

Leichtbeton-EnEV Rechner

Programmbeschreibung

Bundesverband Leichtbeton

Januar 2010

1 Randbedingungen und Nachweisverfahren

Das Rechenprogramm basiert auf dem in Anhang 1 Nr. 2.1.2 der Energieeinsparverordnung genannten Rechenverfahren (Einzonenmodell und Monatsbilanzverfahren nach DIN V 4108-6:2003-06*). Es werden folgende von der EnEV zugelassenen Vereinfachungen angewendet:

- Zur Berechnung der Transmissionswärmeverluste werden die Temperaturkorrekturfaktoren der Tabelle 3 in DIN 4108 angesetzt.
- Auf den genaueren Nachweis der Wärmeverluste von Bauteilen mit integrierten Flächenheizungen wird verzichtet. Der EnEV-Rechner ist bei Vorhandensein von Bauteilen mit Flächenheizungen daher nur anwendbar, wenn diese auf der kalten Seite mindestens mit einer 8 cm starken Dämmschicht der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 versehen sind.
- Die Heizzeit wird monatsgenau erfasst.
- Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit wird in Höhe der in DIN 4108 enthaltenen Pauschalwerte angesetzt.
- Es sind keine Anlagen zur Gebäudekühlung vorhanden.
- Maschinelle Lüftungseinrichtungen werden nicht berücksichtigt.
- Die Berechnung von U-Werten erfolgt mit Hilfe des in DIN EN ISO 6946:1996-11 angegebenen Verfahrens. Dabei können komplex zusammengesetzte Querschnitte mit beliebig vielen Schichten und bis zu zwei Abschnitten (z. B. bei hölzernen Dächern Sparren- und Gefachbereich) berechnet werden.

Ergebnis der Berechnung sind der auf die Wohn-/Nutzfläche bezogene Jahres-Primärenergiebedarf des untersuchten Gebäudes und der spezifische Transmissionswärmeverlust.

*Im Folgenden kurz als DIN 4108 bezeichnet.

Der Primärenergiebedarf ist diejenige Energiemenge, die zur Deckung des Jahres-Heizwärmebedarfs und des Warmwasserbedarfs (Trinkwasserwärmebedarf) benötigt wird. Er berücksichtigt auch diejenige zusätzlichen Energiemenge, die in vorgelagerten Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe aufgewendet werden muss und wird bestimmt durch:

- den Jahres-Heizwärmebedarf (auch Netto-Heizenergiebedarf), das sind die rechnerisch ermittelten Wärmeeinträge über ein Heizsystem, die zur Aufrechterhaltung einer bestimmten mittleren Raumtemperatur in einem Gebäude oder in einer Zone eines Gebäudes benötigt werden,
- den Warmwasserbedarf,
- den Nutzungsgrad des Heizsystems und
- die Anlagenaufwandszahl.

Der spezifischer Transmissionswärmeverlust ist der Wärmestromkoeffizient einer beheizten Zone zur äußeren Umgebung. Er wird als auf die Differenz zwischen Innen- und Außenlufttemperatur bezogener Wärmeverlust eines Gebäudes infolge Transmission angegeben. Weil diese Größen im Wesentlichen durch die Gebäudehülle bestimmt werden, muss der Nutzer einige Parameter eingeben, mit denen das Programm ein Gebäude-/Produktmodell erzeugt.

2 Programmbeschreibung

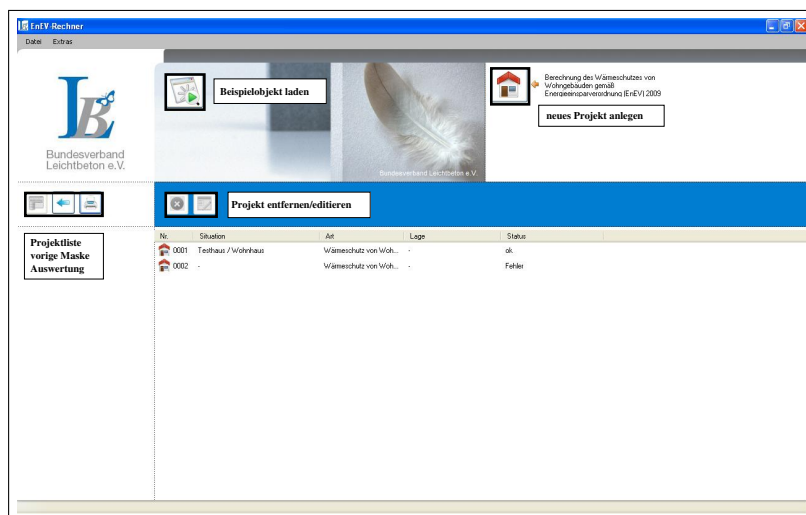









Abbildung 1: Eingabemaske 'Projekte'

Abbildung 1 zeigt die Bildschirmsicht nach dem Start des EnEV-Rechners. Um die ersten Schritte mit der Software zu erleichtern, lässt sich durch die Schaltfläche  ein Beispielbauwerk laden, das als Referenz dienen kann. Das Programm erlaubt die Verwaltung mehrerer Projekte. Mit Hilfe der oberen rechten Schaltfläche  „Berechnung des Wärmeschutzes von Wohngebäuden gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009“ können neue Projekte angelegt werden, die in der Liste angezeigt werden. Nach Auswahl eines Projekts aus der Liste kann mit den beiden Schaltflächen  und  oberhalb der Listendarstellung ein Projekt gelöscht werden oder in die Bearbeitungsansicht des markierten Projekts gewechselt werden. Zudem ist mit Hilfe der drei Schaltflächen ,  und  in der linken Spalte (unterhalb des Leichtbeton Logos) eine Navigation zwischen den verschiedenen Ansichten – Projektliste, Bearbeitungsansicht und Ergebnisdarstellung – möglich.

2.1 Eingabemaske 'Bauwerk'

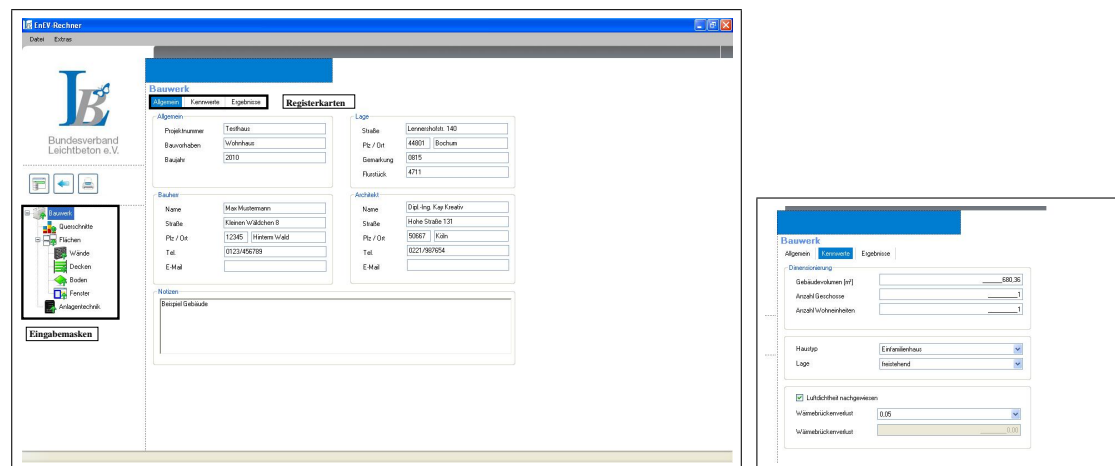


Abbildung 2: Eingabemasken 'Bauwerk'

In der Eingabemaske 'Bauwerk' werden zunächst die im Rahmen eines Baugenehmigungsverfahrens interessierenden Angaben abgefragt, die auch auf dem Ausdruck des rechnerischen Nachweises erscheinen. Dazu stehen die beiden Registerkarten 'Allgemein' (vgl. Abbildung 2 links) und 'Kennwerte' (vgl. Abbildung 2 rechts) zur Verfügung. Einzugeben sind:

- Das Bezugsvolumen, das anhand der Außenmaße eines Gebäudes ermittelt und von der wärmeübertragenden Gebäudehülle (Systemgrenze) umschlossen wird – auch Bruttovolumen genannt.
- Der Haustyp einschl. Anzahl der Vollgeschosse und Wohneinheiten
- Die Lage (freistehend, Doppel- oder Reihenhaus)

- Angaben zur Ausbildung von Wärmebrücken (hier ist ohne genaueren Nachweis der Wert $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu wählen, bei Ausbildung der Wärmebrücken gemäß DIN V 4108 Beiblatt 2:2006–03 darf ein Wert von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit genauere Werte – die z. B. aus Wärmebrückenkatalogen entnommen worden sind – händisch einzugeben.
- Angaben über die Durchführung einer Luftdichtigkeitsprüfung (hierdurch wird die rechnerisch anzusetzende Luftwechselrate festgelegt).

Die geometrischen Eigenschaften und die Lage/Orientierung wirken sich dabei auf die nach EnEV zulässigen Höchstwerte des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts aus (vgl. EnEV, Anhang 1, Tabelle 2). Die restlichen Parameter beeinflussen die Höhe der anzusetzenden Wärmeverluste (wird vom Programm automatisch berücksichtigt).

Hinweis: Der Umfang der Bodenplatte(n) eines Gebäudes ist in der Eingabemaske 'Boden' einzugeben, auch wenn dieser Parameter strenggenommen eine Gebäudeeigenschaft ist. Hierbei ist darauf zu achten, dass nur die Länge der Außenseiten von Bodenplatten eingegeben wird. Stossen zwei Bodenplatten aneinander, ist die Länge der gemeinsamen Grenzlinie nicht zum Umfang hinzuzurechnen (vgl. auch Abbildung 6).

2.2 Eingabemaske für die Bauteilquerschnitte

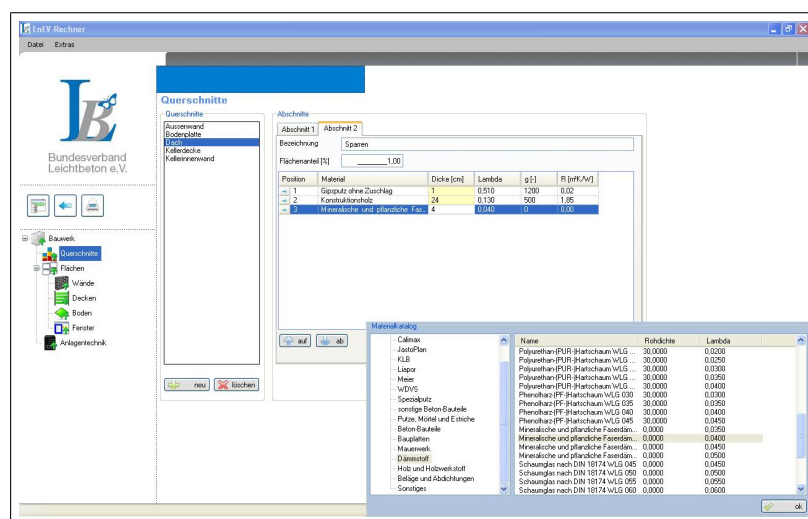


Abbildung 3: Eingabemaske 'Querschnitt'

In der Eingabemaske 'Querschnitt' kann der Aufbau von Bauteilen der wärmeübertragenden Umfassungsfläche eingegeben werden. Mit Hilfe der Schaltflächen lassen sich

Querschnitte, Schichten und Abschnitte neu anlegen bzw. löschen. *Schichten* werden durch Ebenen senkrecht zum Wärmestrom begrenzt, *Abschnitte* durch Ebenen parallel zur Richtung des Wärmestroms. Innerhalb eines Abschnitts sind Schichten immer homogen (bestehen aus einem Baustoff). In der Regel bestehen die Bauteile nur aus einem Abschnitt, jedoch kann – z. B. bei Dächern in Holzbauweise – eine Unterscheidung zwischen Sparren- und Gefachbereich erforderlich werden. In diesem Fall ist durch den Benutzer ein zweiter Bereich anzulegen und dessen prozentualer Flächenanteil anzugeben. Der prozentuale Flächenanteil des ersten Abschnitts wird automatisch aus den händisch eingegebenen Werten für die weiteren Abschnitte berechnet.

Hinweis: Die Gesamtdicke aller Schichten muss in beiden Bereichen identisch sein.

Für die Auswahl der Baustoffe steht ein Katalog zur Verfügung, der sowohl die Rechenwerte der Normen DIN 4108-4 und DIN EN 12524 als auch Zulassungswerte für Mauersteine, Putze, Mörtel und sonstige Bauteile aus Leichtbeton enthält. Der Nutzer kann beliebig viele Querschnitte anlegen und benennen. Es empfiehlt sich, die Schichtenfolge systematisch – z. B. immer von innen nach außen – einzugeben. Die Schichtdicken sind im Anschluss an die Baustoffauswahl durch den Nutzer einzugeben. Die so definierten Querschnitte werden in den Masken zur Eingabe der Bauteile den Teilflächen der Gebäudehülle zugewiesen und ermöglichen die Berechnung des U-Wertes (in Verbindung mit der Bauteilneigung, die den Wert der Wärmeübergangswiderstände auf der Bauteilinnenseite bestimmt).

2.3 Eingabemasken für die Hüllfläche

Die Eigenschaften der Gebäudehüllfläche bestimmen maßgeblich die Transmissionswärmeverluste. Sie werden in insgesamt vier Eingabemasken – Wände, Decken (einschließlich Dächer), Boden und Fenster – definiert. Wesentlich für alle Teile der Gebäudehüllfläche sind – die durch den Schichtaufbau bestimmten – U-Werte, Flächen, Neigung und Orientierung sowie die außen an das Bauteil grenzenden Volumina.

Es empfiehlt sich, den Querschnitten sinnvolle Klartextbezeichnungen zuzuweisen, z. B. „Außenwand Nordseite“ oder „Dachfläche“.

2.3.1 Eingabemaske 'Wand'

In der Eingabemaske 'Wand' können die einzelnen Außenwände als Teil der Gebäudehülle definiert werden. Wände sind die nicht transparenten, in der Regel senkrechten Teile der Gebäudehülle, die an die Außenluft, an Abseiten (Drempel), nicht beheizte Räume oder Erdreich grenzen. Den Wänden muss an dieser Stelle ein Name, ein Querschnitt, eine Fläche (hier ist nur die Fläche der opaken Wand anzugeben, Fensterflächen sind in der Eingabemaske 'Fenster' zu berücksichtigen), eine Orientierung (Himmelsrichtung), eine Bauteilsituation (definiert durch das an die kalte Seite grenzende Volumen, also

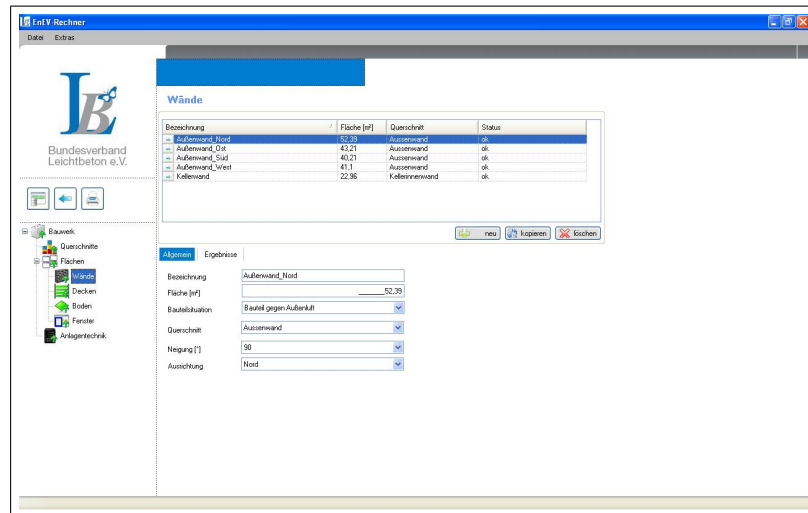


Abbildung 4: Eingabemaske 'Wand'

z. B. bei Kellerwänden das Erdreich) sowie eine Neigung (für in Ausnahmefällen gegen die Vertikale geneigte Wände) zuzuweisen. Hierbei ist zu beachten, dass die Neigung von Bauteilen aufgrund der damit verbundenen Richtung des Wärmestroms den Wärmeübergangswiderstand und damit auch den U-Wert beeinflusst.

Wenn die Hauseingangstür im Wesentlichen aus nicht transparenten Flächen besteht, ist sie als Teil der Wandfläche in der Eingabemaske 'Wand' zu definieren.

Die an Außenluft grenzenden Wände des für die Festlegung von Anforderungen in Anhang 1 der EnEV enthaltenen Referenzgebäudes weisen einen U-Wert von $0,28 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ auf. Wände des Referenzgebäudes, die an Erdreich oder an unbeheizte Räume grenzen, weisen einen U-Wert von $0,35 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ auf.

2.3.2 Eingabemaske 'Decken'

In der Eingabemaske 'Decken' können die einzelnen Dachflächen bzw. obersten Geschossdecken als Teil der Gebäudehülle definiert werden. Zusätzlich zu den bei Wänden anzugebenden Parametern ist im Fall von Dachflächen noch zu prüfen, ob der Koeffizient für die Strahlungsabsorption auf den Wert $\alpha = 0,8$ erhöht werden darf, weil es sich um eine dunkle Dachfläche handelt. Eine Erhöhung der Strahlungsabsorption vergrößert die solaren Wärmegewinne bzw. die Oberflächentemperatur von opaken Bauteilen und verringert dadurch in den meisten Fällen die Transmissionswärmeverluste.

Die Dächer/obersten Geschossdecken des für die Festlegung von Anforderungen in Anhang 1 der EnEV enthaltenen Referenzgebäudes weisen einen U-Wert von $0,20 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ auf.

2.3.3 Eingabemaske 'Fenster'

In der Eingabemaske 'Fenster' können alle transparenten Bauteile der Gebäudehülle definiert werden. Dabei ist es unerheblich, ob sich diese in Wänden oder Decken/Dächern befinden. Zusätzlich muss der Nutzer jedoch den Rahmenanteil und den Gesamtenergiedurchlassgrad eingeben. Sind diese Werte zum Zeitpunkt der Nachweisführung noch unbekannt, können für den Rahmenanteil 30 % und für den Gesamtenergiedurchlassgrad die Richtwerte der Tabelle 6 in DIN V 4108-6 verwendet werden. Verschattungsfaktor F_S , Abminderungsfaktor für Sonnenschutzeinrichtungen F_C und der Abminderungsfaktor für nicht senkrechten Strahlungseinfall F_W werden vom Programm mit den für öffentlich-rechtliche Nachweise verbindlichen Werten aus Tabelle D.3 der DIN V 4108-6 angesetzt, d. h. $F_S = 0,9$, $F_C = 1,0$, $F_W = 0,9$.

Transparentes Bauteil	Gesamtenergiedurchlassgrad
Einfachverglasung	g_{\perp} 0,87
Doppelverglasung	0,75
Wärmeschutzverglasung, doppelverglast mit selektiver Beschichtung	0,50 bis 0,70
Dreifachverglasung, normal	0,60 bis 0,70
Dreifachverglasung, mit 2fach selektiver Beschichtung	0,35 bis 0,50
Sonnenschutzverglasung	0,20 bis 0,50
Transparente Wärmedämmung	g_{\perp}
Transparente Wärmedämmung, 100 mm bis 120 mm; $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \leq U_e \leq 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	0,35 bis 0,60
Absorbierende opake Wärmedämmschicht mit einfacher Glasabdeckung, 100 mm	etwa 0,10

Abbildung 5: Werte für den Gesamtenergiedurchlassgrad transparenter Bauteile

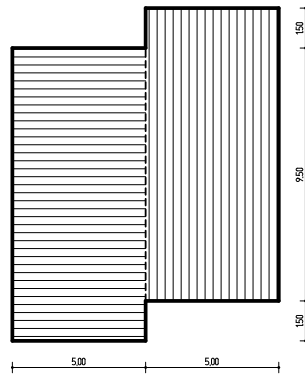
Wenn die Hauseingangstür im Wesentlichen aus transparenten Flächen besteht, ist sie als Teil der Wandfläche in der Eingabemaske 'Fenster' zu definieren.

Die Fenster des für die Festlegung von Anforderungen in Anhang 1 der EnEV enthaltenen Referenzgebäudes weisen einen U-Wert von $1,30 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$ (Dachflächenfenster $1,40 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$, Lichtkuppeln $2,70 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$) und einen Gesamtenergiedurchlassgrad $g_{\perp} = 0,60$ (Lichtkuppeln $g_{\perp} = 0,64$) auf.

2.3.4 Eingabemaske 'Boden'

In der Eingabemaske 'Boden' können alle an Erdreich bzw. den Keller grenzenden *horizontalen* Teile der Gebäudehülle definiert werden. Da es sich um horizontale Bauteile handelt, die keine solaren Wärmegewinne aufweisen, ist eine Angabe der Orientierung ebenso entbehrlich wie die Angabe einer Neigung. Allerdings wird der Wärmeverlust an das Erdreich durch die Geometrie dieser Bauteile beeinflusst, so dass zusätzlich zur Bauteilfläche auch der Umfang einzugeben ist.

Hinweis: Zum Umfang der Bodenplatte(n) zählen nur die Außenseiten der Bodenplatte(n), die an Erdreich grenzen.

Abbildung 6: Eingabe des Umfangs von Bodenplatten (hier: $U = 45 \text{ m}$).

2.4 Eingabemaske 'Anlagentechnik'

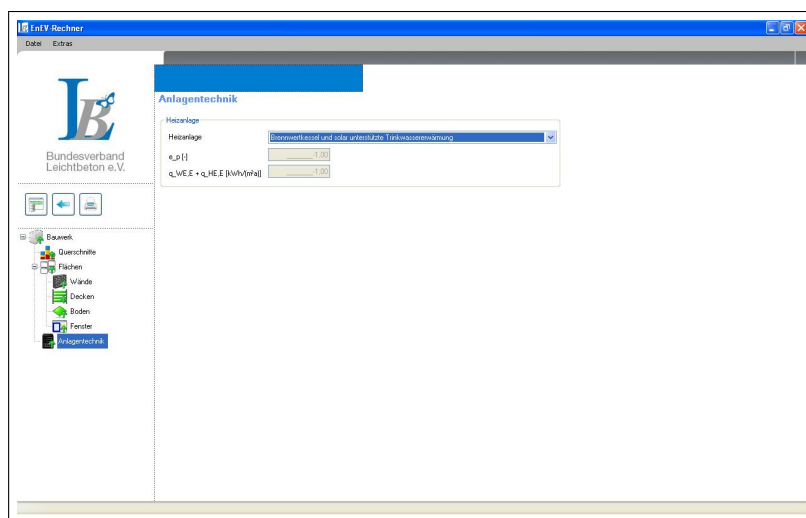


Abbildung 7: Eingabemaske 'Anlagentechnik'

Die Eingabemaske 'Anlagentechnik' ermöglicht dem Nutzer über interaktive Schaltflächen, die Anlagenaufwandszahl zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs mit Hilfe des in DIN V 4701-10 enthaltenen Diagrammverfahrens einzugeben. Dazu kann eine der sechs im Diagrammverfahren der DIN 4701 enthaltenen Anlagen aus einem Katalog aus-

gewählt werden. Alternativ kann der Nutzer auch eine manuelle Eingabe von Werten zur Berücksichtigung der Heizungsanlage vornehmen. Dazu werden über die Katalogauswahl 'manuelle Eingabe' die Felder 'e_p' und 'q_WE,E + q_HE,E' aktiviert. Hier sind die – z. B. durch einen Anlagenhersteller zur Verfügung gestellten – Werte der Anlagenaufwandszahl (dimensionslos) und des Endenergiebedarfs ($q_{WE,E} + q_{HE,E}$ in kWh/(m² · a)) einzugeben.

Das für die Festlegung von Anforderungen in Anhang 1 der EnEV enthaltene Referenzgebäude ist mit einem – bei Wohngebäuden bis zu zwei Wohneinheiten innerhalb der thermischen Hülle aufgestellten – Brennwertkessel (verbessert, Brennstoff: Heizöl EL) und einem zentralen Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegenden Strängen und Anbindeleitungen, einer auf Bedarf ausgelegten Pumpe, hydraulisch abgeglichenem Rohrnetz, wärmegedämmten Rohrleitungen und an normaler Außenwand angeordneten Heizflächen mit Thermostatventilen (Proportionalbereich 1 K) ausgestattet. Die Auslegungstemperatur beträgt 55/45°C. Die Warmwasserbereitung erfolgt zentral unter Verwendung des Heizungsbrenners mit Solarunterstützung. Eine Kühlung ist nicht vorhanden. Die Lüftung erfolgt über eine maschinelle Lüftungseinrichtung (Dichtigkeit der Hülle nachgewiesen).

3 Gang der Berechnung

Aus den vom Benutzer eingegebenen Werten (Flächen, Querschnitte mit Schichten, Luftwechselrate (mittelbar über den Nachweis der Luftdichtigkeit), Wärmebrückeneinfluss) ermittelt das Programm den Wärmeverlustkoeffizient H (Summe aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlustkoeffizient).

$$H = \sum_i F_{x,i} \cdot A_i \cdot U_i + \Delta U_{WB} \cdot A_{ges} + 0,34 \cdot n \cdot V$$

Mit Hilfe der Klimadaten für Deutschland (Tabelle D.5 in DIN V 4108-6) ergeben sich daraus die Monatswerte für die Wärmeverluste.

$$\begin{aligned} Q_{l,M} &= 0,024 \cdot H_M(\theta_i - \theta_e) \cdot t_M \\ &= 0,024 \cdot \left(\sum_i (F_x \cdot U_i + \Delta U_{WB}) \cdot A_i + 0,34 \cdot n \cdot V \right) (\theta_i - \theta_e) \cdot t_M \end{aligned}$$

Davon werden noch die Monatswerte der solaren Wärmegewinne über opake Bauteile (ermittelt aus den Strahlungswerten der Tabelle D.5 in DIN V 4108-6 und den Absorptionskoeffizienten α) abgezogen.

$$Q_{s,op,M} = 0,024 \cdot \left(\sum_j U \cdot A_j \cdot R_e(\alpha \cdot I_{s,j} - F_f \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}) \right) \cdot t_M$$

Die monatlichen Wärmegewinne speisen sich aus solaren und internen Gewinnen. Dabei werden die solaren Gewinne gemäß Tabelle D.5 in DIN V 4108-6 (Klimadaten) und die (auf die Nutzfläche bezogenen) internen Gewinne gemäß Tabelle D.3 in DIN V 4108-6 (5 W/m^2 bei Wohngebäuden) angesetzt. Sie ergeben sich als direkte Gewinne zu

$$Q_{g,M} = 0,024 \cdot \left(\sum_j I_{s,M,j} \sum_k F_{F,j,k} F_{S,j,k} F_{C,j,k} g_{j,k} A_{j,k} + q_{i,M} A_B \right) \cdot t_M$$

Um den Jahres-Primärenergiebedarf zu ermitteln, führt das Programm eine Monatsbilanzierung durch. Dabei wird mit Hilfe der spezifischen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} des Gebäudes (**mit der vorliegenden Version des Programms lässt sich nur der Nachweis für Gebäude in Massivbauweise führen, es ist $C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Ve} \left[\frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{K}} \right]$**) über den Ausnutzungsgrad der Gewinne $\eta_0 = \eta(\gamma = 1)$ die Heizgrenztemperatur θ_{ed} ermittelt.

$$\theta_{ed} = \theta_i - \eta_0 \frac{Q_{g,M}}{0,024 H_M t_M}$$

Durch Vergleich der Heizgrenztemperatur mit den Außentemperaturen gemäß Tabelle D.5 in DIN V 4108-6 (Klimadaten) lässt sich die Dauer der Heizperiode bestimmen und der gesamte Heizwärmebedarf berechnen.

4 Ausgabe

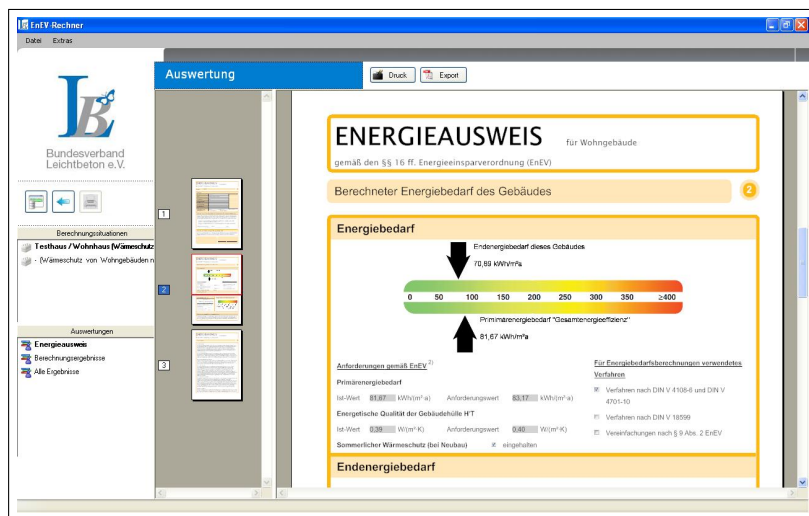


Abbildung 8: Bildschirmausgabe der berechneten Ergebnisse

Die Bildschirmausgabe fasst die berechneten Ergebnisse zusammen. Es lassen sich ein Energieausweis, eine Listendarstellung der wesentlichen Ergebnisse und eine Liste mit allen Berechnungswerten ausgeben.