



Tino Ritter Bauphysik

Bedienungsanleitung WB2D Wärmebrückenrechner

Bedienung, Arbeitsablauf und Tastenkürzel

Inhaltsverzeichnis

1 Überblick	3
2 Windows-Programm und Offline-Fassung	3
3 Lizenzierung: Vollversion und Testversion	4
4 Programmoberfläche	5
5 Projekt anlegen, öffnen und speichern	6
6 Geometrie zeichnen	6
6.1 Rechtecke und Polygone	6
6.2 Kreisringausschnitt	6
6.3 Fangen, Raster und Bearbeiten	7
6.4 Modellgrenzen	8
7 Materialien und Luftschichten	8
8 Randbedingungen	9
8.1 Zwei Sätze	9
8.2 Zuweisen	9
9 Ψ-Bauteile, Bezugspunkt und U-Schnitt	10
10 Ersatzmodelle nach DIN 4108 Beiblatt 2	11
11 Berechnung	12
12 Ergebnisse und Darstellung	12
13 Protokoll und Export	14
14 Baupläne: Wärmebrücken aus PDF-Plänen anlegen	14
14.1 Pläne einlesen und Maßstab	15
14.2 Was WB2D aus dem Plan liest	16
14.3 Erkennung in Schnitten	16
14.4 Erkennung in Grundrissen und Ansichten	17
14.5 Bauteilkatalog und Verlässlichkeit	17
14.6 Bestandsgebäude ohne Schichtangaben: Bestand und Sanierung	18
14.7 Anschlüsse ohne Schnitt	19
14.8 Konstruktion abfragen und Detail anlegen	19
14.9 Projekt, Nachweistabelle und Bericht	20
15 Systemreiter: Voreinstellungen	21
16 Tastenkürzel	21

1 Überblick

WB2D ist ein Wärmebrückenrechner für zweidimensionale, stationäre Wärmeleitung. Er ermittelt den Temperaturfaktor f_{Rsi} für den Nachweis des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 und den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ nach DIN EN ISO 10211 mit den Randbedingungen aus DIN 4108 Beiblatt 2. Beide Größen werden in einem Rechenlauf mit zwei getrennten Randbedingungssätzen bestimmt, weil die Normen für die Feuchteschutzbewertung und für die Energiebilanz unterschiedliche Übergangswiderstände vorschreiben.

Das Programm läuft vollständig im Browser. Eine Installation ist nicht nötig, und die Projektdaten verlassen den Rechner nicht. Der Arbeitsstand wird im Browser zwischengespeichert und steht beim nächsten Öffnen wieder zur Verfügung; für die dauerhafte Ablage und die Weitergabe speichern Sie das Projekt als Datei. Neben der Online-Fassung gibt es ein Windows-Programm und eine Offline-Fassung als einzelne HTML-Datei mit identischem Funktionsumfang (Kapitel 2).

Ein typischer Arbeitsablauf besteht aus fünf Schritten: Geometrie zeichnen oder aus einer Vorlage laden, Materialien zuweisen, Randbedingungen für beide Sätze festlegen, die flankierenden Bauteile für Ψ erfassen und schließlich rechnen und das Protokoll speichern. Die folgenden Kapitel beschreiben diese Schritte in der Reihenfolge, in der sie in der Praxis anfallen.

2 Windows-Programm und Offline-Fassung

WB2D gibt es in drei Fassungen, die aus denselben Programmteilen erzeugt werden und denselben Funktionsumfang haben: die Online-Fassung im Browser, das Windows-Programm und die Offline-Fassung als einzelne HTML-Datei. Im Windows-Programm und in der Offline-Fassung sind alle Bibliotheken eingebettet, die die Online-Fassung beim ersten Gebrauch aus dem Netz lädt: pdf.js für das Lesen der PDF-Pläne einschließlich seines Hintergrundprozesses, die Word-Bibliothek für den Projektbericht, die Delaunay-Vernetzung für den Rechenkern und die Schriften der Oberfläche. Beide Fassungen stellen keine einzige Verbindung ins Netz her; das Windows-Programm sperrt Netzzugriffe zusätzlich auf Programmebene. Welche Fassung läuft, zeigt die unterste Zeile im Menü **Hilfe**.

Das **Windows-Programm** wird mit **WB2D_Setup_35.0.0.exe** installiert. Die Installation erfolgt je Benutzer in den Ordner %LOCALAPPDATA%\Programs\WB2D und braucht keine Administratorrechte; sie legt eine Verknüpfung im Startmenü und auf dem Desktop an und trägt das Programm unter „Apps“ in den Windows-Einstellungen ein, wo es auch wieder entfernt werden kann. Weil das Installationsprogramm nicht mit einem Zertifikat signiert ist, zeigt Windows beim ersten Start den Hinweis „Der Computer wurde durch Windows geschützt“; über **Weitere Informationen** und **Trotzdem ausführen** wird die Installation fortgesetzt. Das Programm läuft unter Windows 10 und 11 (64 Bit) und bringt seine eigene Browser-Laufzeit mit, sodass es unabhängig von Edge oder Chrome und deren Einstellungen arbeitet.

Im Windows-Programm öffnet **Speichern** den gewohnten Windows-Dialog „Speichern unter“; der zuletzt verwendete Ordner wird gemerkt. Das gilt für Projektdateien, die Nachweistabelle als CSV, den Word-Bericht, die Word-Seite als HTML und die Bilder. Die Dokumente im Menü **Hilfe** öffnen im PDF-Betrachter des Systems. Projekt, Bauteilkatalog, Zeichenschlüssel, Systemeinstellungen und Unternehmensdaten liegen unter %APPDATA%\WB2D und bleiben bei einer Aktualisierung und bei der Deinstallation erhalten; der Ordner lässt sich über **Hilfe** → **Ordner der Benutzerdaten öffnen** anzeigen. Die Menüleiste enthält außerdem Zoom (Strg + Plus/Minus, Strg + 0), Vollbild (F11) und die Programminformation mit den Versionen der eingebetteten Bibliotheken. Eine neue Version wird einfach über die vorhandene installiert. Für die Prüfung einer Installation gibt es einen Selbsttest: **WB2D.exe --selbsttest=C:\Temp\wb2d.json** prüft

pdf.js mit seinem Hintergrundprozess, den Word-Export und rechnet die Vorlage „Außenecke“ (Sollwerte $f_{Rsi} = 0,893$, $\Psi = -0,060 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$), schreibt das Ergebnis in die angegebene Datei und beendet sich.

Die **Offline-Fassung** ist die Datei **WB2D_Waermebrueckenrechner_offline.html** mit den drei Dokumenten im selben Ordner. Sie wird per Doppelklick in Edge, Chrome oder Firefox geöffnet und läuft ohne Installation und ohne Netz, etwa auf einem Rechner ohne Installationsrechte. Gespeichert wird über den Dateidialog des Browsers (Edge und Chrome) oder in den Download-Ordner. Der Arbeitsstand liegt im Speicher des Browsers für lokale Dateien und bleibt dort, solange der Browserverlauf nicht mitsamt Website-Daten gelöscht wird; Projekte sollten deshalb wie in der Online-Fassung auch als Datei gesichert werden. Online-, Windows- und Offline-Fassung tauschen Projektdateien (.json) ohne Umwandlung aus.

3 Lizenzierung: Vollversion und Testversion

Dieser Abschnitt betrifft das Windows-Programm. Bei der Installation ist zunächst der Softwarenutzungsvertrag zu bestätigen; er regelt unter anderem den Haftungsausschluss für die Berechnungsergebnisse, die Nutzung als Einzelplatzlizenz und die Haftung des Lizenznehmers bei einer Weitergabe. Ohne Bestätigung wird nicht installiert. Anschließend wählen Sie zwischen der Vollversion mit Lizenznummer und der 30-tägigen Testversion. Die Wahl lässt sich später im Programm im Menü **Lizenz** ändern; dort stehen auch der Lizenzstatus, der Softwarenutzungsvertrag und der Kauf der Vollversion.

Die **Testversion** läuft je Gerät einmalig höchstens 30 Tage. Beim ersten Start setzt das Programm dazu einen an das Gerät gebundenen, verschleierte Marker in der Windows-Registrierung (unter HKCU\Software\Tino Ritter Bauphysik). Dieser Marker bleibt bewusst auch nach einer Deinstallation erhalten, damit der kostenlose Test auf demselben Gerät nicht wiederholt gestartet werden kann; darauf weist der Softwarenutzungsvertrag ausdrücklich hin. Während der Testphase ist der volle Funktionsumfang verfügbar; ein kleines Feld unten links zeigt die verbleibenden Tage. Nach Ablauf sind Berechnung, Planauswertung und Export gesperrt, bis eine Lizenznummer eingegeben wird; angelegte Projekte bleiben erhalten.

Die **Vollversion** wird mit der Lizenznummer freigeschaltet, die Sie vom Herausgeber erhalten. Jede Nummer gilt für einen Arbeitsplatz (Einzelplatzlizenz) und wird bei der ersten Freischaltung fest an dieses Gerät gebunden; sie kann nur einmal aktiviert werden. Die Freischaltung erfolgt einmalig: Ist der Rechner online, aktiviert das Programm die Nummer selbstständig über den Aktivierungsdienst auf www.bauphysik.direct. Ist der Rechner offline, zeigt das Lizenzfenster einen Anforderungscode; diesen geben Sie auf www.bauphysik.direct/wb2d/aktivierung ein, erhalten einen Freischaltcode und tragen ihn im Programm ein. Nach der Aktivierung läuft die Vollversion dauerhaft ohne Internet. Außer dieser einmaligen Aktivierung stellt das Programm keine Verbindung zum Internet her.

Wird die Vollversion bereits bei der Installation mit der Lizenznummer gewählt, versucht das Programm die Aktivierung beim ersten Start automatisch; gelingt sie nicht (etwa ohne Internet), ist die Nummer im Lizenzfenster bereits eingetragen und Sie schließen die Freischaltung dort ab. Die Online- und die Offline-Fassung im Browser sind nicht lizenzgebunden und für den internen Gebrauch gedacht; für die Weitergabe an Kunden ist das Windows-Programm vorgesehen.

4 Programmoberfläche

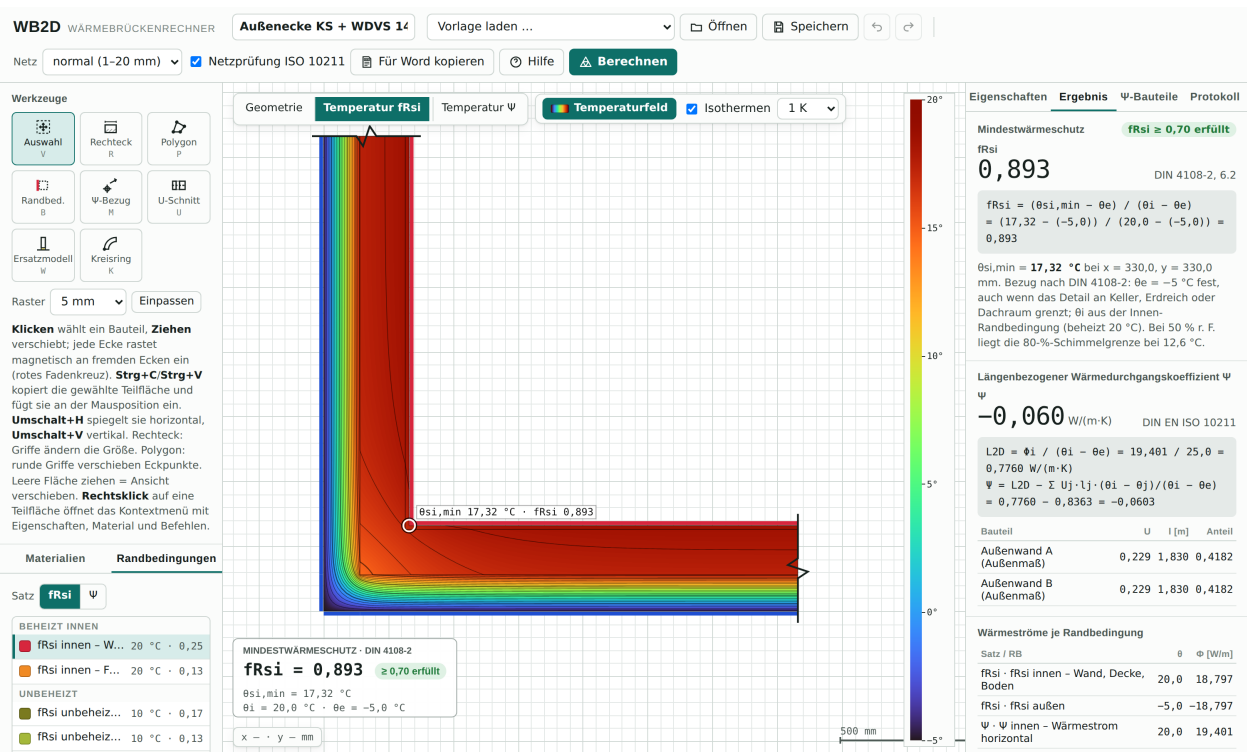


Bild 1 – Programmoberfläche nach einer Berechnung: oben Kopfleiste, links Werkzeuge und Bibliotheken, in der Mitte die Zeichenfläche mit Temperaturfeld, rechts Eigenschaften und Ergebnisse.

Die **Kopfleiste** enthält die Detailbezeichnung, die Auswahl der Vorlagen, das Öffnen und Speichern von Projektdateien sowie Rückgängig und Wiederholen. Rechts davon liegen die Wahl der Netzfeinheit (Voreinstellung automatisch), der Schalter für die Netzprüfung nach DIN EN ISO 10211, das Ablagefeld für **PDF-Pläne** mit der Schaltfläche **Start**, **Für Word kopieren**, das Menü **Hilfe** mit den drei Dokumenten als PDF und die Schaltfläche **Berechnen**. Die rechte Spalte hat die Reiter **Eigenschaften**, **Ergebnis**, **ψ-Bauteile**, **Protokoll** und **System** mit den Voreinstellungen.

Die **linke Spalte** zeigt oben die Werkzeuge und das Raster, darunter einen Hinweistext zum aktiven Werkzeug. Im unteren Teil wechseln Sie zwischen der Materialbibliothek und den Randbedingungen.

Die **Zeichenfläche** in der Mitte zeigt das Modell im Maßstab. Über der Zeichnung wählen Sie die Ansicht **Geometrie**, **Temperatur fRsi** oder **Temperatur ψ**, blenden das farbige Temperaturfeld und die Isothermen ein oder aus und stellen den Isothermenabstand ein. Unten links zeigt eine Statuszeile die Mauskoordinaten, das Material unter dem Mauszeiger und nach einer Berechnung in den Ansichten „Temperatur fRsi“ und „Temperatur ψ“ die dortige Temperatur des jeweiligen Satzes.

Die **rechte Spalte** hat vier Reiter: **Eigenschaften** des gewählten Bauteils oder des Projekts, **Ergebnis**, **ψ-Bauteile** und **Protokoll**.

5 Projekt anlegen, öffnen und speichern

Über **Vorlage laden** stehen fertige Details zur Verfügung: „Außenecke mit WDVS“, „Geschossdecke in Außenwand“, „Außenwand auf Kellerdecke“, „Polygon: Außenecke 135° (Erker)“, „Validierung: DIN EN ISO 10211, Fall 2“ und „Leeres Blatt“. Die Baudetail-Vorlagen enthalten Geometrie, Randbedingungen, Ψ -Bezugspunkt und flankierende Bauteile und eignen sich als Ausgangspunkt für eigene Details. Der Validierungsfall enthält Geometrie, Randbedingungen und die Kontrollpunkte der Norm.

Im Reiter **Eigenschaften** tragen Sie bei leerer Auswahl Projekt, Bearbeiter, Büro und eine Beschreibung ein. Diese Angaben erscheinen im Protokoll. Die Detailbezeichnung steht im Feld links oben und bestimmt zugleich den Dateinamen beim Speichern.

Speichern legt eine Projektdatei mit der Endung .wb2d.json ab, die alle Eingaben einschließlich eigener Materialien und Randbedingungen enthält. Mit **Öffnen** wird eine solche Datei wieder geladen. Rückgängig und Wiederholen erreichen Sie auch mit Strg+Z und Strg+Y; es werden bis zu 120 Schritte vorgehalten.

6 Geometrie zeichnen

6.1 Rechtecke und Polygone

Mit dem Werkzeug **Rechteck** (Taste R) ziehen Sie ein Rechteck auf, das das gerade in der Materialliste aktive Material erhält. Mit **Polygon** (Taste P) setzen Sie Eckpunkte per Klick; drei Punkte ergeben ein Dreieck. Das Polygon wird mit einem Klick auf den ersten Punkt, einem Doppelklick auf den letzten Punkt oder mit der Eingabetaste geschlossen. Die Rücktaste entfernt den zuletzt gesetzten Punkt, Esc bricht ab. Schräge Kanten, Gehrungen und Dreiecke lassen sich so ohne Treppenstufen abbilden.

Später gezeichnete Bauteile liegen über früher gezeichneten. Wo sich zwei Bauteile überdecken, gilt das obere. Diese Regel erlaubt es, zum Beispiel eine Dämmschicht durchgehend zu zeichnen und einen Anker oder eine Konsole darüberzulegen. Mit „Nach vorn“ und „Nach hinten“ im Reiter Eigenschaften ändern Sie die Reihenfolge.

6.2 Kreisringausschnitt

Mit dem Werkzeug **Kreisring** (Taste K) zeichnen Sie gekrümmte Bauteile wie Rundwände, Erker mit gebogenem Grundriss oder Rohrdämmungen. Im Formular unter der Werkzeugleiste geben Sie den Innenradius r_i , die Ringbreite b , den Mittelpunktswinkel α und den Startwinkel φ_0 ein; der Außenradius ergibt sich zu $r_a = r_i + b$. Winkel zählen gegen den Uhrzeigersinn, 0° zeigt in Richtung der positiven x-Achse. Eine Vorschau folgt dem Mauszeiger, ein Klick setzt den Mittelpunkt, der wie alle Punkte an Ecken und am Raster einrastet. Der Ausschnitt erhält das aktive Material.

Ist „Andocken“ eingeschaltet (Vorgabe) und wird mit dem Mauszeiger die Ecke einer vorhandenen Fläche gefangen, setzt WB2D nicht den Mittelpunkt dorthin, sondern dreht den Ring so, dass eines seiner Enden, also die radiale Kante von r_i bis r_a , auf der dort anliegenden Kante der Fläche liegt und die Flächen ohne Spalt und ohne Überlappung schließen. Bevorzugt wird die Kante, deren Länge der Ringbreite entspricht, und die Lage mit der kleinsten Drehung gegenüber dem eingestellten Startwinkel. Gibt es mehrere Möglichkeiten, wechselt die Tabulatortaste zwischen ihnen; mit gedrückter Alt-Taste wird wie bisher der Mittelpunkt auf die Ecke gesetzt. Dasselbe gilt beim Verschieben eines vorhandenen Ausschnitts: Kommt eine Ecke in Fangweite, dreht er sich an die Kante der Nachbarfläche.

WB2D nähert die Bögen durch ein Polygon an, dessen Sehnen höchstens 0,2 mm vom Kreisbogen abweichen. An einem Viertelring mit $r_i = 300$ mm und $r_a = 500$ mm weicht der berechnete Wärmestrom in der Netzstufe normal um 0,03 % von der analytischen Lösung ab. Mit $r_i = 0$ entsteht ein Kreisausschnitt, mit

$\alpha = 360^\circ$ ein Vollring, der aus zwei gruppierten Hälften besteht. Im Reiter Eigenschaften lassen sich Mittelpunkt, Radien und Winkel eines gezeichneten Ausschnitts nachträglich ändern; der Ausschnitt wird dann neu erzeugt. Werden einzelne Eckpunkte in der Liste unter „Eckpunkte anzeigen“ geändert, wird er zu einem freien Polygon.

Ein Kreisringausschnitt zeigt in der Auswahl nur seine vier Ecken, beim Kreisringausschnitt mit $r_i = 0$ die zwei Bogenenden und den Mittelpunkt. Nur diese Ecken sind Fangpunkte und Griffe, die Stützpunkte der Bogenannäherung bleiben verborgen. Für die Randbedingungen wird jeder Bogen wie eine einzige Linie behandelt: Ein Klick mit dem Werkzeug Randbedingungen belegt den ganzen Innen- oder Außenbogen, beim Überfahren wird der gesamte Bogen hervorgehoben. Für die Zuordnung der Ψ -Randbedingung nach Wärmestromrichtung (aufwärts, horizontal, abwärts) verwendet WB2D die über den Bogen gemittelte Flächennormale.

6.3 Fangen, Raster und Bearbeiten

Die Ecken aller Teilflächen sind magnetische Fangpunkte. Kommt beim Zeichnen oder Verschieben ein Punkt einer fremden Ecke auf 12 Bildschirmpixel nahe, rastet er dort exakt ein; die Fangpunkte in der Umgebung werden als kleine Quadrate angezeigt, der gefangene Punkt als rotes Fadenkreuz. Beim Verschieben wirkt das für jede Ecke der bewegten Fläche, bei Gruppen für alle Teile, sodass Flächen an beliebigen Ecken lückenlos zusammengesetzt werden. Ist keine Ecke in Reichweite, fluchten Kanten mit fremden Ecken, zuletzt greift das eingestellte Raster (0,5 mm bis 50 mm). Mit dem Werkzeug **Auswahl** (Taste V) wählen Sie ein Bauteil durch Klicken und verschieben es durch Ziehen. Bei Rechtecken ändern die eckigen Griffe die Größe, bei Polygonen verschieben runde Griffe einzelne Eckpunkte. Im Reiter Eigenschaften lassen sich Lage, Breite und Höhe eines Rechtecks sowie die Eckpunkte eines Polygons auch als Zahlen eingeben. „In Polygon umwandeln“ macht aus einem Rechteck ein Polygon, dessen Ecken einzeln verschoben werden können.

Die Schaltflächen **Horizontal spiegeln** (Umschalt+H) und **Vertikal spiegeln** (Umschalt+V) im Reiter Eigenschaften spiegeln die gewählte Teilfläche an der Mittelachse ihrer Hülle, sodass sie an derselben Stelle liegen bleibt: horizontal werden links und rechts vertauscht, vertikal oben und unten. Gruppen wie Ersatzmodelle oder Vollringe werden als Ganzes gespiegelt, bei Kreisringausschnitten werden Mittelpunkt und Startwinkel mitgeführt, sodass der Ausschnitt weiterhin über seine Ringdaten bearbeitet werden kann. Randbedingungen, die auf den Außenkanten der Teilfläche liegen, wandern mit; Rückgängig und Wiederholen funktionieren wie gewohnt.

Ein **Rechtsklick** auf eine Teilfläche öffnet an der Mausposition ein Kontextmenü, in dem sich das Bauteil ohne Umweg über die Seitenleisten bearbeiten lässt. Der Abschnitt Bauteil enthält die Lage und Größe eines Rechtecks bzw. Mittelpunkt, Radien und Winkel eines Kreisringausschnitts; bei freien Polygonen werden Eckenzahl und Fläche angezeigt. Im Abschnitt Material wird der Teilfläche ein anderes Material zugewiesen, außerdem lassen sich Name, λ und Farbe des zugewiesenen Materials ändern, bei Luftschichten Wärmestromrichtung, Belüftung und Emissionsgrade. Weil ein Material von mehreren Teilflächen verwendet werden kann, nennt das Menü die Zahl der betroffenen Flächen; wer nur diese eine Fläche ändern will, legt im Reiter Materialien ein eigenes Material an. Darunter stehen die Befehle Kopieren, Duplizieren, Spiegeln, Nach vorn, Nach hinten, In Polygon umwandeln, Gruppe auflösen und Löschen. Eingaben werden mit der Eingabetaste oder beim Wechsel ins nächste Feld übernommen, das Menü bleibt dabei offen; Esc, ein Klick daneben oder das Mausrad schließt es. Wird die rechte Maustaste gezogen statt geklickt, verschiebt sie wie bisher die Ansicht.

Die Pfeiltasten verschieben das gewählte Bauteil um einen Rasterschritt, mit gedrückter Umschalttaste um zehn. Strg+D dupliziert, Entf löscht. Strg+C kopiert die gewählte Teilfläche mit allen Eigenschaften (Materi-

al, Maße, Ring- und Gruppendaten) in die Zwischenablage, Strg+V fügt sie zusätzlich ein: Steht der Mauszeiger über der Zeichenfläche, liegt die linke untere Ecke der eingefügten Fläche am Mauszeiger und rastet an Fangpunkten ein, sonst wird sie versetzt neben dem Original eingefügt. Gruppen wie Ersatzmodelle werden als Ganzes kopiert und erhalten beim Einfügen eine eigene Gruppe. Die Ansicht verschieben Sie durch Ziehen auf einer leeren Fläche, mit der mittleren Maustaste oder mit gedrückter Leertaste; das Musrad zoomt, und **Einpassen** (Taste F) zeigt das ganze Modell.

6.4 Modellgrenzen

Die Schnittebenen müssen nach DIN EN ISO 10211 mindestens $d_{\min} = \max(1 \text{ m}; 3 \times \text{Bauteildicke})$ vom zentralen Element der Wärmebrücke entfernt liegen oder auf einer Symmetrieebene. An den Schnittflächen wird die Randbedingung **Bauteilschnitt – Systemgrenze** gesetzt. Sie ist adiabat ($q = 0$) und wird als Bruchlinie gezeichnet: eine kräftige Linie, die etwas über das Bauteil hinausragt und in der Mitte einen Z-förmigen Knick hat. So ist in der Zeichnung, in den Temperaturbildern und auf der Word-Seite sofort zu erkennen, wo das Modell endet und das Bauteil in Wirklichkeit weiterläuft. Die Vorlagen setzen den Bauteilschnitt an allen freien Enden automatisch. Für eigene Geometrien kennzeichnet die Schaltfläche **Schnittkanten setzen** im Reiter Randbedingungen alle Randabschnitte, die in beiden Sätzen noch keine Randbedingung haben, in einem Schritt als Bauteilschnitt; einzelne Kanten lassen sich auch wie jede andere Randbedingung von Hand belegen. Für Symmetrieebenen steht die ebenfalls adiabate Randbedingung „adiabat (Symmetrieebene)“ ohne Bruchlinie zur Verfügung. Auch ein Rand ganz ohne Zuweisung wird adiabat gerechnet, erscheint aber nur gestrichelt und gilt deshalb als noch nicht bearbeitet. Bei erdbetrübten Bauteilen gelten die Modellgrenzen nach DIN EN ISO 10211 beziehungsweise DIN 4108 Beiblatt 2.

7 Materialien und Luftschichten

Die Materialbibliothek enthält Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit nach DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456 für gängige Baustoffe, die Ersatzmaterialien nach DIN 4108 Beiblatt 2 und drei ruhende Luftschichten. Ein Klick auf ein Material macht es zum aktiven Zeichenmaterial und öffnet darunter das Bearbeitungsformular mit Name, Art, λ , Farbe und Quelle. Ist dabei ein Bauteil ausgewählt, erhält es sofort dieses Material; soll nur das Zeichenmaterial gewechselt werden, heben Sie die Auswahl vorher mit Esc auf. „Neues Material“ legt einen eigenen Eintrag an; ein Material, das in der Geometrie verwendet wird, kann nicht gelöscht werden. Das Material eines gezeichneten Bauteils lässt sich außerdem im Reiter Eigenschaften ändern.

Ist als Art „Luftschicht / Luftraum“ gewählt, berechnet WB2D die äquivalente Wärmeleitfähigkeit aus dem Wärmedurchlasswiderstand nach DIN EN ISO 6946. Dicke d und Breite b werden dabei aus dem jeweiligen Bauteil gelesen, die Wärmestromrichtung (horizontal, aufwärts, abwärts) und die Emissionsgrade der beiden Seiten stellen Sie im Formular ein. Bei $b \geq 10 \cdot d$ und $\varepsilon \geq 0,8$ gilt Tabelle 8 der DIN EN ISO 6946, sonst die Formeln aus Anhang D für kleine Lufträume beziehungsweise niedrige Emissionsgrade. Schwach belüftete Schichten werden vereinfacht mit dem halben Widerstand der ruhenden Schicht angesetzt. Diese Regel stammt aus der Fassung von 1996; die aktuelle Fassung interpoliert über die Öffnungsfläche (Dokumentation der Rechenmethode, Kapitel 8). Eine als stark belüftet gekennzeichnete Schicht wird aus dem Rechenggebiet herausgenommen. Die äußere Schale entfernen Sie selbst aus der Geometrie, und an der Innenseite der Luftschicht weisen Sie im f_{Rsi} -Satz „ f_{Rsi} außen – stark belüftet“ und im Ψ -Satz „ Ψ außen – hinterlüftet / stark belüftet“ zu, bei Dächern und Gauben die entsprechende Dach- oder Gauben-Randbedingung. Die ermittelten Werte erscheinen im Reiter Eigenschaften, im Ergebnis und im Protokoll.

8 Randbedingungen

8.1 Zwei Sätze

Randbedingungen werden getrennt für den **f_{Rsi}-Satz** und den **Ψ-Satz** geführt, umgeschaltet über „Satz“ im Reiter Randbedingungen. Der f_{Rsi}-Satz folgt DIN 4108-2: innen $\theta_i = 20\text{ °C}$ mit $R_{si} = 0,25\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, im Fensterbereich $0,13\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$, außen $\theta_e = -5\text{ °C}$ mit $R_{se} = 0,04\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$. Der Ψ-Satz folgt DIN 4108 Beiblatt 2 und DIN EN ISO 6946 mit richtungsabhängigen Innenübergangswiderständen von $0,13\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ (horizontal), $0,10\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ (aufwärts) und $0,17\text{ m}^2\cdot\text{K/W}$ (abwärts). Für unbeheizte Räume, Dachräume, hinterlüftete Bekleidungen und Erdreich stehen weitere Einträge bereit.

8.2 Zuweisen

Wählen Sie das Werkzeug **Randbed.** (Taste B), klicken Sie in der Liste die gewünschte Randbedingung an und klicken oder streichen Sie dann über die Ränder in der Zeichnung. Ein Doppelklick oder Umschalt+Klick belegt die ganze gerade Kante. Randabschnitte ohne Zuweisung sind adiabat und werden gestrichelt dargestellt. „Anderen Satz ableiten“ überträgt die Zuordnung in den jeweils anderen Satz. Von f_{Rsi} nach Ψ wählt WB2D nach Kategorie und Flächenorientierung die passende Randbedingung, also etwa „Ψ innen – Wärmestrom aufwärts“ für eine Deckenunterseite im beheizten Raum und „Ψ unbeheizt – Wärmestrom abwärts“ für die Kellerdeckenunterseite. Von Ψ nach f_{Rsi} erhalten beheizte Innenflächen „f_{Rsi} innen – Wand, Decke, Boden“ und unbeheizte „f_{Rsi} unbeheizt – Wand, Decke, Boden“; Flächen im Fensterbereich sind danach von Hand auf die jeweilige Randbedingung „Fensterbereich“ umzustellen.

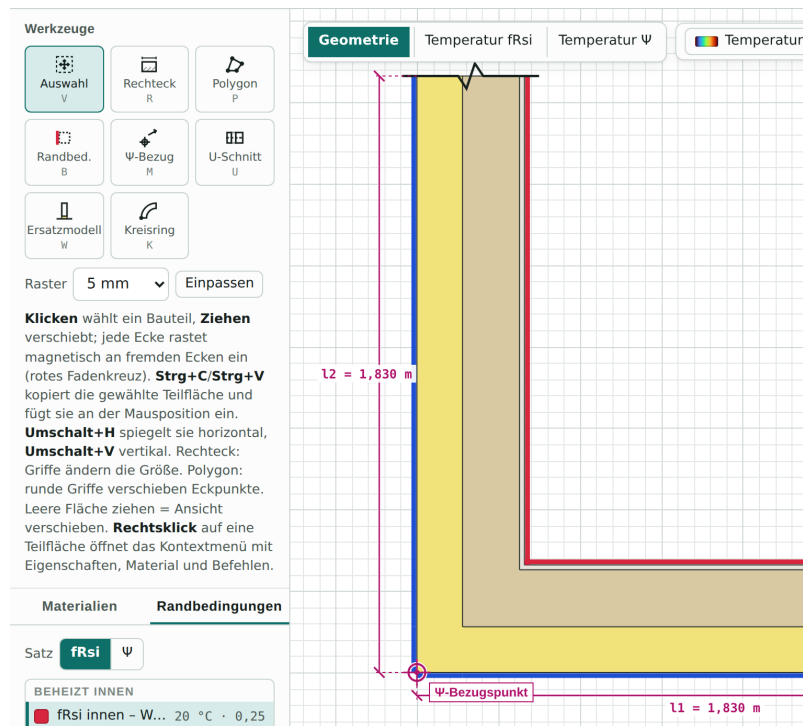


Bild 2 – Reiter Randbedingungen mit Satzwahl und Bibliothek; in der Zeichnung sind zugewiesene Ränder farbig markiert (rot innen, blau außen), Bauteilschnitte an den Modellenden als Bruchlinie.

Eine Randbedingung mit $R_s = 0$ setzt die Oberflächentemperatur fest. Das wird für die Erdreichtemperatur nach DIN 4108 Beiblatt 2 verwendet. Eigene Randbedingungen legen Sie mit „Neue RB“ an und stellen Name, Art (Kategorie), Temperatur, Übergangswiderstand und Farbe ein. Die Kategorie (beheizt innen, unbeheizt, außen, Erdreich, adiabat) steuert die Auswertung: f_{Rsi} wird an Flächen der Kategorien „beheizt innen“ und „unbeheizt“ ermittelt, der Wärmestrom für Ψ an beheizten Innenflächen.

9 Ψ -Bauteile, Bezugspunkt und U-Schnitt

Ψ ist die Differenz zwischen dem zweidimensional berechneten thermischen Leitwert L^{2D} und dem Leitwert, den die flankierenden Bauteile mit ihren U-Werten und Längen im Außenmaßbezug ergeben würden. Deshalb müssen im Reiter **Ψ -Bauteile** die flankierenden Bauteile mit U, Länge l und gegebenenfalls der Temperatur θ_j auf der kalten Seite erfasst werden.

Eigenschaften
Ergebnis
 Ψ -Bauteile
Protokoll

Ψ -Bezugspunkt
Neu setzen

Bezugspunkt x = 0, y = 0 mm. Hier treffen sich die Maßlinien der flankierenden Bauteile (Außenmaß, z. B. äußere Gebäudeecke oder Außenoberfläche in Höhe der Deckenkante). Die Länge l eines Bauteils ergibt sich dann aus dem Abstand zwischen Bezugspunkt und seinem Endpunkt am Modellschnitt.

Flankierende Bauteile
+ Bauteil

11 Außenwand A (Außenmaß) ×

U [W/(m²·K)]	l [mm]	θ_j [°C]
0.2285	AUTO 1830	θ_e
Endpunkt ✓ ↺		

12 Außenwand B (Außenmaß) ×

U [W/(m²·K)]	l [mm]	θ_j [°C]
0.2285	AUTO 1830	θ_e
Endpunkt ✓ ↺		

Längen im Außenmaßbezug nach DIN 4108 Beiblatt 2 bzw. DIN V 18599-2. Mit + den Endpunkt des Bauteils am Modellrand wählen, dann wird l automatisch vom Bezugspunkt aus gemessen und im Bild bemaßt. θ_j nur bei Bauteilen gegen unbeheizte Räume oder Erreich angeben, sonst gilt θ_e .

U-Schnitt
Werkzeug wählen

Werkzeug U-Schnitt wählen und in das flankierende Bauteil klicken. Die Schichtenfolge wird entlang der Schnittlinie gelesen.

Bild 3 – Reiter Ψ -Bauteile mit Bezugspunkt, flankierenden Bauteilen und automatisch ermittelten Längen l_1 und l_2 .

Zuerst setzen Sie mit **Ψ -Bezug** (Taste M) den Bezugspunkt, an dem sich die Maßlinien der Bauteile treffen, zum Beispiel die äußere Gebäudeecke oder die Außenoberfläche in Höhe der maßgebenden Deckenkante (Oberkante Rohdecke bei der Geschossdecke, Unterkante Kellerdecke beim Sockel). Flankierende Bauteile legen Sie mit **+ Bauteil** an. Nach dem Bezugspunkt fordert WB2D die noch fehlenden Endpunkte der Bauteile l_1 , l_2 und so weiter nacheinander an; Sie klicken jeweils den Endpunkt am Modellschnitt. Einzelne neu wählen lässt sich ein Endpunkt mit der Schaltfläche „Endpunkt“ beim jeweiligen Bauteil. WB2D misst die Länge l selbst und zeichnet die Maßlinien in das Modell. Ohne Endpunkt lässt sich l auch von

Hand eintragen. Das Feld θ_j bleibt leer, wenn das Bauteil an Außenluft grenzt; bei Bauteilen gegen unbeheizte Räume oder Erdreich tragen Sie dort die Temperatur der kalten Seite ein.

Solange das Werkzeug Ψ -Bezug aktiv ist, zeigt WB2D vor dem Setzen alle Punkte, an die der Bezugspunkt oder ein Endpunkt gelegt werden kann, als magnetische Fangpunkte an. Ein Quadrat markiert eine Ecke der Außenkontur, eine Raute den Endpunkt eines Bauteilschnitts an der Systemgrenze, ein Kreis einen Stoßpunkt, an dem eine Materialfuge auf den Rand trifft oder die Randbedingung wechselt. Ein Dreieck steht für einen Lotpunkt: Ecken und Stoßpunkte werden senkrecht durch das Bauteil auf die Gegenseite gelotet, sodass zum Beispiel die Ober- oder Unterkante einer Decke auf der Außenoberfläche der Wand als Punkt zur Verfügung steht, wie ihn der Außenmaßbezug verlangt. Kommt der Mauszeiger auf 16 Bildschirmpixel an einen dieser Punkte, rastet er dort ein; der Punkt wird hervorgehoben und mit Art und Koordinaten beschriftet. Abseits der Fangpunkte rastet der Punkt wie beim Zeichnen an Ecken und am Raster ein, sodass auch ein frei gewählter Bezugspunkt möglich bleibt.

Liegen zwei oder drei Wärmebrücken weniger als 1 m auseinander, zum Beispiel zwei Deckeneinbindungen oder Fenstersturz und Rollladenkasten, werden sie gemeinsam in einem Modell berechnet. Mit **+ Bezugspunkt** im Reiter Ψ -Bauteile legen Sie bis zu drei Bezugspunkte P1 bis P3 an und setzen sie wie gewohnt in der Zeichnung. Bei jedem flankierenden Bauteil wählen Sie unter „gemessen ab“, zu welchem Bezugspunkt es gehört. Das Bauteil zwischen zwei Wärmebrücken erfassen Sie einmal als Zwischenbauteil, etwa „P1–P2“; seine Länge ist dann der Abstand der beiden Bezugspunkte und wird automatisch bemisst. „Berechnen“ löst das Modell einmal und gibt im Reiter Ergebnis den Gesamtwert Ψ_{ges} , die Einzelwerte Ψ_1 bis Ψ_3 und den Mittelwert $\Psi_m = \Psi_{\text{ges}}/n$ aus. Normativ maßgebend ist Ψ_{ges} für die Kombination; er wird einer der Wärmebrückelinien zugeordnet oder als Ψ_m auf alle Linien verteilt. Die Einzelwerte teilen Ψ_{ges} an der Mittelsenkrechten zwischen den Bezugspunkten auf, die strichpunktiert im Bild erscheint, und dienen der Zuordnung und Kontrolle. Für sie sollte die Netzstufe fein gewählt werden. WB2D zeigt außerdem den lichten Abstand der Wärmebrücken und weist bei weniger als 1 m auf die gegenseitige Beeinflussung hin. Ergebniskasten, Protokoll und Word-Seite enthalten alle drei Werte.

Den U-Wert eines flankierenden Bauteils ermitteln Sie mit dem **U-Schnitt** (Taste U): Richtung horizontal oder vertikal wählen und in das Bauteil klicken. WB2D liest die Schichtenfolge entlang der Schnittlinie, addiert die Wärmedurchlasswiderstände und die Übergangswiderstände aus dem Ψ -Satz nach DIN EN ISO 6946 und zeigt U mit der Schichtentabelle an. „Als Bauteil übernehmen“ legt einen neuen Eintrag an. Die Schichten müssen senkrecht zur Schnittlinie liegen; fehlt an einem Ende eine Ψ -Randbedingung, weist ein Hinweis darauf hin.

10 Ersatzmodelle nach DIN 4108 Beiblatt 2

Mit dem Werkzeug **Ersatzmodell** (Taste W) fügen Sie die Ersatzsysteme nach DIN 4108 Beiblatt 2:2019 ein: Fenster vertikal, Fenstertür/Tür, Dachflächenfenster, Lichtkuppel und Rollladenkasten. Modell, Drehung, Spiegelung und Parameter werden im Formular unter der Werkzeugeiste gewählt, eine Vorschau mit Einfügapunkt folgt dem Mauszeiger. Die Teile eines Modells bleiben als Gruppe verbunden. Einzelheiten zu Geometrie, Lage und Randbedingungen enthält die gesonderte Kurzanleitung Ersatzmodelle, die wie diese Anleitung über das Menü **Hilfe** erreichbar ist.

11 Berechnung

Berechnen (Strg+Eingabe) vernetzt das Modell und löst beide Randbedingungssätze. Die Netzfeinheit wählen Sie in der Kopfleiste: **automatisch** (Voreinstellung), grob (Elementgröße 2 bis 40 mm), normal (1 bis 20 mm), fein (0,5 bis 10 mm) oder sehr fein (0,25 bis 5 mm). Das Netz ist an Ecken und Materialgrenzen feiner als im Inneren großer Schichten. In der Stufe „automatisch“ beginnt WB2D mit der im Systemreiter eingestellten Startstufe, prüft das Netz nach DIN EN ISO 10211 und verfeinert es so lange, bis die Prüfung eingehalten ist; das Ergebnis des feinsten geprüften Netzes wird übernommen, die durchlaufenen Stufen stehen im Ergebnis und im Protokoll.

Ist **Netzprüfung ISO 10211** eingeschaltet, rechnet WB2D zusätzlich mit halbierter Elementgröße und vergleicht die Summe der eintretenden Wärmeströme. DIN EN ISO 10211 verlangt eine Abweichung unter 1 %; das Ergebnis der Prüfung steht im Reiter Ergebnis und im Protokoll. Jede Änderung an Geometrie, Materialien oder Randbedingungen markiert das Ergebnis als veraltet, bis erneut gerechnet wird.

12 Ergebnisse und Darstellung

Der Reiter **Ergebnis** zeigt zuerst den Nachweis des Mindestwärmeschutzes: f_{Rsi} mit Rechenweg, die minimale Oberflächentemperatur $\theta_{si,min}$ mit ihrer Lage und die Bewertung gegen $f_{Rsi} \geq 0,70$. Darunter folgt Ψ mit dem Rechenweg über den thermischen Leitwert L^{2D} und den Anteilen der flankierenden Bauteile. Die Tabelle der Wärmeströme je Randbedingung dient der Kontrolle; in jedem Satz muss die Summe nahezu null sein.

Eigenschaften
Ergebnis
Ψ-Bauteile
Protokoll

Mindestwärmeschutz **fRsi ≥ 0,70 erfüllt**

fRsi

0,893 DIN 4108-2, 6.2

$$fRsi = (\theta_{si,min} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

$$= (17,32 - (-5,0)) / (20,0 - (-5,0)) = 0,893$$

$\theta_{si,min} = 17,32 \text{ °C}$ bei x = 330,0, y = 330,0 mm. Bezug nach DIN 4108-2: $\theta_e = -5 \text{ °C}$ fest, auch wenn das Detail an Keller, Erdreich oder Dachraum grenzt; θ_i aus der Innen-Randbedingung (beheizt 20 °C). Bei 50 % r. F. liegt die 80-%-Schimmelgrenze bei 12,6 °C.

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ

Ψ

-0,060 W/(m·K) DIN EN ISO 10211

$$L2D = \Phi_i / (\theta_i - \theta_e) = 19,401 / 25,0 = 0,7760 \text{ W/(m·K)}$$

$$\Psi = L2D - \sum U_j \cdot l_j \cdot (\theta_i - \theta_j) / (\theta_i - \theta_e)$$

$$= 0,7760 - 0,8363 = -0,0603$$

Bauteil	U	l [m]	Anteil
Außenwand A (Außenmaß)	0,229	1,830	0,4182
Außenwand B (Außenmaß)	0,229	1,830	0,4182

Wärmeströme je Randbedingung

Satz / RB	θ	Φ [W/m]
fRsi · fRsi innen – Wand, Decke, Boden	20,0	18,797
fRsi · fRsi außen	-5,0	-18,797

Bild 4 – Reiter Ergebnis mit f_{Rsi} -Nachweis, Ψ-Berechnung und Wärmeströmen je Randbedingung.

In der Zeichenfläche wählen Sie „Temperatur f_{Rsi} “ oder „Temperatur Ψ“, um das jeweilige Temperaturfeld zu sehen. Die Schaltfläche **Temperaturfeld** blendet die farbige Darstellung ein oder aus, sodass auch nur Isothermen über der Geometrie gezeigt werden können. Ein Ergebniskasten in der Zeichnung fasst f_{Rsi} beziehungsweise Ψ zusammen, die Stelle von $\theta_{si,min}$ ist markiert, und die Statuszeile zeigt in diesen Ansichten die Temperatur an der Mausposition.

13 Protokoll und Export

Der Reiter **Protokoll** zeigt eine Vorschau des Nachweises im Layout „Tino Ritter Bauphysik“ mit Projektangaben, Ergebnissen, flankierenden Bauteilen, Wärmeströmen je Randbedingung, Netzangaben und Netzprüfung, Luftschichten, Materialien mit Quellen, Randbedingungen beider Sätze und Geometrie. **Bericht speichern (.html)** legt den Nachweis als HTML-Datei ab und fügt dabei die Temperaturbilder beider Sätze ein; die Datei lässt sich im Browser als PDF drucken. **Temperaturbild (.png)** speichert das Temperaturfeld des angezeigten Satzes farbig mit Isothermen im Abstand von 1 K und Ergebniskasten.

Die Schaltfläche **Für Word kopieren** in der Kopfleiste legt den Nachweis als eine A4-Seite in einer festen Maske in die Zwischenablage; in Word wird er mit Strg+V eingefügt. Die Maske ist auf den Satzspiegel von 16 cm bei Word-Standardrändern ausgelegt und immer gleich aufgebaut: Oben stehen die Detailbezeichnung und die angewandten Normen, darunter drei gleich große Grafiken mit gemeinsamer Unterkannte (Aufbau mit Materialnummern und Maßketten, Temperaturfeld mit Farbskala, beschriftete Isothermen). Es folgt ein Ergebnisband mit grünem Kopf für den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 und die Wärmebrücke nach DIN EN ISO 10211, das f_{Rsi} , $\theta_{si,min}$ und Ψ mit den Formeln und eingesetzten Werten wie im Ergebniskasten der Oberfläche zeigt. Darunter erläutern drei Zeilen links im Text die Berechnung und Randbedingungen, die Materialien und das Ergebnis, rechts steht jeweils eine rahmenlose Tabelle mit den Randbedingungen beider Sätze, den Materialien und den flankierenden Bauteilen. Alle Texte sind in Calibri 9 pt im Blocksatz gesetzt. Die Grafiken beziehen sich auf den f_{Rsi} -Satz, bei der Ansicht „Temperatur Ψ “ auf den Ψ -Satz. Ein Dialog zeigt die Seite in der Vorschau; übernimmt Word die Bilder nicht, lassen sie sich dort einzeln kopieren, oder die Seite wird als HTML-Datei gespeichert und in Word geöffnet.

14 Baupläne: Wärmebrücken aus PDF-Plänen anlegen

In der Kopfleiste liegt das Ablagefeld **PDF-Pläne hierher ziehen**: Ziehen Sie alle Pläne eines Bauprojekts, also Schnitte, Grundrisse und Ansichten, gleichzeitig aus dem Dateimanager hinein oder klicken Sie das Feld an, um sie auszuwählen; weitere Blätter lassen sich jederzeit nachlegen, auch in den geöffneten Dialog. Das Feld zeigt die Zahl der geladenen Blätter, **Öffnen** zeigt das Modul Baupläne mit Blättern, Erkennung und Projekt, und **Start** beginnt die Wärmebrückenerkennung mit dem vollständigen Durchlauf. Das Modul liest Schnitte, Grundrisse und Ansichten als PDF ein, bestimmt den Maßstab aus den Maßketten, erkennt die wesentlichen Wärmebrücken, liest die Bauteilmaße ab, fragt je Wärmebrücke die Konstruktion ab und legt die Details mit Randbedingungen für den f_{Rsi} - und den Ψ -Satz in einem Projekt an. Voraussetzung sind Vektor-PDFs, wie sie CAD-Programme exportieren; die Linien der Wände und Decken müssen als Linien enthalten sein. Gescannte Pläne enthalten nur Bilder, dort ist keine automatische Erkennung möglich, das Modul meldet das und bietet das manuelle Anlegen an.

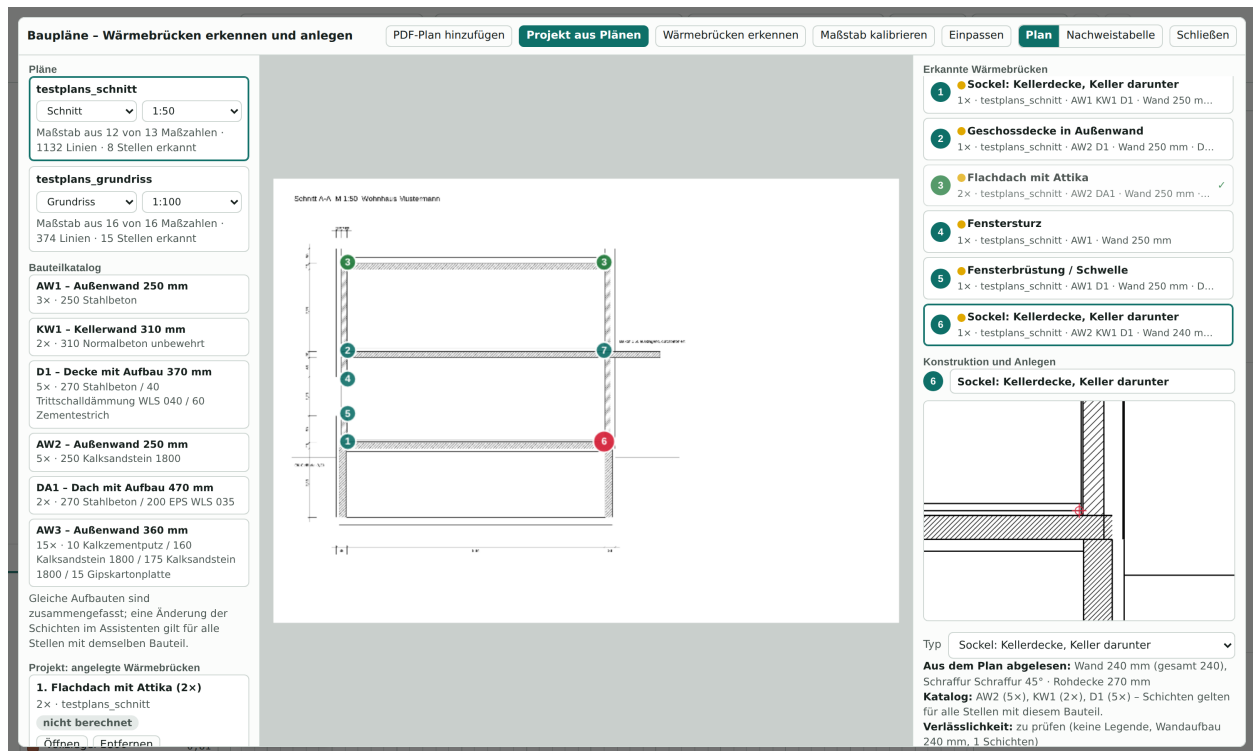


Bild 5 – Modul Baupläne: links die geladenen Seiten mit Planart und Maßstab sowie das Projekt, in der Mitte der Plan mit nummerierten Wärmebrücken, rechts die erkannten Wärmebrücken und darunter Planausschnitt, abgelesene Maße und die vorgeschlagene Konstruktion.

Der kürzeste Weg ist **Start** in der Kopfleiste oder **Projekt aus Plänen** im Dialog: Der Durchlauf erkennt alle Wärmebrücken, fasst gleiche Aufbauten im Bauteilkatalog zusammen, legt die als sicher eingestuft Stellen an, berechnet sie mit automatischer Netzverfeinerung parallel und öffnet die Nachweistabelle. Die übrigen Stellen bleiben mit gelber oder roter Markierung in der Liste und werden von Hand geprüft. Die Einzelschritte stehen daneben weiterhin zur Verfügung.

14.1 Pläne einlesen und Maßstab

Mit **PDF-Plan hinzufügen** oder durch Hineinziehen laden Sie eine oder mehrere Dateien; jede Seite erscheint links in der Liste mit Planart und Maßstab und lässt sich über das **x** wieder entfernen. Die Planart (Schnitt, Grundriss, Ansicht) wird aus Plankopf und Dateinamen vorgeschlagen und lässt sich umstellen; Seiten ohne Belang stellen Sie auf „Ignorieren“. Den Maßstab liest WB2D aus dem Plankopf („1:50“) und prüft ihn an den Maßketten: Für jede Maßzahl wird der Abstand der Begrenzungsstriche auf der zugehörigen Maßlinie gemessen und mit den gebräuchlichen Maßstäben 1:10 bis 1:200 verglichen. Der Plankopf gilt, solange die Maßketten nicht deutlich einen anderen Maßstab belegen; fehlt er, entscheidet die Mehrheit der Maßketten, die Trefferquote steht unter der Seite. Stimmt der Maßstab nicht, wählen Sie ihn in der Liste oder klicken mit **Maßstab kalibrieren** zwei Punkte mit bekanntem Abstand in der Planansicht an und geben die wirkliche Länge ein. Die Planansicht in der Mitte lässt sich mit dem Mausrad zoomen und mit gedrückter Maustaste verschieben.

14.2 Was WB2D aus dem Plan liest

CAD-Exporte enthalten neben den Linien auch die Flächenfüllungen der geschnittenen Bauteile und die Schraffurstriche. WB2D wertet drei Ebenen aus. Die **Legende** des Blattes wird gelesen: kleine gefüllte Kästchen mit Beschriftung daneben ergeben die Zuordnung von Füllfarbe oder Füllmuster zu Material, etwa grün mit Strichschraffur = Stahlbeton, braun = Holz, rot = Hochlochziegel, magenta oder blau mit Zickzack = XPS oder Mineralwolle. Weil CAD-Legenden den Farbton der Zeichnung nicht immer exakt treffen, werden Farbvarianten nach Farbton und Sättigung dem nächstliegenden Legendeneintrag zugeordnet. Die **Füllungen** der Bauteile liefern die Schichten: Ein Profil quer durch ein Bauteil zählt, welche Füllung an jeder Stelle liegt, und fasst gleiche Abschnitte zu Schichten zusammen. Wo keine Füllung vorhanden ist, entscheidet die **Schraffur**: Punkte deuten auf Einblasdämmung oder Estrich, Zickzack auf Dämmung, Strichschraffur in einer Richtung auf Beton, Mauerwerk oder Holz, Kreuzschraffur auf Holz, leere Abschnitte auf Luftschichten oder Platten. Mit Legende und Muster schlägt WB2D für jede Schicht ein Material aus der Materialliste vor; ohne Legende gilt die Musterregel allein, und die Vorschläge sind entsprechend unsicherer.

Über Legende und Füllungen hinaus wertet WB2D die **Texte** des Blattes aus. Aufbauten, die als Text neben den Bauteilen stehen („Bodenaufbau 240 mm: 15 mm Fußbodenbelag, 65 mm Estrich, ...“), werden gelesen und der Decke zugeordnet, über der sie stehen; ihre Dicken und Materialien haben Vorrang vor der grafischen Lesung, weil sie der Planung entstammen. Fehlen im Text die Dicken, wie bei „Dachaufbau Flachdach: Gefälledämmung, Dampfsperre, Holzdecke“, dient er nur als Hinweis. Trägt eine Dämmung eine Wärmeleitfähigkeitsstufe („XPS WLG 032“), legt WB2D dafür ein eigenes Material mit dem Bemessungswert der Stufe an; ein Nennwert λ_D wird nach DIN 4108-4 in den Bemessungswert umgerechnet (Systemreiter). Der **Plankopf** liefert Bauvorhaben, Bauherr, Planverfasser, Projekt- und Plannummer, Planinhalt und Datum; diese Angaben erscheinen auf dem Deckblatt des Berichts. Den **Zeichenschlüssel** eines Planverfassers merkt sich WB2D im Browser: Füllfarben nach Farbton und Muster mit ihrer Materialzuordnung, sodass Blätter desselben Büros ohne Legende die Zuordnung übernehmen. Zeichnungen, deren Raumstempel nur unbeheizte Räume nennen (Tiefgarage, Keller, Technik), werden als unbeheizt gekennzeichnet; ihre Anschlüsse gelten nicht als Wärmebrücken der beheizten Hülle und werden rot markiert.

14.3 Erkennung in Schnitten

Wärmebrücken erkennen wertet alle geladenen Seiten aus. Ein Blatt mit mehreren Zeichnungen (mehrere Schnitte, Legende, Plankopf) wird zunächst in zusammenhängende Zeichnungen zerlegt, die getrennt bearbeitet werden. In jedem Schnitt sucht WB2D senkrechte Streifen aus Füllungen und Schraffur als Wände und waagerechte als Decken. Die Innenseite einer Wand ist die Seite, auf der deutlich mehr Decken an ihr enden. Jede Decke, die eine Außenwand erreicht, wird als Paket aus Rohdecke und Aufbau gelesen; die Rohdecke ist die dickste Schicht ab 12 cm, die laut Legende oder Muster tragend ist (Beton, Holz, Mauerwerk). Ist die Rohdecke im Plan nicht gezeichnet – im Rohbau steht oft nur „nach Statik“ –, gilt der leere Abschnitt ab 10 cm als Rohdecke aus Stahlbeton. Aus der Lage folgt der Typ: Ragt die Decke mehr als 40 cm über die Außenkante hinaus, ist es eine Balkonplatte; ändert sich unter der untersten Decke der Wandaufbau, ein Sockel über dem Keller oder der Tiefgarage; endet die Wand kurz über einer Decke, ein Flachdach mit Attika; steht die Wand direkt auf ihr, eine Bodenplatte; sonst eine Geschossdecke. Öffnungen in der Wand ergeben Sturz und Brüstung mit Brüstungshöhe über OK Rohdecke; ein Sturz wird nur angelegt, wenn über der Öffnung noch Wand steht, sonst ist die Stelle bereits der Decken- oder Dachanschluss, und eine Brüstung erst ab 25 cm Höhe.

Den Wandaufbau liest WB2D in dem Geschoss, das an die Wärmebrücke grenzt, im größten öffnungsfreien Abschnitt; unter mehreren Teilfenstern gilt die schlankste Lesung mit mindestens drei Schichten, weil

Fensterzonen nur den Rahmen und angrenzende Bauteile zu viel liefern. Da die Außenwand über die Geschosse meist gleich ist, werden Lesungen, die um mehr als ein Viertel von der mittleren Wanddicke abweichen, durch die Lesung nahe der mittleren Dicke ersetzt; der Planausschnitt zeigt dann den Hinweis, dass der Aufbau aus einem anderen Geschoss übernommen wurde. Wanddicken über 60 cm werden als Hinweis auf mitgelesene Nachbarbauteile gekennzeichnet. Solche Hinweise und die Legendenzuordnung stehen unter den abgelesenen Maßen im Planausschnitt.

14.4 Erkennung in Grundrissen und Ansichten

In Grundrissen werden Wände in beiden Richtungen als Streifen aus Füllungen und Schraffur gesucht; Schichten derselben Wand, die eine ungefüllte Installationsebene trennt, werden zusammengeführt. Außenwände sind Wände, auf deren einer Seite über den größeren Teil der Länge keine parallele Wand liegt, sodass Erker und Rücksprünge die Zuordnung nicht stören. Wo zwei Außenwände einander erreichen, entsteht eine Ecke: Laufen beide Wände vom Eckpunkt nur zur Innenseite der jeweils anderen, ist es eine Außenecke, läuft eine nur nach außen weg, eine einspringende Ecke. Eine Innenwand, die an der Innenkante einer Außenwand endet, ergibt einen Innenwandanschluss, Abschnitte ohne Füllung und Schraffur über die ganze Wanddicke sind Öffnungen und ergeben Laibungen. Den Wandaufbau liest WB2D neben der Stelle; liefert das keinen mehrschichtigen Aufbau, wird die beste Lesung entlang der Wand genommen. In Ansichten zählt WB2D die Fensteröffnungen zur Kontrolle, legt daraus aber keine Wärmebrücke an.

Gleiche Wärmebrücken, also gleicher Typ mit gleichen Maßen, werden zu einem Eintrag mit Anzahl zusammengefasst und im Plan mit derselben Nummer markiert. Die Erkennung ist eine Heuristik, abgestimmt an synthetischen Plänen und an ARCHICAD-Exporten eines Holzbaus über einer Tiefgarage aus Beton. Ihre Grenzen sind absehbar: Nachbargebäude und Anbauten, die unmittelbar an der Außenwand stehen, werden mitgelesen; Erdreich in derselben Farbe wie Holz erscheint als Holzschicht; Schnitte durch unbeheizte Bauteile wie Tiefgaragen liefern Anschlüsse, die keine Wärmebrücken der beheizten Hülle sind; Dachschrägen und geneigte Bauteile werden nicht erkannt. Deshalb ist jeder Vorschlag am Planausschnitt zu prüfen, überflüssige Einträge werden übersprungen, nicht erkannte Stellen legen Sie mit **+ Wärmebrücke manuell** an. Für die synthetischen Pläne mit reinen Linienzeichnungen bleibt die frühere Linienkennung erhalten; sie greift, wenn ein Blatt keine Füllungen und kaum Schraffur enthält.

14.5 Bauteilkatalog und Verlässlichkeit

Nach der Erkennung fasst WB2D gleiche Schichtfolgen zu Bauteilen zusammen: Außenwände (AW1, AW2 ...), Kellerwände (KW), Decken mit Aufbau (D) und Dächer mit Aufbau (DA). Zwei Lesungen gelten als dasselbe Bauteil, wenn sich ihre Schichten nur um wenige Millimeter unterscheiden oder, gröber verglichen, die tragenden und dämmenden Schichten derselben Materialfamilie in gleicher Folge und ähnlicher Dicke vorliegen. Der Katalog steht links unter den Plänen mit der Zahl der Stellen je Bauteil. Jede Stelle verweist auf ihre Katalogbauteile, und die Schichten im Assistenten sind die des Katalogs: Eine Änderung, etwa der Wechsel einer Dämmung auf WLS 032, gilt damit für alle Stellen mit diesem Bauteil. Wurde eine Wand an einer Stelle falsch gelesen, weisen Sie ihr im Assistenten über die Auswahl über den Schichten ein anderes Katalogbauteil zu. Über den Katalog werden gleiche Wärmebrücken auch über Blätter und Geschosse hinweg zu einem Eintrag mit allen Vorkommen zusammengeführt, etwa die Außenecke aus den Grundrissen von EG, OG und DG.

Jede Stelle erhält eine Einstufung ihrer Verlässlichkeit, die als Ampel vor dem Namen steht. Grün („sicher“) bedeutet: Legende vorhanden, plausibler Wandaufbau mit mindestens drei Schichten zwischen 20 und 60 cm, Aufbau aus dem Plantext oder mehrere übereinstimmende Vorkommen, keine Hinweise. Gelb („prüfen“) erhalten Stellen mit Hinweisen, etwa einem aus einem anderen Geschoss übernommenen

Wandaufbau, einem im Katalog nur vereinzelt vorkommenden Wandaufbau, während ein anderer die Regel ist, oder Typen, die häufiger falsch gedeutet werden. Rot („unsicher“) sind Stellen in unbeheizten Zeichnungen, mit mitgelesenen Nachbarbauteilen oder – im Bestandsmodus – mit einer Außenwand unter 17,5 cm, die keine Außenwand eines Massivbaus sein kann. **Sichere anlegen** legt nur grüne Stellen an; „Projekt aus Plänen“ legt in der Voreinstellung grüne und gelbe Stellen an und kennzeichnet die gelben in der Nachweistabelle mit „prüfen“ beziehungsweise „abgeleitet“ (Systemreiter, „Projekt aus Plänen“: nur sichere Stellen). Die Prüfliste zeigt die Gründe der Einstufung im Assistenten unter „Verlässlichkeit“.

14.6 Bestandsgebäude ohne Schichtangaben: Bestand und Sanierung

Bestandspläne enthalten oft weder Legende noch Schichtaufbauten, sondern nur die gefüllte Wandfläche mit ihrer Dicke. Für solche Projekte schalten Sie links unter **Bestand und Sanierung** den Bestandsmodus ein und tragen das Baujahr ein. WB2D ordnet das Gebäude der Baualtersklasse zu und setzt für die Bestandsbauteile die pauschalen Wärmedurchgangskoeffizienten der Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Nichtwohngebäudebestand vom 8. Oktober 2020 (BAnz AT 04.12.2020 B2, Tabellen 2 und 3) an: Außenwand, Dach, oberste Geschossdecke, Kellerdecke, Bodenplatte und Fenster lassen sich je aus den Bauteilzeilen der Bekanntmachung wählen, der zugehörige UWert steht dahinter. Im Rechenmodell wird jedes Bestandsbauteil zu einer homogenen Schicht in der aus dem Plan gemessenen Dicke mit der äquivalenten Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{eq} = d / (1/U - R_{si} - R_{se})$, so dass sein eindimensionaler U-Wert genau dem Pauschalwert entspricht; die Materialien erscheinen im Katalog, in der Materialliste und im Bericht mit Baualtersklasse, U-Wert und Quelle. Für die Kellerwand des unbeheizten Untergeschosses gilt derselbe Wandtyp ohne Dämmung, Rohdecken sind mit der eingetragenen Dicke (Vorgabe 200 mm Stahlbeton) angenommen.

Darunter stehen die **Sanierungsschichten**: das Wärmedämmverbundsystem der Außenwände gegen Außenluft mit Dicke, Wärmeleitfähigkeitsstufe und Putzdicke, die Dämmstreifen an Laibung, Sturz und Brüstung, eine nachträgliche Dachdämmung und eine unterseitige Dämmung der Kellerdecke. Sie werden bei der Erkennung außen vor die Bestandswand beziehungsweise unter die Kellerdecke gelegt; der Fensterrahmen liegt in der Voreinstellung 120 mm hinter der Außenkante der Bestandswand und wird 30 mm von der Dämmung überdeckt, Fenster gehen als Ersatzmodell nach DIN 4108 Beiblatt 2 ein. Alle Angaben sind Vorschläge, die im Assistenten je Stelle geändert werden können; Änderungen im Bestandsfeld wirken bei der nächsten Erkennung. Die Vorlagenliste enthält drei Beispiele mit Bestandswand der Klasse 1969–1978 und WDVS (Außenecke, Geschossdecke, Fensterlaibung mit Dämmstreifen), die als Ausgangspunkt für von Hand gezeichnete Details dienen.

14.7 Anschlüsse ohne Schnitt

Liegen nur Grundrisse und Ansichten vor, leitet WB2D die Anschlüsse, die sonst aus dem Schnitt gelesen werden, aus den vorhandenen Blättern ab. Die Grundrisse werden nach Geschoss geordnet (TG, KG, EG, OG, DG aus Dateiname und Plankopf) und nach ihren Raumstempeln als beheizt oder unbeheizt eingestuft; Lager, Keller, Heizraum oder Tiefgarage sprechen für unbeheizt, Wohn-, Büro-, Behandlungs- oder Verkaufsräume für beheizt, Flure und WCs zählen nicht. Zwischen zwei beheizten Geschossen entsteht eine Geschossdecke, über einem unbeheizten Untergeschoss eine Kellerdecke mit der Wand des Untergeschosses als Kellerwand, unter dem untersten beheizten Geschoss ohne Untergeschoss eine Bodenplatte, über dem obersten beheizten Geschoss ein Flachdach (Plantext „Flachdach“) oder eine Traufe mit der Dachneigung aus den Ansichten. Zu jeder Laibung kommen Sturz und Brüstung derselben Wand hinzu. Geschosshöhen liest WB2D aus den Deckenkanten der Ansichten (Linienpaare im Abstand der Deckendicke) und ordnet sie den Geschossen von unten nach oben zu, ersatzweise aus Treppenbeschriftungen („18 STG 19,8/25“); Fensterhöhen und Brüstungshöhen aus den Fenstern der Ansichten über der nächsten Deckenkante, Brüstungen auch aus Plantexten („BRH 90“), die Kniestockhöhe aus „Kniestock 1,37“. Alle so abgeleiteten Stellen tragen den Hinweis „aus den Grundrissen abgeleitet“, bleiben gelb und werden in Nachweistabelle und Bericht als abgeleitet gekennzeichnet; die zugrunde gelegten Höhen stehen unter der Nachweistabelle. Wände in Grundrissen, die ein breites Fenster unterbricht, werden zu einer Wand zusammengeführt, wenn in der Lücke das Fenstersymbol liegt; die Hüllfläche wird aus Umfang, Geschosshöhen, Grundfläche und Dachneigung geschätzt und in die Nachweistabelle übernommen, bis ein Wert aus der Energiebilanz eingetragen wird.

14.8 Konstruktion abfragen und Detail anlegen

Ein Klick auf einen Eintrag der Liste oder auf eine Markierung im Plan zeigt rechts den Planausschnitt mit der Stelle, die abgelesenen Maße und die vorgeschlagene Konstruktion: den Typ, die Außenwand von außen nach innen, je nach Typ Rohdecke, Fußbodenaufbau, Kellerwand, Dämmung unter der Kellerdecke oder Bodenplatte, Perimeterdämmung, Geländehöhe, Balkonauskragung mit Wärmedämmelement, Rahmenlage, Dämmüberdeckung und Dämmstreifen in der Laibung am Fenster, Brüstungshöhe, Dachaufbau und Attikahöhe beziehungsweise Dachneigung und Dachüberstand an der Traufe. Dicken und Materialien lassen sich Schicht für Schicht ändern, Schichten hinzufügen oder entfernen, der Typ umstellen. **Wärmebrücke anlegen** erzeugt aus der Konstruktion das Rechenmodell und legt es im Projekt ab; **Vorschau im Editor** zeigt es zuvor in der Zeichenfläche. **Alle offenen anlegen** übernimmt alle noch nicht bearbeiteten Einträge mit ihrem Vorschlag.

Die erzeugten Details folgen den Vorlagen des Programms: Die flankierenden Bauteile sind 1,5 m lang, die Schnittkanten tragen die Randbedingung Bauteilschnitt. Innenflächen erhalten im f_{Rsi} -Satz „fRsi innen – Wand, Decke, Boden“ (20 °C, R_{Si} 0,25 m²·K/W), die Rahmenflächen des Fenster-Ersatzmodells „fRsi innen – Fensterbereich“ (R_{Si} 0,13), Außenflächen „fRsi außen“ (–5 °C). Im Ψ -Satz bekommen Innenflächen nach der Wärmestromrichtung die Randbedingung für horizontal, aufwärts oder abwärts, Außenflächen „ Ψ außen“, Flachdächer „ Ψ außen – Dach“, unbeheizte Keller die Randbedingungen für unbeheizte Räume, erdberührte Wandflächen bis 1 m Tiefe „ Ψ erdberührt“ und die Unterkante des 1,5 m tiefen Erdbreichblocks unter der Bodenplatte die feste Bodentemperatur. Der Ψ -Bezugspunkt liegt im Außenmaßbezug an der Außenoberfläche, bei Decken in Höhe OK Rohdecke, bei Kellerdecken in Höhe UK Rohdecke, bei Fenstern an der Öffnungskante, bei Ecken im Eckpunkt. Die flankierenden Bauteile werden mit U-Werten aus den eingegebenen Schichten und Längen bis zum Modellschnitt angelegt; bei Fenstern der Rahmen-Ersatz mit $U_f = 1,41$ W/(m²·K) und 0,51 m Länge, bei Kellerdecken und Bodenplatten die Decke mit der Temperatur der kalten Seite. Eine Brüstung unter 1 m Höhe wird zusammen mit der Decke darunter als Modell

mit zwei Bezugspunkten angelegt. Für Traufen und Ortgänge gibt es keinen Generator; sie werden erkannt und von Hand modelliert.

14.9 Projekt, Nachweistabelle und Bericht

Die angelegten Details stehen links unter „Projekt“ und in der Kopfleiste unter **Projekt-Detail öffnen**. Sie bleiben im Browser gespeichert. **Alle berechnen** löst alle noch nicht berechneten Details mit der Netzeinstellung des Systemreiters, in der Voreinstellung also mit automatischer Verfeinerung, und rechnet dabei so viele Details gleichzeitig, wie im Systemreiter unter „parallel“ eingestellt ist; die Stufen und die Netzprüfung jedes Details werden gespeichert. **Öffnen** lädt ein Detail in den Editor, wo es wie jedes andere Modell bearbeitet, berechnet und nach Word kopiert werden kann; Änderungen und Ergebnisse aus dem Editor werden in das Projekt zurückgeschrieben. **Projekt speichern** sichert alle Details als JSON-Datei.

Die **Nachweistabelle** (Schaltfläche in der Kopfzeile des Dialogs oder unter dem Projekt) führt alle Details mit f_{Rsi} und Prüfung gegen die Mindestanforderung, $\theta_{si,min}$, Ψ , dem Temperatur-Korrekturfaktor F_x , der Länge l , dem Beitrag $\Psi \cdot F_x \cdot l$ und dem Vergleich mit den Referenzwerten der DIN 4108 Beiblatt 2, geordnet nach dem Beitrag, sodass die maßgebenden Anschlüsse oben stehen. Die Längen ermittelt WB2D aus den Plänen: Decken-, Sockel- und Dachanschlüsse über den Außenwandumfang der Grundrisse, Ecken und Innenwandanschlüsse über ihre Vorkommen je Grundriss und die Geschosshöhe aus den Schnitten, Stürze und Brüstungen über die Öffnungsbreiten der Grundrisse, Laibungen über die Zahl der Öffnungen und die Fensterhöhe aus den Schnitten. Die Herleitung steht in der letzten Spalte; jede Länge, jeder F_x und jeder Referenzwert lässt sich in der Tabelle überschreiben, Balkone erhalten ihre Länge von Hand. Mit der Hüllfläche A aus dem GEG-Nachweis (eine grobe Schätzung aus Umfang, Gebäudehöhe und Grundfläche wird angeboten) berechnet die Tabelle den Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} nach dem im Systemreiter gewählten Verfahren. **CSV (Excel) speichern** schreibt die Tabelle mit Dezimalkomma für die Bilanzsoftware, **Tabelle kopieren** legt sie für Word in die Zwischenablage.

Bericht als Word-Datei (.docx) erzeugt ein Dokument für das ganze Projekt im Layout „Tino Ritter Bauphysik“: Kopfzeile mit Logo, Büro und Bauvorhaben (Arial Narrow 9), Text in Arial 10, Tabellen in Calibri 9, vor jeder Wärmebrücke ein Seitenumbruch. Es enthält ein Deckblatt mit den Angaben aus dem Plankopf, die Zusammenfassung mit Nachweistabelle und ΔU_{WB} , die Berechnungsgrundlagen mit Bauteilkatalog und Materialliste, je Wärmebrücke eine Seite mit Planausschnitt, Rechenmodell, Temperaturfeld, Isothermen, den Formeln für f_{Rsi} und Ψ , Netzangaben, flankierenden Bauteilen, Randbedingungen mit Wärmeströmen und Materialien sowie einen Anhang mit den Systemeinstellungen und den zugrunde gelegten Normen. Für Details, deren Temperaturfeld nicht mehr im Arbeitsspeicher liegt, wird vor dem Bericht neu gerechnet. Schriften, Büro, Seitenumbruch und die Aufnahme von Planausschnitt und Temperaturfeld stellen Sie im Systemreiter ein.

15 Systemreiter: Voreinstellungen

Der Reiter **System** rechts neben dem Protokoll sammelt alle Voreinstellungen, mit denen WB2D rechnet und berichtet. Voreingestellt ist jeweils die normativ zulässige Einstellung, die das genaueste Ergebnis liefert; jede lässt sich umstellen, die Einstellungen bleiben im Browser gespeichert und können als Datei gesichert und geladen werden. Unter **Berechnung** stehen die Netzstufe (Voreinstellung automatisch), die Startstufe der Verfeinerung, die Netzprüfung nach DIN EN ISO 10211 mit ihrer Grenze von 1 % des Wärmestroms, die Höchstzahl der Verfeinerungen und die Zahl paralleler Rechnungen für das Projekt. Unter **Nachweis** die Mindestanforderung an f_{Rsi} (0,70 nach DIN 4108-2), der Maßbezug für Ψ (Außenmaß wie in der Bilanz nach GEG und DIN V 18599), die Regel für Wärmeleitfähigkeiten aus Plantexten (Bemessungswerte nach DIN 4108-4 mit der Dämmstoffgruppe für die Umrechnung von Nennwerten), die Erdreichkonvention, das Verfahren für ΔU_{WB} (detailliert $\Sigma \Psi \cdot l / A$ oder Korrekturverfahren der Kategorie A oder B), die Art der Referenzwerte und der Faktor F_x für temperaturbewertete Ψ -Werte.

Unter **Unternehmensdaten** hinterlegen Sie Name, Straße, PLZ und Ort, E-Mail, Telefonnummer und Ihr Logo (PNG, JPEG oder SVG; es wird auf 600 Pixel verkleinert und im Browser gespeichert, „Standard“ stellt das TR-Logo wieder her). Diese Angaben bilden die Kopfzeile des Protokolls, der für Word kopierten A4-Seite und des Projektberichts: links das Logo, daneben der Name fett mit Anschrift und Kontakt in Arial Narrow 9, rechts das Datum; im Bericht steht die Bearbeitung mit vollständiger Anschrift auf dem Deckblatt. Das frühere Feld „Büro“ in den Eigenschaften des Details entfällt, der Name kommt aus den Unternehmensdaten. Die Unternehmensdaten bleiben beim Wiederherstellen der Voreinstellungen erhalten und werden mit „Einstellungen speichern“ mitgesichert.

Die Tabelle der **Referenzwerte** nimmt je Anschlussart die Werte Ψ_{ref} der Kategorien A und B auf. Das Beiblatt 2 nennt sie je Planungsbeispiel, getrennt nach Ersatzmodell und genauer Abmessung; tragen Sie die Werte der Beispiele ein, die Ihren Anschlüssen entsprechen. Sie werden als Vorgabe in die Nachweistabelle übernommen und können dort je Wärmebrücke überschrieben werden; ohne Eintrag entfällt der Vergleich. Unter **Bericht** stehen Büro, Schriftarten und -größen für Text, Tabellen und Kopfzeile, der Seitenumbruch vor jeder Wärmebrücke sowie die Aufnahme von Planausschnitt und Temperaturfeld.

16 Tastenkürzel

Taste	Funktion	Taste	Funktion
V	Auswahl	Strg+Z / Strg+Y	Rückgängig / Wiederholen
R	Rechteck	Strg+D	Duplizieren
P	Polygon	Entf	Löschen
B	Randbedingung zuweisen	Pfeiltasten	Verschieben um einen Rasterschritt (mit Umschalttaste: zehn)
M	Ψ -Bezugspunkt und Endpunkte	Strg+Eingabe	Berechnen
U	U-Schnitt	Leertaste + Ziehen	Ansicht verschieben
W	Ersatzmodell	Mausrad	Zoomen
K	Kreisringausschnitt	Strg+C / Strg+V	Teilfläche kopieren / einfügen
F	Einpassen	Esc	Auswahl aufheben, Polygon abbrechen
		Umschalt+H	Horizontal spiegeln
		Umschalt+V	Vertikal spiegeln
		Rechtsklick	Kontextmenü der Teilfläche

Entf, Strg+D, das Spiegeln und die Pfeiltasten wirken bei Ersatzmodellen und anderen Gruppen auf alle Teile der Gruppe.