: Exergie- und Energiefluss durch die Komponenten ohne Trinkwassererwärmung

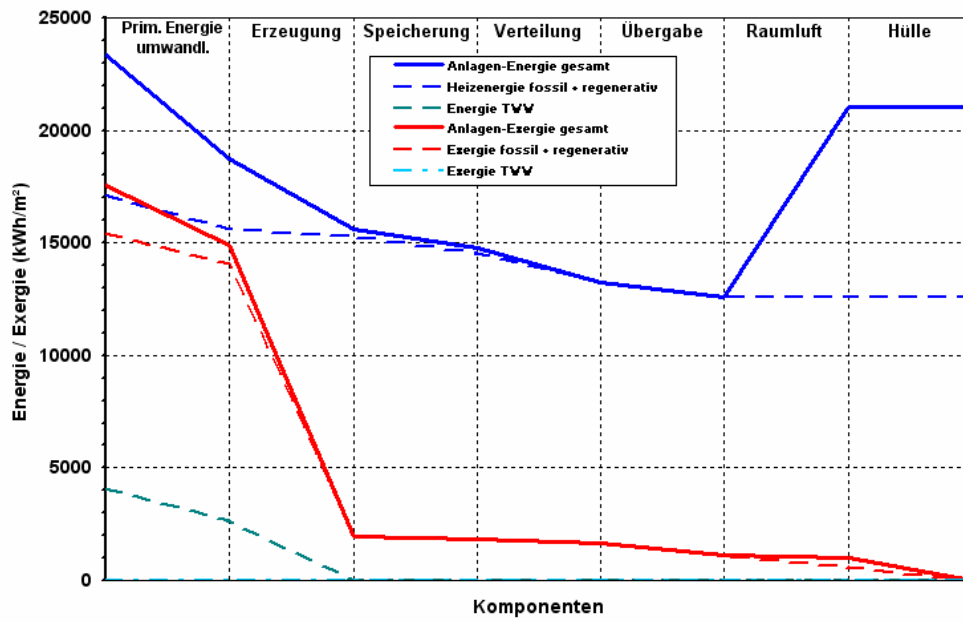


Abbildung 2: Exergie- und Energiefluss durch die Komponenten gesamt mit Trinkwassererwärmung

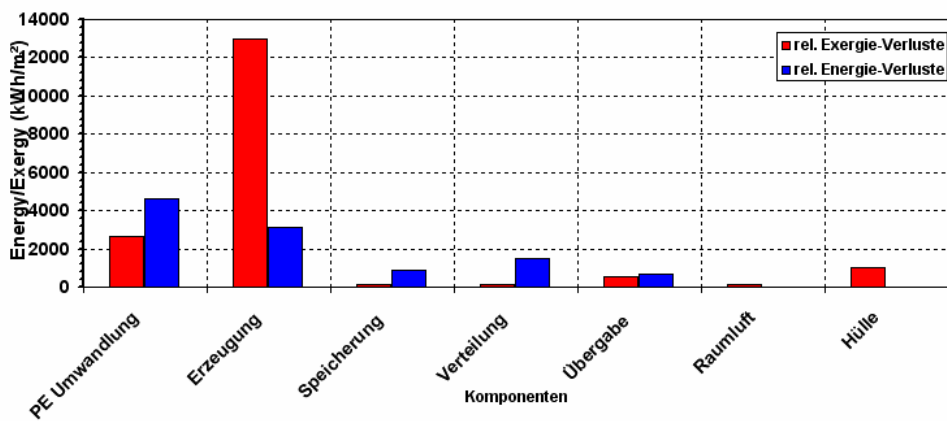


Abbildung 3: Exergie-Verluste / Aufteilung nach Komponenten

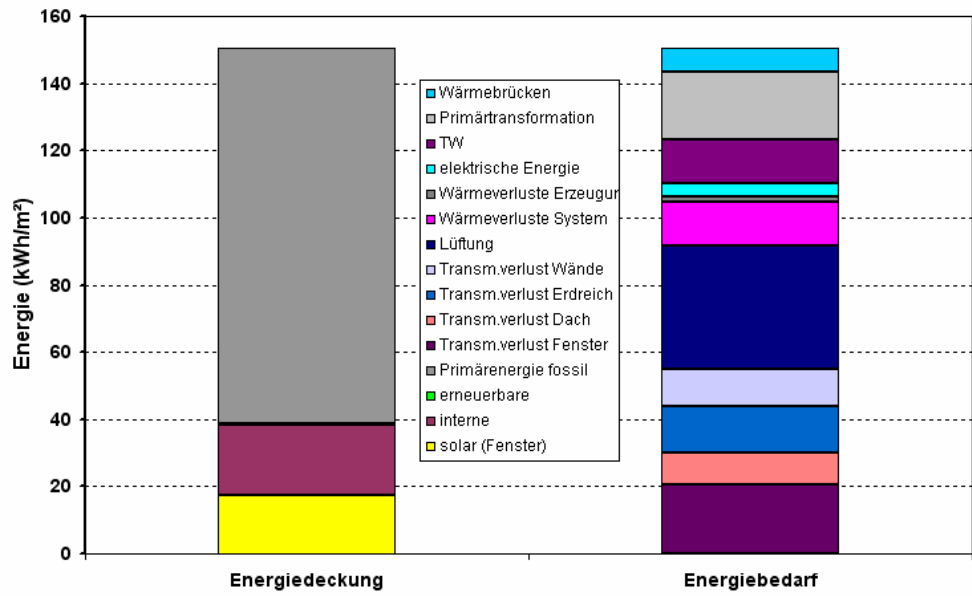
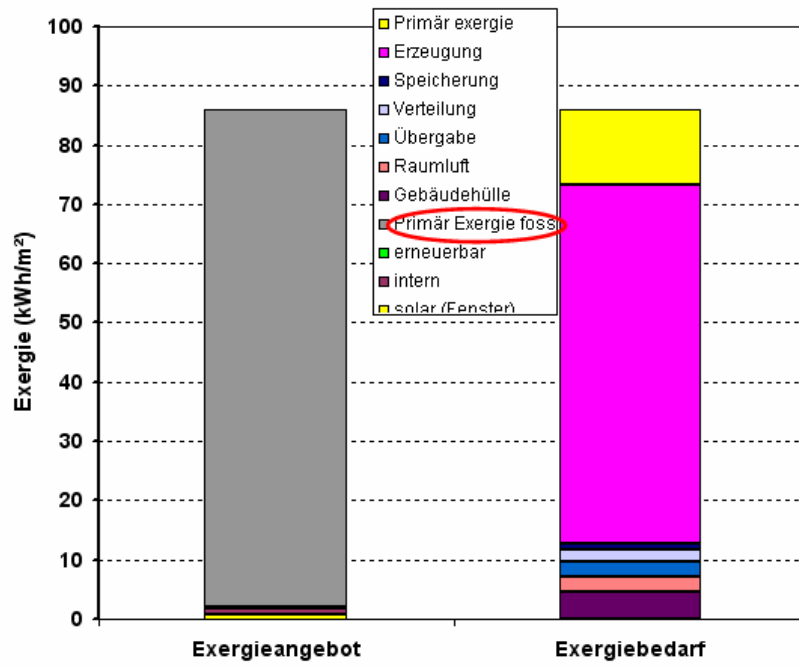


Abbildung 4: Energiegewinne und -verluste



Anhang B

Wahl des Temperaturkorrekturfaktors F_x , entsprechend DIN V Nr. 4108-6.
Wärmefluss zur Außenseite über: F_x

Tab. B.1: Temperatur-Korrekturfaktor.

Zeile	Wärmestrom nach außen über	Temperatur-Korrekturfaktor F_x ^{f)}
1	Außenwand, Fenster, Decke über Außenluft	1,0
2	Dach (als Systemgrenze)	1,0
3	Dachgeschossdecke (Dachraum nicht ausgebaut)	0,8
4	Wände und Decken zu Abseiten (Drempel)	0,8
5	Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	0,5
6	Wände u. Decken zu niedrig beheizten Räumen ^{e)}	0,35
7	Wände und Fenster zu unbeheiztem Glasvorbau bei einer Verglasung des Glasvorbau mit: Einfachverglasung	0,8
8	Zweischeibenverglasung	0,7
9	Wärmeschutzverglasung	0,5
10	Flächen des beheizten Kellers: Fußboden des beheizten Kellers	0,2-0,45
11	Wand des beheizten Kellers	0,4-0,6
12	Fußboden ^{c)} auf dem Erdreich ohne Randdämmung	0,25-0,6
13	Fußboden ^{c)} auf dem Erdreich mit Randdämmung ^{d)} : - 5 m breit, waagrecht	0,2-0,3
14	- 2 m tief, senkrecht	0,15-0,25
15	Kellerdecke und Kellerinnenwand: zum unbeheizten Keller mit Perimeter-dämmung	0,45-0,55
16	- zum unbeheizten Keller ohne Perimeter-dämmung	0,55-0,7
17	Aufgeständerter Fußboden	0,9
18	Bodenplatte von niedrig beheizten Räumen: ^{e)}	0,1-0,55
	c) Bei fließendem Grundwasser erhöhen sich die Temperatur-Korrekturfaktoren um 15%. d) Bei einem Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung > 2 m ² ·K/W; Bodenplatte ungedämmt; siehe auch Bild 2 und 3 in DIN EN ISO 13370:1998-12; e) Räume mit Innentemperaturen zwischen 12 °C und 19 °C; f) Die Werte (außer Zeile 6 und 12-14) gelten analog auch für Flächen niedrig beheizter Räume.	

Für weitere Erklärungen siehe deutsche Norm DIN V 4108-6.

Anhang C

Gleichungen, Daten und Betrachtungen, die in den relevanten Abschnitten des Tools verwendet wurden.

Gleichungen, die bei der Berechnung des Wärmebedarfs verwendet wurden

Transmissionswärmeverlust H_T [W/K]

Die Berechnung der Wärmeverluste infolge der Transmission durch Wände, Fenster, Türen, Fußböden und Decken erfolgt nach der deutschen Energieeinsparverordnung EnEV. Alle Hülloberflächen werden durch die äußeren Maße der Gebäudeteile ermittelt. Der Gesamtwärmeverlust ist die Summe über die Verluste aller Oberflächen i.

$$H_T = \sum (U_i \cdot A_i \cdot F_{xi}) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (66)$$

Mit dem Temperaturkorrekturfaktor F_{xi} können alle Transmissions-Wärmetransportprozesse durch die Gebäudehülle auf der gleichen Temperaturdifferenz basieren, z.B. die Differenz zwischen Innen- und Außenlufttemperatur abgebildet werden.

Somit können zusätzlich die Transmissionsverluste z.B. vom Gebäude zum Boden geschätzt werden. Die Methode wird angewandt, um das Berechnungsverfahren zu vereinfachen. Wenn die Temperaturen z.B. des Bodens bekannt sind, kann der Temperaturkorrekturfaktor leicht ermittelt werden. Wenn keine Klimadaten der Region vorliegen, können Werte für die deutschen Klimabedingungen gemäß DIN V 4108 Teil 6 verwendet werden. Einige Beispiele sind in der Tabelle 1 des Anhangs B gegeben.

Lüftungswärmeverluste H_V [W/K]

Die Lüftungswärmeverluste werden auf eine direkte und einfache Weise errechnet. Die Luftwechselrate η und wenn ein mechanisches ausgeglichenes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung installiert wurde, der Wärmerückgewinnungsgrad η_V sind anzugeben. Damit können dann die Wärmeverluste hinreichend genau berechnet werden:

$$H_V = (c_p \cdot \rho \cdot V \cdot n_d \cdot (1 - \eta_V)) \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (67)$$

Solare Wärmegewinne $Q_{s,HP}$ [kWh/a]

Für die Berechnung der solaren Wärmegewinne muss die Sonneneinstrahlung, die durch das Glas eines Fensters in das Gebäude gelangt und dort in Wärme umgewandelt wird, berechnet werden. Für alle Fensterflächen $A_{w,j}$ muss der Fensterrahmenanteil F_f und der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{Σ} gegeben sein. Die Sonneneinstrahlung $I_{s,j}$ für unterschiedliche Himmelsrichtungen ergibt sich mit der Auswahl des Standorts. Die solaren Wärmegewinne werden mit folgender Formel berechnet:

$$Q_{S,HP} = \sum (I_{s,j} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,j} \cdot g_{\perp} \cdot F_S \cdot F_W \cdot F_C) \quad (68)$$

Die drei zusätzlichen Korrekturfaktoren werden benötigt, um die möglichen Verschattungseffekte durch andere umgebende Gebäude F_S zu betrachten und eine Abminderung für die eingesetzte Sonnenschutzvorrichtung F_C sowie infolge nicht senkrechten Strahlungseinfall F_W zu definieren. F_S und F_W werden standardmäßig mit 0,9 angegeben.

Interne Wärmegewinne $Q_{i,HP}$ [kWh/a]

Die internen Gewinne können aus der Wärmeabgabe von Personen oder technischer Geräte, wie Computer und Drucker für Büros oder von anderen Geräten, wie Fernsehern in Wohngebäuden resultieren. Für Wohngebäude werden daher die internen Wärmegewinne nach EnEV 2007

$$Q_{i,HP} = 22 \cdot A_N \quad (69)$$

und Nichtwohngebäude nach DIN V 18599 berechnet

$$Q_{i,HP} = 0,024 \cdot q_i \cdot A_N \cdot d_{HP} \quad (70)$$

sonstige Gewinne

Sonstige Gewinne aus Elektrizität, wie künstliche Beleuchtung und Lüftung, müssen vom Anwender angegeben werden. Damit werden dann die sonstigen Gewinne bezogen auf die Nutzfläche A_N ermittelt.

$$Q_{sonst} = q_{sonst} \cdot A_N \quad (71)$$

Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfes Q_h [kWh/a]

Von den Wärmeverlusten durch Transmission und Lüftung werden die internen Gewinne, die innerhalb des Gebäudes auftreten subtrahiert, um die Energiebilanz aufstellen zu können:

Wärmebedarf = Summe Wärmeverluste - Summe Wärmegewinne.

$$Q_h = (H_T + H_V) \cdot 66 - \eta_{HP} \cdot (Q_{S,HP} + Q_{i,HP}) \quad (72)$$

Dieser Bedarf wird normalerweise in einem spezifischen Wert ausgedrückt, um unterschiedliche Gebäude miteinander vergleichen zu können.

$$Q''_h = Q_h / A_N \quad (73)$$

Eingänge, Gleichungen, Hypothesen und Werte, die verwendet wurden, um die Haustechnik darzustellen

Parameter der Wärmezeugung

Für jede Energiequelle wird die Primärenergieumwandlung durch den Primärenergiefaktor f_p und für die Exergieanalyse der Qualitätsfaktor der Energiequelle mit f_q gekennzeichnet.

Tab. C.1: Charakteristische Werte für Energie-/ Exergiequellen für die Energieumwandlung. Quelle: 1) DIN V 4701-10¹⁵, 2) Jóhannesson 2001¹⁶ und 3) Zirngibl Francois 2002¹⁷ und DIN V 18599 Teil 1.

Energieträger	Primär- energie- faktor fossil $f_{p, fos}$	Primär- energie- faktor regen. $f_{p, ren}$	Qualitäts- faktor fossil $f_{q, fos}$	Qualitäts- faktor regen. $f_{q, ren}$
Standardheizkessel	1,10	0,00	0,94	0,00
Niedertemperaturkessel 70/55	1,10	0,00	0,94	0,00
Niedertemperaturkessel 55/45	1,10	0,00	0,94	0,00
Niedertemperaturkessel 35/28	1,10	0,00	0,94	0,00
Brennwertkessel 70/55	1,10	0,00	0,94	0,00
Brennwertkessel 55/45	1,10	0,00	0,94	0,00
Brennwertkessel 35/28	1,10	0,00	0,94	0,00
verbesserter Brennwertkessel 70/55	1,10	0,00	0,94	0,00
verbesserter Brennwertkessel 55/45	1,10	0,00	0,94	0,00
verbesserter Brennwertkessel 35/28	1,10	0,00	0,94	0,00
Elektroheizung	2,70	0,30	1,00	1,00
Wärmepumpe Wasser/Wasser	2,70	0,30	1,00	0,02
Wärmepumpe Sole/Wasser	2,70	0,30	1,00	0,02
Wärmepumpe Luft/Luft (Außenluft)	2,70	0,30	1,00	0,00
Wärmepumpe Luft/Luft (Abluft)	2,70	0,30	1,00	0,00
Solar-Flachkollektoren	0,00	1,00	0,00	0,21
Solar-Vakuumröhrenkollektoren	0,00	1,00	0,00	0,34
Biomasse-Heizkessel (Pellet)	0,20	1,00	1,05	1,05
Biomasse-Heizkessel (Hackschnitzel)	0,20	1,00	1,05	1,05
KWK Fern-/ Nahwärme fossil	0,70	0,00	0,94	0,00
KWK Fern-/ Nahwärme regenerativ	0,00	0,70	0,00	0,17
Fern-/ Nahwärme fossil	1,30	0,00	0,94	0,00
Fern-/ Nahwärme regenerativ	0,10	1,20	0,00	0,17

¹⁵ DIN 4701-10: 2001-02. *Energy Efficiency of Heating and Ventilation Systems in Buildings – Part 10: Heating, Domestic hot Water, Ventilation*. German National Standard. Berlin: Deutsches Institut für Normung e.V.

¹⁶ Jóhannesson G. (2001): *Low Exergy Systems*. Presentation at Formas, Stockholm, Sweden.

¹⁷ Zirngibl J. and Francois C. (2002): *Exergy Analysis Tool, Various Contributions*. Internal working documents IEA Annex 37. CSTB, Paris, France.

Für die Erzeugung ist der Nutzungsgrad η_{gen} , die Kennzahl für den Wärmeerzeuger. Die Hilfsenergie, die im Abschnitt der Erzeugung, z.B. für den Antrieb der Pumpen in Form von Elektrizität benötigt wird, wird wie ein Teil der erzeugten Wärme betrachtet. Diese wird durch $q_{\text{gen,HE}}$ angegeben. Die typische maximale Versorgungstemperatur $\theta_{\text{s,max}}$ des Wärmeerzeugers ist erforderlich, um die Eigenschaft des Gesamtsystems zu überprüfen.

Tab. C.2: Charakteristische Werte für das Wärmeerzeugungssystem/Dampfkessel.

Energieträger	Effizienz η_{gen} [%] at 30%	Max. Versorgungs- temperatur $\theta_{\text{s,max}}$ in[°C]	Hilfsenergie $q_{\text{gen,HE}}$ [kWh/m ²]
Standardheizkessel	0,80	90	0,63
Niedertemperaturkessel 70/55	0,90	70	0,63
Niedertemperaturkessel 55/45	0,90	70	0,63
Niedertemperaturkessel 35/28	0,90	70	0,63
Brennwertkessel 70/55	0,95	70	0,63
Brennwertkessel 55/45	0,95	70	0,63
Brennwertkessel 35/28	0,95	70	0,63
verbessertes Brennwertkessel 70/55	0,98	70	0,63
verbessertes Brennwertkessel 55/45	0,98	70	0,63
verbessertes Brennwertkessel 35/28	0,98	70	0,63
Elektroheizung	0,98	100	0,00
Wärmepumpe Wasser/Wasser	4,50	35	0,10
Wärmepumpe Sole/Wasser	4,00	80	0,10
Wärmepumpe Luft/Luft (Außenluft)	3,00	80	0,10
Wärmepumpe Luft/Luft (Abluft)	3,20	80	0,10
Solar-Flachkollektoren	1,00	80	0,02
Solar-Vakuümrohrenkollektoren	1,00	150	0,02
Biomasse-Heizkessel (Pellet)	0,85	70	0,85
Biomasse-Heizkessel (Hackschnitzel)	0,80	70	0,85
KWK Fern-/ Nahwärme fossil	0,89	100	0,00
KWK Fern-/ Nahwärme regenerativ	0,89	100	0,00
Fern-/ Nahwärme fossil	0,89	100	0,00
Fern-/ Nahwärme regenerativ	0,89	100	0,00

Parameter des Wärmespeichersystems

Das Speichern der Wärme geschieht nicht verlustfrei. Weiterhin wird Hilfsenergie in Form von Strom für das Betreiben von Pumpen benötigt. Die Berechnung der Speicherverluste erfolgt mit Hilfe des Wärmeverlustkoeffizienten C_r :

$$Q_{\text{loss,S}} = V_S \cdot C_r \cdot (g_s - g_{\text{amb}}) \cdot t \quad (74)$$

Für eine typische Speichersituation in einem Einfamilienhaus, mit 100 l Speichervolumen, einer Speichertemperatur von 60°C und einer Umgebungstemperatur um den Speicher von 15 °C können folgende Annahmen getroffen werden:

$$Q_{\text{loss,S}} = 100l \cdot 4.2 \cdot (100l)^{-0.45} \frac{\text{Wh}}{1 \cdot \text{K}} \cdot (60^\circ\text{C} - 15^\circ\text{C}) / 24\text{h} = 99.1\text{W} \quad (75)$$

Für einen typischen Heizlastfall beträgt der Nutzungsgrad der Speicherung η_s :

$$\eta_s = \frac{Q_h + Q_{\text{loss,E}} + Q_{\text{loss,D}}}{Q_{\text{loss,S}} + Q_h + Q_{\text{loss,E}} + Q_{\text{loss,D}}} \approx 0.95 \quad (76)$$

Tab. C.3: Werte der Speichersysteme.

System	Nutzungsgrad η_s [-]	Hilfsenergie [kWh/m²a] $q_{W,HE}$	Hilfsenergie [kWh/m²a] $Q_{S,HE}$	Solaranteil F_{sol} [-]
keine Speicherung	1	0	0	0
Kleinspeicher <100 l	0,95	0	0,41	0
Speicher >100 l	0,98	0,1	0,41	0

Quelle: (Zirngibl and François 2002)

Parameter der Wärmeverteilung

Wie im Speichersystem, entstehen auch bei der Verteilung Wärmeverluste. Der Nutzungsgrad des Verteilungssystems wird wie folgt berechnet:

$$\eta_D = 0.98 \cdot f_{\text{generator position}} \cdot f_{\text{insulation}} \cdot f_{\text{design temperature}} \cdot f_{\text{temperature drop}} \quad (77)$$

Tab. C.4: Werte für Eingangsfaktoren eines Verteilungssystems (Zirngibl und François 2002).

Kriterium	Auswahlmöglichkeit	Parameter f_i	Kommentar
Standort des Generators	innerhalb der thermischen Hülle	1	
	außerhalb der thermischen Hülle	0,9	
	keine Verteilung	1	
Isolierung	keine Isolierung	0,7	
	schlechte Isolierung	0,9	
	gute Isolierung	1	
	keine Verteilung	1	
Auslegungstemperatur	gering	1	<35°C
	mittel	0,95	<50°C
	hoch	0,9	Andere
	keine Verteilung	1	
Temperaturabfall	gering	0,98	<5K
	mittel	0,99	<10K
	hoch	1	andere
	keine Verteilung	1	

Parameter der Übergabe

Wie die vorherigen Systeme treten auch bei der Übergabe Verluste auf. Hilfsenergien $q_{ce,HE}$ werden jedoch kaum benötigt. Die maximale Wärmeleistung $p_{H,max}$ des Übergabesystems ist notwendig, um die Auslegung des Gesamtsystems zu prüfen.

Tab. C.5: Charakteristische Werte für das Übergabesystem (Zirngibl und François 2002, DIN 255).

System	Vorlauf- temperatur	Rücklauf- temperatur	Hilfs- energie	Max. Heiztem- peratur	Nutzungs- grad
	[°C]	[°C]	[kWh/m ² a]	[W/m ²]	[%]
Fußbodenheizung	35	30	0	80	0,99
Wandheizung	50	40	0	150	0,95
Heizkörper	70	60	0,2	100	0,95
Luft-Heizung	35	25	0,053	34	0,95
Deckenheizung	50	40	0	130	0,95
Flächen-Heizung	28	22	0,2	100	0,99
HT Radiatoren (90/70)	90	70	0	1000	0,95
HT Radiatoren (70/55)	70	55	0	1000	0,95
HT Radiatoren (55/45)	55	45	0	1000	0,95
HT Radiatoren (35/28)	35	28	0	1000	0,95
LT Radiatoren	35	28	0	1000	0,95
Wandheizung	28	22	0,2	100	0,99
Deckenheizung	28	22	2,0	40	0,99
Direkt-Elektroheizung			0	1000	0,95

Quelle: Siehe die Studien am CSTB Frankreich (Zirngibl und François 2002)

Energie- und Exergieanalyse

Die nachfolgenden Berechnungen werden in der Richtung der Bedarfsentwicklung durchgeführt, wie in Abbildung 1 gezeigt. Zuerst muss der Bedarf des letzten Untersystems durch das Vorherige gedeckt sein, dann werden die Verluste des Systems hinzuaddiert.

Energie- Exergieberechnung und Analyse

Gebäudehülle

Der Qualitätsfaktor (Carnot-Faktor) der Raumluft $f_{q,r}$, wird mittels der Carnot Leistungsfähigkeit angegeben.

$$F_{q,r} = 1 - \frac{T_e}{T_i} \quad (78)$$

Danach wird der Jahres-Exergiebedarf der Raumheizung Ex_r , berechnet:

$$Ex_r = F_{q,r} \cdot Q_h \quad (79)$$

Raumluft

Für die Berechnung der Oberflächentemperatur der Heizung wird vereinfachend arithmetischen Mitteltemperatur, T_{AM} , verwendet [Recknagel, Sprenger, Schramek, 2007].

$$T_{AM} = \frac{T_{in,ce} - T_{ret,ce}}{2} = T_h \quad (80)$$

Danach erfolgt analog der Gebäudehülle die Berechnung des Carnot-Faktors der Wärmeabgabe bezogen auf die Heiztemperatur $T_h = \theta_h + 273,15$.

$$F_{q,h} = 1 - \frac{T_e}{T_h} \quad (81)$$

Die Exergielast der Heizung beträgt somit:

$$Ex_h = F_{q,h} \cdot Q_h \quad (82)$$

Übergabe

Da die Energieeffizienz des Übergabesystems nicht 100% ist, werden auch hier die entstehenden Wärmeverluste berechnet.

$$H_{Is,ce} = Q_h \cdot \left(\frac{1}{\eta_{ce}} - 1 \right) \quad (83)$$

Der Bedarf an Hilfsenergien oder Elektrizität des Übergabesystems ergeben sich aus der Summe der Hilfsenergien der Übergabe multipliziert mit der Nutzfläche A_N .

$$q_{ce,HE} = q_{ce,HE} \cdot A_N \quad (84)$$

Somit lässt sich der Exergiebedarf der Übergabe in Bezug auf die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur (θ_{in} und θ_{ret}) folgendermaßen bestimmen:

$$Ex_{ce} = \frac{(Q_h + H_{Is,ce})}{(\mathcal{G}_{in} - \mathcal{G}_{ret})} \left\{ (\mathcal{G}_{in} - \mathcal{G}_{ret}) - T_{ref} \cdot \ln \left(\frac{T_{in}}{T_{ret}} \right) \right\} \quad (85)$$

Verteilung

Der Wärmeverlust des Verteilungssystems wird wie folgt berechnet:

$$H_{Is,d} = Q_{ce} \cdot \left(\frac{1}{\eta_D} - 1 \right) \quad (86)$$

Der Bedarf an Hilfsenergien oder Elektrizität des Verteilungssystems ergibt sich aus der Summe der Hilfsenergien der Verteilung multipliziert mit der Nutzfläche A_N .

$$q_{d,HE} = q_{d,HE} \cdot A_N \quad (87)$$

Die Eingangstemperatur für das Verteilungssystem ist die Mitteldesigntemperatur T_D . Die Rücklaufstemperatur ergibt sich aus der Differenz von Designtemperatur und Temperaturverlust ΔT_D . Somit errechnet sich die Exergie der Verteilung wie folgt:

$$Ex_d = \frac{H_{Is,d}}{\Delta T_d} \left\{ \Delta T_d - T_{ref} \cdot \ln \left(\frac{T_d}{T_d - \Delta T_d} \right) \right\} + EX_{ce} \quad (88)$$

Speicherung

Die Wärmeverluste des Speichersystems sind:

$$H_{Is,S} = Q_d \cdot \left(\frac{1}{\eta_S} - 1 \right) \quad (89)$$

Der Bedarf an Hilfsenergie oder Elektrizität des Speichersystems ergibt sich aus:

$$q_{s,HE} = q_{s,HE} \cdot A_N \quad (90)$$

Für die Berechnung des Exergiebedarfs wird für die Eingangstemperatur des Speichersystems die Mitteldesigntemperatur $T_s = T_D + \Delta T_D$ verwendet. Die Rücklaufstemperatur ist die Designtemperatur minus der Temperaturdifferenz ΔT_s :

$$\Delta Ex_s = \frac{H_{Is,S}}{\Delta T_s} \left\{ \Delta T_s - T_{ref} \cdot \ln \left(\frac{T_d + \Delta T_d}{T_d + \Delta T_d - \Delta T_s} \right) \right\} \quad (91)$$

Erzeugung

Die erforderliche Energie, die vom Wärmeerzeuger abgedeckt werden muss, beträgt für die jeweilige Quelle:

$$Q_{\text{gen}} = Q_s \cdot F_S \quad (92)$$

Der Bedarf an Hilfsenergie für das Erzeugungssystem für Pumpen und Lüftung ist:

$$q_{\text{gen,HE}} = q_{\text{gen,HE}} \cdot A_N \quad (93)$$

Für die Exergie der Erzeugung ergibt sich für den fossilen:

$$Ex_{\text{gen,fos}} = Q_{\text{gen}} / \eta_{\text{qen}} \cdot f_{P,\text{fos}} / (f_{P,\text{fos}} + f_{P,\text{ren}}) \cdot f_{q,\text{fos}} \quad (94)$$

und für den regenerativen Anteil:

$$Ex_{\text{gen,ren}} = Q_{\text{gen}} / \eta_{\text{qen}} \cdot f_{P,\text{ren}} / (f_{P,\text{fos}} + f_{P,\text{ren}}) \cdot f_{q,\text{ren}} + (Q_{\text{gen}} / \eta_{\text{qen}}) \cdot F_{\text{env,HP}} \cdot f_{q,\text{ren}} \quad (95)$$

In einem 2. Schritt wird die Exergielast anderer technischer Gebäudeausrüstung, wie Beleuchtung und Lüftung berechnet:

$$Ex_{\text{plant}} = \left(\sum q_{\text{HE},i} \right) \cdot f_{p,\text{el,fos}} / (f_{p,\text{el,fos}} + f_{p,\text{el,ren}}) + \left(\sum q_{\text{HE},i} \right) \cdot f_{p,\text{el,ren}} / (f_{p,\text{el,fos}} + f_{p,\text{el,ren}}) \quad (96)$$

Energieumwandlung

Die gesamten Energie- und Exergielasten des Gebäudes werden berechnet. Für den fossilen oder nicht erneuerbaren Anteil der Primärenergie, wird folgende Formel verwendet:

$$En_{\text{prim,fos}} = En_{\text{gen,fos}} \cdot (f_{P,\text{fos}} + f_{P,\text{ren}}) \quad (97)$$

Die Beiträge der erneuerbaren Energiequellen ergeben sich aus:

$$En_{\text{prim,ren}} = (En_{\text{gen,ren}} - (Q_{\text{gen}} / \eta_{\text{qen}}) \cdot F_{\text{env,HP}}) \cdot (f_{P,\text{fos}} + f_{P,\text{ren}}) + (Q_{\text{gen}} / \eta_{\text{qen}}) \cdot F_{\text{env,HP}} \quad (98)$$

Der Gesamtexergiebedarf ist somit:

$$Ex_{\text{in,Tot}} = (Ex_{\text{prim,fos}} + Ex_{\text{prim,ren}}) + Ex_{\text{prim,plant}} + Ex_{\text{prim,W}} \quad (99)$$