

DÄMMWERK
Bauphysik-Software

Berechnungsbeispiel

- ▶ Sommerlicher Wärmeschutz
- ▶ Thermische Simulation

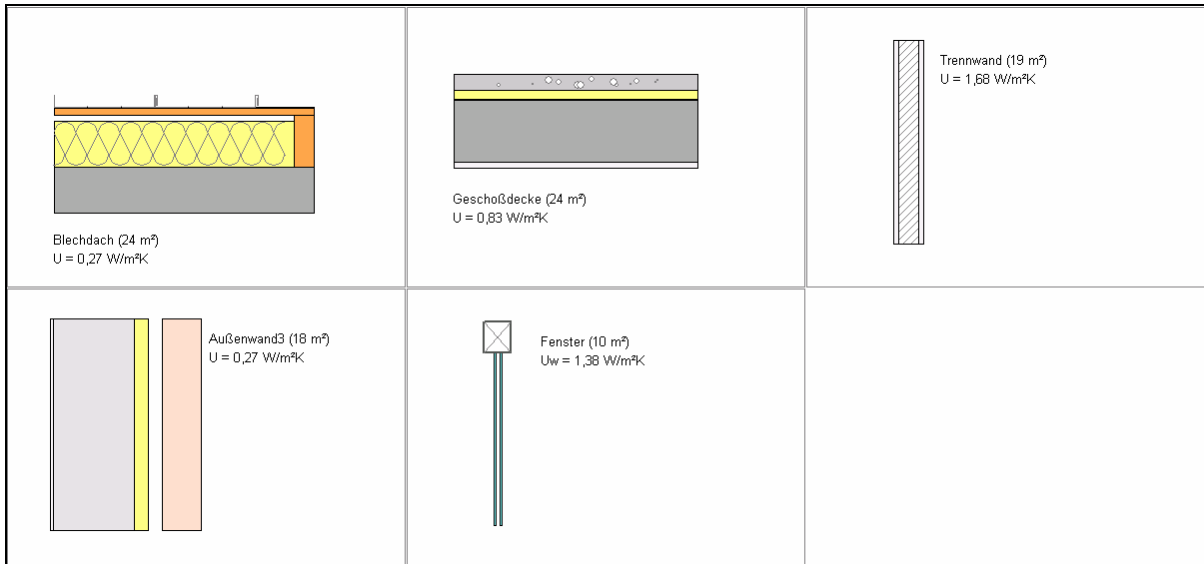
Inhalt

1. SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ	3
2. THERMISCHE SIMULATION	11
2. TEMPERATUR – AMPLITUDEN – VERHÄLTNIS (TAV) UND PHASENVERSCHIEBUNG	15

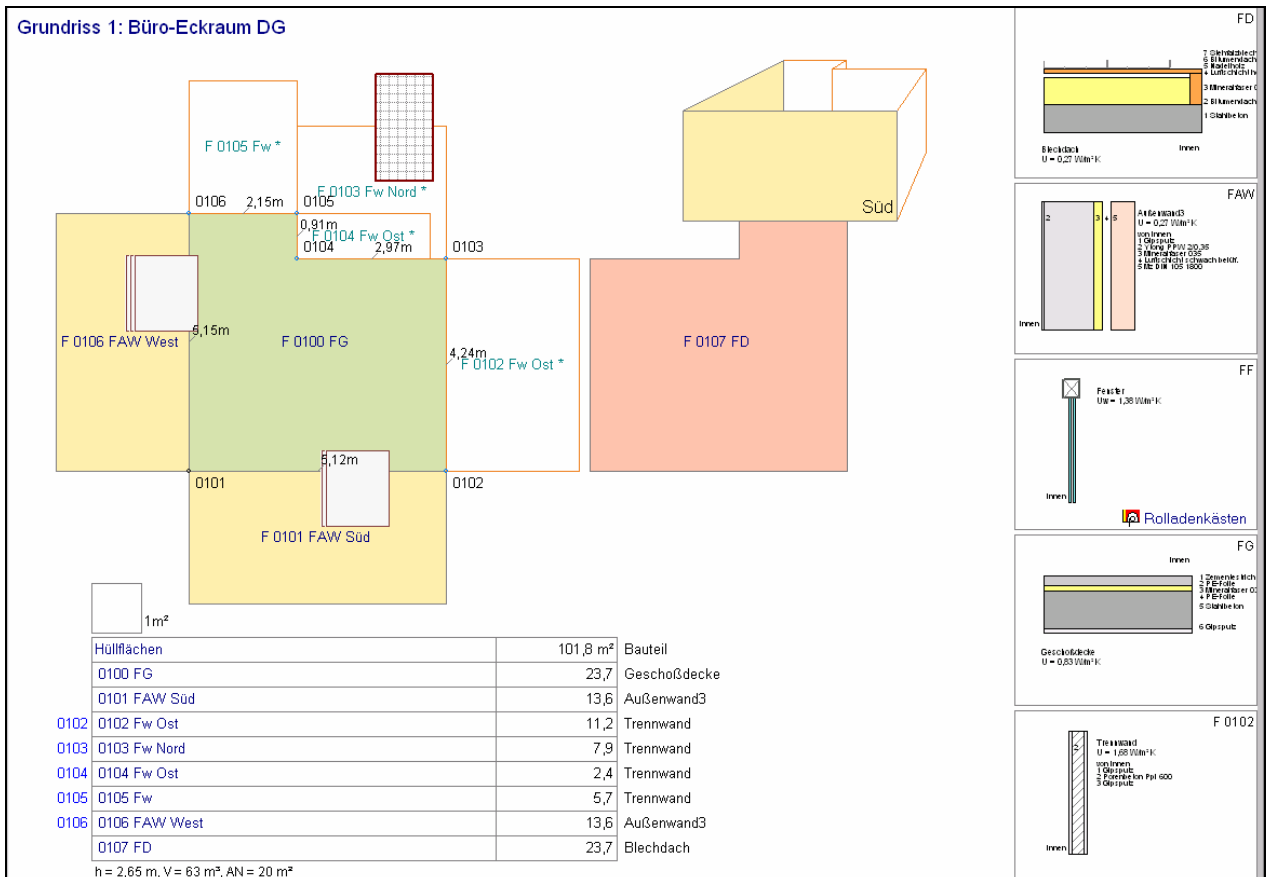
1. Sommerlicher Wärmeschutz

Die Berechnungsmöglichkeiten werden am Beispiel von zwei Büroräumen im Dachgeschoss eines Bürohauses gezeigt. Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erfolgt raumweise, siehe DIN 4108-2, Abs.4.3.

benutzte Bauteile



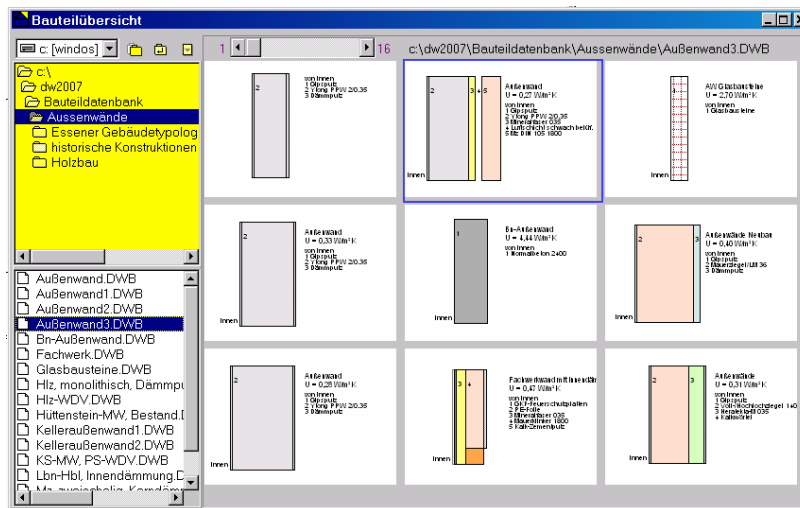
Raumgeometrie Büro-Eckraum



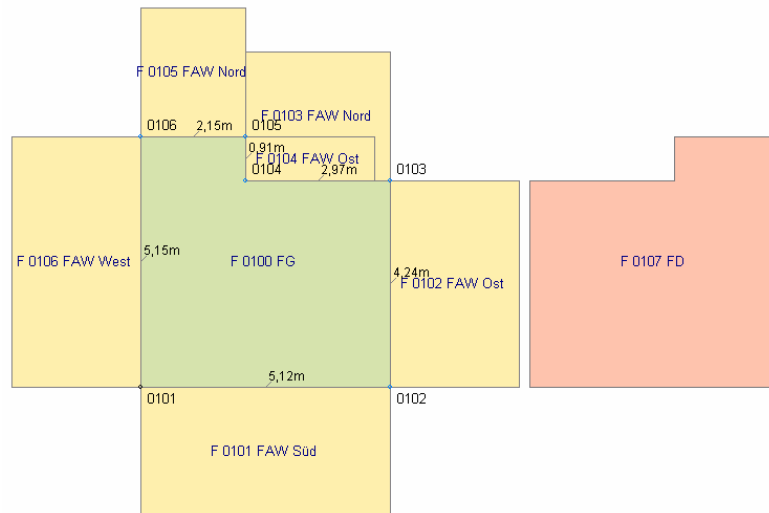
schrittweises Vorgehen

1. Richten Sie ein neues Projekt für das Beispiel zum sommerlichen Wärmeschutz ein: Projektübersicht – neues Projekt anlegen – „Seminarbeispiel_SWS“ eingeben.
2. Die meisten, benötigten Bauteile können aus den Bauteildatenbanken kopiert werden: Bauteilübersicht einblenden, Bildschalter „Bauteildatenbank“, gewünschte Konstruktion auswählen und in das Arbeitsverzeichnis kopieren.

Die Außenwand mit Klinkervorsatzschale finden Sie in der Bauteildatenbank unter „Außenwände – Außenwand3“, die massive –Dachkonstruktion mit Blechdeckung unter „Flachdächer – Blechdach“, die Geschoßdecke unter „Geschossdecken – Geschossdecke“. Verwenden Sie außerdem das Standardfenster, das im Bauteil-Berechnungsblatt über „neu – Fenster“ bereitgestellt wird ($U_w = 1,38 \text{ W/ m}^2\text{K}$).



3. Die Innentüren und die leichten Trennwände erstellen Sie bitte selbst. Gehen Sie in das Bauteil-Berechnungsblatt wählen „neu – Bauteiltyp - Trennwand - Bezeichnung - Innentür“ und geben die Schichtenfolge ein. Die Innentüren sollen aus einer 3 cm dicken Spanplatte Rohdichte 600 kg/m^3 und zwei 4 mm dicken Deckfurnieren aus Buche bestehen. Die Baustoffbezeichnungen können nachträglich in der Querschnittstabelle in „Röhrenspanplatte“ bzw. „Vollholzfurnier“ umbenannt werden. Bei den Trennwänden gehen Sie ähnlich vor: „neu – Bauteiltyp - Trennwand - Bezeichnung - Trennwand“ Die Trennwände sollen aus 6 cm dicken $\rho = 600 \text{ kg/m}^3$ Porenbeton-Bauplatten z.B., beidseitig mit 15 mm Gipsputz bestehen.
4. Für die Nachweise zum sommerlichen Wärmeschutz werden die Fensterflächen nach Größe, Orientierung, Neigung und g-Wert, sowie die Raumgrundfläche, die Fläche der Außenwände und die Deckfläche benötigt. Diese Werte können aus einer Nebenrechnung manuell eingegeben werden. Gezeigt wird die Flächenerfassung mit Faltsmodellen (siehe hierzu auch Seminar „Faltsmodelle“).
5. Öffnen Sie das Flächenmanagement mit Faltsmodellen (Bildschalter in der Bedienleiste). Wählen Sie „neu Geometrie vorschläge“ und dort die Vorlage 25, im angezeigten Dialogfenster die Option „Grundriss“ und geben Sie die Außenabmessungen des Modells ein, Breite = 5,12 m, Raumhöhe = 2,65 m, Tiefe = 5,15 m. Bezeichnen Sie das Faltsmodelle mit „Büro-Eckraum, DG“ über Schriftzug „unbenannt“. OK erzeugt ein neues Faltsmodell.
6. Schalten sie in den Anzeigeoptionen Eckpunkte Nr. und Längen und Winkel zu. Richten Sie nun die restlichen Abmessungen wie in den oben gezeigten Skizzen ein: Eckpunkt P 0103 markieren, y-Koordinate (4,24 m) ändern, den Nachbarpunkt P 0104 fluchtgerecht am Raster verschieben.



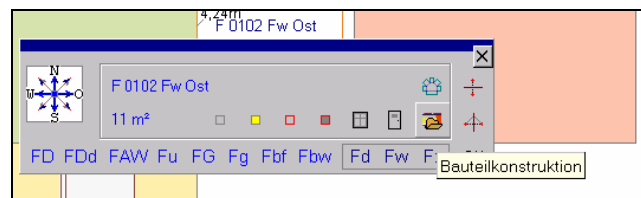
Öffnen Sie die Flächenkontrollfenster zu den Hüllflächen F 0101 und stellen die mit dem Kompass die Himmelsrichtung Süden ein, anschließend klicken Sie auf den Bildschalter „Fenster / Öffnungen“ und geben die Fensterabmessungen nach Süden 1,26*1,51*2 ein.

Ebenso geben Sie die Fensterflächen nach Westen ein, F 0106 = 1,26*1,51*3.

Ändern Sie die Flächentypen für die Hüllflächen F 0102 bis F 0105 in „Fw“ (Wand zur angrenzenden Zone).

Wählen Sie anschließend die Standardbauteile für Dach, Außenwände, Fenster und Grundfläche aus. Klicken Sie dazu in die weißen Felder mit den entsprechenden Flächenkürzeln (FD – Blechdach; FAW – Außenwand, FF – Fenster, FG – Geschosdecke).

Für die Innenwände Flächen F 0102 bis F 0105 soll als Bauteilkonstruktionen abweichend der Standardwände die Porenbetonwand gewählt werden. Klicken Sie dazu die Fläche an und auf den Bildschalter Bauteilkonstruktion. Im angezeigten Dialog auf „andere Konstruktion“ und wählen aus der Bauteilübersicht die Pbn-Trennwand aus.



Diese Vorgehensweise wiederholen Sie für die drei anderen Flächen F 0103, F 0104 und F 0105. Sie können auch im Dialog die Option „wie Faltfläche ...“ wählen und die Flächennummer eingeben.

In der Fläche F 0103 fehlt noch die Zimmertür, gehen Sie in den Flächendialog F 0103 und auf den Bildschalter „Türen / Nischen“ und geben die Abmessungen Breite 1,14 m und Höhe 2,13 m ein. Nachfolgend wählen Sie die Konstruktion für die Innentür.

Wenn Sie bei den Anzeigeoptionen „mehr Bauteile anzeigen“ zuschalten, werden neben der Flächentabelle die gewählten Bauteilkonstruktionen angezeigt.

Hüllflächen	101,8 m ²	Bauteil
0100 FG	23,7	Geschoßdecke
0101 FAW Süd	13,6	Außenwand3
0102 0102 Fw Ost	11,2	Trennwand
0103 0103 Fw Nord	7,9	Trennwand
0104 0104 Fw Ost	2,4	Trennwand
0105 0105 Fw	5,7	Trennwand
0106 0106 FAW West	13,6	Außenwand3
0107 FD	23,7	Blechdach

h = 2,65 m, V = 63 m³, AN = 20 m²

7. Damit kann das Berechnungsmodell für den Raum generiert werden. Wählen Sie „fertig – Raum: sommerlicher Wärmeschutz – 1. Büro-Eckraum, DG – OK“. Die neue Berechnung wird in einer Bauteildatei (dwb-Datei) gespeichert. Dazu fertigt DÄMMWERK eine Kopie der Fensterberechnung an (Standardfenster muss ausgewählt worden sein). Geben Sie den

Dateinamen „Eckraum_SWS“ an. Die Bauteilgrafik wird nun mit einer stilisierten Sonnenschutzvorrichtung versehen, so dass Sie später in der Bauteilübersicht leicht wieder gefunden werden kann. Die Rückfrage „Grundfläche in Netto-Grundflächen umrechnen, Wand-Grundrissflächen abziehen“ sollen Sie bestätigen. Die Raumgrundfläche A_G ist nach DIN 4108-2, Abs.8.4.e mit Innenmaßen zu berechnen. DÄMMWERK zieht dazu die Längen der Umfassungswände multipliziert mit den Bauteildicken von der Grundfläche ab.

8. Beim Generieren der Berechnung werden folgende Werte ermittelt: Nettogrundfläche A_G (Berechnungsformel kann manuell editiert werden), Bezeichnungen, Orientierungen, Neigungen und Flächen der Fensteröffnungen („ A_w “ definitionsgemäß aus dem lichten Öffnungsmaß ohne Abzug von Rahmenanteilen), g -Wert der Verglasung (aus der Fensterkonstruktion im Faltmodell), Außenwand- und Dachflächen (Formeln können manuell editiert werden), Bauart (leicht, mittel, schwer) aus den Flächengewichten der Bauteile. Die Außenwand- und Dachflächen werden mit Außenmaßen ermittelt. Außerdem werden die Voreinstellungen $F_c = 1$ (ohne Sonnenschutzvorrichtung), Klimaregion C (sommerheiß) und erhöhte Nachtlüftung eingestellt. „Erhöhte Nachtlüftung“ sollte man nur in Wohngebäuden ansetzen, da sich in anderen Gebäuden nachts meist niemand aufhält.
9. Die Einstellungen müssen nun kontrolliert und ggf. angepasst werden. Die „erhöhte Nachtlüftung“ wird durch Klick auf den Schriftzug abgeschaltet. Die eingestellte Bauart kann kontrolliert werden, wenn Sie das Dialogfenster öffnen und „aus Bauteilkonstruktionen“ wählen. Angezeigt wird dann die Berechnungsformel „ c_{wirk} / A_G “ (wirksame Wärmespeicherfähigkeiten durch Nettogrundfläche in $[Wh/m^2K]$). Die wirksamen Wärmespeicherfähigkeiten erhält man aus der „Schichtdicke * Rohdichte * spezifische Wärmekapazität * Bauteilfläche“ (siehe Programmdokumentation „wirksame Wärmespeicherfähigkeit“). Alternativ kann der Wert aus der EnEV-Berechnung verwendet werden, der allerdings in $[Wh/m^3K]$ angegeben ist und noch mit der Raumhöhe multipliziert werden muss. Man unterscheidet „leichte“ ($c_{wirk} < 50 Wh/m^2K$), „mittlere“ ($c_{wirk} < 130 Wh/m^2K$) und „schwere“ ($c_{wirk} > 130 Wh/m^2K$) Bauarten.
10. Wie zu erwarten, reicht der sommerliche Wärmeschutz ohne Sonnenschutzvorrichtungen nicht aus. Auch eine „Sonnenschutzverglasung“ würde nicht ausreichen. Wählen Sie daher in der Spalte F_c der Tabelle mit den Fensterflächen eine Sonnenschutzvorrichtung mit einem F_c -Wert ≤ 0.4 aus. Man benötigt außen liegende Sonnenschutzvorrichtungen, Markisen, Rollos oder Fensterläden.
11. Das Nachweisverfahren basiert auf dem Vergleich des vorhandenen Sonneneintragskennwertes mit dem zulässigen Wert. Der zulässige Wert wird von der Bauart, Orientierung und vom Aufstellort des Gebäudes bestimmt, der vorhandene Wert kann durch die Art der Verglasung, die Fenstergrößen und Sonnenschutzvorrichtungen beeinflusst werden. Details hierzu finden Sie in der Programmdokumentation.

Sommerlicher Wärmeschutz DIN 4108-2:2003

Flächen aus Faltmodell "Büro-Eckraum DG"

mit der Nettogrundfläche $A_G = +23,68-5,55 = 18,13 m^2$

	Fensterflächen	Orientierung / Neigung	A_w [m^2]	g	F_c	$A_w * g * F_c$
1	F 0101 FF Süd	Süd 90°	3,81	0,58	0,40	0,88
2	F 0106 FF West xxx	West 90°	5,71	0,58	0,40	1,32
9,5 m ²						2,21

eingesetzte Sonnenschutzvorrichtungen: Außenliegender Sonnenschutz, Markisen abdeckend, ventiliert $F_c = 0,40$

Sonneneintragskennwert $S_{vorh} = (\sum A_{w,i} * g_i * F_{c,i}) / A_G = 0,12$

grundflächenbezogener Fensterflächenanteil $f_{AG} = \sum A_w / A_G = 52 \%$

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist erforderlich (Grenzwert 10 % aus Tab.7)

Außenwandflächen $A_{AW} = 13,57-3,81+13,65-5,71 = 17,70 m^2$ (Außenmaße)

Dach- oder Deckenflächen nach außen $A_D = 23,68 = 23,68 m^2$

grundflächenbezogen gewichtete Außenflächen $f_{gew} = (A_w + 0.3 * A_{AW} + 0.1 * A_D) / A_G = 0,95$

zulässiger Sonneneintragskennwert $S_{x,zul}$

Klimaregion C sommerheiß +0,015

Bauart: schwer +0,109 ($0,115 * f_{gew}$)

erhöhe Nachtlüftung (Wohnung) nein

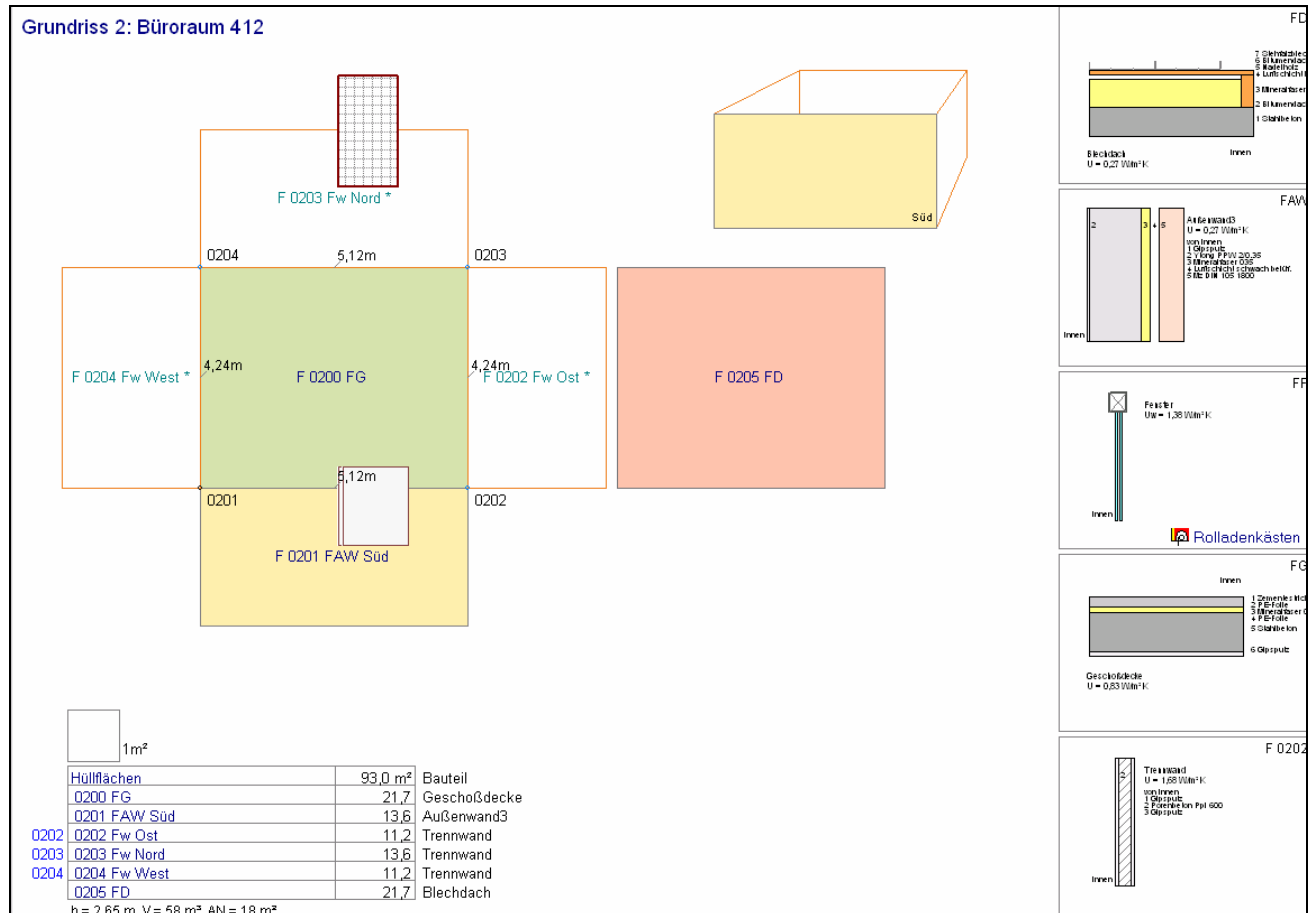
Sonnenschutzverglasung

Sonneneintragskennwert $S_{vorh} = 0,12 \leq 0,12 = S_{zul} = 0,015+0,109$ erfüllt die Anforderungen

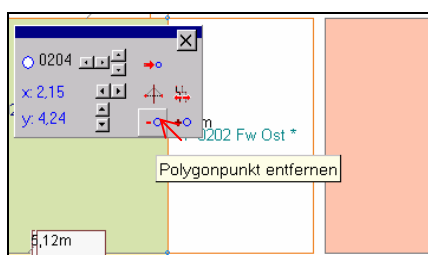
weitere Optionen

- Der sommerliche Wärmeschutz ist „für den ungünstigen Raum“ nachzuweisen. Alle Räume sollen vor unnötiger Überhitzung geschützt werden. Es ist aber nicht unbedingt wirtschaftlich, die Sonnenschutzvorrichtungen, die in besonders exponierten Räumen (z.B. Eckräume mit zwei Fassaden) eingesetzt werden müssen, in allen anderen Räumen auch zu verwenden. Daher kann es sinnvoll sein, mehrere Nachweise zu führen.

Raumgeometrie Büroraum



- Die faltmodell-Geometrien können leicht kopiert und geändert werden. Benutzen Sie dazu im Bearbeitungsfenster zu den faltmodellen den bildschalter „kopieren“ und kopieren Sie den Grundriss von Seite 1 auf Seite 2, bezeichnen Sie die kopie mit „Büroraum 412“. Ändern Sie nun das Geometriemodell, indem Sie die eckpunkte P 0204 und P 0205 entfernen (bearbeitungsfenster zum eckpunkt aufrufen und „Polygonpunkt entfernen“).



- Stellen Sie den oben gezeigten, rechteckigen Grundriss her, indem Sie den neuen Eckpunkt P 0204 einfluchten („am Raster verschieben“), sowie den Flächentyp und den Bauteilbezug

(andere Bauteilkonstruktion – Trennwand) der neuen Fläche F 0204 ändern. Entfernen Sie aus den Fläche F 0204 und F 0205 außerdem die Fenster. Der Hüllflächentyp der Fläche F 0205 soll in Dachfläche geändert werden.

Für das kopierte Faltmodell soll wie vorher gezeigt eine Berechnung zum sommerlichen Wärmeschutz generiert werden. Bildschalter „fertig“ - Modell 2 markieren, Raum: sommerlicher Wärmeschutz wählen, Wandflächen von der Grundrissfläche abziehen und als Bauteildatei speichern.

- Nachdem Sie (nun im Bauteil-Berechnungsblatt) die Einstellung zur erhöhten Nachtlüftung abgeschaltet haben, sehen Sie, dass die Differenz zwischen vorhandenem und zulässigem Sonneneintragskennwert in diesem Fall wesentlich geringer ist. Für den Büroraum 412 genügt eine Sonnenschutzvorrichtung mit $F_c=0.5$, wie z.B. Markisen.

Sommerlicher Wärmeschutz DIN 4108-2:2003

Flächen aus Faltmodell "Büroraum 412"

mit der Nettogrundfläche $A_G = +21,71-3,53 = 18,18 \text{ m}^2$

Fensterflächen	Orientierung / Neigung	A_W [m ²]	g	F_C	$A_W * g * F_C$
1 F 0201 FF Süd xxx	Süd 90°	3,81	0,58	0,50	1,10
3,8 m ²					1,10

eingesetzte Sonnenschutzvorrichtungen: Außenliegender Sonnenschutz, Markisen abdeckend $F_c = 0,50$

Sonneneintragskennwert $S_{\text{vorh}} = (\sum A_{W,i} * g_i * F_{c,i}) / A_G = 0,06$

grundflächenbezogener Fensterflächenanteil $f_{AG} = \sum A_W / A_G = 21 \%$

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes ist erforderlich (Grenzwert 10 % aus Tab.7)

Außenwandflächen $A_{AW} = 13,57-3,81 = 9,76 \text{ m}^2$ (Außenmaße)

Dach- oder Deckenflächen nach außen $A_D = 21,71 = 21,71 \text{ m}^2$

grundflächenbezogen gewichtete Außenflächen $f_{\text{gew}} = (A_W + 0.3 * A_{AW} + 0.1 * A_D) / A_G = 0,49$

zulässiger Sonneneintragskennwert $S_{x,zul}$

Klimaregion C sommerheiß

+0,015

Bauart: schwer

+0,056 (0,115 * f_{gew})

erhöhe Nachtlüftung (Wohnung)

nein

Sonnenschutzverglasung

Sonneneintragskennwert $S_{\text{vorh}} = 0,06 \leq 0,07 = S_{zul} = 0.015+0,056$ erfüllt die Anforderungen

- Abgesehen von dem zurzeit gültigen Nachweisverfahren aus DIN 4108-2:2003, kann auch noch nach den Normfassungen von 1981, 2001 und 2002 gerechnet werden, z.B. zum Nachrechnen eines Bestandsgebäudes oder zum Vergleich. Die Berechnungsoptionen werden in der Liste „Berechnungsinhalte“ zu- oder abgeschaltet.
- Weil die Anforderungen zum sommerlichen Wärmeschutz aus DIN 4108-2:2003 gelegentlich „finanzielle Härten“ nach sich ziehen, suchen Kollegen immer wieder nach anderen „Regeln der Technik“, die geeignet wären, einen preisgünstigeren Sonnenschutz zu rechtfertigen. Die Anwendung genauerer, ingenieurmäßiger Berechnungsverfahren wird in DIN 4108-2:2003 ausdrücklich erlaubt. Aus diesem Grund sind parallel die Verfahren nach TGL 35424/04 (DDR-Norm) und nach der ÖNorm B 8110-3 (österreichische Norm) programmiert. Die vielen Parameter für diese beiden, detaillierten Verfahren, werden beim Generieren aus Faltmodellen bereits zum großen Teil vorbelegt, fehlende Parameter (Angaben zu den Luftwechseln, interne Gewinne usw.) müssen ergänzt werden. Euphorie ist jedoch nicht angebracht. Im Normalfall führen die alternativen Berechnungsverfahren kaum zu besseren Ergebnissen.

Beispiel TGL

Sommerlicher Wärmeschutz mit Wärmeschutzklassen TGL 35424/04

Nachweisverfahren zur Begrenzung der mittleren Raumtemperaturen am Ende einer Schönwetterperiode nach einem Berechnungsvorschlag von Prof. Löber HTWS Zittau/Görlitz und TGL 35424/04:1981

Gebäude: Arbeitsräume für leichte Arbeit im Klimagebiet 1, Binnentiefend bis 500 m ü. NN
Wärmeschutzklasse C (gemäßigte Anforderungen mit $t_{i,zul,Tagesmittelwert} = 28^{\circ}\text{C}$)

Raumgrundfläche $A_{Fb} = 18,2 \text{ m}^2$

xxx

Zulässige, äußere Wärmelasten

Bauteile wärmespeichernd	Einbauort	A m ²	ρ_{dm} kg/m ³	m_j kg/m ²	$A \cdot m_j$ kg
1 F 0200 FG	-> i	21,7	1242	81	1.754
2 F 0201 FAW Süd	-> e	13,6	335	97	1.319
3 F 0202 Fw Ost	-> i	11,2	800	36	405
4 F 0203 Fw Nord	-> i	13,6	800	36	489
5 F 0204 Fw West	-> i	11,2	800	36	405
6 F 0205 FD	-> e	21,7	1210	339	7.355
xxx					
$\Sigma m_j \cdot A$ [kg]					11.726
Stützen, Unterzüge, Einrichtungsgegenstände ... [kg]					0

⇒ grundflächenbezogene, speicherwirksame Bauwerksmasse = $m_B = (11726 + 0) / 18,2 = 644 \text{ kg/m}^2$

⇒ zulässige, äußere Wärmelast für Wärmeschutzklasse C = $q_{e,m,zul} = 0,020 \cdot m_B = 12,9 \text{ W/m}^2\text{Fb}$

ρ_{dm} = mittlere Trockenrohdichte der wärmespeichernden Bauteilschichten

m_j = rechnerische, speicherwirksame Masse des Bauteils, $q_{e,m,zul}$ nach TGL 35424/04, Tab.7

Vorhandene, äußere Wärmelasten

Fensterflächen	Orientierung	A_F m ²	f_G	$E_{S,m}$ W/m ²	$q_{S,m}$ W/m ² Fb
1 FF zu F 0201 FAW Süd	Süd 90°	3,8	0,71	40	5,9
2 xxx					
$q_{Sm} = \Sigma A_F \cdot f_G \cdot E_{S,m} / A_{Fb}$ [W/m ²]					5,9

$E_{S,m}$ -Werte: 40 mit Sonnenschutz, äußere Verschattung 0.4 * Fensterhöhe / -breite

Bauteile zur Außenluft	Orientierung	Θ_{Tm} °K	A_i m ²	U_i W/m ² K	α_{Si} -	$q_{T,m}$ W/m ² Fb
2 F 0201 FAW Süd	Süd 90°	10	13,6	0,27	0,60	1,2
6 F 0205 FD	- 0°	19	21,7	0,27	0,40	2,4
$q_{Tm} = \Sigma A_i \cdot U_i \cdot \alpha_{S,i} \cdot \Theta_{T,m} / A_{Fb}$ [W/m ²]						3,7

Bauteile zu benachbarten Räumen	A_i m ²	U_i W/m ² K	$\Delta\Theta_{ii}$ °K	$q_{T,i}$ W/m ² Fb
1 F 0200 FG	21,7	0,83	-	0,0
3 F 0202 Fw Ost	11,2	1,68	-	0,0
4 F 0203 Fw Nord	13,6	1,68	4,0	5,0
5 F 0204 Fw West	11,2	1,68	-	0,0
$q_{Ti} = \Sigma A_i \cdot U_i \cdot \Delta\Theta_{ii} / A_{Fb}$ [W/m ² Fb]				5,0

Transmissionswärmestromdichte in Fußböden auf Erdreich oder in Kellerräume $q_{Fb} = 0 \text{ W/m}^2\text{Fb}$

Nachweis der äußeren Wärmelasten:

$$q_{em,vorh} = Q_{Sm} + q_{Tm} + q_{Ti} - q_{Fb} = 5,9 + 3,7 + 5,0 - 5 = \mathbf{9,6} \leq 12,9 \text{ W/m}^2\text{Fb (75 \%)} \text{ erfüllt die Anforderung}$$

$E_{S,m}$ = solare Einstrahlung je m^2 Fensterfläche (Verglasung, Sonnenschutz, Verschmutzung)

Θ_{Tm} = mittlere Strahlungs-Übertemperatur der äußeren Bauteiloberflächen (orientierungs- / neigungsabhängig)

α_{Si} = Oberflächen-Absorptionsgrad (Beschaffenheit der äußeren Bauteiloberfläche)

$\Delta\Theta_{ij}$ = Temperaturdifferenz zu den angrenzenden Räumen (+/-)

Innere Wärmelasten

vorhandene Lüftungsflächen $A_L = 1,26 * 1,51 * 2 = 3,81 \text{ m}^2$

Lüftungsart: temporäre Lüftung, einseitig, innerorts, Klapp- Schwing- Kippflügel

Wärmestrom je m^2 Lüftungsfläche für die Gebäudeklasse C: $q_L = 65 \text{ W/m}^2$ (TGL 35424, Tab.10)

Fensterlüftungsfaktor $\varepsilon = 2,00$ (Tab.11)

$$\text{zulässige, innere Wärmelast } q_{i,m,zul} = A_L * q_L / (A_{Fb} * \varepsilon) = 3,81 * 65 / (18,18 * 2,00) = \mathbf{6,8 \text{ W/m}^2}$$

Vorhandene, innere Wärmelasten

Gegenstand	Anzahl	Stunden/Tag h/d	Wärmeabgabe W	q_{im} W/m ² Fb
1 erwachsene Personen	3	9,0	80,0	4,9
2 xxx				
$\Sigma q_{im} \text{ [W/m}^2\text{Fb]}$				4,9

Nachweis der inneren Wärmelasten:

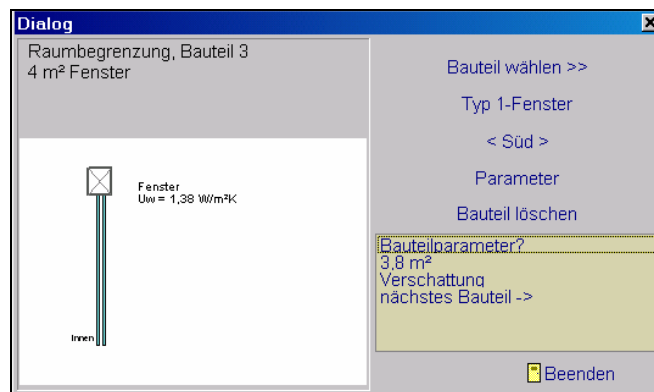
$$q_{im,vorh} = \mathbf{4,9} \leq 6,8 \text{ W/m}^2\text{Fb (73 \%)} \text{ erfüllt die Anforderung}$$

2. Thermische Simulation

Die zuvor vorgestellten Verfahren zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes basieren auf Erfahrungswerten: „wie muss ein Raum ausgestattet werden, damit sich die (unvermeidbare) sommerliche Überwärmung in einem erträglichen Rahmen hält?“ Leistungsfähige, elektronische Rechner ermöglichen aber auch eine Antwort auf diese Frage: „Welche Raumlufttemperaturen sind bei gegebenen Randbedingungen zu erwarten?“

Zur Klärung der Frage benötigt man ein Berechnungsmodell, wie es z.B. in „ISO/DIS 13791:1995 / ÖNORM EN ISO 13791, Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik, allgemeine Kriterien und Berechnungsalgorithmen“ beschrieben wird. Die Zusammenhänge sind komplex. Die Raumlufttemperatur folgt mit einer gewissen Verzögerung den äußeren klimatischen Bedingungen. Abgesehen von Außentemperaturen und Strahlungsintensitäten sind die Bauteileigenschaften der Raumhüllen und der Fenster, die speicherfähigen Massen im Raum, der Luftaustausch und die internen Wärmeeinträge von Bedeutung. Anhand des Büroekkraums soll eine Berechnung mit DÄMMWERK gezeigt werden.

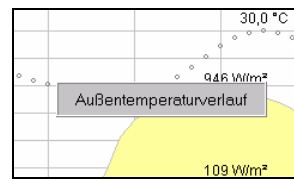
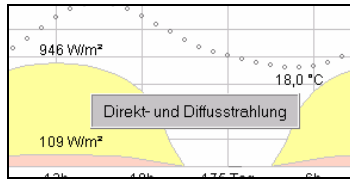
1. Wählen Sie das Faltmodell für den Büro-Eckraum, generieren Sie über „fertig – Raum: thermische Simulation – OK“ den Datenhintergrund für die thermische Simulation. Akzeptieren Sie den vorgeschlagenen Dateinamen. Die Raumparameter werden in eigenen Dateien mit der Endung „.ths“ gespeichert. Der Grafikbildschirm zur thermischen Simulation (später aufrufen über die Berechnungsoption „thermische Simulation“ im Bauteil-Berechnungsblatt) wird geöffnet.
2. Sie können Bauteile auch ändern und die Bauteilparameter jedes ausgewählten Bauteils in einer Parametertabelle einsehen und ändern.



Parameter	Wert	Hinweise
1 Bauteilfläche	3,81	[m²] Fläche des Bauteils / der Raumbegrenzung, Innenmaße
2 Neigung zur Horizontalen	90	[°] 0 = horizontal, 90 = vertikal, 180 = >unten
3 Reflexionsgrad der inneren Oberfläche r	0,08	[-] hell bis dunkel = 0.70 bis 0.05, Glas = 0.08
4 innerer, konvektiver Wärmeübergang hci	2,50	[W/m²] vertikale Wand = 2.5, Decke = 5.0, Fußboden = 0.7
5 Emissiosgrad der inneren Oberfläche e	0,84	[-] Bauteile 0.8-0.9, Glas 0.837, Metall 0.4-0.8
6 äußerer, konvektiver Wärmeübergang hce	8,00	[W/m²] = 4 + 4*v mit v = Windgeschwindigkeit
7 äußerer Wärmeübergang für Wärmestrahlung	5,50	[W/m²] Standardwert 5.5
8 Korrektur für Abstrahlung zum Himmel qcr	0,00	[W/m²] Standardwert Dach 70
9 Absorptionsgrad für Solarstrahlung, aussen a	0,02	[-] hell bis dunkel = 0.3 bis 0.9, Glas 0.02 bis 0.6
10 Rahmenanteil	0,30	[-] nur für Fenster
11 Transmissionsgrad für Direktstrahlung	0,58	[-] nur für Fenster
12 Transmissionsgrad für Diffusstrahlung	0,58	[-] nur für Fenster
Temperatur im angrenzenden Raum	0,00	[°C] 10 °C im Keller, Erdrreich 8.9

3. Wenn Sie mit der Maus über den Bildschirm fahren, werden örtliche Hinweise (Außentemperaturverlauf, Direkt- und Diffusstrahlung, Raumbegrenzung ...) angezeigt. Durch

Mausklick an dieser Stelle wird das örtliche Bearbeitungsfenster eingeblendet, in dem Parameter angezeigt und geändert werden können.



4. Stellen Sie im Dialog über Standort die Strahlungsdaten für Berlin ein.



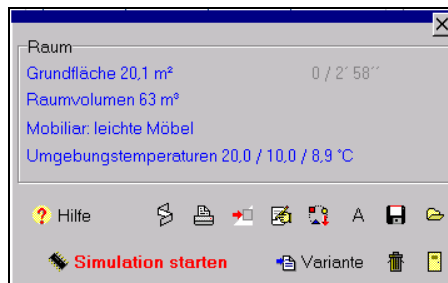
5. Auf dem Bildschirm wird nur ein Teil der Grafik dargestellt, weitere Teile können mit dem Schiebeschalter am unteren Fensterrand in den sichtbaren Bereich gebracht werden. In der Bildmitte sind die Raumbegrenzungsflächen (Dach, Fußboden, 2 Außenwände mit Orientierung, 2 Fensterflächen mit Orientierung sowie 4 Innenwände) zu sehen.
6. Klicken Sie in den Bereich „Luftwechsel“, stellen Sie im örtlichen Dialog „konstant – 3 Luftwechsel/h“ ein. 3 Luftwechsel pro Stunde sind im Sommer bei angestellten / geöffneten Fenstern „normal“. Man könnte bei Querlüftung (Eckraum) auch höhere Werte wählen.



7. Klicken Sie in den Bereich „Wärmequellen im Raum“, wählen Sie „Modell Büro – Grundfläche OK – 3 Personen im Raum“. Alternativ können Luftwechselzahlen und interne Wärmelasten auch manuell eingestellt werden (jeweils 24 Stundenwerte über „detailliert“ im Dialogfenster).

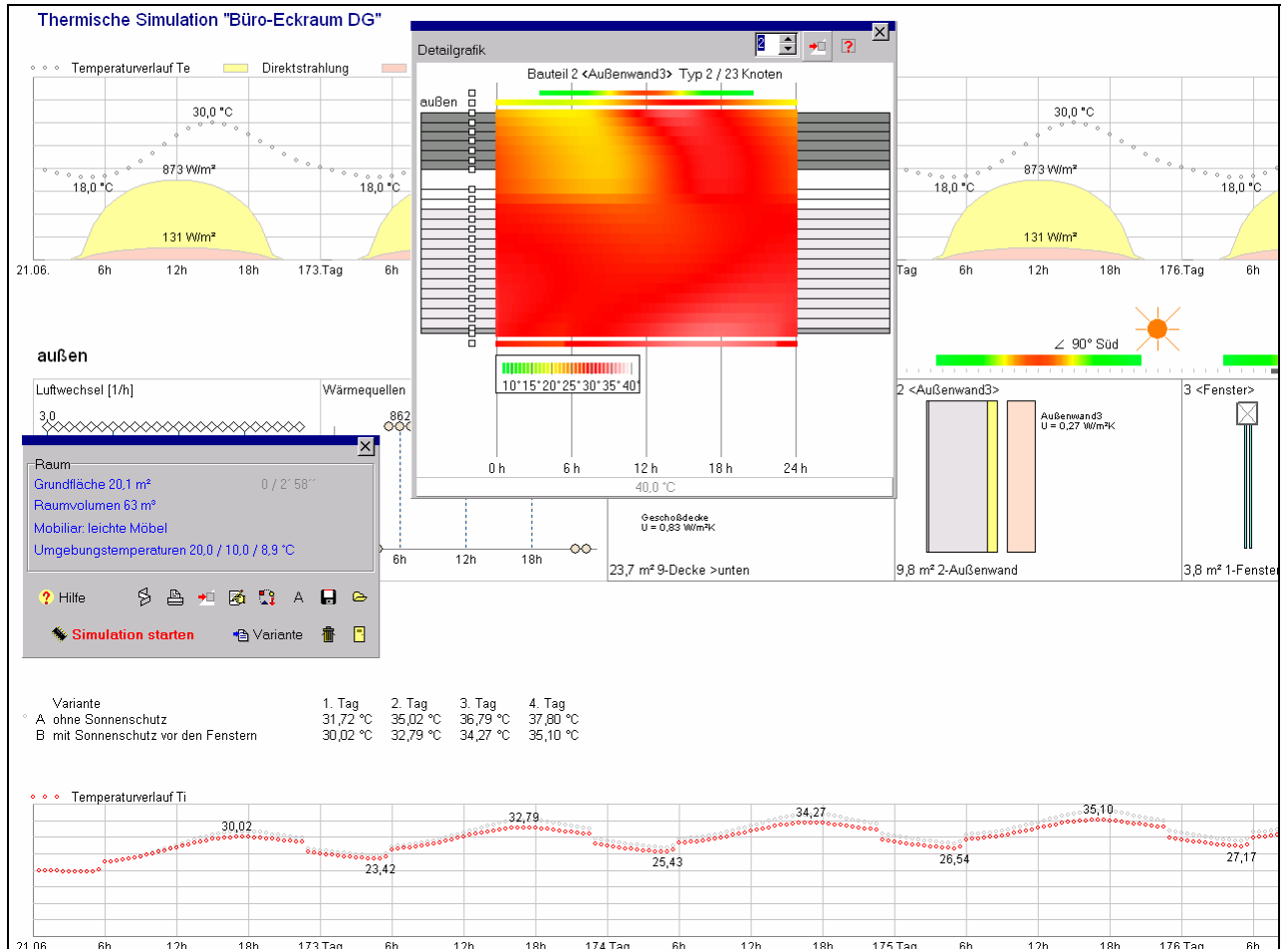


8. Öffnen Sie nun mit der rechten Maustaste das zentrale Bildschirmfenster zur thermischen Simulation, das auch beim Start angezeigt wird. Der Büroraum soll mit leichten Möbeln ausgestattet sein, dies kann über den Schriftzug Mobilier eingestellt werden. Wählen Sie anschließend „Simulation starten – OK“. Die Berechnung wird gestartet.



9. Die zeitliche Entwicklung der Raumtemperatur wird für jede Minute (Zeitintervall = 60 sec) neu berechnet, insgesamt also mindestens $24 \cdot 60 \cdot 60 = 86.400$ iterative Rechengänge pro Tag. Viele Bauteilquerschnitte müssen mit kürzeren Intervallen gerechnet werden.
10. Unterhalb der Bauteilgrafiken sind die Bauteiltemperaturen als „Farbverlauf“ (oben) und als Temperaturkurven (unten) angezeigt. Dabei wird die Temperatur jedes Querschnittsknotens im Bauteil wiedergegeben (zur Berechnung des Temperaturverlaufs werden die Querschnitte in Materialschichten aufgeteilt). Man kann einige Rechenzeit sparen, wenn man diese kleinen Temperaturdarstellungen abschaltet (Dialog „Simulation starten – Temp.Detailgrafiken“).
11. Die Knotenanordnung in den Bauteilquerschnitten, die örtlichen Berechnungsparameter und die aktuellen Knotentemperaturen sehen Sie etwas deutlicher (größer), wenn Sie während des Rechengangs das Fenster „Detailgrafik“ öffnen.
12. Am unteren Bildschirmrand ist die Entwicklung der Raumlufttemperatur über 5 Tage grafisch wiedergegeben. In dem betrachteten Büroraum würden fast 38°C erreicht, Berechnungsfall ohne Sonnenschutzvorrichtungen, Büroraum mit großen, internen Wärmelasten, wolkenloser Himmel bei Sonnenhöchststand (21.Juni) über mehrere Tage, Standort Berlin. Speichern Sie das Ergebnis über den Bedienschalter „Variante – Variante A“, geben Sie „ohne Sonnenschutz“ als beschreibenden Text an.
13. Oberhalb der Außenbauteile (Dach, Außenwände, Fenster) ist die solare Einstrahlung im Tagesverlauf (24 Stunden) dargestellt, farbliche Darstellung links bei 0:00 Uhr beginnend. Sie ist abhängig von der tageszeitlich veränderlichen Lagebeziehung zwischen Sonne und Bauteiloberfläche. Klicken Sie über den Fensterbauteilen auf diese Darstellung, wählen Sie im angezeigten Bildschirmfenster „Verschattung – allgemein – Fc-Wert 0,4“. Eine automatische Programmroutine ermittelt nun die Tageszeiten mit direkter Sonneneinstrahlung und sieht für diese Stunden einen Sonnenschutz mit dem Fc-Wert 0,4 vor (Direktstrahlung wird um 60% reduziert). Unterhalb der Strahlungsgrafik wird ein grauer Balken dargestellt (Anordnung und Länge = tageszeitliche Betriebszeit der Verschattung, Balkenfarbe = Fc-Wert). Nehmen Sie diese Änderung an beiden Fensterbauteilen vor.

14. Führen Sie eine neue, iterative Berechnung durch, jetzt mit Sonnenschutzvorrichtungen. Die erwartete Raumtemperatur kann damit am 4. Tag um knapp 3°C gesenkt werden. Über „Varianten – Verlauf anzeigen“ können mehrere Temperaturkurven parallel dargestellt werden.
15. Alternativ können auch Berechnungen zur Kühl- und Heizlast gemacht werden, in dem Sie eine konstante Innentemperatur angeben.



Die komplexen Parameter und Berechnungszusammenhänge zur thermischen Simulation sind in der Programmdokumentation ausführlich beschrieben. Die Ergebnisse konnten bisher nicht überprüft werden, da andere Softwareprogramme intern mit zusätzlichen, nicht definierten Parametern arbeiten. Wir empfehlen daher, die Ergebnisse vor allem vergleichend zu nutzen.

2. Temperatur – Amplituden – Verhältnis (TAV) und Phasenverschiebung

Das sommerliche Raumklima wird, abgesehen vom Sonneneintrag durch die Fenster, auch vom Temperaturdurchgang durch die nicht transparenten Außenbauteile bestimmt. Sommerlich warme Mittagstemperaturen und die niedrigen Temperaturen der Nacht bilden eine Wärmewelle, die sich durch das Bauteil von außen nach innen ausbreitet und an der inneren Bauteiloberfläche wieder in Erscheinung tritt.

Wie stark die Wärmewelle gedämpft wird (TAV) und wie lange der Temperaturdurchgang dauert (Phasenverschiebung), ist von der Bauteilkonstruktion abhängig. Geringe TAV-Werte erzielt man mit außen liegenden Dämmschichten und speicherfähigen Massen innen. Die Phasenverschiebung ist vor allem bei größeren TAV-Werten von Bedeutung. Sie muss dann im Zusammenhang mit der Nutzung des betrachteten Raums gesehen werden. Ziel ist dabei, die Maxima der Temperaturwelle mit der Raumnutzung abzustimmen. Für einen nach Osten orientierten Aufenthaltsraum wäre beispielsweise eine Phasenverschiebung von ca. 12 Stunden vorteilhaft, so dass die Kühle der Nacht den Raum erst zur Mittagszeit erreicht und das Mittagmaximum erst in der Nacht eintrifft, wenn der Raum nicht mehr benutzt wird.

DÄMMWERK berechnet den TAV-Wert und die Phasenverschiebung mit dem Matrizenmultiplikationsverfahren nach Heindl. Die Berechnung wird in der Regel für die Bauteilkonstruktion „Außenwand“ oder „Dach“ durchgeführt. Schalten Sie dazu den Berechnungsinhalt „TAV + Phasenverschiebung“ ein.

1. Kopieren Sie aus dem Verzeichnis dw2007\Seminarbeispiele\Beispiel Energieberatung das Bauteil „Außenwand-Bestand“. Schalten Sie die Berechnung „TAV und Phasenverschiebung“ zu, ebenfalls in der Grafik über Einstellungen die Grafik. In der Parametertabelle können Sie die auf den blauen Schriftzug der Einheit der spezifischen Wärmekapazität klicken und die Einheit in J/kgK ändern. Das Temperaturmaximum können Sie für die Anzeige in der Grafik auf 12 oder 13 Uhr einstellen. In den Berechnungsoptionen schalten Sie bitte die Formelhintergründe hinzu.

Temperaturamplitudenverhältnis und Phasenverschiebung

von innen	ρ [kg/m ³]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	c [J/kgK]	f_0
1 Putzmörtel aus Kalkgips	1400	0,700	0,02	1000	0,13
2 Lbn-Hbl 2-K-Stein 1200	1200	0,488	0,49	1000	2,27
3 Kalkzementputz	1800	0,870	0,02	1010	0,17

TAV = 0,1572 (16%), Temperaturamplitudendämpfung 1/TAV = 6
Phasenverschiebung $\varphi = 2,555$ rad (9,8 Stunden)

Die im Tagesverlauf an der äußeren Bauteiloberfläche auftretende Temperaturschwankung wird um 84 % gedämpft,

z.B. bei $\Delta\vartheta_e = 60^\circ\text{C}$ auf $\Delta\vartheta_i = 9,4^\circ\text{C}$. Das Temperaturmaximum erreicht um 21:45 Uhr die innere Bauteiloberfläche

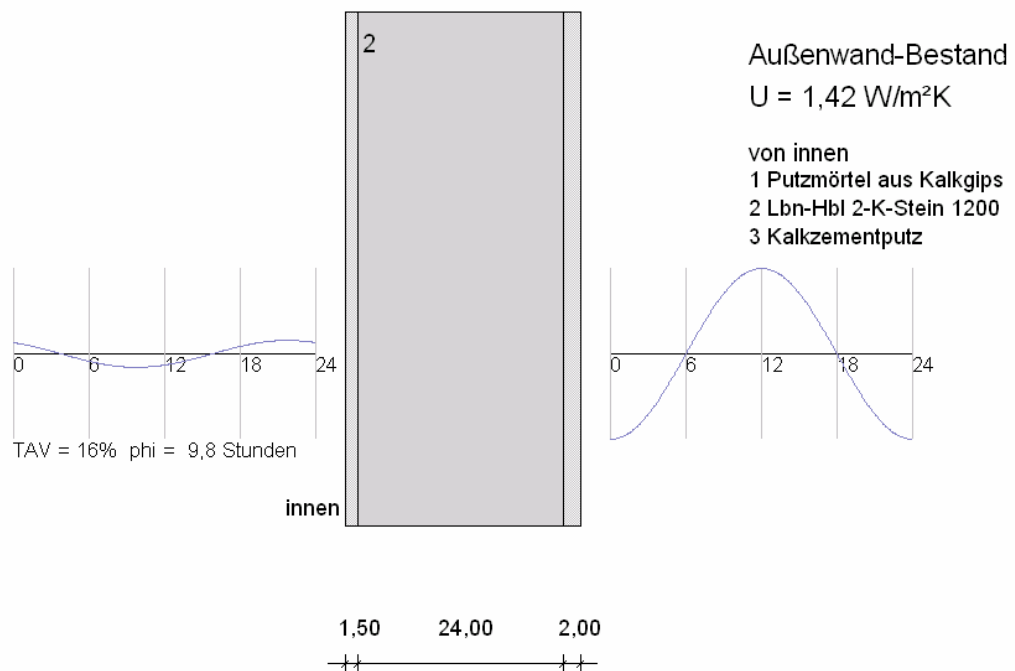
(siehe auch dynamische Berechnung des Temperaturdurchgangs).

Die modifizierte Fourierzahl f_0 wird in Abhängigkeit vom Wärmedurchlasswiderstand und vom Wärmeeindringkoeffizienten für jede Bauteilschicht berechnet und angegeben.

$$f_0 = R \cdot b \cdot \sqrt{(\pi/T)}$$

mit $b = \sqrt{(\lambda \cdot c \cdot \rho)}$ (Wärmeeindringkoeffizient)
und $T = 86400$ s = 1 Tag (Periodendauer)

Grosse f_0 -Werte erhält man für Schichten mit hohen spezifischen Wärmekapazitäten und Rohdichten.



2. Fügen Sie über den Baustoffassistenten eine Dämmschicht bei der Außenwand ein oder ändern die Schichtdicke und prüfen Sie, welchen Einfluss die Änderung auf die Phasenverschiebung und wie stark die Amplitude gedämpft wird.
3. Sie können auch für sich die Berechnung auch für inhomogene Schnitte mit Rahmenanteilen anzeigen lassen.

KERN ingenieurkonzepte
Software für Architekten und Ingenieure

Hagelberger Straße 17
10965 Berlin
Fon 030-78956780
Fax 030- 78956781

Internet www.bauphysik-software.de
eMail info@bauphysik-software.de