

Berechnungsbeispiel zur DIN V 18599

Durchführung der Berechnungen mit „DÄMMWERK Bauphysik-Software“

Berechnungsdateien in der DÄMMWERK-Installation im Ordner „Bürohaus-08“ oder download von „www.bauphysik-software.de“

Inhalt:

Berechnungsbeispiel zur DIN V 18599	1
Anwendungshinweis	2
“DÄMMWERK“ Struktur / Navigation	3
Berechnungsbeispiel "Bürohaus-08"	4
Bauteile	4
Flächen und Volumen	4
Bilanzierung nach DIN V 18599 als Einzonenmodell	6
Nachweisverfahren, Standort.....	6
Zonenrandbedingungen, Hüllflächentabelle (Abs. 1 / 2)	6
Lüftungswärmetransfer (Abs. 3).....	7
Solare Wärmequellen (Abs. 4).....	7
Interne Wärme- und Kältequellen, Ausnutzungsgrad (Abs. 5 / 6)	8
Heizwärmebedarf (Abs. 7)	8
RLT-Systeme (Abs. 9)	9
Beleuchtungssysteme (Abs. 10)	9
Warmwassersysteme (Abs. 12).....	11
Heizsysteme (Abs. 13).....	11
Energiebedarf (Abs. 14).....	12
EnEV-Nachweis EnEV 2007 (Abs. 15)	12
EnEV-Nachweis EnEV 2009 (Vorausblick).....	13
Referenzberechnung nach EnEV 2009	14
Vergleichsrechnung nach EnEV 2004 (veraltet)	15
Bilanzierung nach DIN V 18599 als Mehrzonenmodell	16
Faltmodelle.....	16
Rechenblatt	16
Nachweisverfahren, Hüllflächentabelle (Abs. 1 / 2)	17
Lüftungswärmetransfer (Abs. 3).....	17
Solare Wärmequellen (Abs. 4).....	18
Interne Wärmequellen, Heizwärmebedarf (Abs. 5 / 6 / 7).....	18
RLT-Systeme (Abs. 9)	18
Beleuchtungssysteme (Abs. 10)	19
Klimakältesysteme (Abs. 11)	19
Warmwassersysteme (Abs. 12).....	21
Heizsysteme (Abs. 13).....	21
Endenergiebedarf und EnEV-Nachweis (Abs. 14 / 15).....	21

Anwendungshinweis

DÄMMWERK 2009 C:\dw\2009\Bürohaus-08...Bürohaus-mehrzonig.dwe

Projekt Bauteile Feuchtschutz Schallschutz Brandschutz EnEV (18599) EnEV WG Haustechnik WG Energiekosten Dienste

neu Gebäude

3.0 Lüftungswärmetransfer (DIN V 18599-2)

Gebäudedichtheit Regelwert, mit RLT-Anlage (Referenzwert, Kat.I), $n_{50} = 1,00 \text{ h}^{-1}$

Windschutzkoeffizienten für mittlere Abschirmung, mehr als eine exponierte Fassade
 $e_{\text{wind}} = 0,07$ $f_{\text{wind}} = 15$ (EN ISO 13790 Tab.G4)

Luftaustausch zwischen Gebäudezonen: vernachlässigbar oder Temperaturdifferenz $\leq 4^\circ\text{K}$

Zone	n50 h ⁻¹	V _A m³/m²h	Luftwechsel		Fenster n _{win} h ⁻¹	Lüftungsanlage n _{m,ZUL} h ⁻¹	t _{v,m} h/d
			n _{nutz} h ⁻¹	n _{inf} h ⁻¹			
<1> Büros	1,00	4,00	1,44	0,07	0,10	1,44	
<2> Serverraum	1,00	1,30	0,42	0,07	0,40	-	
<3> Konferenz	1,00	15,00	5,00	0,07	0,10	5,00	
<4> TRH / Flure	1,00	0,00	0,00	0,07	0,10	-	
=> WE-Betrieb ...							
<1> Büros		0,00	0,00	0,07	0,10	-	
<3> Konferenz		0,00	0,00	0,07	0,10	-	
<4> TRH / Flure		0,00	0,00	0,07	0,10	-	

RLT-Anlage 17 zu <1> mit V_{ZUL} / V_{ABL} = 6125 / 6125 m³/h, zeit- / nutzungsabhängig, balanciert, V

RLT-Anlage 17 zu <3> mit V_{ZUL} / V_{ABL} = 2725 / 2725 m³/h, zeit- / nutzungsabhängig, balanciert, V

V_A = Außenluftvolumenstrom während der Nutzungsstunden, Mindestwert
 n_{nutz} = Mindestaußenluftwechsel = V_A * A_{NGF} / V während der Nutzungsstunden (Nichtwohngebäude)
 n_{inf} = Infiltrationsluftwechsel = n₅₀ * e_{wind} oder mit RLT n_{inf} = n₅₀ * e_{wind} * (1 + f_{v,m} * t_{v,m} / 2)
 f_{v,m} = Bewertungsfaktor für die Infiltration bei nicht balancierten RLT-Anlagen nach Gl.62/63
 n_{win} = Fenster- / Türluftwechsel = 0,1 + Δn_{win} * t_{nutz} / 24, mit RLT = 0,1 + Δn_{win,m} * t_{v,m} / 24
 Δn_{win} = n_{nutz} - (n_{nutz} - 0,2) * n_{inf} - 0,1 (ohne RLT), falls n_{nutz} > 1,2 => Δn_{win} = n_{nutz} - n_{inf} - 0,1
 n_m = n_{m,ZUL} = Zuluft-Luftwechselzahl mechanisch während der Nutzungsstunden
 Hinweis: n_{inf} und n_{win} sind die Luftwechsel im Tagesmittel (Nutzungs- und Nichtnutzungsstunden)
 Volumenströme V_m und V* (Auslegung, zonenweise) siehe Abschnitt "RLT-Systeme"

Transferkoeffizienten	H _{v,z,Jan} W/K	H _{v,inf} W/K	H _{v,win} W/K	Σ H _v W/K	H _{v,mec} W/K
<1> Büros	0	101	145	246	1128
<2> Serverraum	0	4	25	29	0

Bürohaus-08.pdf - Adobe Reader

7 / 22 80,5% Suchen

(Anmerkung „02“). Spürbare Auswirkungen daraus sind aber nur bei klimatisierte gedämmten Gebäuden zu erwarten. Die Einstellung kann im Dialog zu „Transfer“ allgemeingültig geändert werden.

Lüftungswärmetransfer (Abs. 3)

Die Lüftungswärmeverluste werden nach DIN V18599 als Summe aus der Fenst (Infiltration) multipliziert mit der Temperaturdifferenz zur Außenluft und dem mecl Luftwechsel durch RLT-Anlagen multipliziert mit der Temperaturdifferenz zur Zult **Infiltration und Fensterlüftung** entstehen ganztägig (24 Stunden), **mechanisch** während der Betriebsstunden der RLT-Anlage (siehe Berechnungsformel zu „HV Zulufttemperatur für die mechanisch bewegten Luftvolumen sind die Temperatur möglicherweise vorhandenen Wärmerückgewinnung und einer möglicherweise v Zuluftvorwärmung. Der Heizwärmebedarf einer Zuluftvorwärmung würde später i Anlagen gesondert bilanziert (Tabellenwerte für Würzburg). Die Luftwechselzahl und Infiltration sind von dem erforderlichen Frischluftvolumen (ausgedrückt im Mindestaußenluftvolumenstrom = Nutzungsrandbedingung), der Gebäudedichte „n50“ und die Windschutzkoeffizienten) und den Druckverhältnissen im Gebäude Abluftanlagen erzeugen Unterdruck, Zuluftanlagen Überdruck, balancierte Zu- un erzeugen keine Luftdruckunterschiede. Beachten Sie, dass die Volumenströme u reulifizierende Luftschubströme z.T. entbehrt über das Annehmen bei Wohnra

Die „DÄMMWERK“-Berechnung und das Erläuterungsdokument können parallel geöffnet / angezeigt werden.

“DÄMMWERK“ Struktur / Navigation

- 1.0 Geplante Gebäudezonen (DIN V 18599-1)
- 2.0 Transmissionswärmehtransfer (DIN V 18599-2)
 - 2.1 Wärmebrücken
 - 2.2 Transferkoeffizienten
- 3.0 Lüftungswärmehtransfer (DIN V 18599-2)
- 4.0 Solare Wärmequellen (DIN V 18599-2)
 - 4.1 Solare Wärmehinträge über Fenster
 - 4.2 Solare Wärmehinträge über opake Hüllflächen
 - 4.3 solare Wärmehgewinne
- 5.0 Interne Wärme- und Kältequellen (DIN V 18599-2)
- 6.0 Ausnutzungsgrad für Wärmequellen (DIN V 18599-2)
- 7.0 Heizwärmehbedarf (DIN V 18599-2)
 - 7.1 ... Zonen
 - 7... Summe Heizwärmehbedarf
- 8.0 Wohnungslüftungsanlagen (DIN V 18599-6)
- 9.0 RLT-Systeme (DIN V 18599-3)
 - 9.1 End- und Nutzenergie Zone <1> Büros
 - 9.3 End- und Nutzenergie Zone <3> Konferenz
 - 9.4 Nutzwärme nach Heizbereichen (siehe Heizsysteme)
- 10.0 Beleuchtungssysteme (DIN V 18599-4)
 - 10.1 Tageslichtbereiche an vertikalen Fassaden
 - 10.2 Tageslichtbereiche mit Dachoberlichtern
 - 10.3 Kunstlichtversorgung
 - 10.4 Endenergiebedarf für Beleuchtung Q_{l,f}
- 11.0 Klimakältesysteme (DIN V 18599-7)
 - 11.1 Kühlenergiebedarf
 - 11.2 Maximal erforderliche Kälteleistung Q_{c,max}
 - 11.3 ... Zonen
 - 11... Endenergie Klimasysteme
- 12.0 Warmwassersysteme (DIN V 18599-8)
 - 12.1 Nutzenergiebedarf Warmwasser
 - 12.2 Eingesetzte Warmwassersysteme
 - 12.3 Verteilungsnetze
 - 12.4 Warmwasserspeicher
 - 12.5 Solaranlage zur Trinkwassererwärmung
 - 12.6 Nutzwärmebedarf der Warmwassererzeugung
 - 12.7 Wärmepumpen zur Trinkwassererwärmung
 - 12.8 Wärmeherzeugung
 - 12.9 Endenergie Warmwasserbereitung
- 13.0 Heizsysteme (DIN V 18599-5)
 - 13.1 Maximal erforderliche Heizleistung Q_{h,max}
 - 13.2 Eingesetzte Heizungsanlagen
 - 13.3 Heizzeiten und rechnerische Laufzeiten der Heizung
 - 13.4 Heizwärmehübergabe
 - 13.5 Heizwärmehverteilung
 - 13.6 Nutzwärmebedarf der Erzeugung
 - 13.7 Heizwärmehpufferspeicher
 - 13.8 solare Heizungsunterstützung
 - 13.9 Heizungswärmehpumpen
 - 13.10 Heizwärmehherzeuger
 - 13.11 Endenergie Heizwärmeh
- 14.0 Energiebedarf (DIN V 18599-1)
 - 14.1 Primärenergiebedarf nach Energieträgern
 - 14.2 Endenergiebedarf nach Zonen
 - 14.3 Aufteilung des Energiebedarfs (für den Energieausweis)
- 15.0 EnEV-Nachweis
- 18.0 Längen, Flächen, Volumen

Berechnungsbeispiel "Bürohaus-08"

Das gewählte Berechnungsbeispiel ist recht einfach, ein 6-geschossiges Bürogebäude in Betonbauweise, 1-geschossige Tiefgarage, L-förmiger Grundriss, Bruttogrundfläche ca. $6 * 370$ qm, viele Fenster. Die Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche sind zeitgemäß wärmegeklämt (Fassaden mit Thermohaut, Dach und Grundflächen mit Wärmedämmung, Fenster mit $U_g = 1.1$). Innenausbau mit abgehängten Akustikdecken und leichten Gk-Trennwänden.

Das Gebäude wird geometrisch modelliert, der Energiebedarf wird anschließend auf verschiedene Weisen berechnet:

- Berechnung als Einzonenmodell nach EnEV '07 / '09 und DIN V 18599
- parallele Betrachtung nach EnEV '04 (veraltet)
- Berechnung als Mehrzonenmodell mit differenzierten Nutzungsbereichen

Bauteile

Die benötigten Bauteile können aus der Bauteildatenbank übernommen und dann angepasst werden.

1. **Außenwände:** Für die Außenwände wird eine monolithische Stb-Wand $d = 12$ cm verwendet, die innen mit einem 1 cm dicken Gipsputz und außen mit einer Thermohaut mit 100 mm Heratekta 035 versehen ist.
2. **Fenster:** Die Fenster werden mit einer gut wärmedämmenden Verglasung ($U_g = 1.1$) bei akzeptablem g-Wert (60%) und 20% Rahmenanteil (relativ große Fenster) nach DIN V 4108-4:2004 und EN ISO 10077-1:2006 mit verbessertem Randverbund berechnet. DIN V 4108-4:2007 ist noch nicht programmiert, da diese Norm keine produktneutrale Fensterplanung zulässt.
3. **Dach:** Für das Flachdach kann die Gründachvorlage aus der Bauteildatenbank verwendet werden. Auf der Betondecke werden 12 cm Dämmung + Gefälledämmung aus PS-Hartschaum, eine bituminöse Dachdichtung und eine 8 cm dicke, extensive Dachbegrünung aufgebracht. Die Gefälledämmung wird für eine Außenentwässerung nach 2 Seiten (Grate in Dachmitte) mit 1% Gefälle berechnet. Verwenden Sie dazu den passenden Geometrievorschlagn. Die Abmessungen des L-förmigen Grundrisses sind manuell einzugeben, eine Verknüpfung mit dem später entworfenen Faltmodell besteht nicht.
4. **Lichtkuppeln:** Im Flachdach werden später einige Lichtkuppeln angeordnet. Hierfür wird die Bauteilkonstruktion "Lichtkuppel" aus der Bauteildatenbank übernommen.
5. **Grundfläche:** Für die Grundfläche wird die Vorlage "Decke zur TG" modifiziert, Bauteiltyp "Kellerdecke", Wärmedämmung aus 12 cm trittfestem EPS-Hartschaum und 10 mm Trittschalldämmung. Die Wärmeverluste zum Keller / zur TG sollen später mit dem Leitwert der Kellerdecke bilanziert werden. Die zusätzliche Berechnung muss zugeschaltet, die notwendigen Parameter wie gezeigt eingestellt werden. Hinweis: EN ISO 13370 (Wärmeverluste zum Erdreich) wurde zwischenzeitlich novelliert, allerdings ohne wesentliche inhaltliche Veränderungen. Die neue Norm ist bereits programmiert, die EnEV bezieht sich aber auf die alte Fassung. DIN V 4108-6 verlangt eigentlich außerdem eine harmonische (monatliche) Berechnung des Leitwertes zum Erdreich, DIN V 18599 geht im Regelfall vom stationären Leitwert (Jahresmittel) aus. Im Beispiel wird der stationäre Leitwert verwendet.

Flächen und Volumen

Die Flächenberechnung zu den EnEV-Nachweisen kann auf verschiedene Art und Weisen durchgeführt werden. Möglich sind z.B.

1. eine externe Zusammenstellung in einer "excel"-Tabelle, die später importiert wird,
2. der CAD-Import (z.B. Schnittstellen für Nemetschek und Glaser isb-CAD),
3. bei bestehenden Gebäuden die Datenaufnahme per Digitalfoto (Fotoaufmaß) oder
4. die DÄMMWERK-eigene Methode der Flächenberechnung mit Faltmodellen (Faltwerken).

Das **Flächenmanagement mit Faltmodellen** ist schnell und übersichtlich. Es eignet sich auch für komplexe Gebäude. Unser einfaches Beispielgebäude wird mit drei deckungsgleichen Grundrissmodellen beschrieben, nämlich dem Erdgeschoss, den Bürogeschossen und dem Dachgeschoss. Das Bürogeschoss erhält den Multiplikator 4 für vier Etagen. Die Grundrissmodelle bestehen aus einem Polygonzug mit 6 Eckpunkten, der aus einem "Geometrievorschlagn" abgeleitet, manuell Punkt für Punkt eingegeben ("Grundriss entwickeln") oder aus einer geeignet vorbereiteten CAD-Datei im dwf-Format eingelesen werden kann (DXF-Koordinaten einlesen). Entlang der Sehnen

des Polygonzugs sind die vertikalen Bauteile (bei Grundrissdarstellungen die Außenwände) aufgereiht / an den Grundriss angesetzt. Die Höhe dieser Faltflächen (= Fassadenhöhe) entspricht der Bruttogeschosshöhe. Die Abmessungen des Polygonzugs können der grafischen Darstellung entnommen werden, für die Bürogeschosse und das Dachgeschoss kann man Kopien verwenden (kopieren / übertragen). Tragen Sie zuvor aber die Fenster- und Türöffnungen über die örtlichen Bearbeitungsmenüs zu den Faltflächen ein. Wählen Sie dann die vier Standardbauteile für Dach (FD), Außenwände (FAW), Fenster (FF) und Grundfläche (FG) aus (die zuvor angelegten Bauteilquerschnitte im Arbeitsverzeichnis). Die Standardbauteile werden automatisch mit den Faltflächen verknüpft (U-Werte), wenn dort keine anderen Bauteilbezüge hergestellt werden. Überprüfen Sie bitte außerdem die Orientierung des Geometriemodells (Himmelsrichtung der Fassaden). Nicht benötigte Flächen (z.B. im Erdgeschoss die Decke zur darüber liegenden Etage, im DG der Fußboden und in den Zwischengeschossen die Decken und Fußböden zu den angrenzenden, gleich temperierten Geschossen werden neutralisiert. Verwenden Sie dazu den Schalter „Fläche nicht berücksichtigen“ im örtlichen Menü. Die Faltmodelle sollten mit „Büros EG, Büros Etagen, Büros DG“ bezeichnet werden. Klicken Sie dazu in die linke, obere Ecke der Zeichenfläche.

Speziell für die Beschreibung der Hüllflächen in zonierten Gebäuden gibt es einige besondere Funktionen. Im Klappmenü „**Zonenbezug**“ kann das bearbeitete Faltmodell einer Gebäudezone zugeordnet werden. Die Zonendefinitionen (Beschreibungstexte) können mit dem beigeestellten Bildschalter angelegt und bearbeitet werden. Für die erste Berechnung als Einzonenmodell wird nur eine Zone („Büros“) definiert und bei allen Faltmodellen ausgewählt.

Über den Schalter „**Einstellungen DIN V 18599**“ können zusätzliche Informationen hinterlegt werden: Der Grundflächenabzug für Trennwänden / Innenwände in den Etagen (Berechnung der Nettogrundflächen) wird mit „3%“ festgelegt, die lichte Raumhöhe, die reale Raumtiefe und die Sturzhöhe über OK Fußboden (Tageslichtversorgung) mit den angegebenen, etagenweise unterschiedlichen Werten.

Faltmodelle auswerten: Im nächsten Arbeitsschritt werden die Faltmodelle ausgewertet. Wählen Sie dazu „fertig / auswerten“, markieren Sie die benötigten Faltmodelle in der Liste sowie die gewünschte Auswertungsroutine („EnEV NWG 18599“). Starten Sie den Vorgang. Nicht alle Hüllflächeneigenschaften und Abhängigkeiten können automatisch generiert werden. Man sollte daher das erzeugte Rechenblatt später durchgehen und notwendige, manuelle Korrekturen vornehmen, z.B. bei den Berechnungsformeln für das Bodenplattenmaß „P“ (Bodenplattenumfang), bei der Berechnung der Nettogrundflächen usw.. Im vorliegenden, einfachen Fall sind keine Korrekturen erforderlich. Beachten Sie den Multiplikator zu den Zwischenebenen, der durchgehend bei Faltflächen, Flächenabzügen usw. bilanziert werden muss.

Zunächst wird ein **Rechenblatt** mit Flächenbezeichnungen und Flächenqualifizierungen generiert, aus dem unmittelbar anschließend die benötigte Hüllflächentabelle mit Bauteilbezügen abgeleitet werden kann. Führen Sie den Vorgang zur Herstellung der Bauteilbezüge zusammenhängend durch. Die generierten Flächen sind mit eindeutigen, vierstelligen Codenummern versehen, „F0205“ steht z.B. für die 5. Faltfläche im 2. Faltmodell, „A0205“ würde für einen Flächenabzug (Fenster, Türen) zu dieser Fläche benutzt. Das Rechenblatt kann am Ende der Berechnung angehängt werden (Protokoll der Flächenberechnung).

Bilanzierung nach DIN V 18599 als Einzonenmodell

Nachweisverfahren, Standort

Wenn die Auswertung der Faltmodelle mit der Routine für 18599-Berechnungen durchgeführt wird, schaltet DÄMMWERK auf die passende Berechnungsseite „EnEV (18599)“. Zunächst muss das gewünschte **Nachweisverfahren** ausgewählt werden, Auswahlmenü 285 zu „Nachweisverfahren“. Nichtwohngebäude (NWG) werden normalerweise zonenweise bilanziert, d.h. die unterschiedlichen Anforderungen an Belüftung, Beleuchtung, Kühlung in den verschiedenen Funktionsbereichen des Gebäudes werden detailliert erfasst. Zur Vereinfachung sind einige Ausnahmen erlaubt, wie z.B. die Berechnung von Bürogebäuden als Einzonenmodell, wenn die Hauptnutzung mehr als 2/3tel der Grundfläche ausmacht und die gekühlten Bereiche des Gebäudes nicht größer als 450 qm (NGF) sind (weitere Randbedingungen siehe EnEV 2007, A.2, Abs.3). In diesem Fall (Einzonenmodell) wird das Gebäude mit den Nutzungsrandbedingungen der Hauptnutzung berechnet. Besondere Parametereinstellungen und mögliche Vereinfachungen (Nutzungsart, Nutzenergie WW, Beleuchtung) für Einzonenmodelle finden Sie in den örtlichen Auswahlmenüs. Die berechneten Werte und die Grenzwerte für QP und HT´ müssen um 10% erhöht werden (EnEV A2, 3.2.4).

Der **Gebäudestandort** ist für Berechnungen nach DIN V 18599 immer „Deutschland“ (=Würzburg). Man kann im örtlichen Auswahlmenü alternativ und abweichend von der Norm auch den in der Berechnung für Wohngebäude (Seite „EnEV WG“) verwendeten Standort einstellen. Die Auswahl wirkt sich aber nur auf die monatlichen Außentemperaturen und die Strahlungseinflüsse aus. Die Berechnung von Lüftungsanlagen (DIN V 18599-3), von Klimaanlage (T.7) sowie die Wärmepumpenberechnungen und die Energieerträge aus thermischen Solaranlagen sind aber weiterhin auf das Würzburger Klima bezogen (tabellierte Werte). Für die Energieberatung und für Bilanzierungen an anderen, europäischen Standorten, ist das ungeeignet.

Zonenrandbedingungen, Hüllflächentabelle (Abs. 1 / 2)

Wählen Sie in der Tabelle „geplante Gebäudezonen“ in der Spalte „Typ“ den Nutzungstyp „Einzelbüro“ = Referenzwert für Einzonenmodelle. Mit dieser Auswahl werden die **Nutzungsrandbedingungen** entsprechend den Vorgaben aus DIN V 18599-10 (neu) gesetzt. Die Parameter können in der Parametertabelle „Zonenrandbedingungen“ (aufrufen z.B. über die Spalte „tnutz“ = Nutzungstage / Jahr) eingesehen werden. Man kann sie außerdem in das Berechnungsblatt einblenden (Anzeigeoption „Nutzungsrandbedingungen“).

Die Nachtabschaltung bzw. **Nachtabenkung** der Heizungsanlage wird über eine modifizierte, mittlere Innentemperatur berücksichtigt. Die Referenzeinstellungen (Nacht- und Wochenendabsenkung) sind bereits voreingestellt. Die Bilanzierung des Heizwärmebedarfs erfolgt für Regel- und Wochenend- / Ferienbetrieb getrennt, da im Wochenendbetrieb andere Randbedingungen (kein RLT-Betrieb, keine internen Gewinne ...) gelten. Für die Bilanzierung der haustechnischen Anlagen wird dann der Heizwärmebedarf im Regel- und Wochenendbetrieb wieder zusammengefasst.

Die **Hüllflächentabelle** ist bereits komplett ausgefüllt. Im vorliegenden Fall gehören alle Hüllflächen zur thermischen Hülle = wärmeübertragende Umfassungsfläche. In schwierigeren Fällen, z.B. wenn unbeheizte Zonen berücksichtigt werden, kann die Tabelle auch Hüllflächen unbeheizter Bereiche enthalten, die nicht zur wärmeübertragenden Umfassungsfläche gehören. Auf jeden Fall müssen die Berechnungsannahmen für die Grundflächen überprüft und neu eingestellt werden, da das Flächenmanagement keine weitere Qualifizierung dieser Flächen kennt. Verwenden Sie im Berechnungsbeispiel für die Fläche „F 0100 FG“ den stationären, thermischen Leitwert, der bereits berechnet worden ist (siehe Bauteile).

Alle Hüllflächen sind mit den Anmerkungen „51“ (= **Wärmebrückenzuschlag** pauschal mit $A \cdot 0.05 \text{ W/m}^2\text{K}$ berücksichtigen) versehen. Ob tatsächlich auch Grundflächen mit Wärmebrückenzuschlägen beaufschlagt werden müssen und ob dann eventuell wenigstens eine Temperaturkorrektur (Fx-Wert) zulässig wäre, ist derzeit nicht endgültig zu sagen. Wenn man mit Leitwerten rechnet, erübrigt sich diese Frage zum Glück. Ein pauschaler Wärmebrückenzuschlag von $0.05 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist nach EnEV '07 an einen Gleichwertigkeitsnachweis (Ausführung der Wärmebrücken ist gleichwertig mit den Ausführungsbeispielen aus DIN 4108, Bbl.2) gekoppelt. Der (sehr aufwendige) Nachweis wird nach EnEV 2009 nicht mehr erforderlich sein, das kann man vielleicht jetzt schon so handhaben. Der Einfluss von Wärmebrücken wird allgemein stark überbewertet, was für die Energieberatung unvorteilhaft ist. Diverse Einstellungen zur Berechnung des Wärmebrückeneinflusses werden im örtlichen Dialog zu „Wärmebrücken“ angeboten.

Außerdem sind für alle opaken, sonnenexponierten Hüllflächen solare Gewinne zu bilanzieren

(Anmerkung „02“). Spürbare Auswirkungen daraus sind aber nur bei klimatisierten, schlecht gedämmten Gebäuden zu erwarten. Die Einstellung kann im Dialog zu „Transferkoeffizienten“ allgemeingültig geändert werden.

Lüftungswärmetransfer (Abs. 3)

Die Lüftungswärmeverluste werden nach DIN V18599 als Summe aus der Fenster- und Fugenlüftung (Infiltration) multipliziert mit der Temperaturdifferenz zur Außenluft und dem mechanischen Luftwechsel durch RLT-Anlagen multipliziert mit der Temperaturdifferenz zur Zuluft berechnet. **Infiltration und Fensterlüftung** entstehen ganztägig (24 Stunden), **mechanische Luftwechsel** nur während der Betriebsstunden der RLT-Anlage (siehe Berechnungsformel zu „HV,mech“). Die Zulufttemperatur für die mechanisch bewegten Luftvolumen sind die Temperaturen nach einer möglicherweise vorhandenen Wärmerückgewinnung und einer möglicherweise vorhandenen Zuluftvorwärmung. Der Heizwärmebedarf einer Zuluftvorwärmung würde später im Abschnitt RLT-Anlagen gesondert bilanziert (Tabellenwerte für Würzburg). Die Luftwechselzahlen aus Fensterlüftung und Infiltration sind von dem erforderlichen Frischluftvolumen (ausgedrückt im Mindestaußenluftvolumenstrom = Nutzungsrandbedingung), der Gebäudedichtheit (Einstellungen für „n50“ und die Windschutzkoeffizienten) und den Druckverhältnissen im Gebäude abhängig. Abluftanlagen erzeugen Unterdruck, Zuluftanlagen Überdruck, balancierte Zu- und Abluftanlagen erzeugen keine Luftdruckunterschiede. Beachten Sie, dass die Volumenströme und daraus resultierende Luftwechselzahlen z.T. erheblich über den Annahmen bei Wohngebäuden (Luftwechselzahl = 0.7) liegen. Berücksichtigen Sie weiterhin, dass unterdimensionierte RLT-Anlagen (Volumenstrom nicht ausreichend) zu erhöhtem Fensterluftwechsel und damit zu erhöhtem Energiebedarf führen. Nehmen Sie sich etwas Zeit, um das komplizierte Zusammenspiel nachzuvollziehen.

Stellen Sie anschließend für die Gebäudedichtheit die Referenzwerte (mit RLT) und für die Windschutzkoeffizienten die Standardeinstellung ein. Der nötige Außenluftvolumenstrom VA wurde mit der Definition des Nutzungstyps bereits festgelegt. Wählen Sie über das örtliche Menü zu „n,mech,Zul“ eine balancierte Zu- und Abluftanlage aus. Der genaue Anlagentyp muss später im Abschnitt 9.0 RLT-Systeme noch näher bestimmt werden.

Solare Wärmequellen (Abs. 4)

Die **Kollektorflächen** für transparente und opake Hüllflächen (Fenster bzw. Wand- und Dachflächen) werden aus der Hüllflächentabelle (dort Anmerkung 2 vorsehen) mit Bezeichnung, Flächengröße, -neigung und -orientierung übernommen.

Der solare Wärmeertrag für **Fenster** ergibt sich aus „Fensterfläche * Glasflächenanteil * effektivem g-Wert * Strahlungsintensität“. Insbesondere der effektive g-Wert muss dabei näher betrachtet werden. Der **effektive g-Wert** "geff" ist der kleinere der Werte [g * Verschattungsfaktoren] bzw. [g mit Sonnenschutzvorrichtung] multipliziert mit der Minderung für verschmutzte Verglasung. Der g-Wert bei geschlossener Sonnenschutzvorrichtung „gtot“ ist für einige (wenige) Kombinationen aus Verglasung und Sonnenschutzvorrichtung tabelliert. Für eine genauere Berechnung nach EN 13363-1 benötigt man den Transmissions- und Reflexionsgrad der Sonnenschutzvorrichtung sowie a-Faktoren für ihre Aktivierung im Sommer und im Winter. Eine entsprechende Berechnung kann über das örtliche Menü „manuell / berechnen“ durchgeführt werden. Die angegebenen Formeln sind leider nicht schlüssig bzw. fehlerhaft. Provisorisch gilt daher: Berechnung von gtot nach DIN EN 13363-1/ 4108-6:2003, Anhang B mit den G-Parametern G1 = 6, G2 = 18 und G3 = 18. Für einen Abgleich der Ergebnisse mit den Tabellenwerten aus DIN V 18599-2:2007, Tab.5 müsste man den Transmissionsgrad weißer Jalousien ändern (>0 setzen).

Im Beispiel werden folgende Einstellungen vorgenommen / bestätigt: g-Wert = 0.60, Verglasungsanteil FF = 0.80 (relativ große Fenster, wie Bauteilberechnung), Faktoren für schrägen Strahlungseinfall und verschmutzte Verglasung jeweils 0.90, Lichttransmissionsgrad tD65 = 78%. geff wird manuell / detailliert berechnet mit einer Sonnenschutzvorrichtung „Außenjalousie grau, 10°“, manuell fixiert, Transmissionsgrad = 0.20, Reflexionsgrad = 0.70. Eine detaillierte Berechnung der geff-Werte muss nach Änderungen immer manuell vorgenommen / aktualisiert werden. Für die Lichtkuppeln im DG wird außerdem der Referenzwert für Lichtkuppeln ohne Sonnenschutzvorrichtung (Tabellenwert) verwendet.

Die Berechnungsformeln für solare Warmegewinne über **opake Bauteile** (Wärmedurchgang durch die Außenwände und das Dach infolge Strahlungsabsorption am Tag bzw. Strahlungsverlusten in der Nacht) sind angegeben. Neben dem U-Wert des Bauteils und dem äußeren Wärmeübergangswiderstand benötigt man für die Berechnung den Strahlungsabsorptionsgrad und

den äußeren Abstrahlungskoeffizienten. Das Berechnungsergebnis mit / ohne solare Gewinne über opake Bauteile unterscheidet sich im Berechnungsbeispiel um etwa 0,1% (vernachlässigbar).

Interne Wärme- und Kältequellen, Ausnutzungsgrad (Abs. 5 / 6)

Berechnungsansätze für die internen Wärmegevinne aus **Personen- und Geräteabwärme** wurden mit den Nutzungsrandbedingungen eingeleitet. Genaueres dazu siehe DIN V 18599-10. Außerdem könnten Wärmegevinne aus Stofftransporten (in / durch das Gebäude transportierte Stoffe ändern dabei ihre Temperatur) bilanziert werden. Die Wärmeeinträge aus den haustechnischen Installationen (**ungeregelte Wärmeeinträge**), aus der künstlichen Beleuchtung sowie aus den Verteilleitungen für Heizwärme und Warmwasser ergeben sich erst im Lauf der weiteren Berechnung. In Gebäuden mit einer Wohnungslüftungsanlage (rv) sind weitere, ungeregelte Wärmeeinträge zu bilanzieren.

Die **Ausnutzungsgrade** (welcher Anteil der Wärmeeinträge kann beim Wärmebedarf gutgeschrieben werden) berechnet man mit dem Verhältnis der Wärmequellen (Wärmegewinne) zu den Wärmesenken (Wärmeverluste), dem Zeitfaktor und der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes. „cwirk“ wird dabei in DIN V 18599 in „Wh/m²K“ angegeben, in DIN V 4108-6 werden Angaben in „Wh/m³K“ verlangt ($c_{\text{wirk},4108} = c_{\text{wirk},18599} / \text{Geschosshöhe}$).

Heizwärmebedarf (Abs. 7)

Der Heizwärmebedarf wird monatlich und bei zonierten Gebäuden nach Zonen als Summe aus den Transmissions- und den Lüftungswärmeverlusten abzüglich der solaren und internen Wärmegevinne berechnet.

Die Transmissionswärmeverluste erhält man aus

„ $(HT \cdot (T_i - T_e) + (HT,iz) \cdot (T_i - T_z)) \cdot \text{Anteil Regel- / WE-Betrieb} \cdot 24/1000 \cdot \text{Tage}$ “

als Summe aus dem **Transferkoeffizienten zur Außenluft** HT (der auch temperaturkorrigierte, mit Fx-Werten behandelte Transferkoeffizienten z.B. zum Erdreich enthält) multipliziert mit der mittleren, monatlichen Temperaturdifferenz zur Außenluft und den **Transferkoeffizienten zu angrenzenden Zonen** HT,iz multipliziert mit der Temperaturdifferenz zu diesen Zonen (Berechnung nur nötig, wenn die Innentemperatur in den angrenzenden Zonen um mehr als 4°C abweicht). Das Ergebnis, der Wärmestrom in Watt (W/K * K = Watt), wird mit „24 * Anzahl der Monatstage / 1000“ multipliziert und ergibt den monatlichen Wärmeverlust in [kWh]. Da im **Regel- und Wochenendbetrieb** in der Regel andere Zonentemperaturen herrschen, muss man die Berechnung für beide Betriebszustände zeitanteilig durchführen und die Ergebnisse addieren.

Falls der **Wärmeverlust zu unbeheizten Zonen** detailliert berechnet werden soll, z.B. weil Raumkühlung / Klimatisierung vorgesehen ist, muss zusätzlich der Transferkoeffizient „HT,iu“ zu der unbeheizten Zone ermittelt und mit der monatlichen Temperaturdifferenz entsprechend der HT,iz-Berechnung multipliziert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Temperaturkorrektur mit Fx-Werten ein inhaltlich entsprechendes Ergebnis liefert, z.B. entspricht der Ausdruck „ $F_x \cdot HT \cdot (T_i - T_e)$ “ dem Ausdruck „ $HT \cdot (T_i - T_u)$ “, wenn „ $F_x \cdot (T_i - T_e) = T_i - T_u$ “ gilt. Mit $F_x = 0.5$ und $T_e = 0^\circ\text{C}$ würde man z.B. unterstellen, dass die Temperatur in der angrenzenden, unbeheizten Zone 10°C beträgt, $T_u = 20 - 0.5 \cdot (20 - 0) = 10^\circ\text{C}$.

Die monatlichen Temperaturen in allen Zonen (beheizte und unbeheizte) sind angegeben. Die Einzelwerte können nachvollzogen werden, indem man Sie anklickt.

Die **Temperatur in unbeheizten Zonen** werden bei Bedarf nach DIN V 18599-2, Gl.38 mit den Transferkoeffizienten für Transmission und Lüftung zwischen den beheizten und der unbeheizten Zone und zwischen der unbeheizten Zone und der Außenumgebung, sowie den internen Wärmequellen in der unbeheizten Zone berechnet.

Die **Lüftungswärmeverluste** werden analog mit „ $HV \cdot (T_i - T_{\text{zul}}) \cdot \text{Anteil, Betriebszustand} \cdot 24/1000 \cdot \text{Tage}$ “ ebenfalls für den Regel- und WE-Betrieb berechnet. Dabei ist zu beachten, dass die Zulufttemperatur „Tzul“ nur dann der Außentemperatur „Te“ entspricht, wenn die RLT-Anlage mit keiner Wärmerückgewinnung und keiner Luftvorwärmung ausgestattet ist, ansonsten ist die Zulufttemperatur hinter der Luftvorwärmung einzusetzen.

Die **Gutschriften aus solaren und internen Wärmegevinnen** werden für den Regel- und WE-Betrieb getrennt ermittelt, zeitanteilig gewichtet und - da sie bereits in „kWh / Tag“ angegeben wurden - nur noch mit der Anzahl der Monatstage multipliziert. Der Ausnutzungsgrad (welcher Anteil der Wärmegevinne kann für die Beheizung genutzt werden) ist für den Regel- und WE-Betrieb unterschiedlich, da im WE-Betrieb normalerweise viele interne Wärmequellen entfallen (Personen-, Geräteabwärme, Beleuchtung usw.).

RLT-Systeme (Abs. 9)

Im Beispiel kommt eine **balancierte Zu- und Abluftanlage** zum Einsatz. Wie oben beschrieben, beeinflusst ihre Betriebsweise (Zuluft, Abluft, balanciert) und ihr Volumenstrom die Druckverhältnisse und die Luftwechselzahlen aus Infiltration und Fensterlüftung. Ihre Definition erfolgt daher stückchenweise, die im Abschnitt „Lüftungswärmetransfer“ vorgenommenen Festlegungen (siehe oben) werden im Abschnitt „RLT-Anlagen“ verfeinert / ergänzt, z.B. der Grad der Wärmerückgewinnung festgelegt. Dazu sollte man über die Anlagennummer das Auswahlmenü 252 aufrufen und die voreingestellte oder eine andere Anlage neu auswählen.

Im Beispiel wird ein „LBv“ (geregelter **Verdunstungsbefeuchter**) und eine Wärmerückgewinnung von 60% (WRG60, Mittelwert nicht Maximalwert) ausgewählt, nach EnEV 2007 sind 45% gefordert. Verdunstungsbefeuchter sorgen für zusätzliche Strömungswiderstände im Lüftungssystem und damit für einen höheren Ventilatorstrombedarf, ansonsten benötigen sie (im Gegensatz zu Dampfbefeuchtern = „Wasserkocher“) keine zusätzliche Energie. Das Kürzel „VE“ in der Spalte „Komponenten“ steht für den Ventilator.

Das wichtigste Ergebnis im Abschnitt RLT-Systeme ist der **Strombedarf der Ventilatoren**. Ihre Leistungsaufnahme ist von System zu System sehr verschieden. Sie hängt von den Strömungswiderständen ab, große Widerstände = großer Leistungsbedarf. Für die Widerstände im System sorgen die Leitungen selbst (Rohrreibung) sowie alle zusätzlichen Einbauten, wie etwa eine Wärmerückgewinnung, Luftheizer, Luftkühler, Befeuchter, Filter usw.. Im Auswahlmenü 277 zur Ventilatorleistung sind viele Richt- und Orientierungswerte angegeben. Zuverlässiger wären allerdings konkrete Angaben des Haustechnikers.

An selber Stelle kann auch der bereits festgelegte **Volumenstrom** geändert werden. Eine solche Änderung beeinflusst den Strombedarf der Ventilatoren, aber auch die Berechnung der Lüftungswärmeverluste (oben beschrieben). Mit der Einstellung „automatisch“ im örtlichen Dialog wird der Volumenstrom immer automatisch an den erforderlichen Außenluftvolumenstrom angepasst. Alternativ kann dort auch „kühllastabhängig“ gewählt werden, wenn die technische Kühlung der versorgten Zone im Sommer über einen größeren Volumenstrom bewerkstelligt werden soll. In diesem Fall wäre der Strombedarf der Ventilatoren monatlich verschieden (Parameter „Vmech,m“ und „QV,E“)

Falls Luftheizer (**Heizregister**) oder Luftkühler (**Kühlregister**) zur Vorwärmung / Vorkühlung der Zuluft (= Zuluftkonditionierung) verwendet werden sollen, muss auch die Zulufttemperatur festgelegt werden, die dann eine Planungsgröße ist. Der im Abschnitt RLT-Systeme bilanzierte Energiebedarf für Zuluftkonditionierung bezieht sich auf den Temperaturbereich zwischen 14 und 22°C. Der Energiebedarf für Luftheizungen z.B. mit Lufttemperaturen um 45°C ist ggf. zusätzlich im Abschnitt „Heizsysteme“ zu bilanzieren (Umluftheizung). Der Nutzenergiebedarf für Zuluftkonditionierung wird (etwas unübersichtlich) über Tabellenwerte für Würzburg bestimmt, die Bedarfswerte werden dann an die Heiz- und Klimakältesysteme übergeben, die für die Bereitstellung der Wärme / Kälte sorgen müssen. Genaueres siehe zonierte Berechnung.

Beleuchtungssysteme (Abs. 10)

Der **Strombedarf für künstliche Beleuchtung** ist eigentlich relativ einfach zu ermitteln. Ausgehend von der erforderlichen Beleuchtungsstärke (lux-Zahl) in einem betrachteten Bereich und den verwendeten Lampen (Lampenart, Art der Beleuchtung) wird eine spezifische, elektrische Bewertungsleistung in $[W/m^2]$ berechnet und dann mit der versorgten Fläche und der Einschaltdauer der Lampen multipliziert.

Insbesondere die Berechnung der **Einschaltdauer** ist allerdings eine „Wissenschaft für sich“ oder wird dazu gemacht. Der Teilbetriebsfaktor Tageslicht = anteilige Einschaltdauer für Kunstlicht (Werte zwischen 0.4 und 0.8 = zwischen 40 und 80% der Nutzungsstunden ist das Kunstlicht eingeschaltet) wird von einer Vielzahl von Parametern bestimmt, wie z.B. Raumgröße, Raumgeometrie, Fenstergröße, Orientierung, Sturzhöhe, Höhe der Nutzebene, Verschattungseinflüsse aus Verbauung, Blendschutzsystemen, Art der Verglasung, Nutzungsstunden zur Tag- und Nachtzeit (tageszeitliche Anordnung der Nutzungszeiten), Abwesenheitszeiten, automatischen Kontrollsystemen usw.. Die aufwändige Berechnung kann detailliert durchgeführt werden. Alternativ kann man die Teilbetriebsfaktoren auch manuell eingeben, z.B. auf Grundlage einer Fachplanung.

Für die detaillierte Berechnung müssen zunächst Bereiche mit prägnant unterschiedlicher Tageslichtversorgung definiert werden (**Tageslichtbereiche**), die nicht unbedingt mit den Gebäudezonen zusammenfallen bzw. die Zonen weiter untergliedern. Die Eingabemöglichkeit ist dabei auf 100 Tageslichtbereiche (knapp) begrenzt. Wir sind der Auffassung, dass es keinen Sinn

macht, Hunderte oder Tausende Tageslichtbereiche zu definieren / zu berechnen, wenn das Gebäude entsprechend groß ist. Man ist also gezwungen, Tageslichtbereiche geeignet zusammen zu fassen.

Theoretisch müssten die einzelnen Bereiche anhand eines Grundrissplans individuell geplant und manuell eingegeben werden (Raumgröße, Fensterfläche, Orientierung, Verschattung usw.). Praktisch gibt es im örtlichen Dialog diverse Hilfestellungen. Unter Tageslichtbereiche neu entwickeln findet man: "2 aus der Hüllflächentabelle" erzeugt je Zone und Orientierung einen TL-Bereich, die tageslichtversorgte Fläche ATL wird abgeschätzt, "3 aus den Faltmodellen" erzeugt je Faltfläche (mit Fenstern) einen Tageslichtbereich, "4 zusammenfassen" fasst Fassadenteile gleicher Orientierung der selben Zone zusammen und "5 aus der Tabelle solare Wärmequellen" erzeugt je Solarkollektor einen TL-Bereich, ATL wird abgeschätzt.

Am häufigsten wird die Methode „3 aus den Faltmodellen“ eingesetzt, wenn die Gebäudegeometrie mit Faltmodellen (Grundrisse, wie im Beispiel) beschrieben wurde. Dabei werden zunächst Standardparameter, wie etwa die Raum- und Sturzhöhe, die reale Raumtiefe oder die Höhe der Nutzenebene zur Korrektur angeboten. Die Programmroutine analysiert anschließend die Faltmodelle und erzeugt Berechnungsansätze für **die tageslichtversorgten Flächen** $ATL = b_{TL} * \text{Tiefe des Bereichs}$. Für die Südfassade im Erdgeschoss erhält man z.B. den Ansatz „ $b_{TL} = 1 * (28,12 - 0,23 - 4,50 / 2 - 0,23 - 4,50 / 2)$ “ mit der Fassadenbreite brutto = 28,12 m, der Dicke der links und rechts anschließenden Außenwände = 0,23 m und der Tiefe der tageslichtversorgten Fläche $a_{TL} = 4,50$ m (Raum- oder Belichtungstiefe). Durch zweimaligen Abzug von „ $a_{TL} / 2$ “ werden die Überdeckungen der Tageslichtbereiche an den Gebäudeecken eliminiert, wenn diese Bereiche von zwei Seiten belichtet werden. Wenn das nicht so ist, muss manuell korrigiert werden.

Wenn **Dachoberlichter** (Lichtkuppeln, Sheds usw., wie im Dachgeschoss des Beispiels), zur Ausführung kommen, muss man zusätzliche Tageslichtbereiche definieren, ggf. auch gegenseitige Überdeckungen berücksichtigen. Dachoberlichter können theoretisch große Flächen mit Tageslicht versorgen, wobei allerdings eine große, versorgte Fläche zu kleinen Tageslichtquotienten und damit zu größeren Teilbetriebsfaktoren führt (Nachregulierung des Berechnungssystems).

Die automatische Programmroutine verknüpft die berücksichtigten Fensterflächen mit den entsprechenden Solarkollektoren. **Verglasungsparameter** wie der Lichttransmissionsgrad sowie die Faktoren für Rahmenanteile, Verschmutzung, Verbauung und Verschattung können dann analog der Berechnung der solaren Gewinne eingestellt werden. Die Parameter sind aber separat definiert und können individuell festgelegt werden, wenn man den Kollektorbezug entfernt hat. Weitere Erschwernisse kommen hinzu, wenn man Gebäude mit vorgehängten Glasdoppelfassaden oder Fassaden in verglasten Innenhöfen (Atrien) betrachtet. Im Wesentlichen geht es dabei um zusätzliche Korrekturfaktoren für die zweite, den Lichteinfall mindernde Ebene (Rahmenanteile, Verschattung, Verschmutzung usw.).

Im gewählten, einfachen Beispiel müssen keine manuellen Korrekturen vorgenommen werden. Einzig der ATL-Wert der beiden Dachoberlichter soll manuell auf $2 * 16 \text{ m}^2$ korrigiert werden (Ansatz $16 \text{ m}^2 = [\text{Raumhöhe} - \text{Höhe der Nutzenebene}]^2$) (manuelle Eingabe in der Parametertabelle, Wert anklicken). Zur Kontrolle werden unterhalb die summierten, tageslichtversorgten Flächen den Nettogrundflächen der Zonen gegenübergestellt. Wenn sich dabei negative Werte ergeben (die tageslichtversorgten Flächen übersteigen die Nettogrundfläche), muss korrigiert werden.

Die **Kunstlichtversorgungsgebiete** können über den örtlichen Dialog aus den Tageslichtbereichen abgeleitet werden. Alternativ kann man manuell eingeben / ergänzen. Die Betriebszeiten / Nutzungsstunden sind in DIN V 18599-10 in Stunden pro Jahr zur Tag- bzw. zur Nachtzeit angegeben. Wenn mit monatlichen Teilbetriebsfaktoren weitergerechnet wird (was bei dem bereits investierten Aufwand sinnvoll ist), sind die effektiven Betriebszeiten der Beleuchtungseinrichtungen monatlich verschieden. Der **Endenergiebedarf für Beleuchtung** wird mit

$$Q = F_{klr} * p_j / 1000 / 12 * (ATL * (teff_{TL} + teff_n) + AK_{TL} * (teff_{KTL} + teff_n)) * F_{tn}$$

berechnet. Darin ist „ATL“ die tageslichtversorgte Fläche, „teff_{TL}“ die effektive Einschaltzeit der Beleuchtung in diesem Bereich am Tage, „teff_n“ die Betriebszeit = Einschaltzeit in der Nacht, „AK_{TL}“ die nicht tageslichtversorgte versorgte Fläche und „(teff_{KTL} + teff_n)“ die gesamte Betriebszeit = Einschaltzeit in diesem Bereich. „teff_{TL}“ erhält man mit „ $t_{\text{Tag}} * F_{\text{Prae}} * F_{\text{TL}}$ “ = Nutzungsstunden zur Tagzeit * Präsenzfaktor * Teilbetriebsfaktor für Tageslicht.

Das Ganze wird mit „F_{klr}“ = Korrekturfaktor für Konstantlichtregelung, „p_j“ der elektrischen Anschlussleistung sowie einem Faktor F_{tn} (?) multipliziert sowie durch 1000 (Umrechnung in kWh) und durch 12 (Jahressumme der monatlichen FTL-Werte ergibt 12) geteilt.

Warmwassersysteme (Abs. 12)

Die Warmwasserversorgung wird im vereinfachten Einzonen-Berechnungsmodell vernachlässigt, Nutzenergiebedarf für Warmwasser = 0 (EnEV 2007, Anhang 2, Tab.4).

Genauerer siehe zonierte Berechnung.

Heizsysteme (Abs. 13)

Die Bilanzierungsregeln für die Heizwärmeversorgung sind vielschichtig. So können in einzelnen Zonen mehrere **Übergabesysteme** ausgeführt werden (z.B. Fußbodenheizung + freie Heizkörper), **Verteilssysteme** können mehrere Zonen versorgen, ein **Erzeuger** oder eine Erzeugerkombination aus einem / mehreren Kesseln, Wärmepumpen und / oder solarer Heizungsunterstützung können die Heizwärme für mehrere Bereiche bereitstellen. Das Ziel ist, die Parameter der Heizwärmeübergabe, die Verluste der Verteilung sowie die Verluste der Wärmeerzeugung möglichst genau zu ermitteln und die daraus resultierenden, unregelmäßigen Wärmeeinträge (= interne Wärmegewinne) korrekt den beteiligten Zonen zuzuordnen.

Die maximal erforderliche Heizleistung (**Dimensionierung der Erzeuger**) wird nach DIN V 18599-2, Anhang B mit speziellen Formeln berechnet. Eine Methode, die nach unserem Eindruck übertrieben aufwändig ist und zudem die Heizlasten aus der Warmwasserbereitung, der Zuluftkonditionierung und möglicherweise vorhandenen Absorptionskälteanlagen im Heizbereich nicht berücksichtigt. Wird automatisch durchgeführt.

Für eine korrekte Ermittlung der Erzeugerverluste müssen außerdem **die rechnerischen Laufzeiten** der Heizung bestimmt werden. Hier gib es größere Probleme, denn die Berechnungsansätze aus DIN V 18599-2 und Teil 5 berücksichtigen sonstige Laufzeiten der Erzeuger (z.B. für Zuluftkonditionierung oder Kälteerzeugung) nicht. Außerdem können Belastungsgrade der Erzeugung ins Unendliche steigen, wenn die monatlichen Betriebstage rechnerisch mit einem Wert < 1 bestimmt werden. Und schließlich kann man darüber streiten, ob in den Übergangsmonaten die Heizung zur Deckung von reinem Wochenend-Wärmebedarf in Betrieb bleibt, wenn nämlich im Regelbetrieb die internen Gewinne das Gebäude noch / bereits wieder ausreichend temperieren würden. Die Berechnungsoption „Sommerbetrieb“ sollte zur Zeit auf „Heizung auch zur Deckung des reinen Wochenend-Wärmebedarfs“ eingestellt werden (Wärmeübertrag vom WE-Betrieb auf den Regelbetrieb). Die rechnerischen Laufzeiten werden ansonsten (bis korrigierte Berechnungsansätze vorgelegt werden) provisorisch bestimmt (Details sind örtlich dokumentiert).

In unserem Beispiel wird der einfachste Fall einer **Zentralheizung mit freien Heizflächen** und einem konventionellen Erzeuger dargestellt. Dazu wird die statische Zentralheizung (Referenzausführung nach EnEV '07) zur Vollversorgung ausgewählt, die Leitungslängen werden anhand der Hauptabmessungen des Gebäudes und der Etagenanzahl mit den Standardwerten vorgelegt. Da ein L-förmiger Grundriss behandelt wird, sind dabei die größten Längen des „L“-s zu addieren. Achten Sie auf die Geschosshöhe im Eingabedialog.

Die **Verluste der Übergabe** sind relativ einfach mit tabellierten Faktoren in Abhängigkeit vom Übergabe und Kontrollsystem und der Raumgeometrie festzustellen (passende Werte sind voreingestellt). Zusätzlich kann der Strombedarf von Regeleinrichtungen (z.B. elektrische Stellantriebe) und anderen, anderswo nicht bilanzierten Gerätschaften, berücksichtigt werden (Hilfsenergiebedarf der Übergabe).

Die **Verluste der Verteilung** sind insbesondere von den Leitungslängen, den mittleren Heizkreistemperaturen (Betriebsart, geplante Vor- / Rücklauftemperatur) und den U-Werten der Heizungsrohre (nach Baualter) abhängig. Die mit Standardwerten berechneten Leitungslängen sind in vielen Fällen zu groß. Das kann leicht zu Unstetigkeiten der iterativen Berechnung führen, wenn nämlich wesentliche Anteile des Heizwärmebedarfs über Leitungsverluste (ungeregelt) gedeckt werden: hohe Leitungsverluste verursachen hohe, unregelmäßige Wärmeeinträge und damit einen verminderten Heizwärmebedarf, der dann wieder zu geringeren Leitungsverlusten führt ... Die im Beispiel mit fast 2.000 m voreingestellten Leitungslängen werden daher manuell auf die angegebenen Werte korrigiert, was erlaubt ist (man kann in der Referenzberechnung auch die Standardwerte belassen und sich damit „Luft für den Nachweis“ schaffen). Ebenfalls bilanziert werden muss der Strombedarf der Heizungspumpe als Hilfsenergiebedarf. Er ist zwar von den Leitungswiderständen (Druckdifferenz) abhängig, die in diesem Fall aber relativ einfach mit Standardwerten zu ermitteln sind.

Bei mehreren Übergabe- und Verteilssystemen kann man mit einer prozentualen Teildeckung des Wärmebedarfs arbeiten und mehrere Heizbereiche zur selben Zone definieren. Leitungsverluste werden dann grundflächenproportional, andere, unregelmäßige Wärmeeinträge leistungsabhängig

(nach dem Wärmebedarf) auf die beteiligten Zonen aufgeteilt. Man kann Heizleitungen aus mehreren Zonen in einem Heizbereich zusammenfassen, wenn die resultierende Aufteilung der unregelmäßigen Wärmeeinträge zu keinen Fehlern führt.

Der Nutzwärmebedarf der **Erzeugung** kann wieder zusammengefasst und gemeinsam weiterbehandelt werden, wenn ein Erzeugersystem mehrere Heizbereiche versorgt (örtliche Menüs im Abschnitt 13.6). Wärmeverluste der Erzeugung werden in diesen Fällen lastabhängig auf die Zonen der beteiligten Heizbereiche aufgeteilt.

Wärmepumpen oder eine solare Heizungsunterstützung sind im vorliegenden Fall nicht vorgesehen, ein Heizwärmepufferspeicher ist daher nicht erforderlich. Benötigte Systemkomponenten könnten in den örtlichen Menüs zu- und abgeschaltet werden.

Der voreingestellte **Heizkessel** (Referenzwert nach EnEV'07 = NT-Gebläsekessel, erdgasbefeuert) sollte durch eine erneute Auswahl bestätigt werden. Dabei wird auch die gewählte Kesselnennleistung eingestellt. Der angegebene Orientierungswert für QN ergibt sich aus den Abschnitten 13.1 und 13.2 mit $1.3 \cdot Q_{h,max}$ (30% über der maximal erforderlichen Heizleistung). Wenn der Wärmeerzeuger auch RTL-Anlagen und Warmwassersysteme mit Wärme versorgt, muss ggf. eine größere Nennleistung manuell eingestellt werden. Die Kesselbelastungsgrade β in der untenstehenden Tabelle dürfen nicht größer als 1 werden. Die Kesselparameter (Wirkungsgrad, Bereitschaftswärmeverlust, elektrische Leistungsaufnahme) werden mit Standardwerten vorbelegt. Alle verwendeten Parameter können in der örtlichen Parametertabelle (über Auswahlmenü 272) eingesehen und geändert werden. Bei Kesseln, die gleichzeitig auch der Warmwasserbereitung dienen, verkürzt sich die Laufzeit für die Heizwärmeerzeugung um die Laufzeit für die Warmwasserbereitung, die Belastungsgrade steigen. Die Laufzeiten für die Warmwasserbereitung können automatisch zugeordnet und aktualisiert werden, wenn man in der Parametertabelle einen Bezug zu einem Warmwasserbereich herstellt, „TW01“ könnte dort z.B. für einen Bezug auf den ersten Warmwasserbereich eingetragen werden. Wie bei anderen, haustechnischen Anlagen wird auch bei Heizsystemen der Endenergiebedarf (ggf. verschiedene Energieträger) und der Hilfsenergiebedarf ermittelt.

Energiebedarf (Abs. 14)

Der **Endenergiebedarf** der haustechnischen Anlagen (Prozessbereiche) wird nach den verwendeten Energieträgern tabellarisch aufgelistet und primärenergetisch bewertet. Abgesehen von den bekannten **Primärenergiefaktoren** muss dabei bei fossilen Brennstoffen zusätzlich die Brennwert- / Heizwertkorrektur berücksichtigt werden. Die Primärenergiefaktoren fossiler Brennstoffe landen dadurch nahezu bei dem Wert 1.0. Zusammen mit der Summe der benötigten Hilfsenergien (Pumpen, Ventilatoren, Regeleinrichtungen) erhält man den End- und Primärenergiebedarf und daraus den quadratmeterbezogenen Jahres-Primärenergiebedarf, der nach EnEV begrenzt werden muss.

Da mit dem vereinfachten Einzonenmodell gerechnet wurde, ist der quadratmeterbezogene Primärenergiebedarf um 10% zu erhöhen. Außerdem muss ein zusätzlicher Primärenergiebedarf von pauschal 650 kWh/Jahr für jeden Quadratmeter Grundfläche des gekühlten Serverraums bilanziert werden. Der bilanzierte **Primärenergiebedarf** steigt damit um etwa 22% über den berechneten Wert.

Ergänzend werden quadratmeterbezogene Werte des Jahres-Endenergiebedarfs (ohne Zuschläge) nach Zonen und Prozessbereichen aufgeteilt und angezeigt (Abschnitt 14.2). In Abschnitt 14.3 erfolgt schließlich eine Aufteilung des End- und Primärenergiebedarfs nach Prozessbereichen für den **Energieausweis**. Diese Werte enthalten den 10%-igen Zuschlag für das Einzonenmodell, allerdings keine quadratmeterbezogene Zuschläge (Serverraum) und keine Gutschriften aus einer möglicherweise eingesetzten BHKW-Anlage. Die Bilanzierungsregeln sind hier noch unklar.

EnEV-Nachweis EnEV 2007 (Abs. 15)

Der Nachweis der energiesparenden Ausführung des Gebäudes nach EnEV'07 besteht aus zwei Teilen.

Einerseits muss die Qualität der thermischen Hülle, ausgedrückt im **HT-Wert** (= mittlerer U-Wert) begrenzt werden. Dazu werden Grenzwerte nach EnEV 2007, Anlage 2, Tab.2 und 3.2.4 berechnet. Sie sind vom „A / Ve“-Verhältnis abhängig, also vom Verhältnis der wärmeübertragenden Umfassungsflächen „A“ zum Bruttogebäudevolumen „Ve“ und vom Fensterflächenanteil. „Ve“ ist noch nicht bekannt, da nach DIN V 18599 mit Nettogrundflächen und Nettovolumen gerechnet wird. Wenn die Gebäudegeometrie mit Faltmodellen beschrieben wurde, stehen die nötigen Werte allerdings im Rechenblatt zur Verfügung (siehe Rechenblatt „Ve“) und können automatisch übernommen / aktualisiert werden (Option „Ve und FF automatisch“ im örtlichen Dialog zu „Grenzwert“). Andernfalls

wird in erster Näherung eine Rückrechnung „ $V_e = V_i / 0.8$ “ (Bruttovolumen = Nettovolumen / 0.8) oder ein manuell angegebener Wert verwendet.

Der **Fensterflächenanteil** ergibt sich aus der Hüllflächentabelle, wobei alle näherungsweise vertikalen (>80° Neigung) Wand- und Fensterflächen berücksichtigt werden. In speziellen Fällen (Dachflächenfenster) können auch horizontal oder weniger geneigte Flächen einbezogen werden, wenn man bei den entsprechenden Hüllflächen die Anmerkung „98“ (manuell) vorsieht. Durch Mausklick auf „Fensterflächenanteil“ wird das Berechnungsprotokoll rechts unten angezeigt.

Die zweite Nachweiskomponente ist die **Begrenzung des quadratmeterbezogenen Primärenergiebedarfs**. Der erforderliche Grenzwert ist dabei mit einer parallelen / zweiten Gebäudeberechnung mit standardisierten U-Werten und Anlagentechnik zu ermitteln, Grenzwert = quadratmeterbezogener Primärenergiebedarf des Gebäudes mit Referenzeinstellungen. Referenzwerte für alle möglichen Anlagenteile sind in der EnEV, Anhang 2, Tabellen 1 bis 4 angegeben.

Für diese Grenzwertermittlung sollte die aktuelle Berechnung zunächst doppelt gesichert werden, nämlich als Berechnung zum realen Gebäude und zusätzlich als **Berechnung zum Grenzwert** (Berechnungsoption). Je nachdem, unter welchem Aspekt die bisherigen Eingaben erfolgt sind, wird dann an der Berechnung für das reale Gebäude oder an der Berechnung für das Referenzgebäude weitergerechnet, das heißt die verwendeten Einstellungen werden mit den geplanten, realen Einstellungen oder mit den Referenzeinstellungen ersetzt. Die EnEV-Referenzwerte sind jeweils in den örtlichen Menüs kenntlich gemacht.

In der Berechnung für den Grenzwert muss nach EnEV'07 in jedem Fall ein Transmissionswärmetransferkoeffizient verwendet werden, der mit zonenbezogenen HT'-Referenzwerten berechnet wurde. Die zonenbezogenen **HT'-Referenzwerte** sind dabei mit ähnlichen Formeln wie die HT'-Grenzwerte abhängig vom „A / Ve“-Verhältnis und dem Fensterflächenanteil vorgegeben (EnEV A2, Tab.1). Die nötige Umstellung kann im Abschnitt 2.0 im Dialog zu „Transferkoeffizienten“ mit der Einstellung „HT'-Referenztabelle“ und „aktualisieren“ automatisch vorgenommen (= aus der ausführlichen Hüllflächentabelle abgeleitet) werden. Natürlich kann man die nötigen Zonenparameter (Innentemperatur, wärmeübertragende Umfassungsfläche, Bruttovolumen, Fensterflächenanteil) auch manuell eingeben oder anpassen.

Außerdem werden in der Referenzberechnung im allgemeinen die gleichen Anlagensysteme verwendet, jedoch mit vorgegebenen, **standardisierten Anlagenparametern**, wie z.B. dem Wärmerückgewinnungsgrad der RLT-Anlage, den Verschattungsfaktoren für solare Gewinne (Verglasung und Sonnenschutzvorrichtung wie im realen Gebäude), der Lampenart für künstliche Beleuchtung, den Leitungslängen und U-Werten der Verteilsysteme oder der Bauart des Heizwärmeerzeugers. Der Energiebedarf für Raumkühlung darf in der Referenzberechnung unter anderem für Bürogebäuden nicht bzw. nach EnEV'09 nur zu 50% angerechnet werden.

Wenn die zweite Berechnung angelegt und die nötigen Einstellungen vorgenommen sind, muss die Berechnung für das reale Gebäude geladen werden, der **Grenzwertvergleich** wird dann bereits angezeigt (oder nach Auswahl der Referenzrechnung, Dialog zu „Grenzwert“ im Abschnitt 15.2). Beim vereinfachten Einzonenmodell wird auch der Qp-Grenzwert mit dem 10%-igen Zuschlag und dem Zuschlag für gekühlte Flächen erhöht.

Ergebnisse	ANGF m ²	HT W/K	vorh HT' W/m ² K	zul HT' W/m ² K	Qh,b kWh	qp kWh/m ² a
DIN V 18599, einzonig	2.010	1.481	0.66	1.14	90.620	195,4
... Referenzgebäude	2.010	1.925	0.86		140.925	211,8

EnEV-Nachweis EnEV 2009 (Vorausblick)

Die Berechnungsmethoden für das reale Gebäude (DIN V 18599) ändern sich nicht. Die Berechnungsmethoden für die Referenzwerte werden modifiziert, die Referenzeinstellungen deutlich verschärft. Ein Nachweisverfahren für Wohngebäude nach DIN V 18599 wird neu eingeführt (derzeit noch parallel zum bekannten Nachweis nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10).

Unterschiedliche Berechnungsverfahren (ausführliche, vereinfachte Verfahren) sind noch nicht explizit definiert. Die Verfahren nach EnEV'07 werden daher fürs Erste beibehalten.

Die Nachweismethode für NWG wird mit der EnEV 2009 (z.Zt. noch nicht verabschiedet) einfacher, denn der Nachweis des HT´-Wertes entfällt. Stattdessen müssen die U-Werte der Hüllflächenbauteile begrenzt werden, Höchstwerte für die Wärmedurchgangskoeffizienten sind in EnEV 2009, A2, Tab.2 angegeben. Dabei ist der mittlere U-Wert für alle opaken Außenbauteile, für die transparenten Außenbauteile, für Vorhangfassaden und für Dachoberlichter getrennt zu berechnen und nachzuweisen. Um eine eindeutige Unterscheidung in Fenster, Glasdächer, Lichtkuppeln usw. zu ermöglichen, wurden im Auswahlmenü 229 (zur Spalte Anmerkungen der Hüllflächentabelle) die Anmerkungen 70ff ergänzt.

Die **U-Wert-Prüfung** wird im Dialog zu „Transferkoeffizienten“ im Abschnitt 2.1 zu- und abgeschaltete. Im zusätzlichen Abschnitt 2.3 werden dann die Grenzwerte für die vier Hüllflächengruppen angegeben (unterschiedliche Werte für normale und niedrige Innentemperaturen) und darunter die berechneten Werte, je einer pro Hüllflächengruppe und Zone. Die Berechnungsprotokolle zu den berechneten Werten werden per Mausklick zur Anzeige gebracht, zu hohe Werte sind rot markiert. Grenzwertüberschreitungen werden außerdem in der Hüllflächentabelle selbst durch eine Markierung („##“) in der Spalte mit der Bauteilkurzbezeichnung hinter dem U-Wert kenntlich gemacht. Alle Hüllflächen einer Hüllflächengruppe mit Grenzwertüberschreitung sind markiert. Man muss dann Bauteilbezüge ändern, Bauteilkonstruktionen thermisch verbessern oder U-Werte anpassen, bis die Markierung verschwindet.

Referenzberechnung nach EnEV 2009

Der Grenzwert für den quadratmeterbezogenen Primärenergiebedarf wird weiterhin mit dem Referenzwertverfahren ermittelt. Referenzeinstellungen für unser Berechnungsbeispiel nach EnEV´09 finden Sie in der Gebäudeberechnung „Bürohaus-Referenz-09.dwe“.

Eine Berechnungskopie mit Referenzeinstellungen zur EnEV´09 kann über die Berechnungsoption **"Referenzberechnung EnEV´09 erstellen"** automatisch angelegt werden. Die so erzeugte Referenzberechnung muss ebenso wie eine manuelle Berechnungskopie kontrolliert werden, die unstrittigen Referenzeinstellungen sind jedoch bereits eingestellt.

Für die Ermittlung des Primärenergie-Grenzwertes wird mit Referenz-U-Werten gerechnet. Die vorgegebenen Voreinstellungen für die Hüllflächenparameter (U- und g-Wert, Lichttransmissionsgrad tD65, Wärmebrückenzuschläge) können alternativ auch im Dialog zu „Transferkoeffizienten“ im Abschnitt 2.1 eingestellt werden. Vorhandene Bauteilbezüge müssen dabei entfernt werden.

Die pauschalen Wärmebrückenzuschläge sind nach EnEV´09 im Regelfall mit 0.05, in niedrig temperierten Gebäudezonen mit 0.10 W/m²K einzustellen. Ein Gleichwertigkeitsnachweis nach DIN 4108, Bbl.2 ist nicht mehr erforderlich (bravo, Wärmerückenzuschläge = 0.00 W/m²K wären aber praxisnäher).

Die Einstellungen im Abschnitt 3 „Lüftungswärmetransfer“ entsprechen im wesentlichen der EnEV´07, der mittlere Wärmerückgewinnungsgrad von Zu- und Abluftanlagen mit WRG ist jedoch mit 60% (bisher 45%) anzusetzen.

In den Abschnitten 4 bis 7 (Solare, Interne, Ausnutzungsgrade und Heizwärmebedarf) sind keine wesentlichen Änderungen vorgesehen. Lediglich der U-Wert der Hüllflächen für die Berechnung solarer Wärmegewinne über opake Bauteile ist mit den realen Werten (abweichend zur EnEV´07) anzunehmen.

Im Abschnitt 9, „RLT-Anlagen“ ist in der Referenzwertberechnung von einer verringerten Ventilator-Leistungsaufnahme auszugehen. Die voreingestellten Werte sind im Auswahlmenü 277 zu „pV,ZUL / pV,ABL“ erläutert.

Der Strombedarf für künstliche Beleuchtung wird wie nach EnEV´07 berechnet, für die spezifische Leistungsaufnahme der Lampen gilt aber als Referenzwert „stabförmige Leuchtstofflampen, Vorschaltgerät EVG elektronisch, direkte und indirekte Beleuchtung“ (EnEV´07 verlustarme Vorschaltgeräte, direkte Beleuchtung).

Im Abschnitt 13 (Heizsysteme) ist bei statischen Heizflächen von einer Temperaturregelung im Referenzgebäude über P-Regler mit 1K Schaltdifferenz (EnEV´07 = 2K) auszugehen. Die Verteilungsverluste sind mit Standard-Leitungslängen mit 70% der Werte nach DIN V 18599-5, Tab.15 zu berechnen (30% geringere Leistungsverluste). Anstelle des gasbefeuerten NT-Gebälsekessels (EnEV´07) ist ein verbesserter Heizöl-Brennwertkessel anzunehmen.

Die Summe der beschriebenen Einstellungen verschärft den QP-Grenzwert nach EnEV´09 im Berechnungsbeispiel um etwa 20% (deutlich).

Der Nachweis für unser reales Gebäude „Bürohaus.dwe“ kann alternativ nach EnEV´07 oder EnEV´09 geführt werden. Man muss dazu die Referenz-Gebäudeberechnung passend einstellen (im

Dialog zu „Grenzwert“ im Abschnitt 15.2 „Nachweis QP“) sowie im Abschnitt 15.1 „Nachweis HT“ im Dialog zu „Grenzwert“ die Einstellung „für NWG nach EnEV´09 (siehe Hüllflächentabelle)“ oder „für NWG nach EnEV´07“ wählen. Für den Nachweis nach EnEV´09 sollte außerdem die Option „U-Werte für NWG prüfen“ (Dialog zu „Transferkoeffizient“ im Abschnitt 2.0) eingeschaltet werden.

Ergebnisse	ANGF m ²	HT W/K	vorh HT´ W/m ² K	zul HT´ W/m ² K	Qh,b kWh	qp kWh/m ² a
DIN V 18599, einzonig	2.010	1.481	0.66	1.14	90.620	195,4
... Referenzgebäude	2.010	1.925	0.86		140.925	211,8
... Referenz ´09	2.010	1.329	0.60		78.418	169,6

Vergleichsrechnung nach EnEV 2004 (veraltet)

Für eine spätere Relativierung der Berechnungsergebnisse soll eine Vergleichsrechnung nach EnEV 2004 angestellt werden. Dieser EnEV-Stand ist zweifelsohne veraltet, stellt jedoch die letzte Fassung der Berechnung von Nichtwohngebäuden nach DIN V 4108-6 / DIN V 4701-10 dar.

Die nötigen Einstellungen können direkt in der Berechnung für das reale Gebäude („Bürohaus.dwe“) vorgenommen werden. Die Berechnungen nach DIN V 18599 einerseits und V 4108-6 bzw. DIN V 4701-10 sind parallel programmiert, greifen auf die selben Hüllflächen- und Volumendaten zu, benutzen ansonsten aber separate Einstellungen.

Auf der Seite „EnEV WG“ sind folgende Einstellungen vorzunehmen

- Nachweisverfahren MB-V nach EnEV 2004
- Wärmebrückenzuschlag pauschal = 0.05 W/m²K
- beheiztes Luftvolumen = 0.8 * Ve
- Zu- und Abluftanlage mit WRG, $\eta_V = 0,0\%$ wird in der Haustechnik bilanziert
- Interne Wärmegewinne pauschal = 6 W/m² (Bürogebäude)
- solare Wärmegewinne für Fenster mit Glasanteil FF = 0.8 und $g_{\perp} = 0.6$
- solare Wärmegewinne über opake Bauteile mit Standardeinstellung („opake Bauteile“ anklicken)
- cwirk = 15 Wh/m³K (abgehängte Decken, entspricht 50 Wh/m²K)
- Nachtabenkung für 7 Stunden, Standardparameter automatisch aktualisieren, Abschaltbetrieb
- Wärmebedarf für Warmwasser „wird nicht berücksichtigt“

Auf der Seite „Haustechnik“ sind folgende Einstellungen vorzunehmen

- Lüftungsanlage, Anlage Nr. 102
- Übergabe und Verteilungsverluste der RLT-Anlage = 0
- Heizwärmeerzeuger Anlage Nr. 271 (NT-Kessel außen)
- Verteilung Anlage 216 (Steiger innen, 55/45°C)
- Übergabe Anlage 243 (freie Heizflächen)

Ergebnisse	ANGF m ²	HT W/K	vorh HT´ W/m ² K	zul HT´ W/m ² K	Qh,b kWh	qp kWh/m ² a
DIN V 18599, einzonig	2.010	1.481	0.66	1.14	90.620	195,4
... Referenzgebäude	2.010	1.925	0.86		140.925	211,8
... Referenz ´09	2.010	1.329	0.60		78.418	169,6
EnEV ´04, NWG	2.246	1.499	0.61	0.73	85.176	41.6

Der Wert „vorh qp“ nach EnEV´04 wird für eine Luftwechselzahl $n = 0.4$ (nach DIN V 18599: $n = 1.42$) und ohne den Strombedarf für Beleuchtung berechnet. Genauere Analysen siehe unten.

Bilanzierung nach DIN V 18599 als Mehrzonenmodell

Faltmodelle

Die Gegenrechnung als Mehrzonenmodell wird erneut relativ einfach angelegt, so dass die Berechnungsprinzipien überschaubar bleiben. Das Gebäude wird nun in die **vier Zonen** „Büros“ (interne Aufteilung nicht bekannt bzw. Großraumbüros), 60 qm Serverraum im EG, 200 qm Konferenzraum im DG sowie der Erschließung über ein 43 qm großes Treppenhaus in jeder Etage geteilt. Bei 2.019 qm Nettogrundfläche und 488 qm anderweitiger Nutzung (24%) sind dann immer noch mehr als 2/3tel der Grundfläche Büronutzung, die Berechnung als vereinfachtes Einzonemodell (wie oben beschrieben) also zulässig.

Faltmodelle werden (unter anderem) mit der Gebäudeberechnung gesichert und geladen, d.h. zu jeder Gebäudeberechnung stehen eigene Faltmodelle zur Verfügung. Wir können daher die Gebäudeberechnung „Bürohaus.dwe“ unter dem Namen „Bürohaus-mehrzonig.dwe“ neu speichern und dann die Faltmodelle für das mehrzonige Modell **umarbeiten**. Die übrigen Berechnungen werden dadurch nicht beschädigt.

In der Kopie „Bürohaus-mehrzonig.dwe“ der Gebäudeberechnung wird zunächst das Faltmodell 3 (DG) auf der Seite 4 dupliziert, denn das DG soll in Büro- und Konferenzbereich geteilt werden, auf Seite 3 wird der östliche Schenkel des „L´s“ (Büros) angeordnet, auf Seite 4 der Rest. Dazu bitte auf Seite 3 die Eckpunkte 0304 und 0305 löschen sowie den Eckpunkt 0306 vertikal fluchten (Richtungstaste im Eckpunkt-Kontrollfenster), dann die x-Koordinate des Eckpunkts 0302 auf 16,34 m einstellen und den Eckpunkt 0303 fluchten. Die Anzahl der Fenster bitte nach Darstellung einstellen, die Fläche 0304 zum Konferenzbereich als nicht vorhanden kennzeichnen, die Dachoberlichter in diesem Bereich löschen. Analoges Vorgehen auf Seite 4 mit dem Konferenzbereich, dort die Dachoberlichter nicht löschen.

Auf Seite 5 wird der Serverraum im EG aus einer **Kopie** des Erdgeschoss-Grundrisses entwickelt (man kann auch neu definieren, muss dann aber Bauteilbezüge, Fenstergrößen, Geschosshöhe usw. neu festlegen). Abmessungen, Fenster usw. laut Darstellung, die Grundfläche 0500 wird als Ersatzfläche zur Fläche 0100 (Grundfläche des EG-Grundrisses), die Außenwandfläche 0504 als Ersatzfläche zur Fläche 0106 definiert (dort Flächenabzüge). Auf den Seiten 6, 7 und 8 werden die Treppenräume zum EG, zu den Etagen und zum DG mit jeweils 4,20 * 10,34 m Größe definiert. Vorgehen wie zuvor erläutert, die hier verwendeten Fenster- und Türöffnungen müssen in den Faltmodellen, auf die Bezug genommen wird (manuell) entfernt werden (Flächenformel für Öffnungen editieren). Die Grundflächen sind außerdem von den kommunizierenden Geschossgrundrissen in Abzug zu bringen, im Erdgeschoss wird dazu für die Grundfläche eine Ersatzfläche eingerichtet, in den Etagen (Multiplikator 4) und im DG eine Abzugsfläche. Für die letztere Maßnahme kann die (nicht vorhandene) Grundfläche auch über die Flächentabelle ausgewählt werden. Die Nettogrundflächen- und die Volumenermittlung basiert auf den Faltmodellgrundflächen.

Rechenblatt

Über „fertig“, Faltmodelle 1-8 markieren, „EnEV NWG (18599)“ und „OK“ wird ein neues (weiteres) Rechenblatt und gleich anschließend die EnEV-Berechnung „Bürohaus-mehrzonig“ neu erstellt. Noch bevor Zonenrandbedingungen eingestellt werden, sollte man das Rechenblatt erneut aufrufen und **kontrollieren**.

Für die Hüllfläche „1 F 0101 FAW Süd“ ist z.B. die Berechnungsformel „28,12*3,50 - [F 0601] - [A 0601] - [T 0601] - [A 0101]“ definiert = Fassadenlänge * Bruttogeschosshöhe abzüglich der Wand-, Fenster- und Türflächen des Treppenhauses (Faltmodell 6), abzüglich der definierten Fensteröffnungen.

Die erdberührten Grundflächen AGf (**Bodenplattenmaß**) sind aufgrund der Abzugsflächen in den Faltmodellen korrekt notiert und summiert. Das Bodenplattenmaß P (Grundflächenumfang) sollte immer kontrolliert werden, da die Lagebeziehungen zwischen Grund- und Abzugsflächen nicht näher definiert sind. Standardmäßig wird davon ausgegangen, dass definierte Abzugsflächen innerhalb der Bezugsflächen liegen. Im Beispiel werden so die UGf-Längen des Faltmodells 1 (Büros im EG) berechnet mit UGf = Längen des Polygonumfangs ohne die Polygonsehnen, die an nicht vorhandene Faltflächen grenzen, vermindert um die UGf-Längen der Abzugsflächen (Serverraum und TRH-Grundfläche EG sind als Abzugsflächen zum EG-Grundriss definiert). Der Grundflächenumfang UGf ergibt sich damit zu

28,12+10,34+16,34+6,50+11,81+16,84 - [UGf 5] - [UGf 6]

= Addition der Sehnenlängen (Sechseck) - Grundflächenumfang der Faltmodelle 5 und 6. Dadurch erhält man in diesem Standardfall ein korrektes Ergebnis, die Summenbildung für UGf muss nicht korrigiert werden.

Die **Bruttogeschossflächen** (BGf) werden nach Faltmodellen zusammengestellt und summiert. Die erdberührten Grundflächen sind bereits ermittelt (Bezug auf die AGf-Flächen), die Geschossflächen der übrigen Etagen werden mit den Grundrissflächen und den Flächenabzügen berechnet. Hierbei ist auf die korrekte Behandlung von Multiplikatoren zu achten. Die umbauten Räume (Bruttovolumen) kann man aus den Bruttogeschossflächen durch Multiplikation mit der Bruttogeschosshöhe (= bei Grundrissen z-Koordinate in den Faltmodellen) leicht ermitteln. Die Summe V_e wird für das „A / V_e “-Verhältnis benötigt.

Die **Nettogrundflächen** werden aus den BGf-Werten und Grundflächenabzügen „GfAbzug“ nach Faltmodellen berechnet. Bei der genauen Ermittlung lässt sich weiterhin trefflich streiten, wo massive Trennwände innerhalb der Etagen angeordnet sind, wo ihre Grundflächenprojektion in Abzug zu bringen wäre. Wir beschränken uns auf die Näherung Nettogrundfläche = Bruttogeschossfläche - Grundfläche der Außenwände „- 3% BGf“ für andere Flächenabzüge wie Innenwände und leichte Trennwände (prozentuale Angabe in den Faltmodellen - „Einstellungen zur DIN V 18599“). DÄMMWERK rechnet dazu: „GfAbzug = Sehnenlängen des Faltmodellpolygons * Wanddicke der anschließenden Außenwand + prozentualer BGf-Abzug abzüglich der GfAbzüge der Abzugsflächen“. Die Wanddicken der Außenwände können (wenn keine Standardbauteile verwendet werden) variieren, mit einer besonderen Hüllflächendefinition („TW nicht berücksichtigen, jedoch halber Grundflächenabzug“) kann man Innenwände hälftig berücksichtigen und die prozentuale Angabe kann durch konkrete Berechnungsvorschriften (Maßketten * Wanddicke) ersetzt werden. Im Standardfall sind keine manuellen Korrekturen nötig. Die Grundflächenabzüge „GfAbzug“ sollten aber immer kontrolliert werden.

Die Berechnung der Größen „NGf“ (Nettogrundflächen) und „Vi“ (Nettoraumvolumen) jeweils nach Zonen ist leicht verständlich. Für die Vi-Werte werden die NGf-Flächen mit den lichten Raumhöhen (Angabe je Faltmodell bei „Einstellungen zur DIN V 18599“, dort k.A. = Bruttogeschosshöhe - 0.30) multipliziert.

Wenn Korrekturen oder Änderungen im Rechenblatt vorgenommen wurden, können die geänderten Ergebnisse mit „**übertragen - nur Werte**“ in die Hüllflächentabelle übernommen werden. Manuelle Änderungen gehen verloren, wenn Faltmodelle zu einem späteren Zeitpunkt geändert und Rechenblätter neu entwickelt werden.

Nachweisverfahren, Hüllflächentabelle (Abs. 1 / 2)

Als Nachweisverfahren wird das Regelverfahren für NWG nach EnEV'07 eingestellt.

Zu den vier Gebäudezonen werden die **Nutzungsrandbedingungen** für „Einzelbüro“, „Serverraum“, „Besprechung“ und „Verkehrsflächen“ ausgewählt. Die verwendeten Nutzungsrandbedingungen können in einer zusätzlichen Tabelle angezeigt werden (Berechnungsoption „Nutzungsrandbedingungen“). Nutzungsparameter, die im Lauf der Berechnung abgeändert werden (das ist manchmal nötig und auch erlaubt), sind dabei farblich (rot) gekennzeichnet. Das Bürogebäude wird planmäßig an 250 Tagen im Jahr (5 Tage/Woche * 50 Wochen) betrieben, der Serverraum durchgängig 365 Tage/Jahr.

Die Wärmeverluste über die **Grundflächen** sollen (wie im Einzonenmodell) mit stationären Leitwerten beschrieben werden. Schalten Sie diese Berechnungsoption über die Fx-Spalte in der Hüllflächentabelle bei den drei betroffenen Hüllflächen (Büros EG, Serverraum, TRH EG) manuell ein. Eine genauere, harmonische (monatlich variable) Berücksichtigung der Wärmeverluste zum Erdreich ist nach wie vor nicht sehr sinnvoll, denn **harmonische Leitwerte** können nicht in den thermischen Leitwerten berücksichtigt werden, wodurch sich die Ausnutzungsgrade für interne und solare Wärmegewinne und der HT'-Wert ändern. In DÄMMWERK ist das Problem derzeit so gelöst, dass die HT-Werte (und der HT'-Nachweis) mit stationären Leitwerten (im Jahresverlauf monatlich konstant) berechnet werden, auch wenn harmonische Leitwerte ausgewählt wurden. Die tauchen dann erst wieder im Heizwärmebedarf auf.

Weitere Korrekturen in der Hüllflächentabelle sind nicht notwendig. Die Transferkoeffizienten unterscheiden sich im zonierten Gebäude vom Einzonenmodell nicht.

Lüftungswärmetransfer (Abs. 3)

Die Gebäudedichtheit wird für alle Zonen mit dem Wert $n_{50} = 1$ (ein Raumlufwechsel / Stunde bei 50 Pa Druckdifferenz = Referenzwert mit RLT), wie im Einzonenmodell eingestellt. Nach Zonen

unterschiedliche n50-Einstellungen sind möglich und bei entsprechenden Nutzungen (z.B. Büro und Werkhalle) auch nötig. Im **Konferenzbereich** sind besonders hohe Luftwechselzahlen vorgesehen. Von welchen Berechnungsannahmen dabei genau ausgegangen wird, wissen wir nicht. Eine ganztägige Vollbelegung des Konferenzbereichs an allen Nutzungstagen des Gebäudes im Jahr ist unwahrscheinlich. Im Berechnungsbeispiel wird für die Büros und den Konferenzbereich eine Zu- und Abluftanlage mit 60% WRG (Referenzwert '09), im Konferenzbereich mit **Luftkonditionierung** voreingestellt. Treppenhaus und Serverraum werden nicht mechanisch belüftet. Infolge der differenzierteren Betrachtung steigen die Transferkoeffizienten im zonierten Gebäude um mehr als 10% bei der mechanischen Lüftung und um etwa 5% bei der freien Lüftung.

Solare Wärmequellen (Abs. 4)

Büroräume, Konferenzbereich und Serverraum sollen mit der Sonnenschutzvorrichtung berechnet werden, die auch für das Einzonenmodell verwendet wurde (Außenjalousie grau, 10°, Lichttransmissionsgrad 0.2, Reflexionsgrad 0.7, manuell zeitgesteuert). Die Fenster im Treppenhaus werden ohne **Sonnenschutzvorrichtung** ausgeführt, beide Einstellungen bitte manuell / detailliert eingeben, Einstellung für die Treppenhäuser auf die Fenster der Zone <4> übertragen. Dachoberlichter mit Standardwerten für Lichtkuppeln. Auf die Bilanzierung von solaren Wärmegegewinnen über opake Bauteile soll in dieser Berechnung verzichtet werden.

Interne Wärmequellen, Heizwärmebedarf (Abs. 5 / 6 / 7)

Im Gegensatz zum Einzonenmodell werden solare und interne Wärmequellen zonenweise bilanziert, d.h. dass z.B. in südorientierten Zonen mit vielen Fenstern und in Zonen mit großen, internen Wärmequellen (Personen- / Geräteabwärme) größere Wärmegegewinne zur Verfügung stehen. Das Verhältnis $\gamma = Q_{\text{source}} / Q_{\text{sink}}$ = Verhältnis zwischen Wärmequellen und Wärmesenken ändert sich und ändert damit den **Ausnutzungsgrad** für interne und solare Gewinne (zonenweise).

Die monatlich variablen **Zoneninnentemperaturen** berücksichtigen die Nacht- und Wochenendabsenkung, im durchgehend betriebenen Serverraum wird konstant 21°C angenommen (Zonenrandbedingung). Der Heizwärmebedarf wird nunmehr nach Zonen berechnet, der Heizwärmebedarf des Serverraums ist (wegen großer, interner Gewinne) praktisch = 0. Die Gesamtsumme bleibt im Vergleich zum Einzonenmodell nahezu konstant (Wert ändert sich im Lauf der iterativen Berechnung noch). Der Schein trügt jedoch, denn einerseits enthält der Heizwärmebedarf für das zonierte Gebäude keinen Wärmebedarf für die **Zuluftvorwärmung** (wird gesondert bilanziert, siehe RLT-Systeme) und keine wesentlichen, internen Wärmegegewinne im Treppenhaus und Konferenzbereich, andererseits berücksichtigt er die erhöhten Lüftungswärmetransferkoeffizienten.

RLT-Systeme (Abs. 9)

Bei der mehrzonigen Berechnung soll nur der Büro- und Konferenzbereichen mit einer RLT-Anlage versehen werden (= 85% des Gebäudevolumens, Serverraum und TRH mit Fensterlüftung). Die Zuluft im **Konferenzbereich** soll zusätzlich konditioniert, im Winter vorgewärmt, im Sommer vorgekühlt werden. In beiden Fällen wird die RLT-Anlage Nr.17 (wie Einzonenmodell) gewählt, im Konferenzbereich mit Luftheizer (LH) und Luftkühler (LK), jeweils mit Zulufttemperatur 18°C. Die Zuluftkonditionierung im Konferenzbereich würde die alternative Berechnungsmöglichkeit als Einzonenmodell unmöglich machen, denn dabei ist nur ein gekühlter Serverraum erlaubt. Die Berechnung wird zur Demonstration dennoch angestellt.

Die **Zuluftkonditionierung** kann nicht den Heiz- oder Kühlenergiebedarf einer Gebäudezone decken, sie ist vielmehr eine zusätzliche, in der Regel energiesparende Maßnahme. Die Zulufttemperatur kann im Bereich zwischen 14 und 22°C eingestellt werden, empfohlen wird im allgemeinen die Einstellung 18°C. Die benötigte Wärme- bzw. Kühlenergie wird von den Wärme- und Kälteerzeugern bereitgestellt. Sie wird festgestellt und dann an die Versorgungssysteme (Heiz- und Klimakältesysteme) weitergereicht. Verteilungsverluste in Luftkanälen werden im Abschnitt RLT-Systeme bilanziert, Verteilungsverluste in wassergebundenen Verteilsystemen in der Heizwärme- bzw. Kälteverteilung.

Wo die großen Probleme bei der Berechnung der benötigten Energiemengen für die Zuluftkonditionierung liegen, hat sich uns bisher nicht erschlossen, die Werte werden jedenfalls nach DIN V 18599-3 aus Tabellenwerten für Würzburg mit einem leicht undurchsichtigen **Denormierungsverfahren** ermittelt. Wir kritisieren an dem Verfahren, dass der Energiebedarf für Luftkonditionierung am Heizwärmebedarf vorbeigeschleust wird (die vorkonditionierte

Zulufttemperatur ist eine Planungsgröße für den Heizwärmebedarf), vor allem aber, dass das Verfahren die Standortbindung „Würzburg“ zementiert. Im Konferenzbereich werden etwa 8.700 kWh für Zuluftvorwärmung im Winter (etwa 50% des sonstigen Heizwärmebedarfs) und ca. 3.000 kWh für Zuluftkühlung im Sommer ermittelt.

Die wichtige Größe ist aber der **Strombedarf der Ventilatoren**, der in der Summe beider Zonen etwa 15% über dem Bedarf im Einzonenmodell liegt (in beiden Berechnungen Referenzwerte nach EnEV '07, im Mehrzonenmodell - Konferenzbereich jedoch mit größerem Volumenstrom und Zuluftkonditionierung, 85%-teilbelüftetes Gebäude).

Beleuchtungssysteme (Abs. 10)

Die Zusammenstellung der **Tageslichtbereiche** erfolgt analog der Einzonenberechnung aus den Faltmodellen. Wegen der Zonierung werden anstelle von 18 nunmehr 27 Tageslichtbereiche an vertikalen Fassaden benötigt (ein TL-Bereich je Zone und Fassade). Die automatische Zusammenstellung kann in erster Näherung übernommen werden. Für die Dachoberlichter im Konferenzbereich wird die ATL-Fläche manuell auf $2 * 16 \text{ m}^2$ korrigiert (wie Einzonenmodell). Wenn der Wert „tD65 * k“ nicht korrekt voreingestellt ist, sollte in der örtlichen Parametertabelle der Kollektorbezug mit „0406“ angegeben werden (Lichttransmissionsgrad und Verschattungsfaktoren wie Dachoberlichter in der Berechnung der solaren Wärmequellen, „0406“ ist die Flächenkodierung). Normalerweise wird diese Voreinstellung automatisch gesetzt. Da die Treppenhäuser in der zonierten Berechnung mit lediglich 100 lux **Beleuchtungsstärke** berechnet werden können (Einzonenmodell 500 lux im gesamten Gebäude), müsste sich der Strombedarf für Beleuchtung reduzieren.

Die **Kunstlichtbereiche** werden wie gehabt aus den Tageslichtbereichen abgeleitet („wie TL-Bereiche“). Die Minderungsfaktoren für die Sehaufgabe und die Präsenzfaktoren sind in der mehrzonigen Berechnung stärker differenziert, die Minderungsfaktoren sind in der Summe weniger auffällig, die Präsenz nimmt rechnerisch ab (z.B. Konferenz). Der Strombedarf für Beleuchtung reduziert sich auf diese Weise im Ergebnis um etwa 7%.

Klimakältesysteme (Abs. 11)

Der **Kühlenergiebedarf** wird analog dem Heizwärmebedarf aus der Summe der Wärmesenken und Wärmequellen mit dem bereits bekannten Ausnutzungsgrad berechnet:

$Q_{C,b} = (1 - \eta) * (Q_T + Q_V + Q_S + Q_{I,source})$ (DIN V 18599-2, Gl.2) oder detaillierter mit

$Q_{C,b} = (1 - \eta) * d/m * (Q_T + Q_{T,iz} + Q_V + Q_{V,mech} + Q_{V,iz} + Q_S + Q_I + Q_{I,w} + Q_{I,L})$.

„(1 - η)“ ist darin der Ausnutzungsgrad in diesem Fall für Wärmesenken aus Transmission und Lüftung (siehe Ausnutzungsgrad η für Wärmegewinne beim Heizwärmebedarf), Q_I und Q_S die internen und solaren Wärmelasten, $Q_{I,w}$ die Wärmelasten aus der Warmwasserversorgung bzw. $Q_{I,L}$ aus der Beleuchtung. Die Transferkoeffizienten für Transmission und Lüftung Q_T und Q_V (nach außen und zu abweichend temperierten Gebäudezonen, Index „iz“) werden mit „(Te - Ti)*24/1000“ multipliziert (Beitrag zur Kühlung / Minderung der Kühllast). Die Formel sollte nicht angewendet werden, wenn $T_i < T_e$ gilt, zum Beispiel wenn die planmäßige Raumtemperatur „Ti“ in **Kühlräumen** unter der Außen- bzw. Nachbarräumtemperatur liegt. Diese Berechnungsoption wird von DIN V 18599 nicht unterstützt. Da viele Kolleg(innen) für eine Energieberatung auch den Energiebedarf von Kühlräumen bilanzieren möchten, haben wir (entgegen der Norm) eine solche Berechnung zugelassen und dabei den Ausnutzungsgrad, der bei reinen Kühllasten (Transmissions- und Lüftungsverluste werden positiv) keinen Sinn macht, gleich „0“ gesetzt (Kühllasten voll angesetzt). Auf diese Weise kann (außerhalb der Norm) weitergerechnet werden.

Der Kühlenergiebedarf wird für alle Zonen berechnet und ausgewiesen. Er muss nicht bedient werden, wenn keine **Klimaanlage** eingebaut werden soll (sommerliche Überhitzung wird in Kauf genommen). Für die Referenzwertberechnung dürfen Klimaanlagen bei diversen Nutzungsprofilen (auch bei Büronutzung) nicht oder nur anteilig (EnEV '09) berücksichtigt werden.

Der Kühlenergiebedarf kann durch eine Vorkühlung der Zuluft (Zu- und Abluftanlage mit LK) und / oder durch eine (zusätzliche) **Raumkühlung** gedeckt werden. Mit einer reinen Zuluftkonditionierung erreicht man in der Regel lediglich eine Teildeckung des Bedarfs, begrenzt durch den Volumenstrom und die planmäßige Zulufttemperatur. Mit VVS-Anlagen (variabler Volumenstrom) kann man aber auch mit reiner **RLT-Kühlung** eine Bedarfsdeckung erzielen, die Volumenströme werden dann nach Erfordernis erhöht (Einstellung im Abschnitt RLT-Systeme, erhöhter Strombedarf für Ventilatoren). Raumklimageräte (Brüstungsgeräte, Kühldecken, Betonkernaktivierung usw.) werden demgegenüber immer für die Bedarfsdeckung ausgelegt, eine Teildeckung durch Unterdimensionierung ist

rechnerisch (Tabellenwerte) nicht möglich. Kältemaschinen sind „umgekehrte“ Wärmepumpen, deren „kalte Seite“ (Verdampfer) genutzt wird. Sie arbeiten in den meisten Fällen mit elektrischem Strom (Verdichter), es gibt aber auch gasbetriebene und Absorptionswärmepumpen, die mit Heiz- oder Solarwärme betrieben werden können.

Der **Kältebedarf** mehrerer Zonen kann zusammengefasst werden, wenn die Übergabe- und Verteilsysteme vergleichbar sind und der selbe Erzeuger benutzt wird, Einstellung „siehe Zone“ bzw. „mit Klimakälte versorgte Zonen ...“ im örtlichen Auswahlmü.

Im Berechnungsbeispiel muss der Serverraum technisch gekühlt werden, der Konferenzbereich verfügt über eine Zuluftkonditionierung. Der Kältebedarf in den Büroräumen und Treppenhäusern wird ignoriert, eine Überhitzung wird in Kauf genommen (örtliche Einstellung „Raumklimasystem: nicht vorgesehen“).

Für den Serverraum wird der Referenzwert „Raumkühlung Kaltwasser 14/18°C“ mit saisonaler Betriebszeit eingestellt = die Kälte mit Vorlauf- / Rücklauf-temperatur 14 / 18°C wird zentral erzeugt, zu Raumklima-Brüstungsgeräten transportiert und dann mittels Ventilatoren im Raum verteilt. Die **Übergabeverluste** können mit Faktoren (Nutzungsgraden) recht einfach ermittelt werden (im Serverraum = 0). Wenn in der selben Zone ein zweites Übergabesysteme ausgeführt werden soll (z.B. eine zusätzliche Kühldecke), können über das örtliche Auswahlmü leistungsanteilig gemittelte Übergabeparameter berechnet werden. Bei Ventilator-konvektoren muss der Hilfsenergiebedarf der Ventilatoren zusätzlich berücksichtigt werden (über „Sekundärventilatoren“).

Die **Kälteverteilung** ist ein weiteres Mal eine „Wissenschaft für sich“. Das Verteilsystem besteht aus drei oder vier Verteilkreisen, nämlich dem Primärkreis zwischen Kältemaschine und Pufferspeicher, der Hauptverteilung und den Verteilkreisen für Raumkühlung und RLT (falls vorhanden). Die detaillierte Berechnung des Strombedarfs der Umwälzpumpe verlangt ein Vielzahl zusätzlicher Parameter für jeden Verteilkreis (Laufzeiten, Leitungswiderstände, Pumpenparameter, Belastungsgrade usw.). Wir halten das für übertrieben und bieten daher z.Zt. nur eine (beispielhafte) Berechnung für einen Verteilkreis an. Die übrigen oder alle Verteilkreise können mit Richtwerten aus dem örtlichen Menü oder mit den EnEV-Referenzwerten abhängig von der Kälteleistung des Erzeugers ermittelt werden. Im Beispiel werden die Referenzwerte '07 für den „Kältekreis Raumkühlung“ verwendet.

Hinweis: Verluste der Kälteverteilung (Leistungsverluste) und des Pufferspeichers werden nicht bilanziert, kein zusätzlicher Kältebedarf, keine ungerichteten Kälteeinträge, wie das im umgekehrten Fall bei der Heizwärmeverteilung üblich ist.

Als **Kältemaschine** wird eine luftgekühlte Kompressionskältemaschine 6 / 12°C mit Scrollverdichter und einer Nennkälteleistungszahl EER = 2.8 (wie Arbeitszahl bei Wärmepumpen) gewählt (Referenzwert EnEV'07). Die Maschine könnte eine umgekehrt betriebene Luft-Wasser-Wärmepumpe sein (Chiller-Betrieb). Die Vor- / Rücklauf-temperaturen des Erzeugers und Primärkreises können von der Temperatur der anderen Verteilkreise abweichen (Pufferspeicher, Mischventile). Der Strombedarf der Kältemaschine wird leider wieder mit Tabellenwerten (für die gewählte Nutzungsart) ermittelt. Auch diese Werte beziehen sich auf den Standort Deutschland / Würzburg. Wenn man anstelle der luftgekühlten Maschine ein wassergekühltes Gerät verwenden würde, müsste zusätzlich der elektrische Energiebedarf der **Rückkühlung** (Pumpe des zusätzlichen Rückkühlkreislaufs) bilanziert werden.

Der Endenergiebedarf für die Kühlung des **Serverraums** wird mit etwa 28% des ermittelten Nutzkältebedarfs („Arbeitszahl“ ca. 3.6) berechnet. Er liegt um etwa 40% unter dem pauschalen Ansatz (650 kWh/m²a Primärenergiebedarf) des Einzonenmodells

Der Kältebedarf für Raumkühlung im **Konferenzbereich** (rechnerischer Nutzkältebedarf - Kältebeitrag der RLT-Zuluftkonditionierung) ist gering und wird ignoriert, Einstellung „Raumklimasystem: nicht vorgesehen“. Für das RLT-Klimasystem wird ein Kühlregister ebenfalls mit 14/18°C Vor- / Rücklauf-temperatur gewählt. Die Übergabeverluste betragen in diesem Fall 20% (siehe Nutzungsgrad der Kälteübergabe). Sekundärventilatoren werden nicht benötigt. Die Kälteverteilung (Transport des kalten Wassers vom Pufferspeicher zu den zentralen oder dezentralen Kühlregistern) wird mit EnEV'07 - Referenzwerten für die Verteilung „Erzeuger + RLT“ mit einer maximalen Kälteleistung QZ = 8 kW bestimmt. Für den Kälteerzeuger wird die selbe Einstellung, wie für den Serverraum verwendet. Es kann sich dabei um die selbe Maschine handeln.

Man könnte überlegen, die beiden Zonen zusammenzufassen. Dann müssten aber leistungsanteilig gemittelte Übergabeverluste ermittelt werden. Außerdem würde der ignorierte Restkältebedarf im Konferenzbereich mitgerechnet (Erzeuger, Sekundärventilatoren) und der Energiebedarf der Kälteverteilung wäre eventuell weniger genau.

Warmwassersysteme (Abs. 12)

Der Warmwasser-Wärmebedarf wurde im Einzonenmodell vernachlässigt bzw. nicht bilanziert. Im zonierten Gebäude ist eine Bilanzierung für den Bürobereich nötig. Wegen des geringen Bedarfs und der großen Entfernungen im Gebäude verwendet man dazu **dezentrale Elektrodurchlauferhitzer** (Elt-DLH = Referenzwert). Die Verteilung ist mit Sticleitungen (je eine Sticleitung 1 m lang pro Gerät, EnEV'09 = 6 m lang?) zu berücksichtigen. Bei unbekannter Geräteanzahl kann ein Gerät pro 80 m² NGF angenommen werden. Die Aufwandszahl der Wärmeerzeugung ist in diesem Fall = 1, d.h. der Endenergiebedarf (Strombedarf) der Warmwasserbereitung = Nutzenergiebedarf.

Eine zentrale Warmwasserbereitung und -verteilung hätte demgegenüber Verteilungsverluste zur Folge, die den Nutzwärmebedarf deutlich übersteigen, ist also nicht sinnvoll.

Der berechnete Endenergiebedarf für Warmwasserbereitung liegt in der selben Größenordnung, wie der Endenergiebedarf der Klimakältesysteme.

Heizsysteme (Abs. 13)

Für das zonierte Gebäude wird die selbe Heizungsanlage wie in der Einzonenberechnung verwendet, die nötigen Einstellungen sind dort beschrieben. Fassen Sie bitte alle vier Zonen in einem Heizbereich zusammen und stellen Sie die selben Leitungslängen ein. Abweichend vom Einzonenmodell muss der Heizwärmeerzeuger (NT-Gebläsekessel, Erdgas, 110 kW) auch Heizwärme für das **Heizregister der Zuluftvorwärmung** bereitstellen. Diese Wärmemenge (der Bedarf inklusive Verteilungsverlusten wurde im Abschnitt 9 „RLT-Systeme“ bestimmt) wird im Abschnitt 13.6 zum Nutzenergiebedarf der Wärmeerzeugung addiert und dann weiter behandelt (Wärmeerzeugung, ggf. auch Pufferspeicher).

Insbesondere die Gebäudezustände in den Übergangsmontaten, wenn die Zuluftvorwärmung für die Temperierung des Gebäudes ausreicht, sind in der derzeitigen Fassung der DIN V 18599 nicht korrekt berücksichtigt, denn die **Laufzeiten der Erzeuger**, die Erzeuger- und Speicherverluste nach sich ziehen, berücksichtigen den RLT-Wärmebedarf nicht. Bei den Belastungsgraden der Heizwärmeerzeuger kann es rechnerisch zu Unstetigkeiten kommen, nämlich wenn die Betriebstage der Anlage die Monatslänge deutlich unterschreiten. Außerdem taucht das Phänomen auf, dass der Heizungsbetrieb während der Regelnutzung aufgrund interner Wärmegewinne verzichtbar wird, im Wochenendbetrieb (ohne interne Gewinne) aber weiter Heizwärmebedarf entsteht.

Der Endenergiebedarf für Heizwärmeerzeugung steigt in der Summe um etwa 12%. Mögliche Ursachen: „fehlende“, interne Wärmegewinne im Treppenhaus und Konferenzbereich, zusätzliche Lüftungsverluste durch erhöhte Luftwechselraten im Konferenzbereich.

Endenergiebedarf und EnEV-Nachweis (Abs. 14 / 15)

Der Endenergiebedarf steigt im zonierten Gebäude (mit WW-Bereitung) um etwa 20%, der Primärenergiebedarf um knapp 25%. Nimmt man die pauschalen Zuschläge für das Einzonenmodell hinzu, dann reduziert sich die Differenz auf weniger als 2% (glücklicherweise oder planmäßig?).

Der EnEV-Nachweis nach EnEV'07 oder auch vorab nach EnEV'09 kann analog zum Einzonenmodell geführt werden.

Ergebnisse	ANGF m ²	HT W/K	vorh HT' W/m ² K	zul HT' W/m ² K	Qh,b kWh	qp kWh/m ² a
DIN V 18599, einzonig	2.010	1.481	0.66	1.14	90.620	195,4
... Referenzgebäude	2.010	1.925	0.86		140.925	211,8
... Referenz '09	2.010	1.329	0.60		78.418	169,6
DIN V 18599, mehrzonig	2.019	1.481	0.60	1.14	91.788	197.3
EnEV '04, NWG	2.246	1.499	0.61	0.73	85.176	41.6

Erläuterungen:

- Die Ähnlichkeit der Ergebnisse der ein- und mehrzonigen Berechnung scheint zufällig, denn die einzonig berechneten Werte „HT“ und „qp“ enthalten pauschale Zuschläge. Die mehrzonige Berechnung berücksichtigt einen 180 m² großen Konferenzbereich mit Zuluftkonditionierung und etwa 15 kWh/m²a Primärenergiebedarf für Warmwasserbereitung.
- Die Referenz- und Grenzwerte nach EnEV'07 können mit „lax“ charakterisiert werden, die Werte nach EnEV'09 erscheinen derzeit zu streng.
- Der Wert „vorh qp“ der Vergleichsrechnung nach EnEV'04 wurde mit einer Luftwechselzahl n = 0.4 (nach DIN V 18599, Einzonenmodell: n = 1.42) geführt, Strombedarf für Beleuchtung, Warmwasserbereitung und Zuluftkonditionierung wurde nicht berücksichtigt. Die Berechnung ist inhaltlich nicht vergleichbar.

Andreas Kern

KERN ingenieurkonzepte (November 2008)