

Anhang

Anhang A) Bedienungsanleitung

Ein Excel-Programm zur Berechnung der instationären Wärmeleitung in beliebig geschichteten Bauteilen unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflüsse insbesondere für das Bauwesen

Mit "DynaTherm" können Sie sehr genaue Berechnungen durchführen, um instationäre Temperaturleitverteilungen über ein beliebig geartetes Bauteil zu untersuchen. Es stehen Ihnen alle Möglichkeiten von Excel zur weiteren Verarbeitung der errechneten Daten zu Verfügung. Die instationäre Temperaturverteilung über die Zeit wird sehr anschaulich in einer Animation dargestellt und in einer fortlaufenden Liste gespeichert. Anhand der Position und Orientierung des Bauteils wird automatisch aus der meteorologisch gemessenen Globalstrahlung und dem Sonnenstand die resultierende auf das Bauteil treffende Strahlung in dem von ihnen gewählten Intervall der Messwerte jeweils neu berechnet.

Außerdem kann "DynaTherm" den echten Transmissionswärmefluss durch ein Bauteil bestimmen. Es kann genau simuliert bzw. berechnet werden, wie viel Wärme z.B. an einem Sommertag durch eine Dachhaut fließt. Für den winterlichen Wärmeschutz kann untersucht werden, inwieweit Außenbauteile zur Wärmegewinnung der Innenräume beitragen können. Für den sommerlichen Wärmeschutz lässt sich in Abhängigkeit der Orientierung und Position (unterschiedliche Strahlungen) der Außenwand die optimale Dämmung ermitteln, die möglichst wenig Wärme in das Bauteil über den ganzen Tag fließen lässt. Somit entstehen für den planenden Ingenieur völlig neue Möglichkeiten.

Fließen die aus den von "DynaTherm" berechneten Simulationen gewonnenen

Erkenntnisse in die Bauplanung mit ein, lässt sich auch eine sehr große Menge Energie einsparen.





Des weiteren lassen sich z.B. in einem beliebig geschichteten Bauteil die Stellen ermitteln, in denen die stärksten Temperaturänderungen während eines Zeitraumes auftreten. In der Simulation lassen sich optimale Wandaufbauten mit möglichst geringen zeitlichen Temperatursprüngen ermitteln und somit dadurch bedingt Spannungen im Bauteil reduzieren (bzw. tatsächliche Spannungen bestimmen).

DynaTherm ist komplett in Excel und VBA programmiert, der Quellcode liegt also offen. Es wurde bewusst auf eine leichte Erweiterbarkeit der Programm-Module Wertgelegt, so dass sich "DynaTherm" hervorragend als Grundlage für alle Arbeiten eignet, die die instationäre Wärmeleitung in beliebig geschichteten Bauteilen unter Berücksichtigung der meteorologischen Einflüsse benötigen. z.B. Feuchtetransport, Brandwände, transparente Bauteile usw.

1. Generelle Bedienungshinweise

Um sich in „DynaTherm“ besser zurechtzufinden, wurde eine einheitlich Farbstruktur gewählt. Hierin bedeuten die Farben:

orange	Vom Benutzer auszufüllendes Textfeld
blau	Werte, die automatisch durch Standard- Excelfunktionen ermittelt werden
grün	Von einer programmierten VBA- Funktion eingetragener Wert
gelb	Überschrift oder Beschreibung eines Wertes
rot grün	Fehlerfelder (bestimmt über Standard-Excelfunktionen)

 Navigations Knopf	Wählt den entsprechenden sichtbaren Bereich aus
 Modul Knopf	startet das entsprechende Programm-Modul
 Kontrollkästchen	Aktiviert die genannte Option
 Optionsfeld	Wählt eine Option der angegebenen Optionen aus

Die Fehlerfelder enthalten Kommentare, die dazu beitragen, fehlende oder unkorrekte Eingaben schnell ausfindig zu machen. Erscheint also ein Fehlerfeld „rot“, bewegen Sie einfach die Maus auf dieses Feld und Sie erhalten automatisch themenspezifische Hilfe.

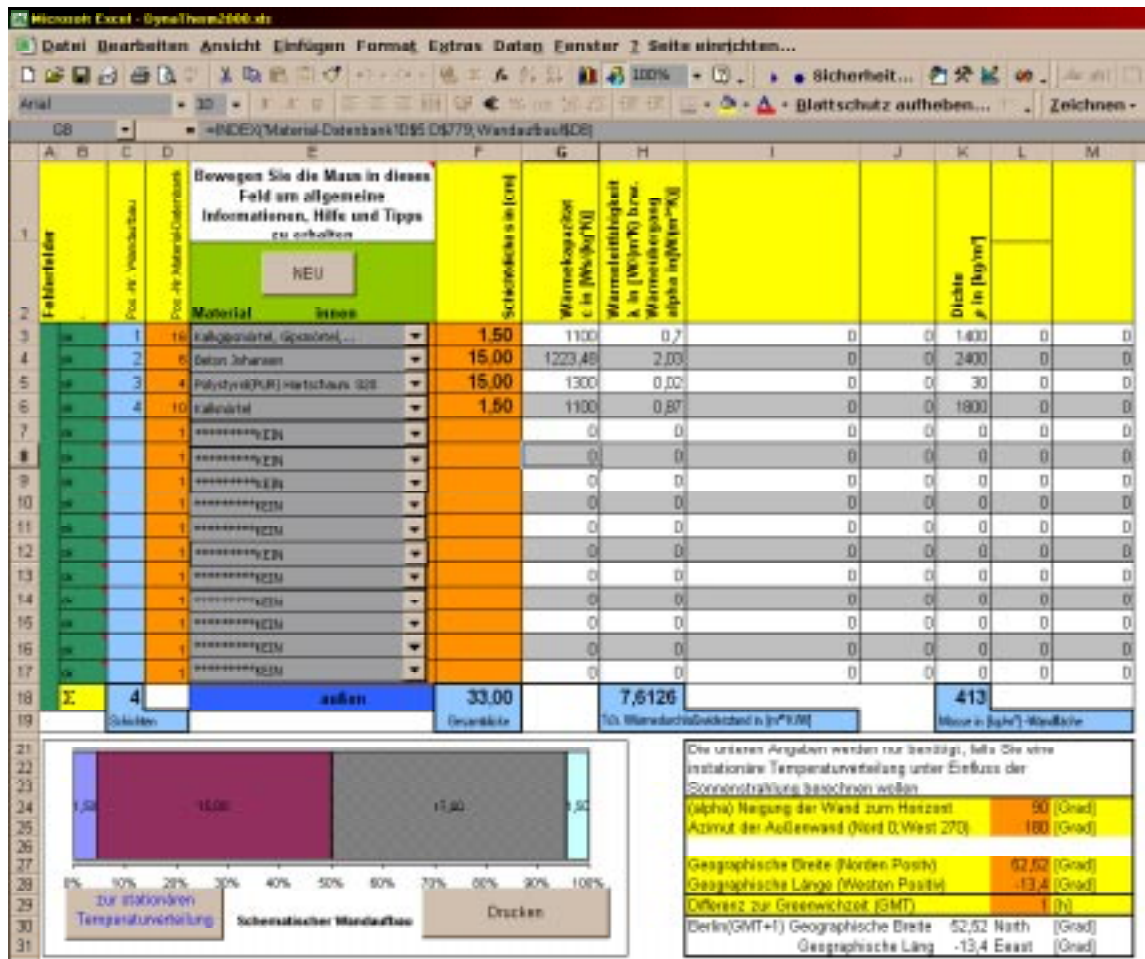
Zusätzlich gibt es ein deutlich gekennzeichnetes Hilfefeld für jedes Arbeitsblatt “Bewegen Sie die Maus auf dieses Feld für „allgemeine Hilfe, Tipps und Hinweise“, das mit einem Kommentar für das entsprechende Arbeitsblatt gekennzeichnet ist.

Alle Zellen, die vom „Anwender“ nicht verändert werden sollten, sind über die Option „Blattschutz“ geschützt.

Die Eingabefelder sind nach Möglichkeit mit der Funktion „Gültigkeit“ auf eine sinnvolle Eingabe beschränkt.

Machen Sie gebrauch von den Navigationsfeldern, um den jeweils relevanten Bereich des Arbeitblattes sichtbar zu machen! Ein Monitor <17 Zoll bzw. mit einer Auflösung <1024*768 Bildpunkte ist nicht zu empfehlen!

2. Erzeugen eines neuen Bauteils



Beginnen Sie also damit, im „Arbeitsblatt“ {Wandaufbau} Ihren Wandaufbau zu erzeugen.

Mit dem Knopf {neu} können Sie den alten Wandaufbau löschen.

Wählen Sie über die entsprechenden „Drop-Down Menüs“ die gewünschten Materialien aus, und teilen Sie jedem Material seine entsprechende Dicke zu.

Wenn Sie zwischen zwei Materialien einen Wärmeübergang mitrechnen lassen wollen, dann wählen Sie diesen genauso aus, wie Sie ein Material auswählen, nur der Dicke darf hier kein Wert zugewiesen werden. Wichtig ist, dass Sie keine Wärmeübergänge an den Rändern des Bauteils eingeben, die äußeren Wärmeübergänge werden gesondert wie in Punkt Anhang A.4 für die stationäre und in Punkt Anhang A.5.1 für die instationäre Berechnung erläutert, eingetragen.

Es können beliebig viele Freiräume zwischen den Materialien freigelassen werden. Dies ist besonders praktisch, falls Sie später Materialschichten im Innern des Bauteils ändern, löschen oder hinzufügen wollen, da Sie die äußeren Schichten dann nicht mehr zu verändern brauchen.

Die entsprechenden Fehlerfelder für jede Zeile am linken Rand helfen Ihnen schnell, eventuelle Fehler oder vergessene Eingaben ausfindig zu machen.

Finden Sie ein Material im „Drop-Down Menü“ nicht oder es hat nicht die von Ihnen benötigten Stoffeigenschaften, müssen Sie es im Arbeitsblatt „Material-Datenbank“ hinzufügen (siehe auch Punkt Anhang A.3).

Geben Sie nun die Orientierung des Bauteils in den Zellen (L24:L29) ein.

Sind alle Fehlerfelder „grün“ und Ihr Bauteilaufbau komplett, sind Sie nun mit dem Erzeugen des Bauteils fertig.

Sie können nun mit dem Knopf {Drucken} den Wandaufbau ausdrucken. Oder mit dem Knopf {zur stationären Berechnung} zur stationären Wärmeleitungsberechnung springen. Für die instationären Temperaturberechnungen verfahren Sie nach Anhang Punkt 4.

3. Hinzufügen von neuen Materialien

Pos.-Nr. Material- Datenbank	Material	Wärmekapazität c in [W/(kg·K)]	Wärmeleitfähigkeit λ in [W/(m·K)] bzw. (Wärmeübergang alpha in [W/(m²·K)])	Dichte rho in [kg/m³]	Andere Arten an Stoffwerten können hinzugefügt werden z.B. Strahlungseffizient in Prozent
1	KEIN				
2	Häufig verwendete Stoffe				
3	Holzpfanneleichte dicke >=25mm	1700	0,09	400	
4	Polystyrol(PUR) Hartschaum 020	1300	0,020	30	
5	Fichte Kiefer Tanne	2100	0,2	600	
7	Wärmeübergang		6,000		
8	5. Platz-Einträge und andere Monochichten				
10	Kalkmörtel	1100	0,870	1600	
11	Polystyrol Partikelschaum DIN 18154	1300	0,04	15	
12	Mischwollschicht DIN 18165 040	1300	0,04	25	
13	Leichtmörtel LM 21 DIN 1053 T1	1100	0,210	700	
14	Leichtmörtel LM 36 DIN 1053 T1	1100	0,360	20	
15	Zementmörtel	1100	1,400	2000	
16	Kalkgipsmörtel, Gipsmörtel, ...	1100	0,700	1400	

Wechseln Sie in das Arbeitsblatt „Material-Datenbank“. Sie können hier nun an einer beliebigen Stelle Ihr eigenes Material hinzufügen und die Stoffwerte in die entsprechenden Spalten eintragen. Sie können dabei in Ihrer gewohnten Art und Weise Daten in Excel eingeben.

Zwingend erforderlich sind die Stoffwerte λ , ρ und die Wärmekapazität c .

Der Reflexionsfaktor wird im Arbeitsblatt {Randbedingungen} eingetragen (siehe Randbedingungen Seite A.5.1).

Um die Bauteildatenbank übersichtlicher zu gestalten, bietet es sich an, die Materialien nach bestimmten Kategorien zu sortieren.

Standardmäßig sind einige Kategorien und Baustoffe, hauptsächlich aus der DIN 4108 von mir eingetragen worden. Sie können ebenfalls ohne Probleme eigene Baustoffe bzw. Kategorien eintragen, vorhandene ändern oder die Reihenfolge umsortieren.

Die laufende Positionsnummer wurde geschützt, da diese vom Programmsystem benötigt wird und selbst nicht verändert werden darf.

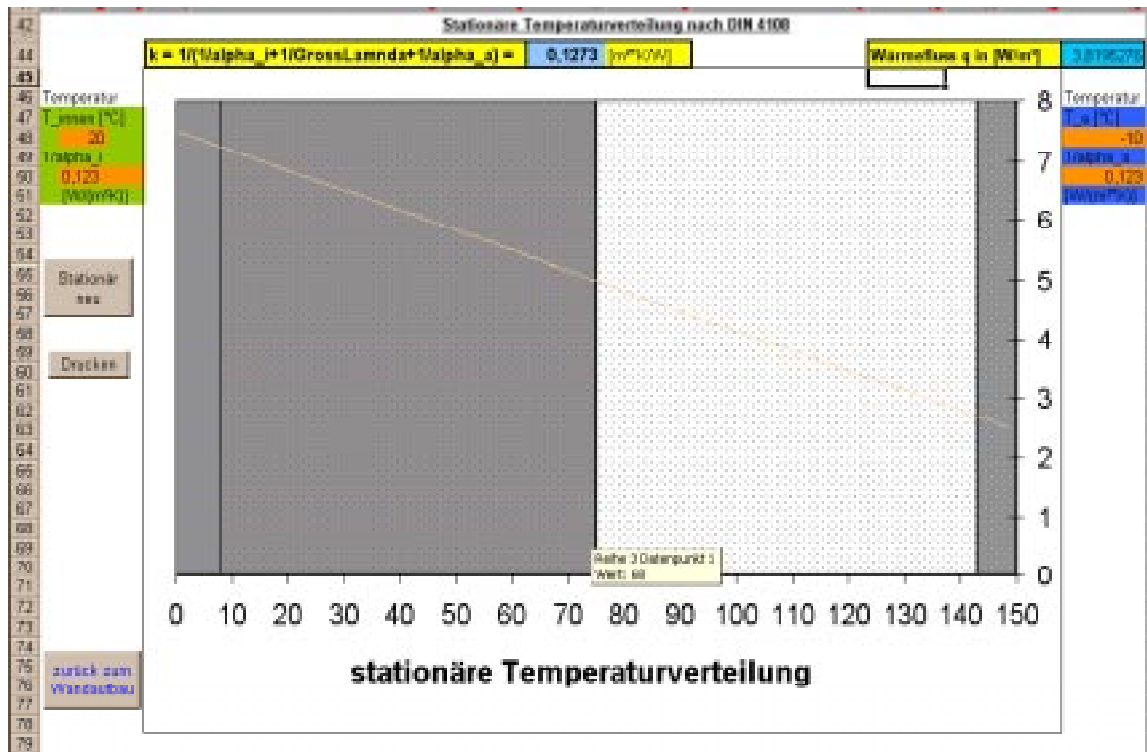
Es können keine Zellen über die Excelfunktion „Zellen einfügen“ eingefügt werden.

Am besten ist es, Sie tragen Ihre Materialien in noch freie Felder ein oder tragen Sie am Ende der Liste unter eigene Materialien ein.

Die Bauteildatenbank wurde auf 430 Einträge begrenzt. Wollen Sie mehr Materialien hinzufügen, müssen Sie auch die Zellbezüge im Arbeitsblatt „Wandaufbau“ und „Berechnungsoptionen“ ändern.

Mit dem Knopf {Drucken} können Sie die gesamte Material-Datenbank ausdrucken.

4. Stationäre Wärmeleitungsberechnungen



Um das Temperaturprofil einer Wand unter stationären Bedingungen nach der Zeit $t \rightarrow \infty$ zu erhalten, benötigen Sie nur das Arbeitsblatt „Wandaufbau“. Im Arbeitsblatt „Berechnungsoptionen“, wie standardmäßig voreingestellt, muss die Funktion Autoverteilung aktiviert sein. (siehe hierzu Punkt Anhang A.5.2)

Wenn Sie Ihr Bauteil erzeugt haben, können Sie mit dem Knopf {zur stationären Berechnung} zur stationären Berechnung springen. (Die Ein- und Ausgabe der stationären Berechnung befindet sich ebenfalls auf dem Blatt „Wandaufbau“ gleich unter dem von Ihnen aufgelisteten Bauteil.)

Geben Sie hier (Zeile 48 und Zeile 50) nun die stationären Randbedingungen ein (Temperaturen und Wärmeübergangszahlen). Achten Sie darauf, dass sie die Bauteilseiten („innen“ und „außen“) richtig zuordnen. Für stationäre Berechnungen werden in DynaTherm keine Strahlungsenergien in die Berechnung mit einbezogen.

Mit dem Button {Stationär neu} wird der entsprechende Temperaturverlauf neu berechnet. Mit {Drucken} können Sie das Diagramm mit k-Wert und Randbedingungen ausdrucken.

Die errechneten Werte, aus denen das Diagramm erzeugt wird, finden Sie im Bereich (W35:FQ35), gleich rechts neben dem Diagramm.

Standardmäßig ist im „Arbeitsblatt“ {Berechnungs-Optionen} die automatische Ausgabenverteilung aktiviert („Checkbox“ Bereich (M19)). Es kann aber sein, dass Sie deaktiviert wurde, wenn Sie nicht die Original-Datei von der CD-Rom benutzen.

Die automatische Ausgabenverteilung teilt die Schichtdicken prozentual auf (siehe Punkt Anhang A.5.2), so dass eine sinnvolle Darstellung gewährleistet ist. Haben Sie jedoch eine sehr dünne Schicht, beispielsweise eine Folie < 3mm, dann ist es möglich, sozusagen in die Darstellung hinein zu zoomen. Dies ist für die stationäre Verteilung noch nicht so wichtig, kann aber bei der instationären Wärmeleitung durchaus interessieren.

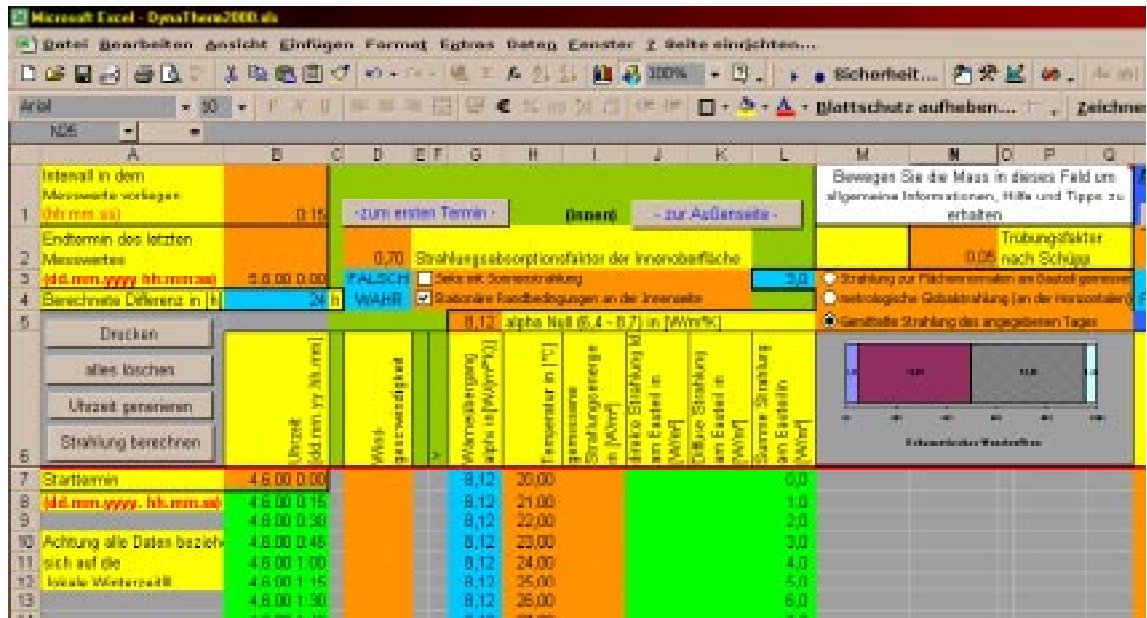
Siehe dazu Punkt Anhang A.5.2 (Manuelle Verteilung der Ausgabewerte).

Wenn Sie ein Bauteil mit mehreren Materialschichten eingegeben haben, werden Sie an den Schichtgrenzen feststellen, dass der Temperaturverlauf an der Grenze für einen kleinen Bereich waagrecht ist. Dies rührt daher, dass einem Funktionswert X im Diagramm immer nur ein Y-Wert zugeordnet werden kann. Es sollte jedoch möglich sein, aus dem Diagramm die Temperaturen am jeweils äußeren Rand jeder Schicht zu erkennen und abzulesen. Besonders auffällig wird es, wenn Sie einen Wärmeübergang zwischen den Schichten eingefügt haben. Der Wärmeübergang erstreckt sich über „einen“ Wert mit einer leichten Schräge. Eigentlich müsste er jedoch als senkrechte Gerade zu erkennen sein. Hier können Sie jetzt dafür aber genau die Temperaturen am äußeren Rand der Schicht mit der Maus als direkten Wert der Randtemperatur ablesen (Hinzu kommt, dass Knicke nicht mehr erkennbar wären, da die Temperatur immer in der Mitte des Abschnitt angesetzt wird).

An Schichten ohne Wärmeübergang werden Sie also immer zwei Werte vorfinden, die gleich groß sind. Sie entsprechen jeweils der linken bzw. rechten Randtemperatur.

5. Instationäre Wärmeleitungsberechnungen

5.1 Eingabe der Randbedingungen



Wechseln Sie in das Arbeitsblatt „Randbedingungen“.

Beginnen Sie (nachdem Sie Ihren Wandaufbau erzeugt haben) mit der Eingabe der Randbedingungen. Erzeugen Sie zuerst den zeitlichen Verlauf, benutzen Sie dazu unbedingt die hier erläuterte automatische Variante, damit die Termine im richtigen Format vorliegen.

Tragen Sie das Intervall, in dem Ihre Messwerte vorliegen, in Zelle (B1) ein. Tragen Sie die Startzeit in (B7) ein und die Endzeit in (B3) und drücken Sie den Knopf {Uhrzeit_generieren}.

Geben Sie nun jeweils für die linke (innen) und die rechte (außen) Bauteilseite den Absorptionsfaktor (Zeile 2) und α_0 (Zeile 5) ein. Hinweise zur schnellen Abschätzung des Absorptionsfaktors finden Sie unter Punkt 4.2.3.

Wollen Sie zur rechten Bauteilseite können Sie den Navigationsknopf (Zelle K1) {zur Außenseite} benutzen.

Wählen Sie für jede Seite aus, ob Sie für die Berechnung die stationären Randbedingungen benutzen wollen (günstig für klimatisierte Innen-Räume z.B. 20 °C). Wählen Sie diese Option {stationäre Randbedingungen...} (Zeile 4),

werden als Randbedingungen für die entsprechende Bauteilseite nur die Werte in Zeile (7) (Werte der Startzeit) als stationäre Randbedingungen zugrunde gelegt.

Wählen Sie nun aus, ob es sich um eine Bauteilseite handelt, die der Sonnenstrahlung ausgesetzt ist oder nicht! (Zeile 3)

Wählen Sie der Art der Strahlungsumrechnung (Zelle M4):

a) Strahlung zur Flächennormalen am Bauteil gemessen

Strahlung wurde mit einem Sensor direkt am Bauteil in Richtung der Sonnenstrahlung gemessen (siehe Punkt 4.2. a) und b))

b) metrologische Globalstrahlung (an der Horizontalen)

Es wurde die meteorologische Globalstrahlung gemessen. Diese wird nach dem Modell in 4.2.e) auf das von Ihnen erstellte Bauteil umgerechnet.

c) Gemittelte Strahlung des angegebenen Tages

Es wird eine empirische Strahlung nach Gleichung Anhang C.9 und Anhang C.10 berechnet und auf das Bauteil umgerechnet.

Für die Optionen b) und c) müssen Sie einen Trübungsfaktor nach Tabelle Anhang C 1 in Zelle (N2) angeben.

Geben Sie nun Windgeschwindigkeit, Temperatur und Strahlung ein. Ist ein Wert Null können Sie das Feld auch leer lassen. Dies entspricht dem Wert Null. Achten Sie wieder auf die richtige Einheit.

Befindet sich das Bauteil über eine bestimmte Zeit im **Schatten**, geben Sie für die o.g. Optionen b) und c) der Strahlungsart den Wert „s“ „für Schatten ein. Dann wird für diese Zeit nur die diffuse Strahlung angesetzt.

Bei der Eingabe können Sie in Ihrer gewohnten Art und Weise in Excel vorgehen. Liegen Ihnen Messwerte in einem Excel verträglichen Format vor, können Sie diese Einlesen und in die vorgesehenen Spalten wie Temperatur, Windgeschwindigkeit usw. kopieren.

Haben Sie all dies getan, sind Sie mit der Eingabe der Randbedingungen fertig. Mit {Drucken} können Sie die Randbedingungen ausdrucken.

5.2 Einstellen der Optionen für Berechnung und Ausgabe

Material		Schichtdicke s in [cm]	Strahlungszahl ϵ in [W/(m ² K ⁴)]	Fehlerfeld	ca. dz Ausgabe in [cm]	Anzahl der Werte für die Bildschirmansicht - minimum 3	Fehlerfeld	ca. dz Berechnung in [cm]	Anzahl der Schichten für die Berechnung - ohne virtuelle...	S = (dt/dx) in [sec/m ²]	A (Temperaturleitfähigkeit) [Lamda/(c*rho)] in [W*sec ² /Kcal]	Modul dimensionslos	max dt Berechnung
1	Kalkmörtel	1,50	##	ok	0,214286	8	ok	0,214286	7	435556	4,4E-07	0,1914	5,22519
2	Polystyrol(PUR) Hartschaum 020	15,00	##	ok	0,227273	67	ok	0,227273	66	387200	5,1E-07	0,1986	5,03616
3	Normal Beton	15,00	##	ok	0,223881	68	ok	0,223881	67	399022	8,8E-07	0,3491	2,86414
4	Kalkmörtel	1,50	##	ok	0,25	7	ok	0,25	6	320000	4,4E-07	0,1408	7,11207
7	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
8	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
9	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
10	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
11	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
12	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
13	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
14	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
15	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
16	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
17	#VERT!	0,00	##	ok	0	0	ok	0	0	-	-	0	-
18	Σ außen	33	##	Summe	150	Summe	146	Max	0,34914	2,8641			
19	Gesamtdicke			WAHR	Auto: Verteilung dz Ausgabe	2	Gesamtheit	Manuell	2	FALSCH	Automatisch: größt mögliches dt		
20	Wertanzahl bei "Automatischer Verteilung"	150	[Schichten]	dt Berechnung	2 sec	FALSCH	Automatisch: größt mögliches dt						
21	Dauer	8,00	Stunden	FALSCH	Dauer Automatisch für alle Randbedingungen								
22	Zeitschritte	14400											
25	15	15	15	relativer Termin der Animation	(hh:mm:ss)	Für vorzeitiges Abbrechen drücken Sie ESC	Rechenzeit						
26	Bewegen Sie die Mouse in dieses Feld für allgemeine Informationen, Hilfe und Tipps			04.06.00 08.00	14400 te Durchlauf	1,42:56	Gesamt						
27	Termin Graphik	Zeitschritt Graphik											
28	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR
29	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR	WAHR
30	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH	FALSCH
31	Ausgabeintervall	00:15:00	(hh:mm:ss)	Anfangstemperatur über den ganzen Körper	20 C								
32													
33													
34													

Die Optionen sollten für zwei Arten der Anwendung verschieden gewählt werden.

1. Schnelle und sehr gute Veranschaulichung der Temperaturleitvorgänge durch das von Ihnen bestimmte Bauteil

Um eine anschaulich möglichst gute Darstellung zu erhalten, sollten Sie die Anzahl der darzustellenden Werte in Zelle (M21) maximieren (der maximal darstellbare Wert wurde auf 150 Anzeigewerte begrenzt). Wählen Sie die Option {Automatische Ausgabenverteilung} in (M19). Ist diese Funktion aktiviert, werden die darzustellenden Werte automatisch proportional auf den von Ihnen angegebenen Wert verteilt.

Für sehr dünne Schichten werden jedoch mindestens drei Werte angezeigt (linke Randtemperatur; ein Zwischenwert; rechte Randtemperatur). Deaktivieren

Sie diese Funktion, können Sie selbst festlegen, wie viele Werte Sie pro Schicht sehen möchten (Tragen Sie dazu dx der Anzeigewerte in Spalte (M) ein).

2. *Wissenschaftliche Betrachtung der Messwerte und Ausdrucken der Berechnungswerte*

Wenn Sie sehr genaue konkrete Berechnungswerte untersuchen möchten, sollten Sie dx der Anzeigewerte so wählen, dass Sie mit dem Anzeigewert genau den Wert „treffen“, der für Sie von Interesse ist. Die maximale Anzahl aller darzustellenden Werte darf nur den Wert 150 nicht überschreiten!

(z.B. Sie haben eine 10 cm dicke Wand und wollen den Temperaturwert nach einer bestimmten Zeit an der Stelle 1,5 cm vom linken Rand berechnen.

Wählen Sie also ein dx, dass ein Vielfaches dieses Werts beschreibt, also z.B. $dx=0,5\text{cm}$. Der vierte Berechnungswert ist dann der Wert an der Stelle 1,5 cm (siehe auch Anhang A.5.4).

Haben Sie sich für eine Darstellungsart entschieden (manuelle Einstellung der Werte dx für die Ausgabe bzw. automatische Ausgabenverteilung), legen Sie anschließend fest, wie groß dx für die Berechnung für jede Schicht sein soll. Auch hier gibt es eine automatische Funktion {dx Ausgabe = dx Berechnung} in Zelle (P19). Ist diese Funktion aktiviert, werden die Werte die Sie in Spalte (M) für die Ausgabe festgelegt haben, in die Spalte (P) für die Berechnung kopiert. Diese Option ist auch anzuwenden, wenn Sie als ausgegebenen Wert den genauen berechneten Wert einer exakten Position benötigen.

Wählen Sie dx für die Berechnung unterschiedlich zu den ausgegebenen Werten, erhalten Sie als ausgegebenen Wert immer nur den Wert, der in der Nähe des berechneten Wertes liegt. Je kleiner Sie jedoch dx-Berechnung wählen, desto genauer wird der dargestellte Wert dem berechneten Wert entsprechen.

Für mathematisch wissenschaftliche Vergleiche ist es auf jeden Fall ratsam, diese Option auf {dx Ausgabe = dx Berechnung} zu belassen.

Sie können auch hier manuelle Werte benutzen, wenn Sie die Option {Manuell} in Zelle (P19) wählen.

In Spalte (T) wird die Temperaturleitzahl berechnet.

Nachdem Sie sich für eine dieser Optionen entschieden haben, müssen Sie überprüfen, ob die Modulbedingung (Gitter- Fourierzahl) in Spalte (U) nach Gleichung 12 eingehalten wird ($m < 0,5$). Ist dt in Zelle (P20) zu groß, wird Ihnen dies in den entsprechenden Fehlerfeldern angezeigt. Haben Sie die manuelle Einstellung gewählt, können Sie nun dx in den entsprechenden Zellen größer wählen.

Haben Sie die Option { dx Ausgabe = dx Berechnung} gewählt, müssen Sie dt kleiner wählen, wenn immer noch Fehlerfelder „rot“ leuchten. In Spalte (V) werden für jede Schicht die maximalen Werte für dt angezeigt. In Zelle (V18) sehen Sie den maximal zulässigen Wert für dt für Ihre gewählten dx . Auch hier gibt es wieder eine automatische Funktion {automatisch größtmögliches dt } Zelle (S20). Wählen Sie diese Option, wird automatisch der maximale Wert in Zelle (V18) in die Zelle (P20) übertragen. Wählen Sie nun die Dauer der Berechnung in Stunden und tragen Sie diesen Wert in Zelle (P21) ein!

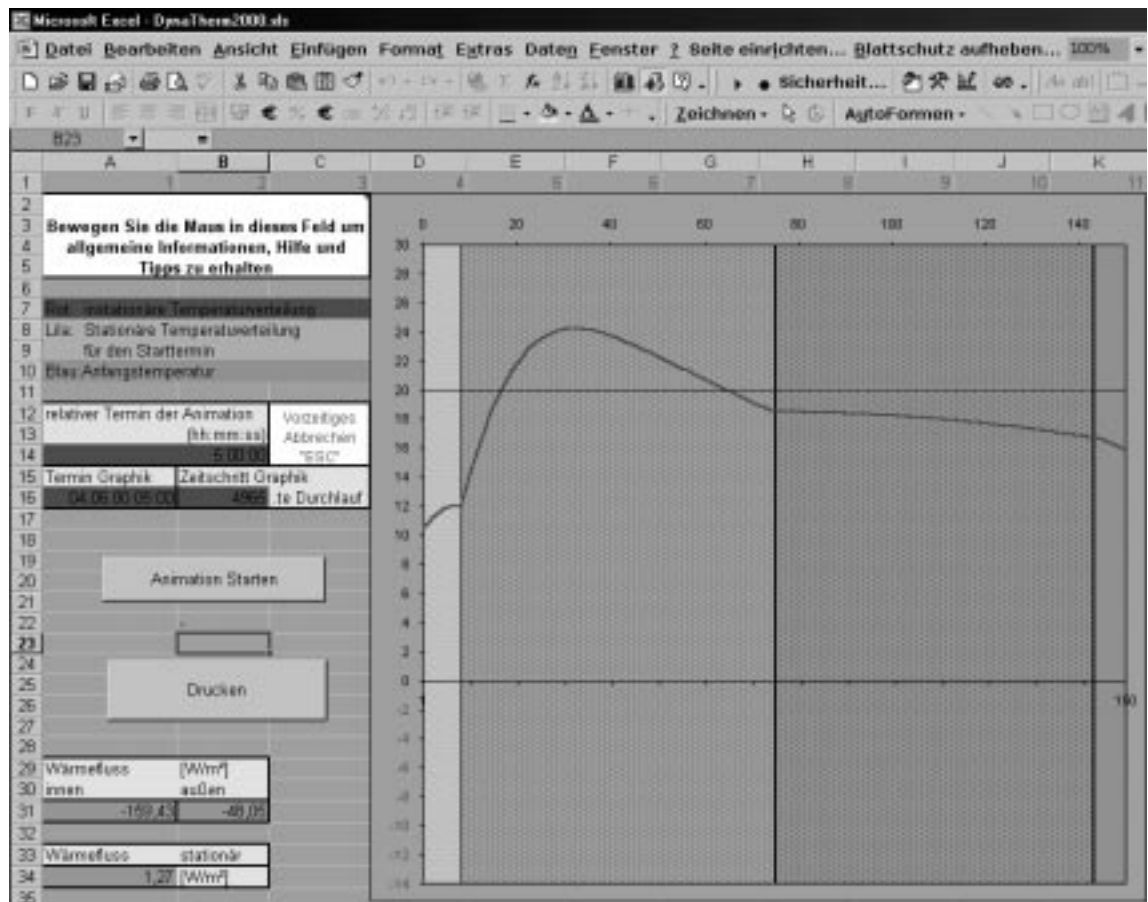
Haben Sie für dx und dt zulässige Werte gewählt, müssen Sie nun eine Anfangstemperatur in Zelle (P32) festlegen. Die Anfangstemperatur wird über den ganzen Körper als konstant angenommen (siehe Anhang A.5.7 Zusätzliche Funktion -stationäre Temperaturverteilung als Anfangstemperaturverteilung-).

Entscheidend ist nun noch die Option {Animation} in Zelle (M30). Excel benötigt ca. 1 Sekunde, um aus den berechneten Werten ein Diagramm aufzubauen. Aus diesem Grund lässt sich die Animation ausschalten. Dies ist sinnvoll, wenn Sie sehr ausführliche Berechnungen über einen sehr langen Zeitraum ausführen wollen (Berechnungen über ein simuliertes ganzes Jahr sind durchführbar). (In diesem Fall müssen Sie die Berechnung von diesem Arbeitsblatt aus starten (Knopf in Zelle (U25)).)

Sie sehen dann nur den letzten berechneten Wert nach Abschluss der Berechnung. Die berechneten Zwischenwerte werden trotzdem im Arbeitsblatt {Ausgabewerte} gespeichert.

Die Option {Liste der Werte in „Ausgabewerte“} unterbindet das „Speichern“ der berechneten Werte im Arbeitsblatt Ausgabewerte. Sie können dann die Berechnung nur im „Animationsdiagramm“ verfolgen.

5.3 Animierte Ausgabe der berechneten Ergebnisse



Wechseln Sie in das Arbeitsblatt „Animation“!

Starten sie hier die Animation, mit dem Knopf {Animation Starten} wenn Sie alle Randbedingungen und Optionen eingegeben haben.

Mit dem Knopf {Drucken} können Sie die aktuelle Ansicht ausdrucken.

5.4 Die Matrix aller ausgegebenen Temperaturwerte

Microsoft Excel - DynaTherm2000.xls

Datei Bearbeiten Ansicht Einfügen Format Extras Daten Fenster ? Seite einrichten... Blatt schützen...

Zeichnen - AutoFormen -

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
3		Anfangstemperatur [°C]			20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
5		Position in [cm]			0,000	0,214	0,429	0,643	0,857	1,071	1,286	1,500	1,500
6		Tneu [°C]			1,287	1,293	1,299	1,305	1,310	1,316	1,321	1,327	1,327
7		Stationäre Temperaturverteilung			1,141	1,144	1,147	1,150	1,152	1,155	1,158	1,161	1,161
20	Intervall	900,000000	[secunden]										
23	Positiv fließt in die Wand hinein												
24	Negativ fließt aus der Wand heraus												
25	Gesamtenergie in [Ws/m²]												
26	innen												
27	außen												
29	Leistung innen	L. außen [W/m²]	Termin										
30	-112,345876	-67,228062	4.6.00 0:15		14,836	15,112	15,346	15,536	15,681	15,781	15,837	15,847	15,847
31	-86,593485	-63,967493	4.6.00 0:30		11,664	11,878	12,058	12,206	12,320	12,401	12,447	12,460	12,460
32	-67,134532	-61,778969	4.6.00 0:45		9,268	9,433	9,574	9,690	9,780	9,845	9,884	9,897	9,897
33	-52,352466	-60,068423	4.6.00 1:00		7,447	7,576	7,686	7,778	7,849	7,902	7,934	7,947	7,947
34	-41,079355	-58,640618	4.6.00 1:15		6,059	6,160	6,247	6,319	6,377	6,420	6,447	6,460	6,460
35	-32,453287	-57,400803	4.6.00 1:30		4,997	5,077	5,146	5,203	5,250	5,285	5,308	5,320	5,320
36	-25,831816	-56,292933	4.6.00 1:45		4,181	4,245	4,300	4,347	4,385	4,414	4,434	4,445	4,445
37	-20,733192	-55,280239	4.6.00 2:00		3,553	3,604	3,649	3,687	3,718	3,743	3,760	3,771	3,771
38	-16,794680	-54,337389	4.6.00 2:15		3,068	3,110	3,146	3,177	3,203	3,224	3,239	3,250	3,250
39	-13,742291	-53,446564	4.6.00 2:30		2,692	2,726	2,756	2,782	2,804	2,822	2,836	2,845	2,845
40	-11,368530	-52,595132	4.6.00 2:45		2,400	2,428	2,453	2,475	2,494	2,509	2,521	2,531	2,531
41	-9,515880	-51,774124	4.6.00 3:00		2,172	2,195	2,216	2,235	2,251	2,265	2,276	2,285	2,285
42	-8,064496	-50,977178	4.6.00 3:15		1,993	2,013	2,031	2,047	2,061	2,073	2,084	2,092	2,092
43	-6,922978	-50,199799	4.6.00 3:30		1,853	1,870	1,885	1,899	1,912	1,923	1,932	1,940	1,940
44	-6,021459	-49,438818	4.6.00 3:45		1,742	1,756	1,770	1,783	1,794	1,804	1,813	1,820	1,820

Im „Arbeitsblatt“ {Ausgabewerte} werden alle Werte der instationären Berechnung übertragen.

Zeile 3: Anfangstemperatur über den Körper

Zeile 5: Position der berechneten Werte vom linken Rand des Bauteils in [cm]

Zeile 6: Berechnete Werte für das Animierte Diagramm

Zeile 7: Stationäre Temperaturwerte (bei stationären Randbedingungen)

Ab Zeile 30 sehen Sie für jeden Zeitwert (Spalte (C)) die berechneten Wärmeflüsse, in Spalte (A) und (B) die, die in (negative Werte) bzw. aus (positive Werte) der Wand fließen.

In Zelle (B20) sehen Sie das von Ihnen gewählte Intervall der Berechnungswerte. Multiplizieren Sie einen bestimmten Wärmefluss (Spalte A) (Spalte B) mit diesem Wert und Sie erhalten die Energiemenge für den entsprechenden Zeitraum.

In Zelle (A27) und Zelle (B27) wird die Wärmemenge für den gesamten berechneten Zeitraum ausgegeben.

Anhand dieser Werte können Sie also genau feststellen, wie groß die Transmissionswärmeverluste bzw. –gewinne Ihres Bauteils zu jedem Zeitpunkt, bzw. über den gesamten berechneten Zeitraum, bei den von Ihnen gewählten Randbedingungen sind.

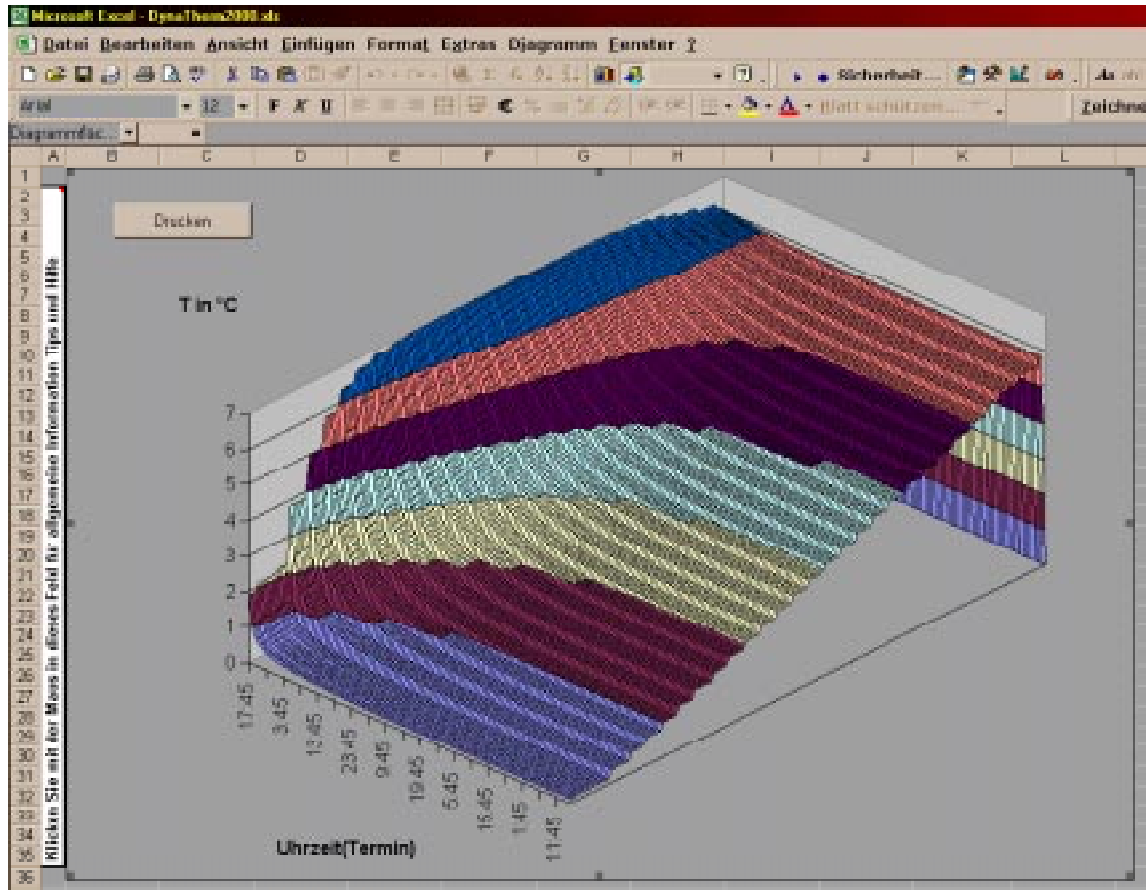
Ab Spalte (E) werden alle anzuzeigenden Temperaturwerte dargestellt. Aus diesen Daten können Sie nun mit den von Excel angebotenen Funktionen Diagramme zur Temperaturverteilung zu einem beliebigen Zeitpunkt erzeugen.

Als Beschriftung der Diagramme können Sie die Positionswerte in Zeile 5 benutzen (für das Kombinationsdiagramm scheint dies leider nicht möglich).

Es lassen sich ebenfalls 3-dimensionale Diagramme wie in Punkt 5.6 vorgeschlagen erstellen.

Für jede Schicht wird in jedem Fall die linke und die rechte Randtemperatur ausgegeben.

5.5 3-Dimensionale Ausgabe des berechneten Temperaturprofils



Dieses Arbeitsblatt soll nur als ein Darstellungsvorschlag angesehen werden. Der Darstellungsbereich wurde standardmäßig auf die ersten 95 Ausgabewerte begrenzt. Sie können jedoch über die Option "Datenquelle" des Diagramms einen beliebigen anderen Bereich für die 3-dimensionale Darstellung wählen. Über die Option "Diagrammtyp" können Sie das Diagramm in ein farbloses "durchsichtiges" Diagramm umwandeln. Dies kann die Anschaulichkeit verbessern.

Die beste Darstellung ist je nach Temperaturprofil verschieden.

Von daher experimentieren Sie etwas mit den Darstellungsoptionen für das Diagramm.

5.6 Zusätzliche Funktion

(-stationäre Temperaturverteilung als Anfangstemperaturverteilung-)

Um die Transmissionswärmeverluste für einen relativ kurzen Zeitraum zu untersuchen, reicht es nicht aus, die Anfangstemperatur über das Bauteil als einheitlich anzusehen.

Sind Innen- und Außentemperatur einer Außenwand stark unterschiedlich, würde dies die Energiebilanz verfälschen, da eine gleichmäßige Temperaturverteilung über das Bauteil im Winter praktisch zu keinem Zeitraum gegeben ist.

Es würde sich für Zeiten ohne Sonnenstrahlung immer erst eine quasistationäre Temperaturverteilung einstellen.

Um den Transmissionswärmefluss durch eine Wand z.B. auch im Winter genau zu untersuchen, wurde eine zusätzliche Funktion integriert, die als Anfangstemperaturverteilung die stationäre Temperaturverteilung für die eingetragenen Randbedingungen des Starttermins besitzt.

Hierzu muss in die Zelle (P32) im Arbeitsblatt „Berechnungsoptionen“ der Wert „stat“ eingetragen werden. Diese Funktion wurde erst in der Schlussphase programmiert und funktioniert nur, wenn die Funktion {dx Anzeige = dx Berechnung} aktiviert wurde (und soll von daher noch nicht offizieller Bestandteil des Programmsystems sein).

Anhang B) Programm Module

In den Schleifen die besonders Geschwindigkeitsrelevant sind, wird der „Cells“ Befehl zur Auswahl eines Zellinhaltes benutzt, da dieser deutlich schneller als die Auswahl per Spalten- Zeilenname(z.B. (B5)) ist.

1 Arbeitsblatt Wandaufbau:

Modul stationär_Wandaufbau

Um keine Rundungsfehler zu erhalten, werden hier die Temperaturen auf analytischen Wege berechnet!

Sub stationär_Wandaufbau()

'Wählt Arbeitsblatt "Wandaufbau" falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

Sheets("Wandaufbau").Select

' Löschen der alten Werte

Range("W35:IV35").Select

Selection.ClearContents

'Einlesen der Startwerte

a1 = [b50] '1/alpha innen

a2 = [m50] '1/alpha außen

Ti = [b48] 'Temperatur innen

Ta = [m48] 'Temperatur außen

schichtanz = [c18] ' Anzahl der eingegebenen Material-Schichten

wdw = [h18] ' 1/ GroßLamnda = Summe über alle s/lamnda

'Berechnung des k-Werts, dT und des Wärmeflusses q

$k = 1 / (a1 + wdw + a2)$ 'k Wert

$dT = Ti - Ta$ 'Delta T

$q = k * (dT)$ 'Wärmefluss q

'Deklariert die Felder für die Temperaturberechnung

Dim statio(15000)

Dim Mark(20)

Dim sd(15)

Dim l(15)

Dim sdx(200)

Dim statioprint(1500)

Dim anfang(15)

'Überprüft ob die Automatische Ausgabenverteilung

'für dx_Anzeige stattfinden soll

If Tabelle8.[L19] = Falsch Then GoTo 10000

Tabelle8.Ausgabenverteilung

10000

' Einlesen der Stoffwerte

For i = 1 To [c18]

sdx(i) = Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(i + 2, 14) 'dx Ausgabe

l(i) = Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(i + 2, 6) ' Lamnda

sd(i) = Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(i + 2, 4) ' dicke der Schicht

Next i

'Berechnen der Temperaturen an jedem äußeren Rand

'T am Rand innen

statio(0) = [Ti]

statio(1) = statio(0) - q * a1

T = statio(1)

'T im Feld

For i = 2 To 30

 If schichtanz + 1 < i Then GoTo 20

 li = l(i - 1)

 sdi = sd(i - 1) / 100

'Markierung eines vorhandenen Wärmeübergangs

 If sd(i - 1) = 0 And l(i - 1) <> 0 Then Mark(i - 1) = 1: sdi = 1

'Berechnen aller Randtemperaturen

 statio(i) = T - (q * sdi / li)

 T = statio(i)

Next i

' T am Rand außen

20

 statio(i) = T - q * a2

 T = statio(i)

'Vorbereiten der Ausgabewerte Ausgabe

' Zuordnen der Schichtanzahl der Materialien

ssdx = Sheets("Berechnungs Optionen").[N18] ' Summe aller Schichten

anfang(0) = 0

For i = 1 To 15

anfang(i) = sdx(i) + vorgänger

vorgänger = vorgänger + anfang(i)

Next i

'Berechnen der Zwischenwerte der Randtemperaturen

For i = 1 To schichtanz

 n = i

 T = statio(i)

 anfang1 = anfang(i)

 statioprint(anfang(i - 1) + 1) = statio(i)

 If sdx(i) = 0 Then statioprint(anfang(i - 1) + 1) = statio(i): GoTo 10

 For x = 2 To sdx(i)

```
        statioprint(anfang(i - 1) + x) = T - (statio(i) - statio(i + 1)) / (sdx(i) - 1)
        T = statioprint(anfang(i - 1) + x)
    Next x
10
Next i
```

```
'-----
```

```
'Ausgabe der berechneten Werte
```

```
For i = 1 To ssdx
Cells(35, i + 22) = statioprint(i)
Next i
```

```
'-----
```

```
'Navigation zum Diagramm stationär_Wandaufbau
```

```
Application.Goto Reference:="Wandaufbau!R42C1:R79C13"
Range("B48").Select
```

```
End Sub
```

Weitere Module:

```
Sub Zur_Stationären_Berechnung()
' Navigation
    ActiveWindow.LargeScroll Down:=1
    ActiveWindow.ScrollRow = 34
    ActiveWindow.ScrollRow = 1
    ActiveWindow.SmallScroll Down:=41
End Sub
```

```
Sub Zurück_zum_Wandaufbau()
'
' Navigation
    Range("a1").Select
    Range("F3").Select
End Sub
```

Sub Neues_Bauteil()

'Entfernt alle Schichtdicken im Bereich(F3:F17)

'Trägt in den Bereich (D3:D17) den Wert 1 ein ; entspricht Bauteil "****kein"

' Tastenkombination: Strg+n

,

Range("F3:F17").Select

Selection.ClearContents

Range("D3").Select

ActiveCell.FormulaR1C1 = "1"

Selection.AutoFill Destination:=Range("D3:D17"), Type:=xlFillDefault

Range("D3:D17").Select

Range("F3").Select

End Sub

Sub Bauteil_Drucken()

,

' Druckt den Schichtaufbau

,

Range("A1:M32").Select

Range("M32").Activate

ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut Copies:=1

End Sub

Sub Diagram_Drucken()

,

' Druckt die Stationäre Temperaturverteilung in diesem "Arbeitsblatt"

Range("A42:M78").Select

Selection.PrintOut Copies:=1

Range("A42").Select

End Sub

2 Arbeitsblatt Material-Datenbank:

Modul Drucken:

Sub Drucken()

,

'Druckt alle Werte

```
Columns("B:J").Select  
Selection.PrintOut Copies:=1  
Range("M3").Select  
End Sub
```

3 Arbeitsblatt Randbedingungen:

Modul Auftreffende_Strahlungsenergien:

```
Sub Auftreffende_Strahlungsenergien()  
'Das Arbeitsblatt Randbedingungen wird ausgewählt  
Sheets("Randbedingungen").Select  
'Die Module löschen und Uhrzeitgenerieren werden ausgeführt  
Sheets("Randbedingungen").Löschen  
Sheets("Randbedingungen").Uhrzeit_generieren  
'Zelle B7 wird ausgewählt (Zwecks leichtere Navigation im Arbeitsblatt)  
Range("B7").Select
```

'Zuweisen der Startwerte

Pi = 4 * Atn(1) 'Die Zahl pi ist in VBA nicht enthalten, sie entspricht diesem Wert!

```
startzeit = [B7]  
Endzeit = [B3]  
intervall = [B1]  
alpha = Sheets("Wandaufbau").[L24] ' Neigung der Wand  
Aw = Sheets("Wandaufbau").[L25] ' Azimut der Wand  
Geographische_Länge = Sheets("Wandaufbau").[L28]  
Geographische_Breite = Sheets("Wandaufbau").[L27]  
Differenz_zu_GMT = Sheets("Wandaufbau").[L29]
```

```
Sonnenstrahlung_i_ja_nein = [D3] 'innen  
Sonnenstrahlung_a_ja_nein = [R3] ' außen  
zeit = startzeit 'lokale Ortszeit  
b = [N2] ' Trübungsfaktor nach Schüpp
```

'-----

' Strahlung direkt am Bauteil gemessen?

If [L3] = 1 Then ' direkt gemessen Strahlung auf das Bauteil!

Do While zeit < Endzeit

i = i + 1

eingetragene_Strahlung_innen = Cells(i + 6, 9)

eingetragene_Strahlung_außen = eingetragene_Strahlung_außen

'die eingetragenen Werte in Spalte i werden in Spalte L kopiert

If Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 12) =

eingetragene_Strahlung_innen

'die eingetragenen Werte in Spalte W werden in Spalte Z kopiert

If Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 26) =

eingetragene_Strahlung_außen

zeit = zeit + intervall

Loop

GoTo ende ' Alle Werte bis zur Endzeit wurden kopiert das Programm springt zum

Ende

End If

'-----

'Wurde die Strahlung nicht am Bauteil gemessen werden, nun die Sonnenhöhe und

Cos Teta berechnet

Do While zeit < Endzeit

i = i + 1

' Es wird die Tagnummer des Tages d berechnet 1...365 Genauigkeit +- 5 Tage

If Month(Cells(i + 6, 2)) = 1 Then d = Day(Cells(i + 6, 2))

d = (Month(Cells(i + 6, 2)) - 1) * 30 + Day(Cells(i + 6, 2))

' Berechnung des Winkels Phi nach Gleichung Anhang C.1

$\phi = 0.9863 * (d - 2.8749) + 1.9137 * \sin(0.9863 * (d - 2.8749) * \pi / 180) + 102.06$

' Berechnung des Umrechnungswinkels T nach Gleichung Anhang C.3

$T = (360 / 365) * d$ 'Umrechnungswinkel

' Berechnung der Zeitgleichung nach Gleichung Anhang C.3

$z = 0.008 * \cos(T * \pi / 180) - 0.122 * \sin(T * \pi / 180) - 0.052 * \cos(2 * T * \pi / 180) -$
 $- 0.157 * \sin(2 * T * \pi / 180) - 0.001 * \cos(3 * T * \pi / 180) - 0.005 * \sin(3 * T * \pi / 180)$

' _ ist das Zeichen für einen manuellen Zeilenumbruch

'Die Arkusfunktionen sind in VBA nicht enthalten es müssen

'folgende Funktionen benutzt werden

'Arkussinus(X) = Atn(X / Sqr(-X * X + 1))

'Arkuskosinus(X) = Atn(-X / Sqr(-X * X + 1)) + 2 * Atn(1)

'alle Winkel müssen ins Bogenmaß umgerechnet werden

'Berechnen der Deklination nach Gleichung Anhang C.2

sin_Deklination = -0.3979 * Sin(phi * Pi / 180)

Deklination = Atn(sin_Deklination / Sqr(-sin_Deklination * sin_Deklination + 1)) * 180 /

Pi 'korrekt!! und überprüft

'Berechnen der lokalen Ortszeit in Stunden aus dem aktuellen Zeitwert im Arbeitsblatt

lokale_Ortszeit = Hour(zeit) - 0 + Minute(zeit) / 60 'sommer winterzeit!!!

'Berechnen der wahren Ortszeit nach Gleichung Anhang C.4

Wahre_Ortszeit = lokale_Ortszeit + z + ((Differenz_zu_GMT * -15 -

Geographische_Länge) / 15)

'Berechnen des Stundenwinkels w nach Gl. Anhang C.5

w = 15 * Wahre_Ortszeit

'Berechnen der Sonnenhöhe h nach Gleichung Anhang C.6

sin_h = -Cos(Deklination * Pi / 180) * Cos(Geographische_Breite * Pi / 180) * Cos(w *
Pi / 180) _

+ Sin(Deklination * Pi / 180) * Sin(Geographische_Breite * Pi / 180) 'sin der
Sonnenhöhe

'wenn größer eins dann Fehler

h = Atn(sin_h / Sqr(-sin_h * sin_h + 1)) * 180 / Pi 'Sonnenhöhe

"-----"

"Berechnung von As nach Gleichung Anhang C.7 wird für cos teta jedoch hier nicht
mehr explizit benötigt

"Da Ass zwischen 0 und 360 Grad liegt der Arcsin aber nur zwischen +-90 definiert ist

"muss mit Hilfe von Ass und Ass1 eine Fallunterscheidung zur Umrechnung des
Winkels vorgenommen werden

"sin_Ass = (Cos(Deklination * Pi / 180) * Sin(w * Pi / 180)) / Cos(h * Pi / 180) ' sin
des Sonnenazimut

```

"sin_Ass1 = (Cos(Deklination * Pi / 180) * Sin((w + 0.001) * Pi / 180)) / Cos(h * Pi / 180)
' sin des Sonnenazimut
"Ass = Atn(sin_Ass / Sqr(-sin_Ass * sin_Ass + 1)) * 180 / Pi
"If sin_Ass1 > 1 Or sin_Ass1 < -1 Then Ass1 = 90: GoTo 33
"Ass1 = Atn(sin_Ass1 / Sqr(-sin_Ass1 * sin_Ass1 + 1)) * 180 / Pi
"33
""1.Quadrant
"If Ass > 0 And Ass1 > Ass Then Ass = Ass
""2.Quadrant
"If Ass > 0 And Ass1 < Ass Then Ass = 180 - Abs(Ass)
""3.Quadrant
"If Ass < 0 And Ass1 < Ass Then Ass = 180 + Abs(Ass)
""2.Quadrant
"If Ass < 0 And Ass1 > Ass Then Ass = 360 - Abs(Ass)
"-----

```

'cos teta für die zu berechnende Wand Anhang C.11

```

cos_teta = Sin(Deklination * Pi / 180) * Sin(Geographische_Breite * Pi / 180) *
Cos(alpha * Pi / 180) _
+ Sin(Deklination * Pi / 180) * Cos(Geographische_Breite * Pi / 180) * Sin(alpha * Pi /
180) * Cos(Aw * Pi / 180) _
- Cos(Deklination * Pi / 180) * Cos(Geographische_Breite * Pi / 180) * Cos(alpha * Pi /
180) * Cos(w * Pi / 180) _
+ Cos(Deklination * Pi / 180) * Sin(Geographische_Breite * Pi / 180) * Sin(alpha * Pi /
180) * Cos(Aw * Pi / 180) * Cos(w * Pi / 180) _
+ Cos(Deklination * Pi / 180) * Sin(alpha * Pi / 180) * Sin(Aw * Pi / 180) * Sin(w * Pi /
180)

```

'cos teta für die Horizontale des Sensors Anhang C.11

```

cos_teta_sensor = Sin(h * Pi / 180)
If h < 0 Then cos_teta = 0 ' Sonne befindet sich "hinter der Erde"
'-----

```

```

eingetragene_Strahlung_innen = Cells(i + 6, 9)
eingetragene_Strahlung_außen = Cells(i + 6, 23)

```

'Berechnung der Diffusen Strahlung nach Gleichung Anhang C.9

$$DH = -215 * b^2 * \sin_h^2 - 282 * b * \sin_h^2 - 81.2 * \sin_h^2 - 1182 * b^2 * \sin_h + 1425 * b * \sin_h + 104 * \sin_h + 317 * b^2 - 8 * b + 4.3$$

'Berechnung der Direkten Strahlung nach Gleichung Anhang C.10

$$I_{N_berechnet} = (-13637 * b^2 * \sin_h^2 + 8745 * b * \sin_h^2 - 1724 * \sin_h^2 + 9492 * b^2 * \sin_h - 8120 * b * \sin_h + 2524 * \sin_h + 4864 * b^2 - 2071 * b + 192)$$

'-----

'Direkte Strahlung und diffuse Strahlung wird nach der Näherungsformel Gleichung Anhang C.9 und 10 berücksichtigt

'für einen wolkenfreien Himmel auf eine horizontale Fläche gerechnet

If [L3] = 3 Then

If h > 0 And Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 11) = ((1 + Cos((alpha - 180) * Pi / 180)) / 2) * DH ' -180 da Rückseite

'Wandfläche der Flächennormalen ist im Schatten hintere Seite erhält jetzt die Strahlung

If cos_teta < 0 And Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then

If h > 0 And Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 10) =

I_N_berechnet * Abs(cos_teta)

End If

If h > 0 And Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 25) = ((1 + Cos(alpha * Pi / 180)) / 2) * DH

'Wandfläche der Flächennormalen erhält die Strahlung

If cos_teta > 0 And Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then

If h > 0 And Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 24) =

I_N_berechnet * cos_teta

End If

GoTo ende_schleife

End If

'-----

'wenn Sonnenstrahlung vorhanden Aktiviert wurde: Ausgabe der einstrahlenden
Diffusen Strahlung nach Gleichung Anhang C 14

If DH > eingetragene_Strahlung_innen Then DH = eingetragene_Strahlung_innen

If h > 0 And Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 11) = ((1 +
Cos((alpha - 180) * Pi / 180)) / 2) * DH ' -180 da Rückseite

If DH > eingetragene_Strahlung_außen Then DH = eingetragene_Strahlung_außen

If h > 0 And Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then Cells(i + 6, 25) = ((1 +
Cos(alpha * Pi / 180)) / 2) * DH

'Das Näherungsmodell nach Punkt 4.2.1. e) kommt zur Anwendung

'wenn in den Randbedingungen "gemessene Globalstrahlung" aktiviert wurde

'Wandfläche der Flächennormalen ist im Schatten hintere Seite erhält jetzt die
strahlung

If cos_teta < 0 And Sonnenstrahlung_i_ja_nein <> Falsch Then

If eingetragene_Strahlung_innen = "s" Then GoTo schatten_innen: 'schatten i0=0

i0_innen = (eingetragene_Strahlung_innen - DH) / cos_teta_sensor '

'falls kleine ungenauigkeiten in der messung oder berechnung vorkommen

If i0_innen > I_N_berechnet Then i0_außen = I_N_berechnet

schatten_innen:

If i0_innen <= 0 Then i0_innen = 0

' Berechnung der Eintreffenden Strahlung nach Gleichung Anhang C.13

iD_innen = i0_innen * Abs(cos_teta)

Cells(i + 6, 10) = iD_innen 'Empfangene_Strahlung

GoTo ende_schleife

End If

'Wandfläche der Flächennormalen erhält die Strahlung

If cos_teta > 0 And Sonnenstrahlung_a_ja_nein <> Falsch Then

'Berechnung von IN nach Gleichung Anhang C13

If eingetragene_Strahlung_außen = "s" Then GoTo schatten_außen:

i0_außen = (eingetragene_Strahlung_außen - DH) / cos_teta_sensor

'Cells(i + 6, 28) = i0_außen ' !!!IN zum testen nur für außen

'falls kleine Ungenauigkeiten in der Messung oder Berechnung vorkommen

'wird hier der maximal mögliche Werte nach Gleichung Anhang C.10 für die Direkte Strahlung angesetzt

If i0_außen > I_N_berechnet Then i0_außen = I_N_berechnet

schatten_außen:

If i0_außen <= 0 Then i0_außen = 0

' Berechnung der Eintreffenden Strahlung nach Gleichung Anhang C.13

iD_außen = i0_außen * cos_teta

Cells(i + 6, 24) = iD_außen 'Empfangene Strahlung

End If

ende_schleife: ' Position Ende der Schleife

'falls Schatten angegeben wurde direkte Strahlung gleich 0

If eingetragene_Strahlung_innen = "s" Then Cells(i + 6, 10) = 0

If eingetragene_Strahlung_außen = "s" Then Cells(i + 6, 24) = 0

'Addieren des direkten und Diffusen Strahlungsanteils

'und Eintragen in die Spalten L und Z

Cells(i + 6, 12) = Cells(i + 6, 10) + Cells(i + 6, 11)

Cells(i + 6, 26) = Cells(i + 6, 24) + Cells(i + 6, 25)

zeit = zeit + intervall

Loop

ende: 'endmarke

End Sub

Modul Uhrzeit_generieren:

Sub Uhrzeit_generieren()

'Arbeitsblatt Randbedingungen wird ausgewählt

Sheets("Randbedingungen").Select

'Einlesen der Startwerte

startzeit = [B7]

Endzeit = [B3]

intervall = [B1]

'Trägt die Zeit im angegebenen Intervall in Spalte B ein

zeit = startzeit

Do While zeit < Endzeit

i = i + 1

zeit = zeit + intervall: Cells(i + 7, 2) = zeit

Cells(i + 6, 29) = Cells(i + 6, 2)

Loop

'Kopiert die Formel für den Wärmeübergang

'in Spalte G und U

Cells(7, 7).Select

Selection.Copy

Range(Cells(8, 7), Cells(i + 7, 7)).Select

ActiveSheet.Paste

Cells(7, 21).Select

Selection.Copy

Range(Cells(8, 21), Cells(i + 7, 21)).Select

ActiveSheet.Paste

End Sub

Modul alles_löschen:

Sub alles_löschen()

'Löscht alle Werte

Range("B8:AC65536").Select

'löscht Zellfarben (funktioniert nicht bei aktivem "Blattschutz"

'und wurde deshalb auskommentiert")

'Selection.Interior.ColorIndex = xlNone

Selection.ClearContents

End Sub

Modul löschen:

Sub löschen()

'Löschen der alten berechneten Werte

Sheets("Randbedingungen").Select

Range("J7:J65536").ClearContents

Range("k7:J65536").ClearContents

Range("l7:J65536").ClearContents

Range("x7:x65536").ClearContents

Range("y7:x65536").ClearContents

Range("z7:x65536").ClearContents

Range("ac7:ac65536").ClearContents

Range("ab7:ab65536").ClearContents

Range("aa7:aa65536").ClearContents

Range("B8:B65536").ClearContents

Range("g8:g65536").ClearContents

Range("u8:u65536").ClearContents

''' Farben neu anlegen (nur für die ersten Felder um Speicherplatz zu sparen!)

''' Falls diese vom Anwender durch kopieren von Daten durcheinander gebracht wurden

''' Dieser Teil wurde auskommentiert, da er nicht funktioniert wenn das Blatt "geschützt" ist!

'''

''' Range("A25:AC65536").Interior.ColorIndex = xlNone

'''

''' Range("J7:L24").Select

''' With Selection.Interior

''' .ColorIndex = 37

''' .Pattern = xlSolid

''' End With

''' Selection.Interior.ColorIndex = 33

''' Range("x7:z24").Select

''' With Selection.Interior

```
"" .ColorIndex = 37
"" .Pattern = xlSolid
"" End With
"" Selection.Interior.ColorIndex = 33
""
"" Range("H7:I24").Select
"" With Selection.Interior
"" .ColorIndex = 45
"" .Pattern = xlSolid
"" End With
"" Range("V7:W24").Select
"" With Selection.Interior
"" .ColorIndex = 45
"" .Pattern = xlSolid
"" End With
""
"" Range("D7:D24").Select
"" With Selection.Interior
"" .ColorIndex = 45
"" .Pattern = xlSolid
"" End With
"" Range("R7:R24").Select
"" With Selection.Interior
"" .ColorIndex = 45
"" .Pattern = xlSolid
"" End With
```

End Sub

Modul Drucken:

Sub Drucken()

'Druckt alle Randbedingungen

Columns("A:AC").Select

Selection.PrintOut Copies:=1

ActiveWindow.SmallScroll ToRight:=-1

Range("B7").Select

End Sub

Sub Schaltfläche29_BeiKlick()

'Navigation

Range("B7").Select

End Sub

Sub Schaltfläche30_BeiKlick()

' Navigation

Range("aa1").Select

Range("v7").Select

End Sub

Sub Schaltfläche31_BeiKlick()

' Navigation

Columns("B:L").Select

Range("h7").Select

End Sub

4 Arbeitsblatt Berechnungs Optionen

Modul Ausgabenverteilung:

Sub Ausgabenverteilung()

'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen", falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

Sheets("Berechnungs Optionen").Select

'säubern(Löschen überflüssiger dx aus der Tabelle)

If [B3] = "-" Or [D3] = 0 Then [P3] = 0: [M3] = 0

If [B4] = "-" Or [D4] = 0 Then [P4] = 0: [M4] = 0

If [b5] = "-" Or [D5] = 0 Then [p5] = 0: [M5] = 0

If [b6] = "-" Or [D6] = 0 Then [p6] = 0: [M6] = 0

If [B7] = "-" Or [D7] = 0 Then [p7] = 0: [M7] = 0

If [b8] = "-" Or [D8] = 0 Then [p8] = 0: [M8] = 0

If [b9] = "-" Or [D9] = 0 Then [p9] = 0: [M9] = 0

If [b10] = "-" Or [D10] = 0 Then [p10] = 0: [M10] = 0

If [b11] = "-" Or [D11] = 0 Then [p11] = 0: [M11] = 0

If [b12] = "-" Or [D12] = 0 Then [p12] = 0: [M12] = 0

If [b13] = "-" Or [D13] = 0 Then [p13] = 0: [M13] = 0

If [b14] = "-" Or [D14] = 0 Then [p14] = 0: [M14] = 0

If [b15] = "-" Or [D15] = 0 Then [p15] = 0: [M15] = 0

If [b16] = "-" Or [D16] = 0 Then [p16] = 0: [M16] = 0

If [b17] = "-" Or [D17] = 0 Then [p17] = 0: [M17] = 0

'Zuordnen der Stoffwerte zu den Schichten um sie in der Schleife verwenden zu können

'Hilfsfelder Deklarieren

Dim sd(15)

Dim sdx(15)

For i = 1 To [a18]

```
sd(i) = Cells(i + 2, 4) ' Dicke der Schicht
Next i

gesamtdicke = [D18]
prozschicht = [M21] ' Anzahl der Ausgabepixel
schichtanzahl = [a18]

Dim Schichten(300)

For i = 1 To schichtanzahl
If sd(i) = 0 Then wü = wü + 1 'Anzahl der inneren Wärmeübergänge
Next i

korrektur = 0 ' Rundungsrest
summe = 0 'Gesamtpixelzahl
For i = 1 To schichtanzahl
If (sd(i) <> 0) Then 'kein Wärmeübergang
pixel = 0 'Pixelzahl in der Schicht
While (pixel < (sd(i) * (prozschicht + wü - schichtanzahl) / gesamtdicke +
korrektur))
' solange Pixelzahl in Schicht kleiner der Gesamtpixelzahl für die Schicht
pixel = pixel + 1
summe = summe + 1
Wend
korrektur = (sd(i) * (prozschicht + wü - schichtanzahl) / gesamtdicke + korrektur)
- pixel
'Korrektur enthält Rundungsrest
Schichten(i) = pixel 'Pixelzahl in Schicht
End If
Next i

If (summe > (prozschicht + wü - schichtanzahl)) Then Schichten(i - 1) =
Schichten(i - 1) - 1
' wenn Gesamtpixelzahl grösser als Anzahl der Ausgabepixel reduzieren
merker = 0
```

For i = 1 To schichtanzahl

If sd(i) <> 0 Then

While Schichten(i) < 2 ' wenn Pixelzahl in Schicht < 2 ,Pixelzahl in dieser
Schicht erhöhen

Schichten(i) = Schichten(i) + 1

merker = merker + 1

Wend

End If

Next i

'jetzt müssen in den anderen Schichten diese Pixel (merker) wieder abgezogen
werden

For i = 1 To schichtanzahl

If merker = 0 Then GoTo 111111

If sd(i) <> 0 Then

If Schichten(i) > 2 Then

Schichten(i) = Schichten(i) - 1

merker = merker - 1

End If

End If

Next i

111111 ' fertig

'Berechnet die Werte delta x aus den oben ermittelten Schichten

For i = 1 To 15

If Schichten(i) <> 0 Then Cells(i + 2, 13) = sd(i) / Schichten(i)

Next i

'Navigation

Cells(22, 16).Select

End Sub

weitere Module:

```
Sub anfangstemp()
```

```
'gibt die gleichmäßige Anfangstemperatur aus!
```

```
For i = 1 To [N18]
```

```
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(3, i + 4) = [P32]
```

```
Next i
```

```
End Sub
```

```
Sub dx_Ausgabe_gleich_dx_berechnung()
```

```
'kopiert die Werte in Spalte M in Spalte P
```

```
'dx Ausgabe entspricht jetzt dx Berechnung
```

```
    Range("M3:M17").Select
```

```
    Selection.Copy
```

```
    Range("P3").Select
```

```
    ActiveSheet.Paste
```

```
End Sub
```

```
Sub Drucken()
```

```
"Druckt die Optionen
```

```
    Range("A1:V32").Select
```

```
    Selection.PrintOut Copies:=1
```

```
    ActiveWindow.LargeScroll ToRight:=-1
```

```
    Range("P20").Select
```

```
End Sub
```

```
Sub Makro2()
```

```
" Navigation
```

```
    Columns("L:V").Select
```

```
    Application.Goto Reference:="R1C12:R1C22"
```

```
Range("p20").Select
```

```
End Sub
```

5 Arbeitsblatt Animation

Modul start_instationäre_Berechnung:

```
Sub start_instationäre_Berechnung()
```

```
'Dieser Wert wird für das Modul "instationäre  
'Temperaturberechnug gesetzt, das Modul Orientiert sich an diesem Wert  
'und weiß so das dieses Arbeitsblatt für die Animation ausgewählt werden soll  
[B22] = "Animation läuft!"  
Range("B23").Select
```

```
'Aktiviert den Schalter Animation
```

```
Sheets("berechnungs optionen").[L30] = "WAHR"
```

```
'Startet das Modul zu instationären Berechnung
```

```
Modul4.instationäre_Berechnung
```

```
End Sub
```

Modul Drucken:

```
Sub Drucken()
```

```
,
```

```
' Druckt das Arbeitsblatt
```

```
,
```

```
ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut Copies:=1
```

```
End Sub
```

6 Arbeitsblatt Ausgabewerte:

Aufgrund eines Speziellen VBA – Befehls im Modul {instationäre_Berechnung} (zum Löschen der alten Werte), konnte dieses Arbeitsblatt nicht geschützt werden.

Modul Schaltfläche2_BeiKlick:

```
Sub Schaltfläche2_BeiKlick()
```

```
,
```

```
' Navigation
```

```
    Range("A30").Select
```

```
End Sub
```

Modul Drucken:

```
Sub drucken()
```

```
' drucken
```

```
    Columns("A:AF").Select
```

```
    ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut Copies:=1
```

```
End Sub
```

7 Arbeitsblatt 3D-Diagramm:

Modul Drucken:

```
Sub Schaltfläche1_BeiKlick()
```

```
,
```

```
' Druckt das 3D Diagramm
```

```
    ActiveWindow.SelectedSheets.PrintOut Copies:=1
```

```
End Sub
```

8 Der Ordner Module

In diesem Ordner sind die beiden Hauptprogramme gespeichert.

'Globale Variable

'Feld der Temperaturen zum Zeitschritt k

'zu Beginn der Berechnung befindet sich in diesem Feld also die Anfangstemperatur

Public tov()

Modul instationäre_Berechnung:

Sub instationäre_Berechnung()

'Berechnung der instationären Temperaturverteilung

'von beliebig vielen Schichten mit Wärmeübergang zwischen den Schichten und an den aussenwänden

'An den Außenwänden können zusätzli h Wärmemengen ausgetauscht werden

'Wärmewiderstand 0 bedeutet kein Wärmeübergang zwischen 2 Schichten oder Aussenwand

'innerhalb einer Schicht

'tneu(i) = a* (told(i + 1) + told(i - 1)) - b * told(i)

'linker rand

'tneu[1]=(tneu[2]+c*tempInnen)/(1.0+c)+Q/alpha

'zwischen den Schichten

'i-1,i alte schicht; i+1,i+2 neue schicht

'l1, dx1 alpha l2, dx2

'r1=dx1/l1; ra=1/alpha; r2=dx2/l2

'tneu(i)=tneu(i-1)+r1(tneu(i+2)-tneu(i-1))/(r1+r2+ra)

'tneu(i+1)=tneu(i+2)-r2(tneu(i+2)-tneu(i-1))/(r1+r2+ra)

'rechter rand

'tneu[max]=(c*tneu[max-1]+tempauusen)/(1.0+c) +Q/alpha

'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen" falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

Sheets("Berechnungs Optionen").Select

'Wenn die Automatische Ausgabenverteilung aktiviert ist

'wird das modul dx_Ausgabe_gleich_dx_berechnung gestartet

If [L19] <> Falsch Then Tabelle8.Ausgabenverteilung

genauigkeit = Tabelle8.[O19]

If genauigkeit = 2 Then Tabelle8.dx_Ausgabe_gleich_dx_berechnung

'Wenn die Option automatisch größt mögliches dt

'aktiviert ist, wird der ermittelte Wert aus Zelle P20 in Zelle v18 kopiert

If [r20] <> Falsch Then [P20] = [v18]

'Fehlertests

On Error GoTo abbruchBehandlung:

Application.EnableCancelKey = xlErrorHandler

If [P20] < 0.05 Then MsgBox " Sie haben dt kleiner sehr klein gewählt. Hieraus entstehen in den meisten Fällen sehr lange Rechenzeiten! Für vorzeitiges Abbrechen drücken Sie hiernach ESC!"

If [L25] + [M25] + [N25] < 45 Then MsgBox "FEHLER! Überprüfen Sie alle Fehler Felder in diesem Blatt und im Blatt Wandaufbau!": GoTo abbruchBehandlung

If [N18] > 150 And [L19] = Falsch Then MsgBox "Achtung zu viele Schichten für die Ausgabe wählen Sie dx für die Ausgabe entsprechend größer bzw. Schalten Sie auf automatische Ausgabenverteilung!" : GoTo abbruchBehandlung

'alte Werte Löschen

Sheets("Ausgabewerte").Select

[a16] = 5

```
[a16].Select  
Selection.SpecialCells(xlCellTypeConstants, 1).Select  
Application.CutCopyMode = False  
Selection.ClearContents  
[a16] = 5
```

'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen"

'falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

```
Sheets("Berechnungs Optionen").Select
```

'Ausführen der folgenden Programm-Module

```
Tabelle2.Auftreffende_Strahlungsenergien
```

```
Tabelle8.Select
```

```
Tabelle8.anfangstemp
```

```
[P27] = 0 'relativer Termin wird gelöscht
```

```
Cells(26, 18) = Time 'Startzeit zur Berechnungszeitmessung
```

```
Range("p38").Select 'Positionierung des sichtbaren Bereichs
```

'Dauer Automatisch für alle Randbedingungen?

```
If [R21] <> Falsch Then [P21] = Sheets("Randbedingungen").[B4]
```

'Ausgabeintervall= Randbedingungsintervall?

```
If [L31] <> Falsch Then [M32] = Sheets("Randbedingungen").[B1]
```

'Einlesen der Startwerte

```
Randbedingungsintervall = Sheets("Randbedingungen").[B1] * 24 * 3600 / [P20]
```

```
delta_t_Berechnung = [P20]
```

```
zeitschritte = [P22]
```

```
Ausgabeintervall = [M32] * 24 * 3600 / delta_t_Berechnung
```

```
Animation = Cells(30, 12)
```

```
Ausgabewerte = Cells(29, 12)
```

'Konstante Randbedingungen?

```
konstante_Randbedinungen_innen = Sheets("Randbedingungen").[D4]
```

konstante_Randbedingungen_Außen = Sheets("Randbedingungen").[R4]

'Anfangsrandbedingungen aus "Randbedingungen"

tempinnen = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 8)

tempausen = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 22)

alpai = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 7)

alphaa = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 21)

Strahlungsenergie_i = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 12)

Strahlungsenergie_a = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 26)

T = Sheets("Randbedingungen").[B7] 'Startzeit

tani = Sheets("Randbedingungen").[B7] 'Startzeit

dt = Sheets("Berechnungs Optionen").[M32] ' Zeitintervall der Ausgabe

'Absorptionszahl der Sonnenstarhlung innen und außen

as_zahl_i = Sheets("Randbedingungen").[D2]

as_zahl_a = Sheets("Randbedingungen").[R2]

schichtanzahl = [a18]

summe_werte_Anzeige = [N18] 'Summe der Pixel für die Ausgabe

'Hilfsfelder

Dim Ausgabe_tnv()

ReDim Ausgabe_tnv(summe_werte_Anzeige + 10)

Dim r() As Double

Dim ra() As Double

Dim F() As Double

Dim b() As Double

'Dim tov() As Double 'dies Feld wurde Global Deklariert

Dim tnv() As Double

Dim indexanfv(), indexendv()

Dim q() As Double

Dim werte_Anzeige(15)

Dim s_Berechnung(15)

Dim sdx(15)

Dim sd(15)

Dim l(15)

'Einlesen der Stoffwerte

For i = 1 To [a18]

sdx(i) = Cells(i + 2, 16) ' dx Berechnung

l(i) = Cells(i + 2, 6) ' Lamnda bzw. Wärmeübergang

sd(i) = Cells(i + 2, 4) ' dicke der Schicht

Next i

w = 0 'Zähler für Widerstände Alpha (Wärmeübergänge)

For i = 2 To schichtanzahl

If sd(i) = 0 And l(i) <> 0 Then w = w + 1

Next i

'Dimensionierung der Hilfsfelder

ReDim r(schichtanzahl - w) 'Widerstände der Schichten

ReDim ra(schichtanzahl - w + 1) 'aussere und innere

Wärmeübergangswiderstände

ReDim indexanf(v(schichtanzahl - w) 'anfangsindex der Schicht

ReDim indexend(v(schichtanzahl - w) 'endindex der Schicht

ReDim F(schichtanzahl - w) 'Fourierfaktoren zu den Schichten

ReDim b(schichtanzahl - w) '2*F-1 'Hilfsfaktor

'Berechnung der Wärmeübergangswiderstände ra

z = 1

For i = 2 To schichtanzahl - w

z = z + 1

If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then ra(i) = 1 / l(z): z = z + 1

Next i

'Wärmeübergangswiderstände ra für die Randschichten

ra(1) = 1 / alpha_i '1/alpha_i innen

ra(schichtanzahl - w + 1) = 1 / alpha_a '1/alpha_a außen

'Ermitteln der Indexe der berechneten Temperaturabschnitte

'für jede Schicht

indexanfv(1) = 1

anf = indexanfv(1)

ende = indexendv(1)

ende = 0

z = 0

For i = 1 To schichtanzahl - w

z = z + 1

If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then z = z + 1

indexendv(i) = ende + Cells(2 + z, 17) + 1 '+1 eine virtuelle volle schicht

If i < schichtanzahl - w Then indexanfv(i + 1) = indexendv(i) + 1

ende = indexendv(i)

Next i

'Dimensionieren der Temperaturberechnungsfelder

'enthält den Temperaturwert für jeden Abschnitt delta x

ReDim tov(indexendv(schichtanzahl - w))

ReDim tnv(indexendv(schichtanzahl - w))

'q ist Optional kann die wärmemengen in jedem Abschnitt delta x enthalten

ReDim q(indexendv(schichtanzahl - w))

'Einlesen der Fourier-Module und Wärmewiderstände

'Berechnen der Hilfskonstanten für jede Schicht

z = 0

For i = 1 To schichtanzahl - w

z = z + 1

If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then z = z + 1

```
r(i) = Cells(2 + z, 16) * 0.01 / l(z) ' dx/lamda - Wärmewiderstand eines
Abschnitts
F(i) = Cells(2 + z, 21) 'Fourier-Modul
b(i) = 2 * F(i) - 1# ' Faktor
s_Berechnung(i) = Cells(z + 2, 17) 'Abschnittsanzahl der Schicht für die
Berechnung
werte_Anzeige(i) = Cells(z + 2, 14) 'Abschnittsanzahl der Schicht für die
Anzeige
Next i
```

```
'Anfangstemperatur
```

```
'Wenn an beiden Seiten stationäre Randtemperaturen vorliegen oder eine
stationäre Temperaturverteilung
```

```
'als Anfangstemperatur berechnet werden soll
```

```
'wird die Stationäre Temperaturverteilung über das Bauteil berechnet
```

```
If konstante_Randbedinungen_Außen And konstante_Randbedinungen_innen
```

```
<> Falsch Or _
```

```
Sheets("Berechnungs Optionen").[P32] = "stat" Then
```

```
Modul4.stationär_Berechnungsoptionen
```

```
'Wenn die Anfangstemperatur über den Querschnitt einen
```

```
'gleichmäßigen konkreten Startwert haben soll wird dieser hier in tov()
eingetragen
```

```
If [P32] <> "stat" Then
```

```
Anfangstemperatur = [P32]
```

```
For i = 1 To indexendv(schichtanzahl - w)
```

```
    tov(i) = Anfangstemperatur
```

```
Next i
```

```
End If
```

'wenn das Modul vom start_instationäre_Berechnung vom Arbeitsblatt

"Animation" gestartet wurde

'wird das Arbeitsblatt Animation ausgewählt

If Sheets("Animation").[B22] = "Animation läuft!" Then

Sheets("Animation").Select

.....

'Hauptberechnungsschleife

.....

For n = 1 To zeitschritte

'Einlesen der instationären Randbedingungen im angegebenen Intervall

If ((n Mod Randbedingungsintervall) = 0) Then

zeitzähler = zeitzähler + 1

If konstante_Randbedinungen_innen <> Falsch Then GoTo 77

tempinnen = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 8)

alpai = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 7)

If alpai = 0 Then MsgBox "Achtung! Sie haben nicht alle Randbedingungen
für den zu berechnenden Zeitraum eingegeben (alpha =0)": GoTo
abbruchBehandlung

Strahlungsenergie_i = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 10)

77

If konstante_Randbedinungen_Außen <> Falsch Then GoTo 88

tempaussen = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 22)

alphaa = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 21)

If alphaa = 0 Then MsgBox "Achtung! Sie haben nicht alle Randbedingungen
für den zu berechnenden Zeitraum eingegeben (alpha =0)": GoTo
abbruchBehandlung

Strahlungsenergie_a = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 24)

88

End If

'Berechnung der inneren temperaturwerte für jede Schicht

For i = 1 To schichtanzahl - w

FF = F(i)

bb = b(i)

iend = indexendv(i) - 1

For j = indexanfv(i) + 1 To iend 'j für jede Schicht

tnv(j) = FF * (tov(j + 1) + tov(j - 1)) - bb * tov(j) 'nach Gleichung 11

Next j

Next i

'alle Nicht -Rand und Nicht -Übergangstemperaturen sind jetzt berechnet

'linke Randtemperatur

cc = (l(1) / (alpha1 * sdx(1) * 0.01)) 'lamda/(alpha*dx)

tnv(1) = (tnv(2) * cc + tempinnen + as_zahl_i * Strahlungsenergie_i / alpha1) /
(1# + cc) 'nach Gleichung 24

'Wärmemenge q

qtest_i = (l(1) * ((tnv(1) - tnv(2)) / (sdx(1) / 100))) * delta_t_Berechnung 'nach
Gleichung 1

summe_q_i = summe_q_i + qtest_i

'rechte Randtemperatur

cc = (l(schichtanzahl) / (alphaa * sdx(schichtanzahl) * 0.01))

maxv = indexendv(schichtanzahl - w)

tnv(maxv) = (tnv(maxv - 1) * cc + tempaussen + as_zahl_a *

Strahlungsenergie_a / alphaa) / (1# + cc) 'nach Gleichung 24

'Wärmemenge q

qtest_a = (l(schichtanzahl) * ((tnv(maxv) - tnv(maxv - 1)) / (sdx(schichtanzahl) /
100))) * delta_t_Berechnung 'nach Gleichung 1

summe_q_a = summe_q_a + qtest_a

'jetzt die inneren Übergänge

For j = 1 To schichtanzahl - w - 1 'j für jede Schicht

'nach Gleichungen 32

$$\text{tnv}(\text{indexendv}(j)) = \text{tnv}(\text{indexendv}(j) - 1) + (r(j) * (\text{tnv}(\text{indexanfv}(j + 1) + 1) - \text{tnv}(\text{indexendv}(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))$$
$$\text{tnv}(\text{indexanfv}(j + 1)) = \text{tnv}(\text{indexanfv}(j + 1) + 1) - (r(j + 1) * (\text{tnv}(\text{indexanfv}(j + 1) + 1) - \text{tnv}(\text{indexendv}(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))$$

Next j

'es sind jetzt alle neuen Temperaturwerte tnv() aus den alten Temperaturwerten tov() berechnet

'Werte ins told-Feld für die Neuberechnung übertragen

For i = 1 To indexendv(schichtanzahl - w)

 tov(i) = tnv(i)

Next i

.....

'Berechnen der Verteilung der berechneten Werte in tnv für die Ausgabe auf die festgelegte Anzahl von Werten

.....

If (((n Mod Ausgabeintervall) = 0) Or (n = CLng(zeitschritte))) Then

Ausgabenverteilung:

pixel = 1

fakkor = 0 ' Korrekturfaktor

For j = 1 To schichtanzahl - w

fak = (werte_Anzeige(j)) / (s_Berechnung(j)) 'Anzeigepixel pro Schicht

'genauso viele Anzeigewerte wie Berechnungswerte ?

If (werte_Anzeige(j) = s_Berechnung(j) + 1) Then

 For i = 1 To werte_Anzeige(j)

 Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(i + indexanfv(j) - 1)

 pixel = pixel + 1

 Next i

Else

fakint = 0

```
Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexanfv(j)) ' ersten Berechnungswert der Schicht
unbedingt in Ausgabefeld eintragen
pixel = pixel + 1
fakint = fakint + 1
For i = 2 To fak / 2 ' erster Temperaturwert pro Schicht nur in 1/2
Ausgabeabschnitt eintragen
fakint = fakint + 1
Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexanfv(j))
pixel = pixel + 1
Next i
fakkor = fakkor + fak / 2 - fakint ' Korrekturfaktor updaten
For k = 1 To s_Berechnung(j) - 1 'jetzt die anderen Temperaturwerte der
Schicht in Ausgabefeld eintragen
i = 1
fakint = 0
Do While (i <= (fakkor + fak))
fakint = fakint + 1
    Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexanfv(j) + k)
    pixel = pixel + 1
    i = i + 1
Loop
fakkor = fakkor + fak - fakint
Next k
i = 1
fakint = 0
ins = 0
While (i < (fakkor + fak / 2)) 'letzter Temperaturwert pro Schicht nur in 1/2
Ausgabeabschnitt eintragen
ins = 1
fakint = fakint + 1
Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexendv(j))
pixel = pixel + 1
i = i + 1
```

Wend

If ins = 0 Then ' letzten Berechnungswert der Schicht unbedingt in Ausgabefeld eintragen

pixel = pixel + 1

Ausgabe_tnv(pixel - 1) = tnv(indexendv(j))

End If

fakkor = fakkor + fak / 2 - fakint 'Korrekturfaktor updaten

End If

Next j

End If

' letzte Ausgabe?

If schluss = 1 Then GoTo letzte_Ausgabe

.....

'Animierte Ausgabe?

If Animation = Falsch Then GoTo 10000

If (((n Mod Ausgabeintervall) = 0) Or (n = CLng(zeitschritte))) Then

 tani = tani + dt

 trelativ = trelativ + dt

 Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(27, 16) = trelativ 'relativer Termin in Stunden

 Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 15) = tani 'absoluter Termin

 Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 16) = n 'aktueller Zeitschritt

'Ausgabe der in diesem Zeitschritt berechneten Werte

'für das Animationsdiagramm

 For i = 1 To summe_werte_Anzeige + 1

 Sheets("Ausgabewerte").Cells(6, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)

 Next i

'Ausgabe des Wärmeflusses in diesem Zeitschritt

Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 21) = qtest_i / delta_t_Berechnung

```
Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 22) = qtest_a / delta_t_Berechnung  
'q(maxv)
```

```
'Fügt eine notwendige Pause ein so das Excel das Diagramm erzeugen kann
```

```
Dim Pausenlänge, Start, Gesamtdauer
```

```
Pausenlänge = 1 ' Dauer festlegen.
```

```
Start = Timer ' Anfangszeit setzen.
```

```
Do While Timer < Start + Pausenlänge
```

```
DoEvents ' Steuerung an andere Prozesse
```

```
Loop
```

```
End If
```

```
10000
```

```
.....  
' Ausgabe in Ausgabewerte
```

```
If Ausgabewerte = Falsch Then GoTo 1000000
```

```
If (((n Mod Ausgabeintervall) = 0) Or (n = CLng(zeitschritte))) Then
```

```
zähler = zähler + 1
```

```
T = T + dt
```

```
Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 3) = T 'absoluter Termin
```

```
Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 16) = n 'aktueller Zeitschritt
```

```
'Ausgabe der in diesem Zeitschritt berechneten Werte
```

```
'in das Arbeitsblatt Ausgabewerte (für jeden Wert eine neue Zeile)
```

```
For i = 1 To summe_werte_Anzeige + 1
```

```
Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)
```

```
Next i
```

```
'Ausgabe des Wärmeflusses in diesem Zeitschritt
```

```
Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 1) = qtest_i / delta_t_Berechnung  
'q(0)
```

```
Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 2) = qtest_a / delta_t_Berechnung  
'q(maxv)
```

End If

1000000

Next n

.....

'Berechnen der Positionen der Ausgabewerte in [cm] vom linken Rand

Dim position

ReDim position(150)

stelle = 1

For j = 1 To schichtanzahl - w

For i = 0 To werte_Anzeige(j) - 1

position(stelle) = (sd(j) / (werte_Anzeige(j) - 1)) * i + vorgänger

stelle = stelle + 1

Next i

vorgänger = position(stelle - 1)

Next j

'Ausgabe der errechneten Positionen

For i = 1 To summe_werte_Anzeige

Sheets("Ausgabewerte").Cells(5, i + 4) = position(i)

Next i

.....

'letzte Ausgabe

'Summe der Wärmemenge Q die über den Berechnungszeitraum geflossen ist

Sheets("Ausgabewerte").[A27] = summe_q_i

Sheets("Ausgabewerte").[B27] = summe_q_a

'Führt noch einmal die Ausgabenverteilung

'für die letzten Berechneten Werte aus

schluss = 1

GoTo Ausgabenverteilung:

letzte_Ausgabe:

```
Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(29, 16) = n 'aktueller Zeitschritt
Sheets("Berechnungs Optionen").Cells(27, 18) = Time 'aktuelle Uhrzeit; um die
Rechenzeit zu ermitteln!
'ausgabe der letzten berechneten Werte in das Arbeitsblatt Ausgabewerte
For i = 1 To summe_werte_Anzeige + 1
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(6, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)
Next i
GoTo ende
```

abbruchBehandlung:

If Err = 18 Then

Sheets("Animation").[B22] = "-"

MsgBox "Sie haben den Vorgang abgebrochen."

End If

ende: 'endmarke

Sheets("Animation").[B22] = "-"

End Sub

Modul stationär_Berechnungsoptionen:

Sub stationär_Berechnungsoptionen()

'Randbedingungen

rai = 1 / Sheets("Randbedingungen").[G7] '1/alpha innen

raa = 1 / Sheets("Randbedingungen").[U7] '1/alpha außen

tempinnen = Sheets("Randbedingungen").[H7] 'Innentemperatur

tempaussen = Sheets("Randbedingungen").[V7] 'Außentemperatur

'Deklarieren der Hilfsfelder

Dim Mark(20)

Dim sd(15)

Dim l(15)

Dim sdx(15)

Dim anfang(15)

Dim statio(15000)

Dim statioprint(160)

'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen" falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

Sheets("Berechnungs Optionen").Select

If [L19] <> Falsch Then Tabelle8.Ausgabenverteilung

'säubern(Löschen überflüssiger dx aus der Tabelle)

If [B3] = "-" Or [D3] = 0 Then [P3] = 0: [M3] = 0

If [B4] = "-" Or [D4] = 0 Then [P4] = 0: [M4] = 0

If [b5] = "-" Or [D5] = 0 Then [p5] = 0: [M5] = 0

If [b6] = "-" Or [D6] = 0 Then [p6] = 0: [M6] = 0

If [B7] = "-" Or [D7] = 0 Then [p7] = 0: [M7] = 0

If [b8] = "-" Or [D8] = 0 Then [p8] = 0: [M8] = 0

If [b9] = "-" Or [D9] = 0 Then [p9] = 0: [M9] = 0

If [b10] = "-" Or [D10] = 0 Then [p10] = 0: [M10] = 0

If [b11] = "-" Or [D11] = 0 Then [p11] = 0: [M11] = 0

If [b12] = "-" Or [D12] = 0 Then [p12] = 0: [M12] = 0

If [b13] = "-" Or [D13] = 0 Then [p13] = 0: [M13] = 0

If [b14] = "-" Or [D14] = 0 Then [p14] = 0: [M14] = 0

If [b15] = "-" Or [D15] = 0 Then [p15] = 0: [M15] = 0

If [b16] = "-" Or [D16] = 0 Then [p16] = 0: [M16] = 0

If [b17] = "-" Or [D17] = 0 Then [p17] = 0: [M17] = 0

schichtanz = [a18] ' Anzahl der Eingegebenen Material-Schichten

wdw = [f18] ' 1/ GroßLamnda = summe über alle s/lamnda

k = 1 / (rai + wdw + raa) 'k Wert

dt = tempinnen - tempaussen 'Delta T

q = k * (dt) 'Wärmemenge Q

Cells(32, 21) = q

'Zuordnen der Stoffwerte zu den Schichten um sie in der Schleife Verwenden zu können

For i = 1 To [a18]

sdX(i) = Cells(i + 2, 14) 'dx Ausgabe

l(i) = Cells(i + 2, 6) ' Lamnda

sd(i) = Cells(i + 2, 4) ' dicke der Schicht

Next i

'Berechnen der Temperaturen an jedem äußeren Rand jeder Schicht

'T am Rand innen

statio(0) = [tempinnen]

statio(1) = statio(0) - q * rai

T = statio(1)

'T im Feld

For i = 2 To 30

If schichtanz + 1 < i Then GoTo 20

li = l(i - 1)

sdi = sd(i - 1) / 100

If sd(i - 1) = 0 And l(i - 1) <> 0 Then Mark(i - 1) = 1: sdi = 1 'Markierung eines Vorhandenen Wärmeübergangs

statio(i) = T - (q * sdi / li)

T = statio(i)

Next i

'T am Rand außen

20

statio(i) = T - q * raa

T = statio(i)

'Vorbereiten der Ausgabewerte

'Zuordnen der Schichtanzahl der Materialien

ssdx = [N18] ' Summe aller Schichten

anfang(0) = 0

For i = 1 To 15

anfang(i) = sdx(i) + vorgänger

vorgänger = anfang(i)

Next i

'Lineares Füllen der Zwischenwerte der berechneten Randtemperaturen

For i = 1 To schichtanz

n = i

T = statio(i)

anfang1 = anfang(i)

statioprint(anfang(i - 1) + 1) = statio(i)

If sdx(i) = 0 Then statioprint(anfang(i - 1) + 1) = statio(i): GoTo 10

For x = 2 To sdx(i)

statioprint(anfang(i - 1) + x) = T - (statio(i) - statio(i + 1)) / (sdx(i) - 1)

T = statioprint(anfang(i - 1) + x)

Next x

10

Next i

'Zusatzfunktion (-stationäre Temperaturverteilung als
Anfangstemperaturverteilung-)

If Sheets("Berechnungs Optionen").[P32] = "stat" And [O19] = 2 Then

```
For i = 1 To ssdx  
tov(i) = statioprint(i)  
Next i  
End If
```

'Ausgabe im Arbeitsblatt Ausgabewerte

```
For i = 1 To ssdx '  
Sheets("Ausgabewerte").Cells(7, i + 4) = statioprint(i)  
Next i  
  
End Sub
```

Das Test-Modul aus DynaTest

Dieses Modul ist aus dem Programmsystem DynaTest und wurde zu Test und nachweiszwecken Programmiert.

Sub INSTATEXPLIZIT()

'experimentelles Testprogramm zur Berechnung

'verschiedener Varianten der instationären Temperaturverteilung

'von n Schichten mit Wärmeübergang zwischen den Schichten

'und an den aussenwänden

'explizites Differenzenverfahren

'Temperaturfeld tnv

'teilweise Integration

'Temperaturfeld tntwint

'implizites Verfahren

'Temperaturfeld timp

'ein virtueller Abschnitt pro Schicht

'Berechnung der Strahlung in einem Keramikplättchen (Punkt 6)

'mit und ohne Berücksichtigung der kapazitiven Korrektur (Punkt 6)

' diese Schalter sind zu setzen für die unterschiedlichen Tests

' kapazitiveKorrektur = 1

' Keramik = 0 twint tneu mit kapazitiver Korrektur in den Rändern,
Berechnung beliebiger Bauteile

' kapazitiveKorrektur = 1

' Keramik = 1 twint tneu mit kapazitiver Korrektur für die spezielle Keramik
nach [36]

kapazitiveKorrektur = 1 ' 1 oder 0 das implizite Verfahren rechnet nicht mit
kapazitiver Korrektur

Keramik = 0 ' 1 Oder 0

Sheets("Berechnungs Optionen").Select 'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen" falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

If [L19] <> Falsch Then Tabelle8.Ausgabenverteilung

genauigkeit = Tabelle8.[O19]

If genauigkeit = 2 Then Tabelle8.Makro1

If [r20] <> Falsch Then [P20] = [v18]

If [P20] < 0.05 Then MsgBox " Sie haben dt kleiner sehr klein gewählt hieraus entstehen in den meisten fällen sehr lange rechenzeiten! Für vorzeitiges Abbrechen drücken sie hiernach ESC!"

If [L25] + [M25] + [N25] < 45 Then MsgBox "FEHLER! Überprüfen Sie alle Fehler Felder in diesem Blatt und im Blatt Wandaufbau!" ': GoTo abbruchBehandlung

If [N18] > 150 And [L19] = Falsch Then MsgBox "Achtung zu viele Schichten für die Ausgabe wählen sie dx für die Ausgabe entsprechend größer bzw. Schalten sie auf automatische Ausgabenverteilung!" ': GoTo abbruchBehandlung

'On Error GoTo abbruchBehandlung

'Application.EnableCancelKey = xlErrorHandler

,

'alte Werte Löschen

Sheets("Ausgabewerte").Select

[a16] = 5

[a16].Select

Selection.SpecialCells(xlCellTypeConstants, 1).Select

Application.CutCopyMode = False

Selection.ClearContents

[a16] = 5

Sheets("Berechnungs Optionen").Select 'Wählt Arbeitsblatt "Berechnungs Optionen" falls das Modul aus einem anderen Blatt gestartet wird

'alte Werte Löschen

Cells(33, 20) = "-" ' q löschen

Tabelle2.Auftreffende_Strahlungsenergien

Tabelle8.Select

Tabelle8.anfangstemp

Range("V1").Select 'Positionierung des sichtbaren Bereichs

If [R21] <> Falsch Then [P21] = Sheets("Randbedingungen").[B4]

If [L31] <> Falsch Then [M32] = Sheets("Randbedingungen").[B1]

Randbedingungsintervall = Sheets("Randbedingungen").[B1] * 24 * 3600 / [P20]

Cells(26, 18) = Time 'Startzeit

Ausgabeintervall = [M32] * 24 * 3600 / [P20]

Animation = Cells(30, 12)

Ausgabewerte = Cells(29, 12)

konstante_Randbedinungen_innen = Sheets("Randbedingungen").[D4]

konstante_Randbedinungen_Außen = Sheets("Randbedingungen").[R4]

If konstante_Randbedinungen_Außen And konstante_Randbedinungen_innen
<> Falsch Then Tabelle8.stationärlose Else

'Variablenzuordnung

'Bereitstellen der Parameter

schichtanzahl = [a18] 'ermittel aus schichttabelle

zeitschritte = [P22]

summe_Anzeige_dx = [N18] 'Summe der Schichten für die Ausgabe

Max = [Q18]

Dim Ausgabe_tnv()

ReDim Ausgabe_tnv(summe_Anzeige_dx + 10)

Dim Ausgabe_ttwint()

ReDim Ausgabe_ttwint(summe_Anzeige_dx + 10)

Dim Ausgabe_timp()

ReDim Ausgabe_timp(summe_Anzeige_dx + 10)

'Anfangsrandbedingungen aus "Randbedingungen"

tempinnen = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 8)

```
tempaussen = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 22)
alpha_i = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 7)
alpha_a = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 21)
Strahlungsenergie_i = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 12)
Strahlungsenergie_a = Sheets("Randbedingungen").Cells(7, 26)
T = Sheets("Randbedingungen").[B7] 'Startzeit
tani = Sheets("Randbedingungen").[B7] 'Startzeit
dT = Sheets("Berechnungs Optionen").[M32] ' dt Ausgabe
delta_t = Sheets("Berechnungs Optionen").[P20]
delta_t_berechnung = delta_t
Dim r() As Double
Dim ra() As Double
Dim F() As Double
Dim b() As Double
Dim tov() As Double, tnv() As Double
Dim totwint() As Double, tntwint() As Double
Dim timp() As Double, dimp() As Double, aimp() As Double, bimp() As Double,
cimp() As Double
Dim limp() As Double, mimp() As Double

Dim lcrxx() As Double ' enthält lamda/(c*rho*dx*dx) für jede Schicht in twint

Dim indexanfv(), indexendv()
Dim q() As Double

Dim s_Anzeige(15)
Dim Anzeige_dx(15)
Dim s_Berechnung(15)
Dim sdx(15)
Dim sd(15)
Dim l(15)
```

If Cells(3, 8) = 0 Then as_zahl_i = 0.7 Else as_zahl_i = Cells(3, 8)

If Cells(schichtanzahl + 2, 8) = 0 Then as_zahl_a = 0.7 Else as_zahl_a = Cells(schichtanzahl + 2, 8)

For i = 1 To [a18]

sd_x(i) = Cells(i + 2, 16) ' dx Berechnung

l(i) = Cells(i + 2, 6) ' Lamda

sd(i) = Cells(i + 2, 4) ' Dicke der Schicht

Next i

w = 0 'Zähler für Widerstände Alpha (Wärmeübergänge)

For i = 2 To schichtanzahl

If sd(i) = 0 And l(i) <> 0 Then w = w + 1

Next i

ReDim r(schichtanzahl - w) 'Widerstände der Schichten

ReDim ra(schichtanzahl - w + 1) 'aussere und innere
Wärmeübergangswiderstände

ReDim indexanfv(schichtanzahl - w) 'Anfangsindex der Schicht

ReDim indexendv(schichtanzahl - w) 'Endindex der Schicht

ReDim F(schichtanzahl - w) 'Faktoren zu den Schichten

ReDim b(schichtanzahl - w)

ReDim lcrxx(schichtanzahl - w) ' für twint

z = 1

For i = 2 To schichtanzahl - w

z = z + 1

If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then ra(i) = 1 / l(z): z = z + 1

Next i

ra(1) = 1 / alpha_i '1/alpha_i

ra(schichtanzahl - w + 1) = 1 / alpha_a '1/alpha_a

' Indexe für absolute Berechnungsschicht dx vom Anfang entfernt

```
indexanfv(1) = 1
```

```
anf = indexanfv(1)
```

```
ende = indexendv(1)
```

```
ende = 0
```

```
z = 0
```

```
For i = 1 To schichtanzahl - w
```

```
    z = z + 1
```

```
    If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then z = z + 1
```

```
    indexendv(i) = ende + Cells(2 + z, 17) + 1
```

```
    If i < schichtanzahl - w Then indexanfv(i + 1) = indexendv(i) + 1
```

```
    ende = indexendv(i)
```

```
Next i
```

```
ReDim tov(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim tnv(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim q(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim tntwint(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim totwint(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim timp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim aimp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim bimp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim cimp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim dimp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim limp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
ReDim mimp(indexendv(schichtanzahl - w))
```

```
z = 0
```

```
For i = 1 To schichtanzahl - w
```

```
    z = z + 1
```

```
    If sd(z) = 0 And l(z) <> 0 Then z = z + 1
```

```
    r(i) = Cells(2 + z, 16) * 0.01 / l(z) ' dx1/lamda1
```

```
    F(i) = Cells(2 + z, 21) 'F-Modul
```

```
rhoaussen = Cells(2 + z, 5) ' Stoffwerte der äusseren Schicht
caussen = Cells(2 + z, 9)
sdxaussen = Cells(2 + z, 16)
lcrxx(i) = F(i) / delta_t ' für twint lcrxx=lamda/(c* rho*dx*dx)
b(i) = 2 * F(i) - 1# ' Faktor
s_Berechnung(i) = Cells(z + 2, 17)
s_Anzeige(i) = Cells(z + 2, 14)
Next i
```

'Anfangstemperaturen für alle Verfahren

```
Anfangstemperatur = [P32]
For i = 1 To indexendv(schichtanzahl - w)
    tov(i) = Anfangstemperatur
    totwint(i) = Anfangstemperatur
    timp(i) = Anfangstemperatur
    tntwint(i) = Anfangstemperatur
Next i
```

```
For i = 1 To schichtanzahl - w
    For j = indexanfv(i) + 1 To indexendv(i) - 1
        cimp(j - 1) = -1
        aimp(j) = 2 * (1 / F(i) + 1)
        bimp(j) = -1
    Next j
Next i
cc = (l(1) / (alpha_i * sdx(1) * 0.01)) 'lamda/(alpha*dx)
aimp(1) = 1 + cc
bimp(1) = -cc
cc = (l(schichtanzahl) / (alpha_a * sdx(schichtanzahl) * 0.01)) 'lamda/(alpha*dx) +
Q/alpha_a
maxv = indexendv(schichtanzahl - w)
cimp(maxv - 1) = -cc 'bhcc
aimp(maxv) = 1 + cc ' --
```

'jetzt innere Übergänge

```
For j = 1 To schichtanzahl - w - 1
dimp(indexendv(j)) = 0
dimp(indexanfv(j + 1)) = 0
If (ra(j + 1) = 0) Then ra(j + 1) = r(j) / 1000
cimp(indexendv(j) - 1) = -ra(j + 1) / (r(j))
cimp(indexanfv(j + 1) - 1) = -1
aimp(indexendv(j)) = 1 + ra(j + 1) / (r(j))
aimp(indexanfv(j + 1)) = 1 + ra(j + 1) / (r(j + 1))
bimp(indexendv(j)) = -1
bimp(indexanfv(j + 1)) = -ra(j + 1) / (r(j + 1))
Next j
```

' alle Initialisierungen abgeschlossen

.....

```
For n = 1 To zeitschritte
```

' Einlesen der neuen Randbedingungen!

```
If ((n Mod Randbedingungsintervall) = 0) Then
zeitzähler = zeitzähler + 1
If konstante_Randbedingungen_innen <> Falsch Then GoTo 77
    tempinnen = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 8)
    alphai = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 7)
    Strahlungsenergie_i = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 10)
77
If konstante_Randbedingungen_Außen <> Falsch Then GoTo 88
    tempausen = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 22)
    alphaa = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 21)
    Strahlungsenergie_a = Sheets("Randbedingungen").Cells(zeitzähler + 7, 24)
88
End If
```

' berechnung der inneren temperaturwerte

For i = 1 To schichtanzahl - w

FF = F(i)

bb = b(i)

iend = indexendv(i) - 1

For j = indexanfv(i) + 1 To iend

tnv(j) = FF * (tov(j + 1) + tov(j - 1)) - bb * tov(j) ' explizite Methode mit virtuelle Schicht

tntwint(j) = (tntwint(j) - (tntwint(j + 1) + tntwint(j - 1)) / 2) * Exp(-2 * delta_t * lcrxx(i)) + (tntwint(j + 1) + totwint(j - 1)) / 2

' tntwint(j-1) enthält schon neuen Temperaturwert (außer j=2)

' das ergibt nach Johannsen bessere Ergebnisse

Next j

Next i

' alle nicht rand und nicht übergangstemperaturen berechnet

' erste Randtemperatur explizit und twint

cc = (l(1) / (alpha1 * sdx(1) * 0.01)) 'lamda/(alpha*dx)

maxv = indexendv(schichtanzahl - w)

If kapazitiveKorrektur <> 1 Then

tnv(1) = (tnv(2) * cc + tempinnen + as_zahl_i * Strahlungsenergie_i / alpha1) / (1# + cc)

tntwint(1) = (tntwint(2) * cc + tempinnen + as_zahl_i * Strahlungsenergie_i / alpha1) / (1# + cc)

' letzte Randtemperatur explizit und twin

cc = (l(schichtanzahl) / (alphaa * sdx(schichtanzahl) * 0.01))

tnv(maxv) = (tnv(maxv - 1) * cc + tempaussen + as_zahl_a * Strahlungsenergie_a / alphaa) / (1# + cc)

tntwint(maxv) = (tntwint(maxv - 1) * cc + tempaussen + as_zahl_a * Strahlungsenergie_a / alphaa) / (1# + cc)

Else

' von hier kapazitive Korrektur der Randtemperaturen

' nur für tnv und twint !!

sigma = 0.00000005669

epsilon = 0.8

' erste Randtemperatur

If Keramik = 1 Then

fa = 0# ' ohne Übergänge

strahlunginnen = sigma * epsilon * (293# ^ 4 - (tov(1) + 273) ^ 4) - 1.92 * 293 *
(tov(1) + 273 - 293#) ^ 0.25

strahlungausen = sigma * epsilon * (1273# ^ 4 - (tov(maxv) + 273) ^ 4)

tempinnen = 0 ' keine weiteren Einflüsse

tempausen = 0

Else

fa = 1# ' mit Übergänge

strahlunginnen = as_zahl_i * Strahlungsenergie_i

strahlungausen = as_zahl_a * Strahlungsenergie_a

End If

rschicht = sdx(1) * 0.01 / l(1)

ralpha = 1# / alphas

rc = 2# * delta_t_berechnung / (Cells(3, 5) * Cells(3, 9) * sdx(1) * 0.01)

tnv(1) = (tov(1) / rc + tnv(2) / rschicht + fa * tempinnen / ralpha + strahlunginnen)
/ (1# / rschicht + 1# / rc + fa * 1# / ralpha)

tntwint(1) = (totwint(1) / rc + tntwint(2) / rschicht + fa * tempinnen / ralpha +
strahlunginnen) / (1# / rschicht + 1# / rc + fa * 1# / ralpha)

' letzte Randtemperatur

rschicht = sdx(schichtanzahl) * 0.01 / l(schichtanzahl)

ralpha = 1# / alphas

rc = 2# * delta_t_berechnung / (rhoausen * caussen * sdxausen * 0.01)

tnv(maxv) = (tov(maxv) / rc + tnv(maxv - 1) / rschicht + fa * tempausen / ralpha
+ strahlungausen) / (1# / rschicht + 1# / rc + fa * 1# / ralpha)

tntwint(maxv) = (totwint(maxv) / rc + tntwint(maxv - 1) / rschicht + fa *
tempausen / ralpha + strahlungausen) / (1# / rschicht + 1# / rc + fa * 1# /
ralpha)

' bis hier kapazitive Korrektur

End If

' jetzt die inneren Übergänge explizit und twint

For j = 1 To schichtanzahl - w - 1

tnv(indexendv(j)) = tnv(indexendv(j) - 1) + (r(j) * (tnv(indexanfv(j + 1) + 1) - tnv(indexendv(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))

tnv(indexanfv(j + 1)) = tnv(indexanfv(j + 1) + 1) - (r(j + 1) * (tnv(indexanfv(j + 1) + 1) - tnv(indexendv(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))

tntwint(indexendv(j)) = tntwint(indexendv(j) - 1) + (r(j) * (tntwint(indexanfv(j + 1) + 1) - tntwint(indexendv(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))

tntwint(indexanfv(j + 1)) = tntwint(indexanfv(j + 1) + 1) - (r(j + 1) * (tntwint(indexanfv(j + 1) + 1) - tntwint(indexendv(j) - 1))) / (r(j) + r(j + 1) + ra(j + 1))

Next j

' jetzt implizit

' Füllen der Felder

' erst mal innere Feldelemente

For i = 1 To schichtanzahl - w

FF = F(i) ' Fourier-Faktor

iend = indexendv(i) - 1

For j = indexanfv(i) + 1 To iend

dimp(j) = -(timp(j - 1) + 2 * (1 / FF - 1) * timp(j) + timp(j + 1))

Next j

Next i

' danach linker Rand

dimp(1) = -(tempinnen - Strahlungsenergie_i / alpha_i)

' jetzt rechter rand

dimp(maxv) = -(tempaussen + Strahlungsenergie_a / alpha_a)

' alle Anfangsmatrixwerte berechnet

' jetzt los Schwarz Seite 47 ff

mimp(1) = aimp(1)

For i = 1 To maxv - 1

limp(i) = cimp(i) / mimp(i)

mimp(i + 1) = aimp(i + 1) - limp(i) * bimp(i)

Next i

```
timp(1) = dimp(1)
For i = 2 To maxv
timp(i) = dimp(i) - limp(i - 1) * timp(i - 1)
Next i
timp(maxv) = -timp(maxv) / mimp(maxv)
For i = maxv - 1 To 1 Step -1
timp(i) = -(timp(i) + bimp(i) * timp(i + 1)) / mimp(i)
Next i
' implizit fertig!!!
' alle neuen Temperaturen berechnet

'Werte ins told-Feld für Neuberechnung übertragen
For i = 1 To indexendv(schichtanzahl - w)
    tov(i) = tnv(i)
    totwint(i) = tntwint(i)
Next i

'Berechnen der Verteilung der Berechneten Werte in tnv für die Ausgabe auf die
fesgelegte Anzahl von Werten
If (((n Mod Ausgabeintervall) = 0) Or (n = CLng(zeitschritte))) Then 'bh
.....

fakkor = 0
pixel = 1
For j = 1 To schichtanzahl - w
    fak = s_Anzeige(j) / s_Berechnung(j)
    fakint = 0
    For i = 1 To fak / 2
        fakint = fakint + 1
        Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexanfv(j))
        Ausgabe_ttwint(pixel) = tntwint(indexanfv(j))
        Ausgabe_timp(pixel) = timp(indexanfv(j))
        pixel = pixel + 1
    Next i
```

```
fakkor = fakkor + fak / 2 - fakint
For k = 1 To s_Berechnung(j) - 1   'indexanfv(j) + 1 To indexendv(j) - 1
  i = 1
  fakint = 0
  Do While (i < (fakkor + fak))
    fakint = fakint + 1
    Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexanfv(j) + k)
    Ausgabe_ttwint(pixel) = tntwint(indexanfv(j) + k)
    Ausgabe_timp(pixel) = timp(indexanfv(j) + k)
    pixel = pixel + 1
    i = i + 1
  Loop
  fakkor = fakkor + fak - fakint
Next k
i = 1
fakint = 0
Do While (i < (fakkor + fak / 2))
  fakint = fakint + 1
  Ausgabe_tnv(pixel) = tnv(indexendv(j))
  Ausgabe_ttwint(pixel) = tntwint(indexendv(j))
  Ausgabe_timp(pixel) = timp(indexendv(j))
  pixel = pixel + 1
  i = i + 1
Loop
fakkor = fakkor + fak / 2 - fakint
Next j
End If
```

.....

'Animierte Ausgabe?

If Animation = Falsch Then GoTo 10000

If ((n Mod Ausgabeintervall) = 0 Or n = CLng(zeitschritte)) Then

```
tani = tani + dT
trelativ = trelativ + dT
Cells(27, 16) = trelativ
Cells(29, 15) = tani
Cells(29, 16) = n
For i = 1 To summe_Anzeige_dx
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(6, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(5, i + 4) = Ausgabe_timp(i)
Sheets("Ausgabewerte").Cells(4, i + 4) = Ausgabe_ttwint(i)
Next i
```

'Fügt eine notwendige Pause ein das Excel das Diagramm erzeugen kann

```
Dim Pausenlänge, Start, Gesamtdauer
Pausenlänge = 1 ' Dauer festlegen.
Start = Timer ' Anfangszeit setzen.
Do While Timer < Start + Pausenlänge
    DoEvents ' Steuerung an andere Prozesse
    ' abgeben.
Loop
End If
10000
```

' Ausgabe in Ausgabewerte

```
If Ausgabewerte = Falsch Then GoTo 1000000
If ((n Mod Ausgabeintervall) = 0 Or n = CLng(zeitschritte)) Then
    zähler = zähler + 1
    T = T + dT
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 3) = T
    Cells(29, 16) = n
    For i = 1 To summe_Anzeige_dx
        Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)
        Sheets("Ausgabewerte").Cells(5, i + 4) = Ausgabe_timp(i)
    Sheets("Ausgabewerte").Cells(4, i + 4) = Ausgabe_ttwint(i)
```

Next i

'erstmal nur ani ausgabe später mit in ausgabeblatt übernehmen

qtest_i = l(1) * ((tnv(1) - tnv(2)) / (sdx(1) / 100))

Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 1) = qtest_i 'q(0)

summe_q_i = summe_q_i + qtest_i * Sheets("Ausgabewerte").Cells(20, 2)

q(maxv) = alphaa * -(tnv(maxv) - tempaussen) + as_zahl_a *
Strahlungsenergie_a

qtest_a = l(schichtanzahl) * ((tnv(maxv) - tnv(maxv - 1)) / (sdx(schichtanzahl) /
100))

Sheets("Ausgabewerte").Cells(29 + zähler, 2) = qtest_a 'q(maxv)

summe_q_a = summe_q_a + qtest_a * Sheets("Ausgabewerte").Cells(20, 2)

End If

1000000

Next n

'letzte Ausgabe

Sheets("Ausgabewerte").[A27] = summe_q_i

Sheets("Ausgabewerte").[B27] = summe_q_a

Cells(29, 16) = n '

Cells(27, 18) = Time '

For i = 1 To summe_Anzeige_dx

Sheets("Ausgabewerte").Cells(6, i + 4) = Ausgabe_tnv(i)

Sheets("Ausgabewerte").Cells(5, i + 4) = Ausgabe_timp(i)

Sheets("Ausgabewerte").Cells(4, i + 4) = Ausgabe_ttwint(i)

Next i

GoTo ende

abbruchBehandlung:

If Err = 18 Then

 MsgBox "Sie haben den Vorgang abgebrochen."

End If

ende:

End Sub

Anhang C) Berechnung der auf die Wand treffenden Strahlungsenergie Q_s aus [57]

In [57] wird ein gut geeignetes und ausgezeichnet erläutertes System von Formeln angegeben, welches hier übernommen¹ wird. Mit Hilfe dieser Formeln kann in einer Funktion weniger Größen, die auftreffende Sonnenstrahlungsenergie auf eine beliebig orientierte Fläche berechnet werden. Es ist jedoch darauf zu achten, dass der Einfluss der Verschattung (Verhinderung des Auftreffens von Strahlungsenergien durch „Fremdkörper“) manuell berücksichtigt werden muss!

$G_{\text{tot}} = F(\text{Datum, Uhrzeit, geographische Länge, geographische Breite, Trübung, Reflektion, Flächenorientierung})$

Bei dieser Berechnung werden verschiedene Einflussfaktoren vernachlässigt. Diese sind Unregelmäßigkeiten im Zusammenhang mit Schaltjahren, Änderung der Deklination während eines Tages, Präzisionsbewegung der Erdachse sowie Störeinflüsse anderer Planeten. Die fallweise Abweichung von einigen Minuten beim Sonnenstand ist auf die Vereinfachungen der Berechnung zurückzuführen. Im Weiteren ist zu beachten, dass der ganze Formelapparat auf den Mittelpunkt der Sonne bezogen ist. Aus diesem Grund erfolgt der Strahlungsintensitätsverlauf beim Sonnenaufgang nicht kontinuierlich, sondern sprunghaft. Diese Näherungen sind für bauphysikalische Zwecke aber ausreichend.

¹ Der gefälligen Lesbarkeit wegen wurden einige grammatische und orthographische Fehler korrigiert. Aus themenspezifischen Gründen wurde einige Absätze wenig verändert. Vgl. [54]

Theorie der Sonneneinstrahlung

von Prof.M. Trawnika / A.Wirz

Einführung

Bei der Sonne handelt es sich um eine autonome Energiequelle (Fixstern), die kontinuierlich eine konstante Strahlungsmenge abstrahlt. Energielieferant ist der im Inneren der Sonne, bei sehr hohen Temperaturen (~ 15 Mio K) ablaufende Fusionsprozess. Die Oberflächentemperatur der Sonne beträgt ungefähr 5600K, wobei die gasförmige Sonnenhülle annähernd als schwarzer Strahler betrachtet werden kann.

Laut heutigen Berechnungen wird die Sonne in etwa fünf Milliarden Jahren verglüht sein.

Die Sonnenstrahlung hat also, neben dem sichtbaren Licht, eine langwellige Komponente im Infrarotwellenbereich. In diesen Teil fallen 50% der Strahlungsenergie. Im weiteren hat die Sonnenstrahlung noch eine kurzwellige Komponente (Ultraviolett- und Röntgenstrahlung).

Die aussen auf die Atmosphäre gelangende Sonnenstrahlung erreicht nur zum Teil die Erdoberfläche. Je nach Zusammensetzung der Luftschichten (Bewölkung, Verschmutzung) werden unterschiedliche Anteile der Strahlung reflektiert, absorbiert oder durchgelassen. Die Aufteilung ist noch sehr stark abhängig vom Wellenbereich. Da die Luftzusammensetzung je nach Ort und Zeit stark differiert, ist eine exakte Beschreibung sehr schwierig. Aus diesem Grund beruhen die meisten Ansätze zur Beschreibung der Strahlungsaufteilung auf empirischen Modellen.

In der Bauphysik haben sich folgende Strahlungsbegriffe eingebürgert.

Direktstrahlung : Der Strahlungsanteil, der auf direktem Weg die Erdoberfläche erreicht. Die Zeit, während welcher die Direktstrahlung den Wert von 200W/m^2 überschreitet, wird als Sonnenscheindauer bezeichnet.

Reflexionsstrahlung : Die Reflexionsstrahlung entsteht durch die Reflektion der direkten Strahlung an Objekten (Erdoberfläche, Gebäude). Das Reflexionsvermögen ist stark von der Oberflächenbeschaffenheit des Körpers abhängig(Albedowert).

Himmelsstrahlung : Die Himmelsstrahlung ist die kurzwellige Strahlung, die an Dunst und Wolken reflektiert wird.

Atmosphärische Direktstrahlung : Die absorbierte Strahlungsmenge erwärmt die Luftschichten. Diese strahlen nun ihrerseits langwellige Strahlung ab. Es handelt sich um die Eigenstrahlung der Atmosphäre. Diese ist von der Sonnenstrahlung unabhängig, denn auch die Erde strahlt Wärme ab, die zum Teil von der Atmosphäre absorbiert wird.

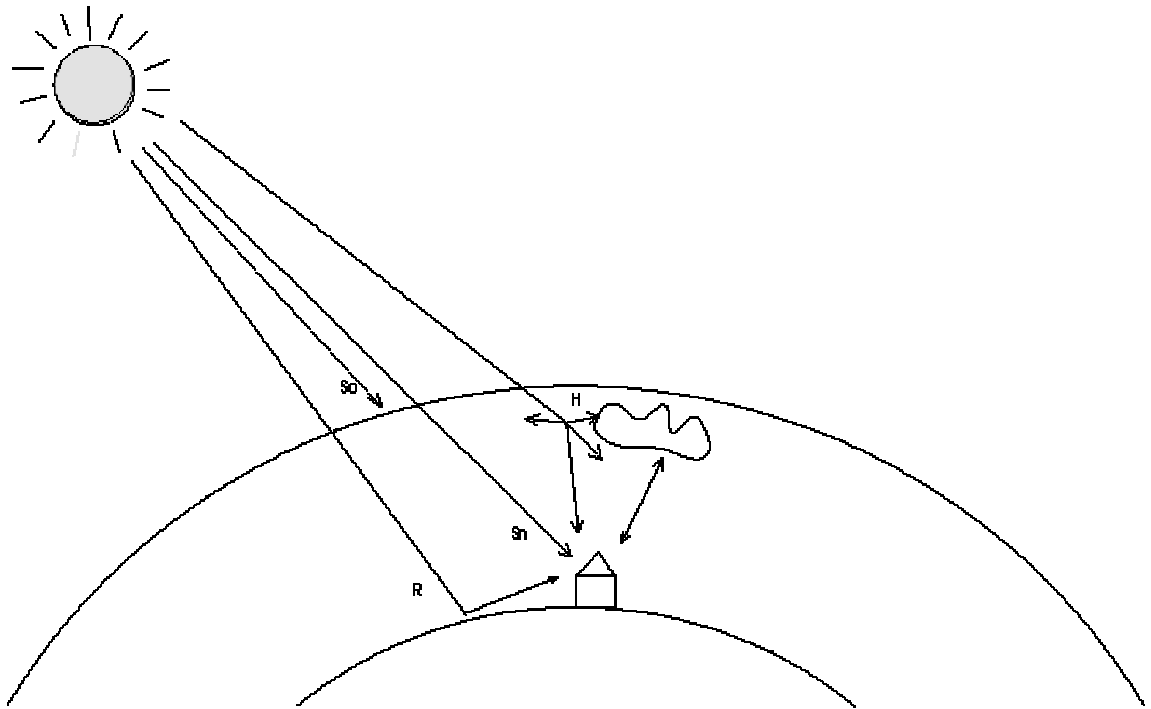
Bei den weiteren Betrachtungen wird diese Strahlungsart vernachlässigt.

Globalstrahlung: Direkt- + Reflexions- + Himmelsstrahlung, die kurzwellige Gesamtstrahlung auf eine Fläche

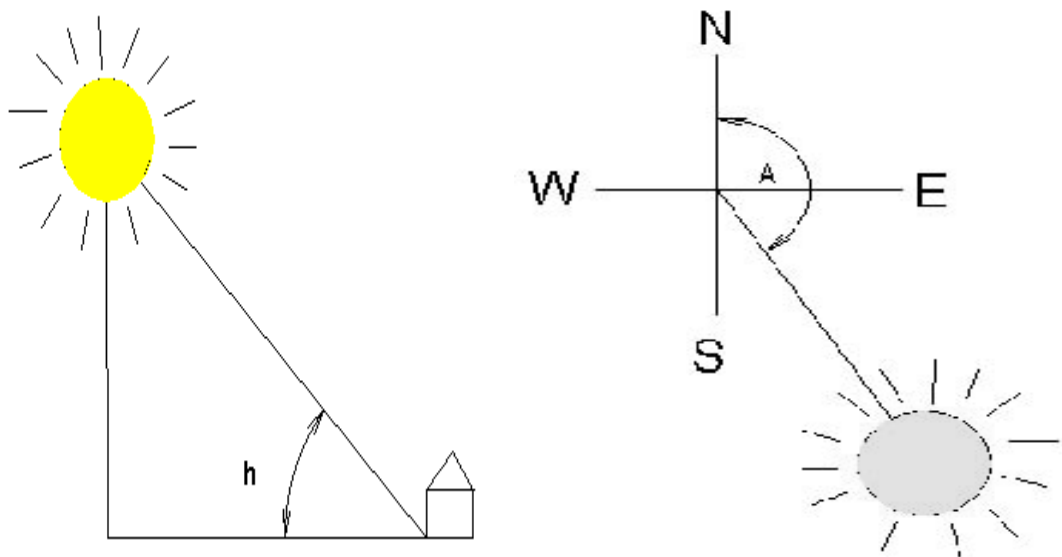
Diffusstrahlung: Reflexions- + Himmelsstrahlung, kurzwellige Strahlung, die auf indirektem Weg auf eine Fläche gelangt

Geometrie Sonne-Erde

Da sich die Erde auf einer elipsenförmigen Bahn um die Sonne bewegt und die Erdachse gegenüber der Ebene, die die Erdumlaufbahn bildet, um 23.45° geneigt ist, verändern sich die Sonnenposition und die Strahlungsintensität, von einem Punkt der Erde aus gesehen, im Laufe einer Sonnenumrundung.



Berechnung der Sonnenhöhe und des Sonnenazimutes



Sonnenhöhe h Sonnenazimut A_s

Die Erde bewegt sich auf einer Ellipse um die Sonne (Keplersche Gesetze). Diese Eigenschaft beeinflusst die Sonnenhöhe und den Sonnenazimut. Diese Größen beschreiben den Tagesverlauf der Sonne am Horizont.

Zur Berechnung dieser müssen noch verschiedene Einflussgrößen bestimmt werden.

Eklptikale Länge der Erde; Man versteht darunter den Winkel, den die Verbindung Sonne-Erde mit der Richtung zum Frühlingspunkt einschließt. Der Frühlingspunkt ist jener Punkt am Himmelsgewölbe, in dem die Sonne von der Erde aus gesehen zum Zeitpunkt der Frühlings Tag- und Nachtgleiche (21.März) erscheint. Die eklptikale Länge φ berechnet sich:

$$\varphi = a \cdot (d - d_0) + b \cdot \sin[a \cdot (d - d_0)] + c$$

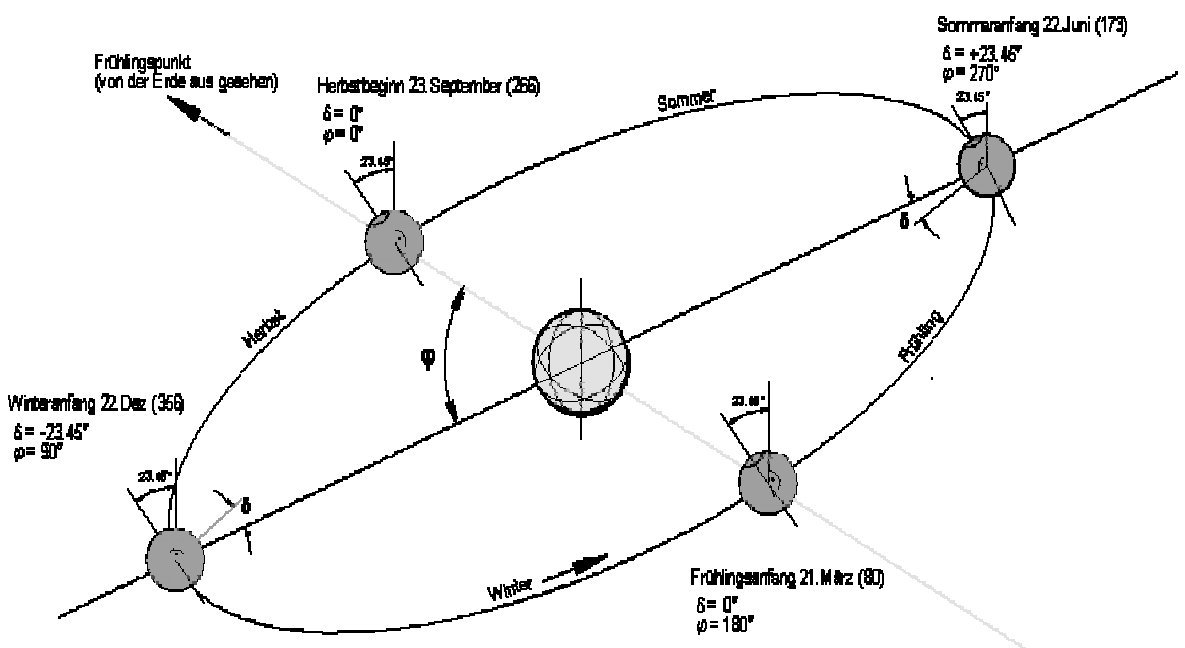
Die Faktoren a , b , c , d_0 sind unter der Annahme einer numerischen Exzentrizität von $e = 0.0167$ Konstanten. Die Herleitung erfolgt in [1]. Als Arbeitsgleichung dient die folgende Formel.

Variablen

φ = Winkel zum Frühlingspunkt

d = Jahrestag (1.Jan =1, Jahr = 365Tage)

$$\varphi = 0.98630 \cdot (d - 2.8749) + 1.9137 \cdot \sin[0.98630 \cdot (d - 2.8749)] + 102.06 \quad \{1\}$$



Deklination

Der Winkel der Verbindung Erde-Sonne zur Ellipsenebene der Erdumlaufbahn wird auch Deklination genannt. Als Randbedingung dieser Berechnung dient der Frühlingspunkt. Zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende am 21/22 Juni erreicht die Sonne, auf der Nordhalbkugel ihren höchsten Stand. Zu diesem Zeitpunkt erreicht die Deklination mit 23.45° ihren Maximalwert.

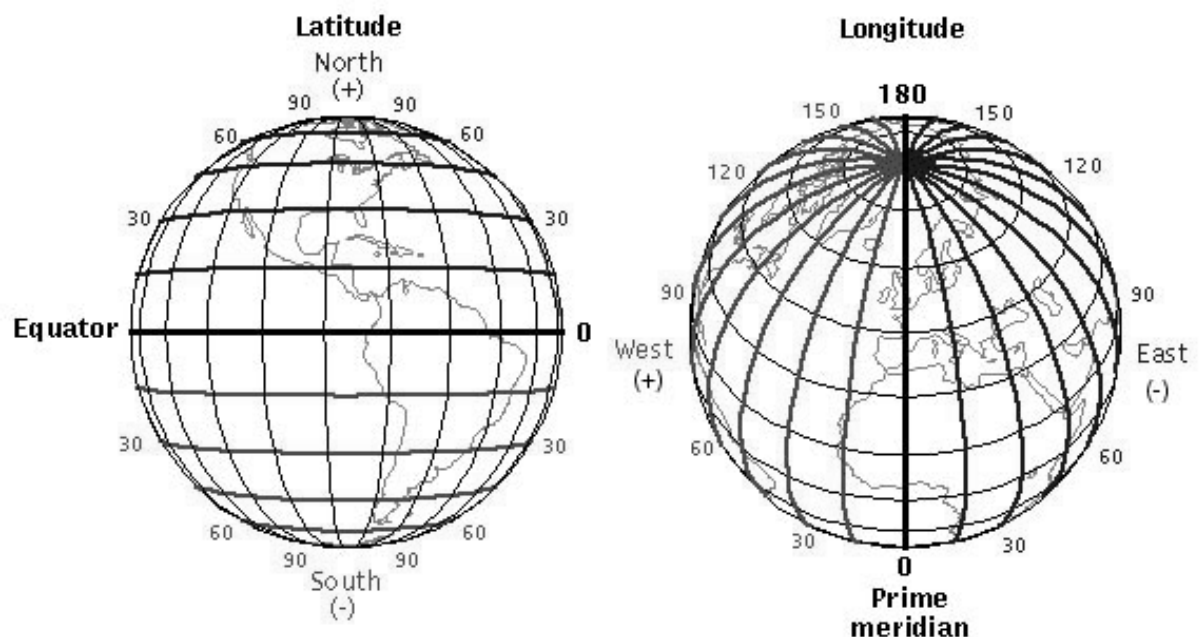
Variablen:

δ = Deklination

$$\sin(\delta) = -\sin 23.45^\circ \cdot \sin(\varphi) = -0.3979 \cdot \sin(\varphi) \quad \{2\}$$

Bei dieser Betrachtung wird die Sonnendeklination während eines ganzen Tages als konstant angenommen, im weiteren werden auch die Einflüsse von Schaltjahren nicht berücksichtigt. Nach [1] beträgt dieser Einfluss im Maximum 0.5° und kann aus diesem Grund bei der Betrachtung von bauphysikalischen Zwecken vernachlässigt werden.

Um die Sonnenintensität oder die Beschattung an einem bestimmten Ort der Erde zu einer bestimmten Tageszeit zu berechnen, ist es notwendig, Sonnenazimut und Sonnenhöhe im jeweiligen lokalen Koordinatensystem zu kennen. Zunächst muss aber noch die wahre Ortszeit berechnet werden. Diese Unterscheidung zwischen wahrer und der mittleren Ortszeit ist notwendig, um die variable Bahngeschwindigkeit und die damit verbundene unterschiedliche Länge der Sonnentage zu berücksichtigen. Die Bestimmung von z beruht auf einer empirischen Auswertung von Messwerten.



Bei Sommerzeit muss die lokale Ortszeit um eine Stunde zurückgesetzt werden.

$$\text{Sommerzeit} \Rightarrow \text{lokale_Ortszeit} = \text{lokale_Ortszeit} - 1$$

Die wahre Ortszeit errechnet sich nach den Gleichungen {3} und {4}:

Variablen:

d = fortlaufende Nummer des Tages (Beginn 1. Januar = 1)

t = Wahre Ortszeit [Stunden]

t_z = lokale Ortszeit [Stunden]

z = Zeitgleichung [Stunden]

l = geographische Länge des Ortes [Grad]

l_0 = geographische Länge des Bezugsmeridians (zur GMT-Zeit; Mitteleuropa - 15°) [Grad]

t = Umrechnungswinkel [Grad]

w = Stundenwinkel [Grad]

b = geographische Breite des Ortes [Grad]

$$\tau = \frac{360}{365} * d$$

$$z = 0.008 * \cos(\tau) - 0.122 * \sin(\tau) - 0.052 * \cos(2 * \tau) - 0.157 * \sin(2 * \tau) - 0.001 * \cos(3 * \tau) - 0.005 * \sin(3 * \tau) \{3\}$$

$$t = t_z + z + \frac{\lambda_0 - \lambda}{15} \{4\}$$

Für die weitere Berechnung wird noch der Stundenwinkel benötigt. Dieser kann über den Zusammenhang zwischen Kreis und Tagstunden errechnet werden.

$$360^\circ / 24h = 15$$

$$w = 15 * t \{5\}$$

Durch eine Koordinatentransformation für den Einheitsvektor in der Richtung der Sonne ergeben sich die Berechnungen der Sonnenhöhe und des Sonnenazimutes.

h = Sonnenhöhe

$$\sin(h) = -\cos(\delta) * \cos(\beta) * \cos(w) + \sin(\delta) * \sin(\beta) \{6\}$$

Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 90 Grad .

A_s = Sonnenazimut [Grad]

$$\sin(A_s) = \frac{\cos(\delta) * \sin(w)}{\cos(h)} \{7\}$$

Der Wertebereich liegt zwischen 0 und 360°. Da der Arcsin aber nur zwischen $\pm 90^\circ$ bestimmt ist, muss eine quadrantenweise Fallunterscheidung durchgeführt werden. Zu dieser Fallunterscheidung muss der Sonnenazimut ein zweites Mal berechnet werden und zwar zu einem Zeitpunkt $w = w + 0.001$, der resultierende Sonnenazimut wird A_1 genannt.

1. Quadrant $A_s > 0$ und $A_{s1} > A_s \Rightarrow A_s = \text{Sonnenazimut}$

2. Quadrant $A_s > 0$ und $A_{s1} < A_s \Rightarrow A_s = (180 - \text{Abs}(\text{Sonnenazimut}))$

3. Quadrant $A_S < 0$ und $A_{S1} < A_S \Rightarrow A_S = (180 + \text{Abs}(\text{Sonnenazimut}))$

4. Quadrant $A_S < 0$ und $A_{S1} > A_S \Rightarrow A_S = (360 - \text{Abs}(\text{Sonnenazimut}))$

Sonneneinstrahlung

Extraterrestrische Direktstrahlungsintensität

Unter extraterrestrischer Direktstrahlungsintensität versteht man die Strahlung, welche außen auf die Atmosphäre auftrifft.

Wegen dem variablen Abstand Erde-Sonne kann nicht ein konstanter Sonneneinstrahlungswert angegeben werden.

Mit Hilfe des in Gleichung {1} berechneten Winkels zum Frühlingspunkt kann die extraterrestrische Strahlungsintensität eines bestimmten Tages berechnet werden.

Variabelenerklärung

ε = numerische Exzentrizität der Erdumlaufbahn = 0.0167

I_0 = Solarkonstante = 1352 W/m^2

j = Winkel zum Frühlingspunkt gem. {1}

$$I = I_0 \left[1 - \varepsilon \cdot \cos(\varphi + 77.94^\circ) \right]^2 \quad \{8\}$$

Die Strahlungsintensitätsschwankung beträgt $\pm 3.34\%$ und kann somit in den meisten Fällen vernachlässigt werden.

$$I = 1352 \pm 45 \text{ W/m}^2.$$

Direkt- und horizontale Diffusstrahlung

Die extraterrestrische Strahlung schwächt sich beim Durchgang durch die Atmosphäre durch Streuung und Absorption ab. Aus diesem Grund gelangt nur ein Teil der Strahlung auf direktem Weg zur Erde. Dieser Anteil wird Direktstrahlung genannt. Vom Rest erreicht nur ein Teil die Erdoberfläche in Form von sogenannter diffuser Strahlung. Die diffuse Strahlung setzt sich aus der Himmelsstrahlung und der Reflexionsstrahlung zusammen, die letzteren beiden entstehen durch die Streuung und die Absorption des Sonnenlichtes in der Atmosphäre (Wolken). Die Aufteilung der Strahlung in Direkt- und Diffusstrahlung ist von der Trübung der Atmosphäre abhängig. In der Tabelle 1 sind übliche Werte aufgeführt. Der nachfolgend dargestellte Formelapparat erlaubt es, die Aufteilung der Strahlung für wolkenlosen Himmel zu berechnen.

Variabelenerklärung

h = Sonnenhöhenwinkel [Grad]

B = Trübungsfaktor nach Schüpp (Tabelle 1)

D_H = Diffuse Strahlung auf eine horizontale Fläche [W/m^2]

I_N = Direktstrahlung normal [W/m^2]

$$D_H = -215 * B^2 * \sin(h)^2 - 282 * B * \sin(h)^2 - 81.2 * \sin(h)^2 - 1182 * B^2 * \sin(h) + 1425 * B * \sin(h) + 104 * \sin(h) + 317 * B^2 - 8 * B + 4.3 \quad \{9\}$$

$$I_N = -13637 * B^2 * \sin(h)^2 + 8745 * B * \sin(h)^2 - 1724 * \sin(h)^2 + 9492 * B^2 * \sin(h) - 8120 * B * \sin(h) + 2524 * \sin(h) + 4864 * B^2 - 2071 * B + 192 \quad \{10\}$$

Berechnung der Einstrahlung auf eine beliebig orientierte Fläche

Direktstrahlung auf eine beliebig orientierte Fläche.

Der Einstrahlungswinkel ist der Winkel zwischen den Sonnenstrahlen und dem Normalenvektor, welcher die betrachtete Fläche repräsentiert. Die Fläche ist um den Winkel s gegenüber der Horizontalen geneigt und die Flächennormale weist in eine bestimmte Himmelsrichtung, wobei definitionsgemäß Nord = 0° und Ost 90° ist.

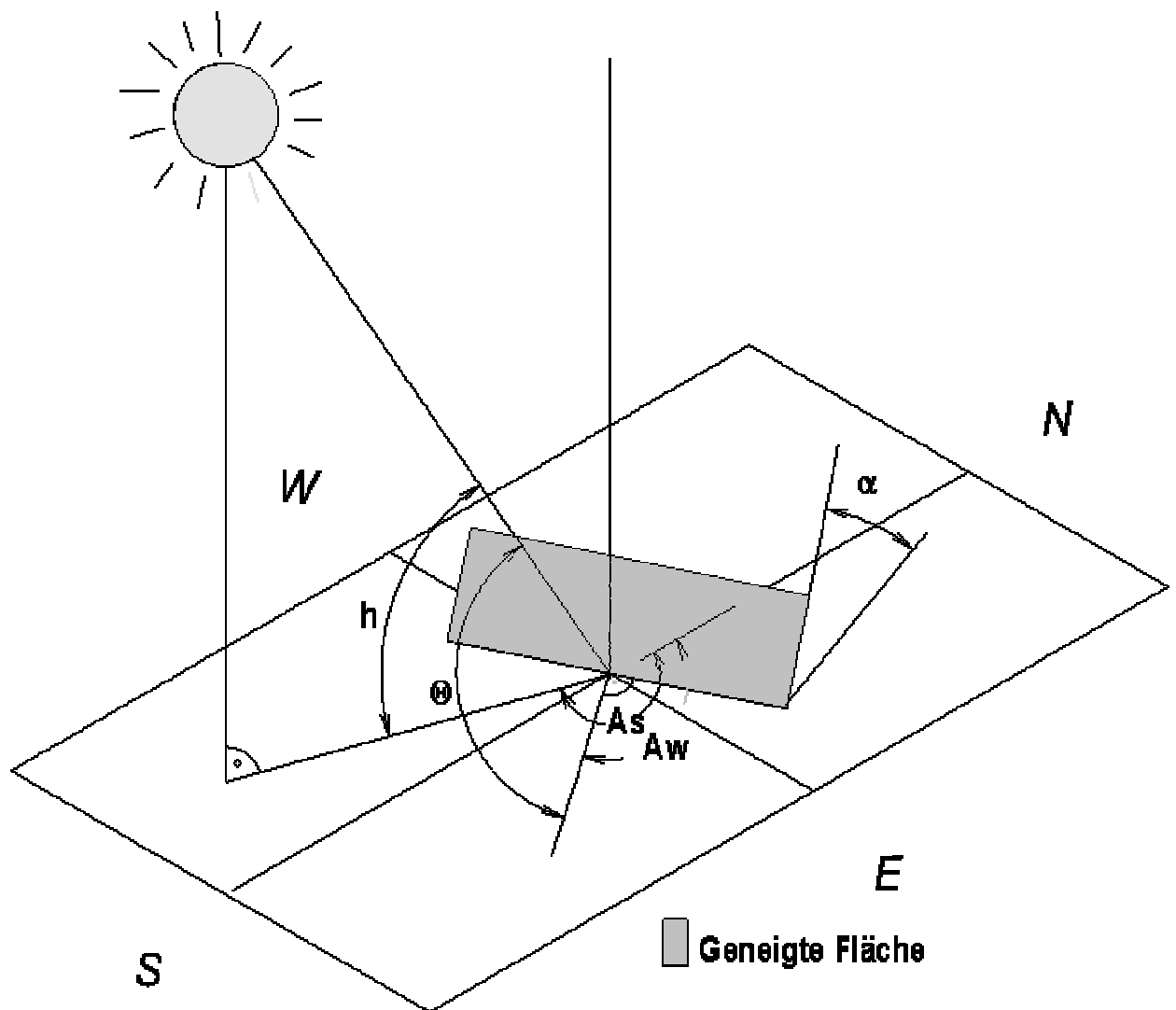


Abbildung Anhang 1 Sonnenwinkel

Variabelenerklärung

A_W = Wandazimut Nord = 0° , Ost = 90°

a = Neigung der Wand gegenüber der Horizontalebene

w = Stundenwinkel nach {5}

t = Wahre Ortszeit gem. {4}

b = Geographische Breite des Ortes [Grad]

Einstrahlwinkel:

$$\begin{aligned}
\cos(\Theta) = & \sin(\delta) * \sin(\beta) * \cos(\alpha) \\
& + \sin(\delta) * \cos(\beta) * \sin(\alpha) * \cos(A_W) \\
& - \cos(\delta) * \cos(\beta) * \cos(\alpha) * \cos(\varpi) \\
& + \cos(\delta) * \sin(\beta) * \sin(\alpha) * \cos(A_W) * \cos(\varpi) \\
& + \cos(\delta) * \sin(\alpha) * \sin(A_W) * \sin(\varpi) \quad \{11\}
\end{aligned}$$

Die einfallende Direktstrahlung kann nach der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$I = I_N * \cos(\Theta) \quad \{13\}$$

Diffusstrahlung auf eine beliebig orientierte Fläche.

Bemerkung

Der nachfolgende Formelapparat stellt einen einfachen Ansatz zur Berechnung der Diffusstrahlung auf geneigte Flächen dar. In dieser Berechnung wird unter anderem von einer einheitlichen Strahlung aus allen Himmelsrichtungen ausgegangen, diese Vereinfachung stimmt für horizontale Flächen mit genügender Genauigkeit. Für eine genauere Berechnung bei stärker geneigten Flächen gibt es andere Formelapparate. Die Berechnung wird aber sehr aufwendig und ist als Handberechnungsmethode nicht sinnvoll. Beispiel dieser Berechnung findet sich SIA D088. => Excel_Tools

Wie bereits erwähnt, teilt sich die Diffusstrahlung in zwei Teile, in die Himmels- und die Reflektionsstrahlung.

Himmelsstrahlung

Man kann sich eine Halbkugel über der betrachteten Fläche vorstellen, welche diese gleichmäßig bestrahlt. Diese Annahme gilt strenggenommen nicht, ist aber weitgehend erfüllt.

In dem verwendeten Modell wird von keiner Horizontüberhöhung ausgegangen (keine Berge oder nahe Gebäude). Diese Annahme ist zu kontrollieren, die Berechnung mit Horizontüberhöhung wird in [1] ausführlich beschrieben. Wird die betrachtete Fläche nun um den Winkel s gegenüber der horizontalen gekippt, sieht die Fläche nur noch einen Teil der Himmelshalbkugel. Durch Integration über den Raumwinkel erhält man den folgenden geometrischen Zusammenhang:

$$R_D = \frac{(1 + \cos(\alpha))}{2} \quad \{14\}$$

Die einfallende Himmelsstrahlung lautet wie folgt

$$H = D_H * R_D = D_H * \frac{(1 + \cos(\alpha))}{2} \quad \{15\}$$

Reflektionsstrahlung

Zur Berechnung der reflektierenden Strahlung kann die folgende Überlegung angestellt werden. Der Winkel, unter welchem die Fläche die Erdoberfläche sieht ist s. Der von der Fläche aus nicht sichtbare Teil ist demgemäss

$$\frac{(1 - \cos(\alpha))}{2} = 1 - R_D \quad \{16\}$$

Liegt die Fläche parallel zur Erdoberfläche ($\alpha = 0$) wird der $\cos(\alpha) = 1$ und somit die Reflektionsstrahlung = 0.

Die Erdoberfläche reflektiert die auftreffende Globalstrahlung je nach Oberflächenbeschaffenheit, dieser Reflexionskoeffizient wird auch Albedo Koeffizient genannt. Werte können der Tabelle 2 entnommen werden.

Die Reflektionsstrahlung kann nun wie folgt beschrieben werden:

$$R = (I_N + D_H) * \rho * \frac{(1 - \cos(\alpha))}{2} \quad \{17\}$$

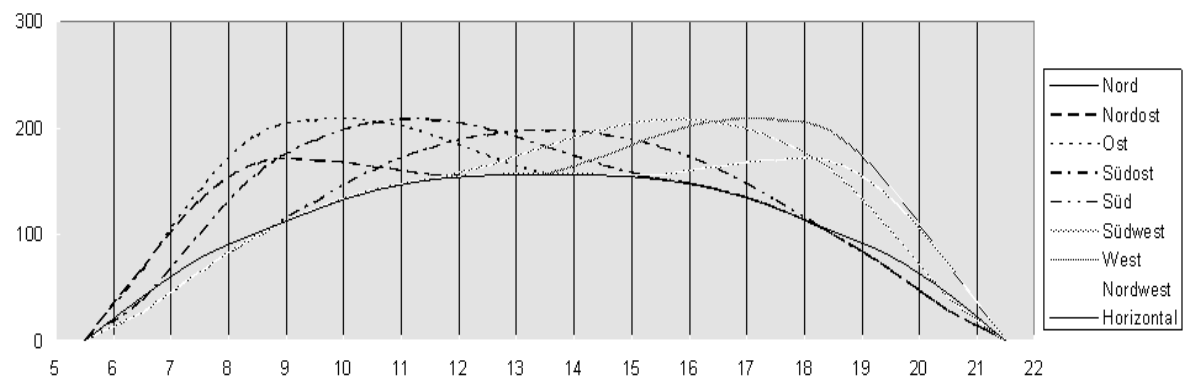
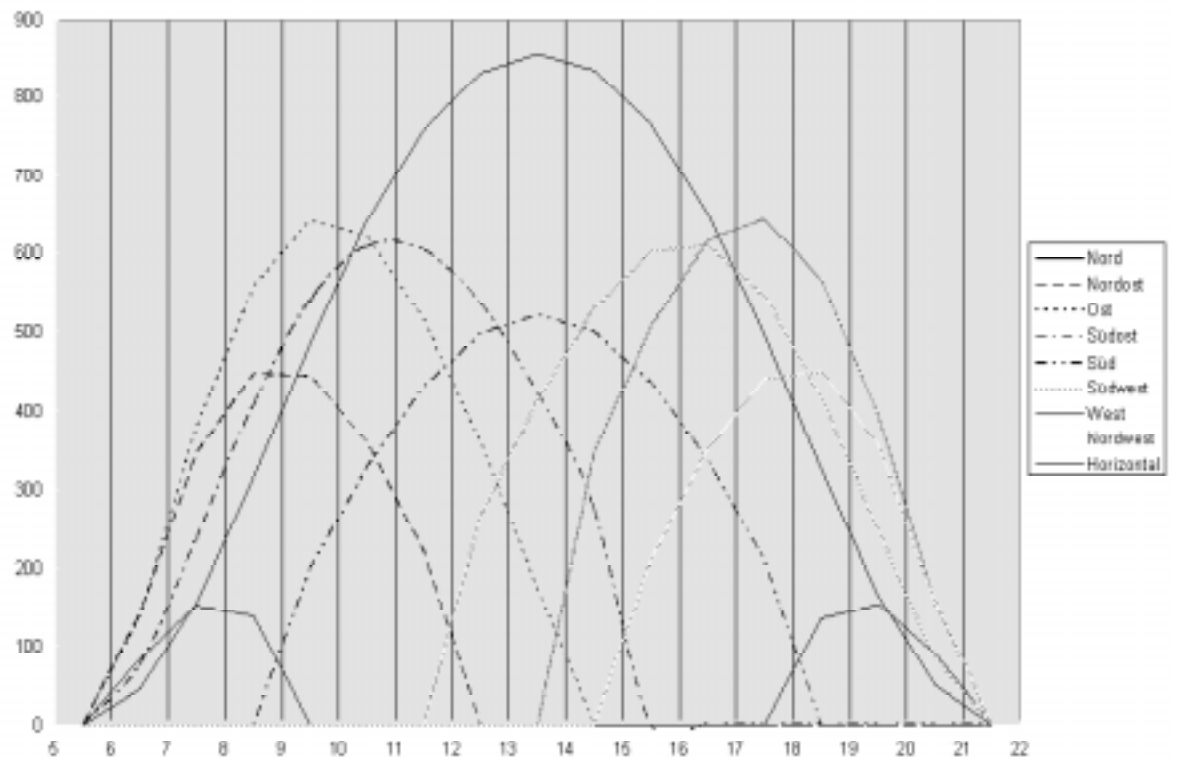
Globalstrahlung auf eine beliebig orientierte Fläche

Unter Globalstrahlung versteht man die gesamte auf eine Fläche fallende Strahlung. Die Globalstrahlung setzt sich aus der Direkt- der Himmelsstrahlung und der Reflektionsstrahlung zusammen.

Die Totale auf eine Fläche auftreffende Strahlung beträgt also

$$G_{TOT} = I + H + R = I_N * \cos(\Theta) + D_H * \frac{(1 + \cos(\alpha))}{2} + (I_N + D_H) * \rho * \frac{(1 - \cos(\alpha))}{2} \quad \{18\}$$

Diagramme zur Illustration der Direkt- und Diffusenstrahlung für Luzern am 23.Juni.



Trübung	B
Klare Luft im Winter	0.05
Landluft bei schönem Wetter	0.1
Stadtluft bei schönem Wetter	0.15
Luft bei starkem Dunstgehalt	0.2
Sehr dunstige Luft, schwüler Sommertag	0.25

Tabelle 1 Schüppsche Trübungskoeffizienten Daten aus [3]

Albedowert zur Bestimmung der Bodenreflektion	r
Oberfläche trocken	0.20
Oberfläche feucht	0.25
Oberfläche nass	0.30
Oberfläche gefroren, ohne Schnee	0.25
Oberfläche eisbedeckt, ohne Schnee	0.30
Schnee, weniger als die Hälfte des Bodens	0.40
Schnee, mehr als die Hälfte des Bodens	0.50
Schnee, ganzer Boden	0.70
Wasseroberfläche bei 40 - 50° Sonnenhöhe	0.07-0.10
Acker, Wiese	0.10-0.20
Wald	0.05-0.10
Stadt, Siedlung	0.10-0.30
Schwarzer Körper, totale Absorption	0

Tabelle 2 Albedowerte Daten aus [3]

[1] Gesundheitsingenieur 97 1976 Heft 12

[2] Sonnenenergie, A.Goetzberger/V.Witter, Teuber Studienbücher 1986

[3] Kühlleistungsbedarf von Gebäuden, SIA D088

Wichtig ! Bei allen Berechnungen müssen die Winkel in Altgrad eingesetzt werden

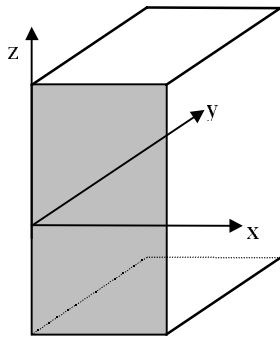
Anhang D) Mathematische Herleitung des gewählten expliziten Differenzenverfahrens aus [54]

1-dimensionale Probleme:

Als Ansatz der Herleitung dient die dreidimensionale Wärmeleitungsgleichung:

$$(1) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)$$

“
”



Da die Temperatur in der (y,z)-Ebene als konstant angenommen wird, ergibt sich für die ebene Wand:

$$\frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

Dadurch reduziert sich das Problem des Wärmedurchgangs auf die Lösung der eindimensionalen Wärmeleitungsgleichung

$$(2) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho c} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (\text{Poissongleichung})$$

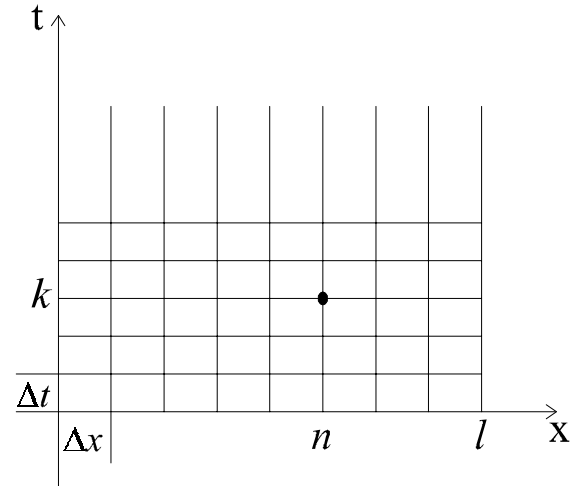
Tabelle 2

Allgemein beruht das Differenzenverfahren für partielle Differentialgleichungen auf dem Ersetzen der Differentialquotienten ($\frac{\partial T}{\partial t}$, $\frac{\partial T}{\partial x}$, $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$, etc.) durch die entsprechenden Differenzenquotienten:

$$\frac{\partial f(x,y,z)}{\partial x} = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta x > 0}} \underbrace{\frac{f(x + \Delta x, y, z) - f(x, y, z)}{\Delta x}}_{\text{Vorwärtsdifferenz}} = \lim_{\substack{\Delta x \rightarrow 0 \\ \Delta x > 0}} \underbrace{\frac{f(x, y, z) - f(x - \Delta x, y, z)}{\Delta x}}_{\text{Rückwärtsdifferenz}}$$

Tabelle 3: Diskretisierung:

Die numerische Berechnung erfordert eine Diskretisierung des zu berechnenden Elementes, hier der Wand. Hierzu wird die Wand der Dicke d in l gleiche Teile der Länge Δx eingeteilt. Ebenso wird ein diskreter Zeitschritt Δt eingeführt. Dadurch ergibt sich die Situation rechts.



Die Funktion $T(x, t)$ wird bei diesem Verfahren nur noch an den Punkten $(n\Delta x, k\Delta t)$ für $n = 1..l$ und $k = 0 \dots$ ausgewertet. Durch die Konvention: $T_{n,k} := T(n\Delta x, k\Delta t)$ folgt bei der Ersetzung der Differentialquotienten durch die Differenzenquotienten:

$$(3) \quad \frac{\partial T(n\Delta x, k\Delta t)}{\partial t} = \frac{T(n\Delta x, k\Delta t + \Delta t) - T(n\Delta x, k\Delta t)}{\Delta t} = \frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{\Delta t}$$

$$(4) \quad \frac{\partial T(n\Delta x, k\Delta t)}{\partial x} = \frac{T(n\Delta x + \Delta x, k\Delta t) - T(n\Delta x, k\Delta t)}{\Delta x} = \frac{T_{n+1,k} - T_{n,k}}{\Delta x}$$

Zweimaliges Ersetzen des Differentialquotienten durch den Differenzenquotienten (zuerst Vorwärtsdifferenz, dann Rückwärtsdifferenz) ergibt folgenden Ausdruck:

(5)

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 T(n\Delta x, k\Delta t)}{\partial x^2} &= \frac{1}{\Delta x} \left(\frac{T(n\Delta x + \Delta x, k\Delta t) - T(n\Delta x, k\Delta t)}{\Delta x} - \frac{T(n\Delta x, k\Delta t) - T(n\Delta x - \Delta x, k\Delta t)}{\Delta x} \right) \\ &= \frac{1}{\Delta x^2} (T_{n+1,k} + T_{n-1,k} - 2T_{n,k}) \end{aligned}$$

(3) und (5) in (2) ergeben:

$$(6) \quad \frac{T_{n,k+1} - T_{n,k}}{\Delta t} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{1}{\Delta x^2} (T_{n+1,k} + T_{n-1,k} - 2T_{n,k})$$

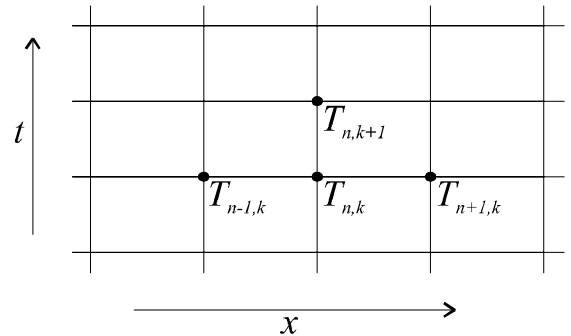
In dieser Gleichung sind vier Auswertungen von T zum Zeitschritt k und eine Auswertung zum Zeitschritt $k+1$ enthalten. Durch Umformen erhält man folgende Rechengvorschrift:

7)

$$T_{n,k+1} = \frac{\lambda}{c\rho} \frac{\Delta t}{\Delta x^2} (T_{n+1,k} + T_{n-1,k} - 2T_{n,k}) + T_{n,k}$$

Abbildung 39: Zeitpunkt k+1

Das heißt, daß sich bei gegebenen Werten für T zum Zeitpunkt k die Werte von T zum Zeitpunkt $k+1$ berechnen lassen.



Ausnahme bilden die Randwerte des Rechengebietes ($n=1, l$). Für sie müssen weitere Randbedingungen bekannt sein. Anhand der Randbedingungen und einem gegebenen Startzustand für $t=0$ lassen sich also alle Werte $T_{n,k}$ berechnen.

Anhang E) Stoffwerte

Beispiele für die Strahlungszahl aus [21]

Stoff und Oberflächenzustand	Strahlungszahl
	[W/[K⁴*m²]
absolut schwarzer Körper	5,77
Metalle:	
Silber, poliert	0,12 bis 0,17
Kupfer, poliert	0,17
Aluminium, walzblank	0,23
Nickel, poliert	0,26
Eisen, abgeschmiegelt	1,4
Eisen mit Gußhaut	5,2
Eisen, stark verrostet	4,9
Stoffe aller Art:	
Asbestzement	5,6
Dachpappe	5,4
Gips	5,2
Glas	5,4
Holz	5,4
Papier	5,4
Porzellan	5,4
Reifbelag	5,7
Ziegelstein, Mörtel, Putz	5,4
Anstriche:	
Aluminiumbronzeanstrich	1,2 bis 2,3
Emaillack, schwarz	5,2
Spirituslack, schwarz	4,8
Heizkörperlack	5,4
beliebte Lacke, Ölfarben und dgl.	4,9 bis 5,5

Durchschnittswerte für die spezifische Wärmekapazität c in [J/kgK] einiger Stoffe und Rechenwerte nach DIN 4108 Teil 4 nach [22]

Stoff	Wert	Rechenwert
	nach [4]	DIN 4108
Anorganische Bau- und Dämmstoffe		1000
Beton	921	-
Gasbeton	1047	-
Glas, Glasfaser	795-880	-
Gips	837	-
Schlackenwolle	753	-
Holz, Holzwerkstoffe	1357-1800	2100
Pflanzl. und textile Fasern	-	1300
Kork	1675	-
Papier, Pappe	1340	-
Schaumstoffe	1885	1500
Kunststoffe	-	1500
Acrylglas	1465	-
Polycarbonat	1214	-
Polyester	1507	-
Polyamid	1717	-
Kautschuk, Bitumen	2303	-
Aluminium	921	800
Sonstige Metalle	-	400
Eisen, Stahl	461	-
Cr-Ni-Stahl	477	-
Kupfer, Zink	377	-
Zinn	234	-
Blei	130	-
Luft	1005	1000
Wasser	4187	4200
Eis $+ 0\text{ }^{\circ}\text{C}$	2115	-

Wert für das Emissionsverhältnis e bei Temperaturen bis 100°C und das Absorptionsverhältnis A von Sonnenstrahlung für verschiedene Baumaterialien aus [22]

Baustoff und/oder	e	A
Oberflächenbeschaffenheit		[%]
Aluminium, matt	0.055	52
Aluminium, poliert	0.039 - 0.057	26
Faserzement, weiß	0.960	30
Faserzement, hellgrau (neu)	0.960	50
Faserzement, hellgrau (alt)	0.960	70
Faserzement, ziegelrot	0.960	73
Faserzement, rostbraun	0.960	90
Faserzement, dunkelgrau	0.960	94
Beton, glatt grau	0.620	55
Betondachstein - Faserzement		
Bitumendachbahn	0.910	88
Glas $s = 4,5$ mm	0.940	4
Glas $s = 7,0$ mm	0.940	8
Holz, naturfarben	0.70-0.90	59
Kupfer	0.770	64
Naturstein, hell, geschliffen	0.400	35
Naturstein, dunkel, geschliffen	0.400	50
Schiefer	0.870	90
Stahl, blank	0.128	45
Stahl, verzinkt	0.280	64
Tonziegel, rot	0.930	72
Tonziegel, hellbraun	0.930	55
Tonziegel, hell glasiert	0.930	26
Wasser	0.910	-
Reif	0.970	
Eis	0.625 - 0.910	

Stoffwerte aus [6]

Die Einheit für c muß $[\text{J}/(\text{kg K})]$ heißen! (Druckfehler in DIN)

Stoffwerte aus [2]**Sonnen-Strahlungsabsorption
verschiedener Stoffe**

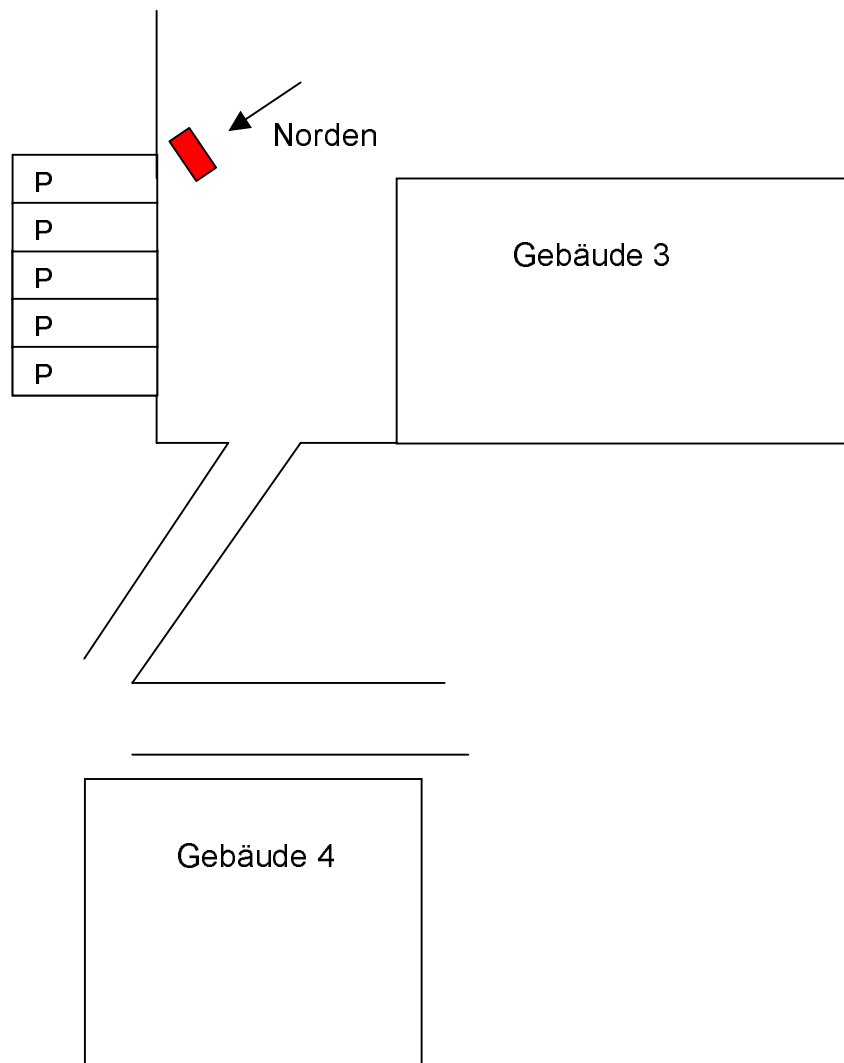
	[%]
Farbanstrich, aluminiumfarbig (Zeppelin)	20
weißer Lackanstrich auf Holz	21
Farbanstrich, weiß (Lithopone)	26
Aluminiumbronze	54
Farbanstrich, braun, grün	79
Farbanstrich, schwarz, schwarzes Papier	94
Kupfer, poliert	18
Kupfer, matt	64
Aluminium, roh	63
Zinkblech o. ä., neu	64
Bleiblech, alt	79
galvanisiertes Eisen, schmutzig	94
Alufolie, glänzend	34
Papier, zitronengelb	47
Papier, rot, grün	52-57
Papier, kobaltblau	66
Dachpappe, grün, braun	85-90
Gußasphalt, alt	88
Beton und Mörtel	ca. 60
Asbestzementplatten, naturfarbig, neu	42
Asbestzementplatten, 1 Jahr alt	71
Schieferplatten	90
Holz	35
weiße Keramikplatten	18
Ziegelstein, rot	56
Dachziegel, rot	43
Linoleum	85

1 Richtwert für die Wärmespeicherung von Luft, Werkstoffen und Wasser im Temperaturbereich von etwa 0 bis 100°C

	Wh/kg KWh/m² K	
Luft	0,3	0,4
Glaswolle	0,23	10
Styropor	0,41	8
Schlackenwolle	0,23	11
Holzfaserplatten (200 kg/m³)	0,37	74
Korkstein, expand. und impr. (230 kg/ml)	0,38	87
Kork (200 kg/m³)	0,47	76
Korkstein, natur (200 kg/m³)	0,49	98
Torfplatten (300 kg /M³)	0,52	157
Holz (Fichte) (600 kg/m³)	0,58	348
Gasbeton, Bimsbeton o. A. (800 kg/m³)	0,28	224
Schlacke	0,21	314
Holz (Eiche) (800 kg /m³)	0,58	464
Sand, lufttrocken	0,23	358
Blei	0,036	410
Ziegelmauerwerk (1600 kg/m³)	0,26	416
Kalkmörtel (1800 kg/M³)	0,28	504
Gummi	0,43	465
Zementmörtel (2000 kg/m³)	0,28	560
Bitumen	0,47	517
Eis (916 kg/m³)	0,58	531
Asphalt	0,3	630
Steinzeug, Keramik	0,26	530
Gips	0,23	580
Tafelglas	0,23	575
Beton	0,28	668
dichte Natursteine (3100kg/m³)	0,25	775
Aluminium	0,25	690
Zink	0,11	744
Eisen	0,13	1006
Kupfer	0,12	1047
Wasser	1,16	1163

Temperaturstrahlungszahl verschiedener Oberflächen
[W/(m²K⁴)]

blanke helle Metalle	0,09.....0,41
Aluminium, poliert	0,35
Aluminium, roh oder oxidiert	0,5
Schiefer	5
Stahl, verzinkt, verstaubt	2,5 (blank 1,5)
Kupfer, schwarz oxydiert	4
hellgrauer Marmor, poliert	4,9
Stahlblech mit Walzhaut	4,5
Aluminiumlack	2,5
weiße Kacheln, glasiert	5
Eichenholz, gehobelt	5,1
Dachpappe	5,1
Eis	3,6-5,2
Wasser, allseitige Strahlung	5,3
Wasser, senkrechte Strahlung	5,5
Reif	5,5
Gips	5,2
Bausteine und Putze	5,3
glasiertes Porzellan	5,4
Quarz, geschmolzen, rau	5,4
glattes Glas	5,3
rauhes Asbestschiefer	5,5
Öl	5,4
Papier	5,5
beliebige Farben	5,3
absolut schwarzer Körper	5,77

Anhang F) Lageplan (-Skizze) der Versuchswand**Abbildung 1 Lageplan (-Skizze) der Versuchswand (bzgl. Punkt 7)**

Gelände der:
FHTW Fachbereich 2 in Blankenburg
Blankenburger Pflasterweg 102
13 129 Berlin

P = Parkplatz

Anhang G) Inhalt der beiliegenden CD***Im Hauptverzeichnis der CD-ROM:*****DynaTherm2000.xls (Offizielles Programm DynaTherm)**

Readme.htm (Inhalt ist diese Seite)

Bedienungsanleitung.doc

Im Ordner Versuchs- und Wetterdaten:

Temperaturen vom 14-1-2000_24-1-2000.XLS

Versuchsdaten vom 14.01.2000 bis zum 24.01.2000

Temperaturen vom 2-2-2000_8-2-2000.XLS

Versuchsdaten vom 02.02.2000 bis zum 08.02.2000

Im Ordner misc:

DynaTherm2000.zip (gepackte Datei; passt auf eine Diskette)

DynaTherm2000c.xls (Tabellenblätter sind mit Kennwort geschützt)

DynaTest2000.xls (Testprogramm für Vergleich in Punkt 6)

Im Ordner misc\Office 2000 version:

DynaTherm2000s.xls

(Diese Version wurde mit meinem Namen signiert, so dass hier die in Excel 2000 neu hinzugekommene Funktion „signierte Makros immer annehmen“ genutzt werden kann und die lästige „Makro-Abfrage“ beim Aufruf von DynaTherm entfällt.)

Systemvoraussetzungen

Computersystem mit voll funktionsfähig installiertem Microsoft Excel 97 oder höher.

Die Bildschirmausgabe wurde für 17-Zoll-Farbmonitore mit einer Auflösung von 1024 x 768 Bildpunkten optimiert. Für die Druckerausgabe kann ein gängiger DIN A4 Drucker verwendet werden.

Getestete Konfigurationen:

Prozessor	Mhz	RAM	Monitor	Drucker	Betriebssystem	Excel	
PC- Pentium	120	64	17 Zoll		Windows 98	97	
PC- AMDK6III	450	196	22 Zoll	Canon BJC 240	Windows 98b	2000	*
PC- Celeron	400	128	19 Zoll		Windows 98	97	

*Die komplette Programmierung erfolgte auf diesem System

	Anhang Seite
Anhang A) Bedienungsanleitung	2
1. Generelle Bedienungshinweise	4
2. Erzeugen eines neuen Bauteils	5
3. Hinzufügen von neuen Materialien	7
4. Stationäre Wärmeleitungsberechnungen	9
5. Instationäre Wärmeleitungsberechnungen	11
5.1 Eingabe der Randbedingungen	11
5.2 Einstellen der Optionen für Berechnung und Ausgabe	13
5.3 Animierte Ausgabe der berechneten Ergebnisse	16
5.4 Die Matrix aller ausgegebenen Temperaturwerte	17
5.5 3-Dimensionale Ausgabe des berechneten Temperaturprofils	19
5.6 Zusätzliche Funktion	20
Anhang B) Programm Module	21
1 Arbeitsblatt Wandaufbau:	21
2 Arbeitsblatt Material-Datenbank:	25
3 Arbeitsblatt Randbedingungen:	26
4 Arbeitsblatt Berechnungs Optionen	37
5 Arbeitsblatt Animation	41
6 Arbeitsblatt Ausgabewerte:	42
7 Arbeitsblatt 3D-Diagramm:	42
8 Der Ordner Module	43
Das Test-Modul aus DynaTest	62
Anhang C) Berechnung der auf die Wand treffenden Strahlungsenergie	
Qs aus [57]	78
Anhang D) Mathematische Herleitung des gewählten expliziten	
Differenzenverfahrens aus [54]	92
Anhang E) Stoffwerte	95
Anhang F) Lageplan (-Skizze) der Versuchswand	103
Anhang G) Inhalt der beiliegenden CD	104