

Randbedingungen für Berechnungen nach ILNAS-EN ISO 13370 beim Nachweis über die Gesamt-Energieeffizienz von Gebäuden nach DIN V 18599 in Luxemburg

Im Rahmen der Fortschreibung der Verordnung über die Gesamt-Energieeffizienz von Gebäuden in
Luxemburg

Bearbeitung

Institut für Gebäude-Energieforschung Dr. Markus Lichtmeß | 17. Dezember 2021

im Auftrag von

Ministère de l'Énergie et de l'Aménagement du territoire | Département de l'énergie | Luxemburg

Konzeptpapier im Entwurf

Version 1.5

Inhalt

1	Gekoppelte Berechnung EN ISO 13370 und DIN V 18599	3
2	Berechnung der monatlichen Wärmeströme	5
2.1	Berechnungsrandbedingungen	6
2.2	Bilanzrandbedingungen für DIN V 18599	6
2.3	Wärmestrom statische Komponente	7
2.4	Wärmestrom periodische Komponente	8
2.4.1	Periodische Komponente - Innentemperatur	8
2.4.2	Periodische Komponente - Außentemperatur	9
3	Berechnungsergebnisse Bodenplatte auf Erdreich	10
3.1	Effektiver U-Wert und F_x -Wert für eine Bodenplatte	10
3.2	Erforderliche Dämmstoffdicke für Referenzgebäude-Äquivalenz - Wärmestrom	12
3.3	Erforderliche Dämmstoffdicke für Referenzgebäude-Äquivalenz - Wärmeverluste	13
3.4	Aufteilung der Wärmeverluste	14
4	Ergebnis	17

1 Gekoppelte Berechnung EN ISO 13370 und DIN V 18599

In Luxemburg werden Energiepässe für Nichtwohngebäude auf der Grundlage der DIN V 18599 erstellt. Abweichend zur Normberechnung sind in der aktuellen Luxemburger Verordnung (RGD 2021)¹ einerseits viele Vereinfachungen implementiert, mit denen die Nachweisführung deutlich weniger zeitaufwändig ist und andererseits sind Methoden entwickelt und implementiert worden, um energetische Aspekte, die normativ ursprünglich nicht berücksichtigt werden können, abbilden zu können (insbesondere passive Nachtauskühlung, teilweise Kühlung mit Geothermie, monatlich harmonisierte Eigenstromnutzung von PV-, Windkraft- und KWK-Anlagen und Berücksichtigung von Batteriespeichern, monatliche F_x -Werte für unconditionierte Zonen). Der vorliegende Beitrag betrachtet die Anwendung der detaillierten Berechnung von erdreichberührten Bauteilen nach DIN EN ISO 13370 in Bezug auf die Anwendung in DIN V 18599.

Stand DIN V 18599-2:2018-09

Nach DIN V 18599-2 ist für Bauteile gekühlter Zonen, die an Erdreich oder unconditionierte Zonen grenzen, eine vereinfachte Berechnung mit Jahres-Temperaturkorrekturfaktoren (F_x -Werte) nicht zulässig und es ist die differenzierte Berechnung zu verwenden². Bei angrenzenden unconditionierten Zonen führt das zu einem erhöhten Bearbeitungsaufwand, da diese Zonen mit ihren geometrischen und bauphysikalischen Parametern abzubilden und mit den konditionierten Zonen zu verknüpfen sind. In Programmen steht diese Bewertung in Gänze oft nicht zur Verfügung und es müssen entsprechend Nebenrechnungen durchgeführt werden. Dabei sind die folgenden normativen Grundlagen zu berücksichtigen.

- DIN EN ISO 13370 für Wärmeströme über erdreichberührte Bauteile
- DIN EN ISO 13789 für Wärmeströme zu unconditionierte Zonen

Kommen in einer unconditionierten Zone selbst auch Bauteile vor, die an Erdreich grenzen, sind beide Normen gemeinsam zu applizieren und die Berechnung wird schnell unübersichtlich, bzw. sind die normativen Randbedingungen zum Teil unterschiedlich. U.a. auch deshalb darf vereinfacht in DIN V 18599-2 die Innentemperatur in angrenzenden, ungekühlten Zonen sowie im Erdreich für den Kühlfall über einen vereinfachten Ansatz³ bestimmt werden.

- Nicht konditionierter Keller (Kellerdecke) sowie Bodenplatte und Außenwand gegen Erdreich
 - Wärmedurchlasswiderstand des trennenden Bauteils $R \leq 1$: $\theta_u = 21 \text{ °C}$
 - Wärmedurchlasswiderstand des trennenden Bauteils $R > 1$: $\theta_u = 18 \text{ °C}$
- Nicht konditioniertes Dachgeschoss, Dachabseiten: $\theta_u = 35 \text{ °C}$
- Wände und Decken zu nicht konditionierten Räumen (außer Kellerräumen): $\theta_u = 30 \text{ °C}$

Stand Luxemburg

In Luxemburg wurde mit der Verordnung für Nichtwohngebäude (RGD 2010)^{4,5} bereits im Jahr 2010 ein vereinfachtes Verfahren eingeführt, mit welchem monatliche F_x -Werte bzw. monatliche mittlere Innentemperaturen von unconditionierten Zonen abgeschätzt verwendet werden können. Dabei werden Lageparameter im Erdreich, der Wärmeschutz und solare Energieerträge (z. B. im Fall von Artien) berücksichtigt, um die Effekte auf Monatsebene zu bewerten, ohne, dass der Erhebungsaufwand steigt. Für die Berechnung werden dann monatlich tabellierte Innentemperaturen bzw. Temperaturkorrekturfaktoren angegeben. Die Berechnung ist in dem Fall für die Heiz- und Kühlbilanz zulässig.

Berechnung der Transmission über das Erdreich

Grenzt ein Bauteil an Erdreich, so kann der Wärmestrom detailliert ermittelt werden und es sind keine Vereinfachungen notwendig. In DIN V 18599-2 wird in Kapitel 6.2.4 die Transmission über das Erdreich beschrieben. Hier wird ebenfalls angegeben, dass die vereinfachten Ansätze nur für nicht gekühlte Zonen gültig sind. Andernfalls sind die Wärmeströme (Wärmesenke und -quelle) über DIN EN ISO 13370 zu bestimmen. Vereinfacht wird die stationäre Wärmeübertragung angesetzt. Allerdings wird auch darauf

¹ Règlement grand-ducal du 9 juin 2021 concernant la performance énergétique des bâtiments

² DIN V 18599-2:2018-09, Abschnitt 6.1.4.5, Differenzierte Berechnung der Temperatur in der unbeheizten oder ungekühlten Gebäudezone.

³ DIN V 18599-2:2018-09, Abschnitt 6.1.4.6, Vereinfachter Ansatz für die mittlere Temperatur in angrenzenden, ungekühlten Zonen sowie im Erdreich (Kühlfall).

⁴ Règlement grand-ducal du 31 août 2010 concernant la performance énergétique des bâtiments fonctionnels et modifiant

⁵ Lichtmeß, M.: Kurzverfahren zur Abbildung unconditionierter Zonen, Onlineveröffentlichung EnOB-Plattform Energieoptimiertes Bauen, 2009

hingewiesen, dass diese Betrachtung zu einer Überschätzung der monatlichen Wärmesenken über das Erdreich im Winter führen kann. Es folgt der Hinweis: „Falls der Wärmeaustrag über das Erdreich einen erheblichen Anteil an den Gesamtwärmesenken ausmacht, ist abzuwägen, ob eine detaillierte Berechnung des Wärmestroms über das Erdreich nach DIN EN ISO 13370:2018-03, C.1, durchzuführen ist.“ In dem Fall ist der mittlere tägliche Wärmestrom nach DIN EN ISO 13370:2018-03, Anhang C zu bestimmen. Es liegen keine präzisen Angaben vor, wann und unter welchen Randbedingungen die detaillierte Berechnung erfolgen soll und es ist im Zweifel dem Energieberater überlassen, welches Verfahren genutzt werden soll.

Dies ist für eine standardisierte Anwendung unbefriedigend und für Luxemburg wird deshalb die ausschließliche Verwendung des detaillierten Verfahrens über die Berechnung der monatlichen Wärmeströme vorgeschlagen. Zudem ist es sinnvoll die energetischen Effekte zu berücksichtigen, gerade auch bei Hallengebäuden mit großformatigen Bodenplatten. Auch deswegen, da die Berechnungsdaten für das detaillierte Verfahren nach Anhang C der DIN EN ISO 13370 bereits größtenteils bei der Berechnung der stationären Wärmetransferkoeffizienten des Erdreichs bestimmt/erhoben werden. In dem Fall ist keine Entscheidung mehr notwendig, ob die detaillierte oder die vereinfachte Berechnung durchgeführt werden soll und die Eingabeparameter für die Berechnung bzw. der Zeitaufwand sind annähernd gleich. Unabhängig von der Wahl des Verfahrens müssen die in DIN EN ISO 13370 verwendeten Verfahren und Kenngrößen mit den Randbedingungen nach DIN V 18599 abgestimmt werden.

Im Vergleich mit Deutschland fordert Luxemburg beim Neubau seit Jahren einen höheren energetischen Standard ein. Das Wärmeschutzniveau in Luxemburg liegt seit 2017⁶ – ohne Berücksichtigung des Einflusses einer Lüftung mit Wärmerückgewinnung – etwa 40%⁷ unter den Anforderungen nach dem aktuellen GEG 2021 und entspricht eher dem Effizienzhaus 40-Standard. Zudem ist eine kontrollierte Lüftung mit hoher Wärmerückgewinnung in Luxemburg quasi obligatorisch⁸. Entsprechend spielen diese Festlegungen eine verhältnismäßig gewichtige Rolle – insbesondere auch unter dem Aspekt der Baubarkeit.

Randbedingungen und Berechnung nach EN 13370

Es wird die in Luxemburg gültige Version der ILNAS-EN ISO 13370:2017 (folgend EN 13370) verwendet. Die betrachteten Fälle beziehen sich hier beispielhaft auf den Bauteiltyp *Bodenplatte (ungedämmt oder vollflächig gedämmt)*. Die Bewertung kann analog dazu für alle anderen Konfigurationen nach EN 13370 durchgeführt werden, dort wird der stationäre Wärmetransferkoeffizient H_g für verschiedene Situationen bestimmt.

- Bodenplatten auf Erdreich
- Bodenplatten auf Erdreich mit Randdämmung
- Aufgeständerte Bodenplatte
- Beheiztes Kellergeschoss
- Teilweise beheiztes Kellergeschoss
- Unbeheiztes Kellergeschoss

Berechnet wird jeweils ein effektiver Wärmedurchgangskoeffizient U_{eff} eines Bauteils und der daraus resultierende stationäre Wärmetransferkoeffizient H_g . Für die Berechnung des effektiven U-Wertes eines Bauteils sind, neben den Parametern des Bauteils selbst, die folgenden Parameter wesentlich:

- Geometrie der Bodenplatte (Umfang, Fläche)
- Lage der Bodenplatte im Erdreich (Tiefe)
- Wärmeleitfähigkeit und -kapazität Erdreich
- Wärmebrückeneffekte Wand und Bodenplatte
- Wärmebrückeneffekte
- Dicke von externen Außenwänden

Der stationäre Wärmetransferkoeffizient H_g ist eine Eingangsgröße für die Berechnung des monatlichen Wärmestroms Φ_m .

$$H_{g,BT} = A_{BT} \cdot U_{BT,eff} + P_{BT} \cdot \psi_{BT}$$

wobei

$H_{g,BT}$	W/K	Stationäre Wärmetransferkoeffizient für das Bauteil BT
$H_{g,BT}$	W/K	Stationäre Wärmetransferkoeffizient
A_{BT}	m ²	Fläche des Bauteils BT
$U_{BT,eff}$	W/(m ² K)	Effektiver U-Wert des Bauteils BT

⁶ Règlement grand-ducal du 23 juillet 2016 modifiant 1. le règlement grand-ducal modifié du 30 novembre 2007 concernant la performance énergétique des bâtiments d'habitation; Tabelle 5 zum Referenzgebäude.

⁷ Vergleich der Anforderungen an den Wärmeschutz für ein typisches Wohngebäude. Auswertungsgröße ist H_r , eigene Berechnung.

⁸ Im Referenzgebäude wird eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (85%) vorgesehen. Bei den im Referenzgebäude vorgesehenen effizienten U-Werten (z.B. Dach=0,11 W/(m²K) | Wand=0,13 W/(m²K) | Boden=0,17 W/(m²K) | Fenster=0,9 W/(m²K)), kann diese praktisch nicht über einen noch besseren Wärmeschutz kompensiert werden.

P_{BT}	m	Exponierte Umfang des Bauteils BT
Ψ_{BT}	W/(mK)	Längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Wand und Bodenplatte

Der stationäre Wärmestrom kann wie folgt allgemein berechnet werden.

$$\Phi_{BT} = H_{g,BT} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

wobei		
Φ_{BT}	W	Mittlerer Wärmestrom für das Bauteil BT
θ_i	°C	Mittlere Jahresinnentemperatur
θ_e	°C	Mittlere Jahresaußentemperatur

Die mittleren Jahres-Wärmeverluste Q_{BT} berechnet sich wie folgt.

$$Q_{BT} = \Phi_{BT} \cdot t_a \cdot 10^{-3}$$

wobei		
Q_{BT}	kWh	Mittlere Jahres-Wärmeverluste über das Erdreich
t_a	h	Der Berechnungszeitraum (hier $t = 8.760$ h/a)

2 Berechnung der monatlichen Wärmeströme

Im Referenzgebäude der aktuellen Verordnung (RGD 2021)¹ wird bei Nichtwohngebäuden für erdreichberührte Bauteile ein Referenzwert U von $0,175$ W/(m²K) bei einem festgelegten Wert für die Temperaturkorrektur F_x von $0,8$ angesetzt. Dies entspricht etwa dem Anforderungsniveau einer Außenwand mit etwa $0,14$ W/(m²K).

Erfolgt die Berechnung im zu bewertenden Gebäude mit EN 13370, so ist es erforderlich, dass die Randbedingungen auf die der DIN V 18599-Berechnung angepasst werden. Gemäß Anhang C der EN 13370 stehen 3 verschiedene Berechnungsverfahren zur Bestimmung des monatlichen Wärmestroms zur Verfügung. Da es für Luxemburg keinen nationalen Anhang mit einer Vorgabe zur Wahl des Berechnungsverfahrens vorliegt, wird im Folgenden das Verfahren „a) *gesonderte Berechnung des Wärmestroms durch das Erdreich für jeden Monat*“ (Tabelle A.3) verwendet. Dabei werden die beiden im Anhang C möglichen monatlichen Berechnungsverfahren C.2 und C.3 untersucht. Die beiden weiteren Verfahren „C.4, *Berechnung des mittleren Wärmestroms durch das Erdreich während der Heizperiode und der Kühlperiode*“ sowie die „C.5, *Berechnung des mittleren jährlichen Wärmestroms durch das Erdreich*“ stellen keine ausreichende Anforderung an das Ergebnis dar.

C.2 – Monatlicher Wärmestrom bei sinusförmigen Temperaturschwankungen

Die Berechnung des Wärmestroms ist nach EN 13370 nachfolgender Gleichung durchzuführen. Dabei wird von der Annahme Gebrauch gemacht, dass sowohl die Innen- als auch die Außentemperatur sinusförmig um das jeweilige Jahresmittel schwanken. Der mittlere monatliche Wärmestrom Φ_m berechnet sich wie folgt.

$$\Phi_m = H_g \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \cdot \hat{\theta}_{int} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m - t + a}{12}\right) + H_{pe} \cdot \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m - t - \beta}{12}\right)$$

wobei		
Φ_m	W	Mittlerer monatlicher Wärmestrom
$\bar{\theta}_{int}$	°C	Jahresmittelwert der Innentemperatur
$\bar{\theta}_e$	°C	Jahresmittelwert der Außentemperatur
$\hat{\theta}_{int}$	K	Amplitude der Schwankungen des Monatsmittel der Innentemperatur ⁹
$\hat{\theta}_e$	K	Amplitude der Schwankungen des Monatsmittel der Außentemperatur ¹⁰
H_g	W/K	Stationäre Wärmetransferkoeffizient
H_{pi}	W/K	Innere periodische Wärmetransferkoeffizient
H_{pe}	W/K	Äußere periodische Wärmetransferkoeffizient
m	1-12	Betrachtungsmonat
t	Monat	Monatsnummer mit der niedrigsten Außentemperatur
a	Monate	Zeitvorsprung der Ganglinie des Wärmestroms gegenüber der für die Innentemperatur
β	Monate	Zeitrückstand der Ganglinie des Wärmestroms gegenüber der für die Außentemperatur

⁹Nach EN 13370, Abschnitt 6.5.1. Die Amplitude der Schwankungen der Innentemperatur gegenüber dem Jahresmittel. Diese Amplitude ist als 50 % der Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert der jeweiligen monatlichen Mitteltemperaturen festgelegt.

¹⁰Nach EN 13370, Abschnitt 6.5.2. Die Amplitude der Schwankungen der Außenlufttemperatur gegenüber dem Jahresmittel. Diese Amplitude ist als 50 % der Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert der jeweiligen monatlichen Mitteltemperaturen festgelegt.

C.3 – Monatlicher Wärmestrom bei Anwendung monatlicher Mitteltemperaturen

Alternativ kann der monatliche Wärmestrom Φ_m auch vereinfacht berechnet werden, ohne die Berücksichtigung der Phasenverschiebung. Die Parameter U und A beziehen sich auf das erdreichberührte Bauteil.

$$\Phi_m = U \cdot A \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) + P \cdot \psi_{BT} \cdot (\theta_{int,m} - \theta_{e,m}) - H_{pi} \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{int,m}) + H_{pe} \cdot (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m})$$

Treten vereinfacht keine Wärmebrücken im Bereich des Perimeters auf, kann die Gleichung wie folgt angepasst werden. Wobei H_g in dem Fall dem Produkt aus $A \cdot U$ entspricht. In dem Fall sind die monatlichen Mitteltemperaturen für innen und außen direkte Eingabegrößen.

$$\Phi_m = H_g \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{int,m}) + H_{pe} \cdot (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m})$$

wobei
 $\theta_{int,m}$ °C Mittlere monatliche Innentemperatur
 $\theta_{e,m}$ °C Mittlere monatliche Außentemperatur

Für beide Verfahren kann, bei im Jahresverlauf konstanten Innentemperaturen, der innere periodische Wärmetransferkoeffizient H_{pi} nicht berücksichtigt werden.

2.1 Berechnungsrandbedingungen

Für beide Varianten teilt sich die Berechnung in 3 Bereiche auf. Der mittlere jährliche Gesamtwärmestrom beschreibt den gesamten Wärmeverlust an das Erdreich. Die beiden Teilwärmeströme berücksichtigen die Verteilung der Verluste über ein Jahr in Abhängigkeit von periodischen Komponenten. Die jeweilige Summe der monatlichen periodischen Wärmeströme über ein Jahr ist Null.

1)	$H_g \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e)$	Mittlerer jährlicher Gesamtwärmestrom in W	Statische Komponente
2.1)	$H_{pi} \cdot \hat{\theta}_{int} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-t+a}{12}\right)$	Monatlicher innerer Wärmestrom in W	Periodische Komponente - Innentemperatur
2.2)	$H_{pi} \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{int,m})$		
3.1)	$H_{pe} \cdot \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-t-\beta}{12}\right)$	Monatlicher äußerer Wärmestrom in W	Periodische Komponente - Außentemperatur
3.2)	$H_{pe} \cdot (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m})$		

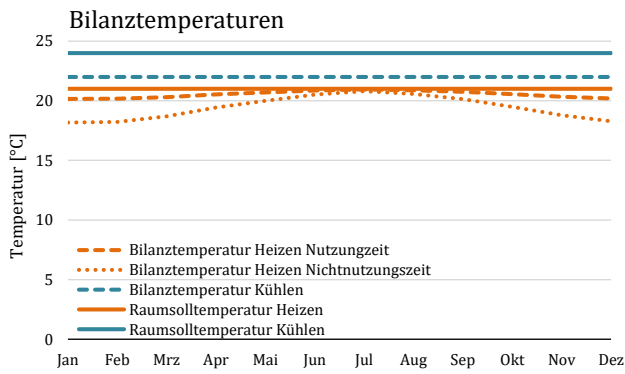
2.2 Bilanzrandbedingungen für DIN V 18599

Die EN 13370-Berechnung ist in jeder Zonenbilanz durchzuführen. Die geometrischen und die Lageparameter (insbesondere Fläche, Perimeter, charakteristisches Bodenmaß) sind auf Bauteilebene zu ermitteln und den Zonen zu übergeben. Auf Zonenebene ist das Gesamtergebnis flächenanteilig in der Zonen-Energiebilanz zu verwenden. Die Summe der Wärmeströme über alle Zonen, in denen dieses Bauteil vorkommt entspricht dem Gesamtwert der Bauteilberechnung.

$$\Phi_{m,Zone} = \frac{\Phi_m \cdot A_{BT,Zone}}{A_{BT}}$$

wobei
 $\Phi_{m,Zone}$ W Resultierender Wärmestrom in einer Zone
 Φ_m W Gesamtwärmestrom für das betrachtete Gesamtbauteil
 $A_{BT,Zone}$ m² Fläche des Bauteils BT in der Zone
 A_{BT} m² Gesamtfläche des Bauteils BT

Nach DIN V 18599-2 wird die Berechnung des jährlichen Heiz- und Kühlkältebedarfs über 4 differenzierte Bilanzrechnungen durchgeführt. Die Zwischenergebnisse der jeweiligen Bilanzberechnung Heizen und Kühlen werden zu einem gemeinsamen Wert für Heizen und Kühlen aggregiert. Jeweils für die Bilanz Heizen und Kühlen ist eine Berechnung für den Nutzungs- und Nichtnutzungszeitraum durchzuführen. Jede dieser Bilanzen wird mit unterschiedlichen Randbedingungen, insbesondere für Raumtemperatur, Lüftung, Belegung und interne Wärmegewinne, durchgeführt. Für eine vergleichende Bewertung relevant sind in dem Fall die Bilanz-Raumtemperaturen. Im Heizfall hängen diese u. a. vom Wärmeschutzniveau, dem



Absenkverhalten und von der Raum-Solltemperatur ab. Im Kühlfall sind diese in der Regel mit einer Differenz von 2 K bezogen auf die Raum-Solltemperatur im Kühlfall vorgegeben. Folgendes Bild zeigt beispielhaft berechnete Bilanz-Innentemperaturen für ein Gebäude mit hohem Wärmeschutz.¹¹

Abbildung 1: monatliche Bilanz-Innentemperaturen gemäß DIN V 18599-2 für ein Gebäude mit hohem Wärmeschutz.

Die statische Komponente bzw. der Gesamtwärmestrom über das Erdreich ist mit den gleichen Randbedingungen zu bewerten wie der Wärmestrom des Referenzgebäudes. Andernfalls führt die gleiche Effizienzanforderung an ein Bauteil zu unterschiedlichen Wärmeströmen/-verlusten und ist nicht mehr vergleichbar.

2.3 Wärmestrom statische Komponente

Die EN 13370-Berechnung ist für die DIN V 18599-Bilanz differenziert für den Heiz- und Kühlfall durchzuführen.

$$1) \quad H_g \cdot (\bar{\theta}_{\text{int}} - \bar{\theta}_e) \quad \text{Mittlerer jährlicher Gesamtwärmestrom in W}$$

Da das Referenzgebäude in Luxemburg mit einem U-Wert und einem F_x -Wert an das Außenklima verknüpft rechnet und für die Berechnung die jeweilige Bilanz-Innentemperatur herangezogen wird, muss die Bilanz-Innentemperatur auch für die Berechnungen des jährlichen Gesamtwärmestroms herangezogen werden. Die in der EN 13370 anzusetzende mittlere Jahres-Innentemperatur entspricht demnach der mittleren Bilanz-Innentemperatur aus DIN V 18599-2, für den Berechnungsfall Heizen und Kühlen und ggf. über mehrere Zonen gewichtet.

$$\bar{\theta}_{\text{int}} = \frac{\sum_m (\theta_{\text{int},N,m} \cdot d_{N,m} + \theta_{\text{int},NN,m} \cdot d_{NN,m})}{d_a}$$

wobei		
$\bar{\theta}_{\text{int}}$	°C	Mittlere Jahres-Bilanz-Innentemperatur des Gebäudes jeweils für Heizen und Kühlen
$\theta_{\text{int},N,m}$	°C	Bilanz-Innentemperatur im Monat m innerhalb der Nutzungszeit
$\theta_{\text{int},NN,m}$	°C	Bilanz-Innentemperatur im Monat m innerhalb der Nichtnutzungszeit
$d_{N,m}$	Tage	Nutztage im Monat m
$d_{NN,m}$	Tage	Nichtnutztage im Monat m
d_a	Tage	Tage im Jahr (365)

Für den Fall, dass die EN 13370-Berechnung auf Zonenebene und für jede Teilenergiebilanz (Heizung, Kühlung, Nutz-/Nichtnutzzeit) durchgeführt wird, sowie auch die Berechnung des Referenzgebäudes, ist eine Nutzungsgewichtung nicht erforderlich und es kann jeweils die mittlere jährliche Bilanz-Innentemperatur der entsprechenden Berechnung verwendet werden. Wobei $\theta_{\text{int},m}$ der monatlichen Bilanz-Innentemperatur nach DIN V 18599-2 der jeweiligen Teilenergiebilanz entspricht.

$$\bar{\theta}_{\text{int}} = \frac{\sum_m (\theta_{\text{int},m})}{12}$$

Da im effektiven U-Wert bereits die wärmedämmende Wirkung des Erdreichs einbezogen ist, erfolgt die Bilanz mit der mittleren Jahres-Außentemperatur aus den Klimadaten.

$$\bar{\theta}_e = \frac{\sum_m (\theta_{e,m})}{12}$$

Wobei		
$\bar{\theta}_e$	°C	Mittlere Jahres-Außentemperatur
$\theta_{e,m}$	°C	Mittlere Außentemperatur im Monat m

¹¹ Berechnet mit EnerCalc Version 7

2.4 Wärmestrom periodische Komponente

Die periodischen Komponenten berücksichtigen unter anderem den Einfluss der thermischen Trägheit des Erdreichs. Maßgebende Einflussfaktoren sind, neben geometrischen und baulichen Randbedingungen, die Wärmekapazität und die Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs. Die periodischen Wärmetransferkoeffizienten H_{pi} und H_{pe} werden für unterschiedliche Situationen nach EN 13370 für folgende Situationen bestimmt.

- Bodenplatte auf Erdreich
- Aufgeständerte Bodenplatte
- Unbeheiztes Kellergeschoss
- Bodenplatte auf Erdreich mit Randdämmung
- Beheiztes Kellergeschoss

Der Wärmestrom verläuft entsprechend phasenverschoben und in EN 13370 (Anhang H, Tab. H.2) sind typische Phasenverschiebungen für Bodenplattenarten angegeben.

2.4.1 Periodische Komponente - Innentemperatur

Werden jedoch auch hier die Bilanz-Innentemperaturen nach DIN V 18599 verwendet, so kann dies zu einer deutlichen Unter-/Überschätzung der monatlichen Wärmeströme führen, da der reale Jahresverlauf der Raumtemperaturen im Gebäude in einer einzelnen Bilanz (Heizen oder Kühlen) nicht adäquat abgebildet wird. In den Gleichungen sind daher praktische Annahmen zur monatlichen mittleren Raumtemperatur zu treffen, damit der periodische Einfluss besser abgebildet werden kann.

$$2.1) \quad H_{pi} \cdot \hat{\theta}_{int} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-t+a}{12}\right) \quad \text{Monatlicher inneren Wärmestroms in W}$$

$$2.2) \quad H_{pi} \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{int,m})$$

Die mittlere Innentemperatur $\theta_{int,m}$ bzw. die Amplitude der mittleren Innentemperatur $\hat{\theta}_{int}$ sind in dem Fall nicht aus den Bilanz-Innentemperaturen der jeweiligen Berechnung nach DIN V 18599-2 abzuleiten. Die Maximaltemperatur θ_{max} kann für gekühlte Zonen mit 23 °C¹² festgelegt werden (Raum-Solltemperatur Kühlen 24 °C minus eine angenommene Tag-Nacht-Schwankung von 1 K). Die minimale Temperatur θ_{min} entspricht der kleinsten mittleren Bilanz-Innentemperatur der Heizbilanzen für die Nutzungs- und Nichtnutzungsperiode nach DIN V 18599-2. Die Bilanz-Innentemperatur ist für die Nutzungs- und Nichtnutzungszeit zeitlich zu gewichten. Sie ist monatlich zu berechnen und entsprechend der kleinste berechnete monatliche Wert zu verwenden.

$$\theta_{min} = \min_m \left(\frac{\theta_{min,N,m} \cdot d_{N,m} + \theta_{min,NN,m} \cdot d_{NN,m}}{d_m} \right)$$

wobei

θ_{min}	°C	Kleinste im Jahr auftretende monatliche mittlere Bilanz-Innentemperatur
$\theta_{min,N,m}$	°C	Kleinste mittlere Bilanz-Innentemperatur im Monat m in der Nutzungszeit
$\theta_{min,NN,m}$	°C	Kleinste mittlere Bilanz-Innentemperatur im Monat m in der Nichtnutzungszeit
$d_{N,m}$	Tage im Monat	Nutztage im Monat m
$d_{NN,m}$	Tage im Monat	Nichtnutztage im Monat m
d_m	Tage im Monat	Tage im Monat m

Alternativ kann die kleinste mittlere Bilanz-Innentemperatur θ_{min} auch mit 20 °C festgelegt werden.

Mittlere Innentemperatur und Amplitude

Die Amplitude der Schwankung der Innentemperatur kann für Gleichung 2.1) wie folgt ermittelt werden.

$$\hat{\theta}_{int} = \frac{(\theta_{max} - \theta_{min})}{2}$$

Wird Ansatz 2.2) verwendet sind der mittlere Jahreswert der Innentemperatur $\bar{\theta}_{int}$ sowie die mittlere monatliche Innentemperatur $\theta_{int,m}$ wie folgt bestimmt werden.

¹² Annahme: bei nicht gekühlten Zonen wird der sommerliche Wärmeschutz respektiert und die Gebäudemitteltemperatur entspricht ebenfalls der mittleren Bilanz-Temperatur (24°C nach DIN V 18599). Vergleichsrechnungen mit *SimRoom 4.221* (www.ingeo.de) zeigen, dass unter Berücksichtigung von effizienten Sonnenschutzsystemen und effizienten Nachtlüftungskonzepten eine Bandbreite von 23 bis 26 °C möglich ist.

$$\bar{\theta}_{\text{int}} = \frac{(\theta_{\text{max}} + \theta_{\text{min}})}{2}$$

$$\theta_{\text{int,m}} = \bar{\theta}_{\text{int}} - \hat{\theta}_{\text{int}} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-t}{12}\right)$$

wobei		
$\bar{\theta}_{\text{int}}$	°C	Jahresmittelwert der Innentemperatur
$\theta_{\text{int,max}}$	°C	Mittlere monatliche Innentemperatur
t	Monat	Monatsnummer mit der niedrigsten Innentemperatur
m	1-12	Betrachtungsmonat

2.4.2 Periodische Komponente – Außentemperatur

Für die Außentemperatur können die monatlichen Mittelwerte der Klimadaten herangezogen werden.

$$3.1) \quad H_{\text{pe}} \cdot \hat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{m-t-\beta}{12}\right) \quad \text{Monatlicher äußerer Wärmestroms in W}$$

$$3.2) \quad H_{\text{pe}} \cdot (\bar{\theta}_e - \theta_{e,m})$$

Bei Verwendung von Gleichung 3.1) kann die Phasenverschiebung berücksichtigt werden. In dem Fall ist die Amplitude der Schwankung der Außentemperatur wie folgt zu ermitteln.

$$\hat{\theta}_e = \frac{(\theta_{e,\text{max}} - \theta_{e,\text{min}})}{2}$$

wobei		
$\hat{\theta}_e$	K	Amplitude der Schwankungen des Monatsmittel der Außentemperatur
$\theta_{e,\text{max}}$	°C	Größte mittlere monatliche Außentemperatur des Klimadatensatzes
$\theta_{e,\text{min}}$	°C	Kleinste mittlere monatliche Außentemperatur des Klimadatensatzes

Die mittlere Jahres-Außentemperatur ist gemäß den Klimadaten wie folgt zu bestimmen.

$$\bar{\theta}_e = \frac{\sum_m(\theta_{e,m})}{12}$$

wobei		
$\bar{\theta}_e$	°C	Mittlere Jahres-Außentemperatur
$\theta_{e,m}$	°C	Mittlere Außentemperatur im Monat m

Um den Einfluss der Phasenverschiebung bei der Berechnung zu berücksichtigen, sind die Gleichungen 2.1 und 3.1 bzw. das Verfahren C.2 „*Monatlicher Wärmestrom bei sinusförmigen Temperaturschwankungen*“ der EN 13370 zu verwenden.

3 Berechnungsergebnisse | Bodenplatte auf Erdreich

Folgende Tabelle zeigt verschiedene Geometrien von Bodenplatten. Maßgebend ist das Verhältnis von Fläche zum Umfang der Bodenplatte. Dieses Verhältnis wird mit dem charakteristischen Bodenmaß B' ausgedrückt ($B' = A / 0,5 \cdot P$).

Tabelle 1: Analytierte Geometrien von quadratischen Bodenplatten.

Bereich	Einheit	N°1	N°2	N°3	N°4	N°5	N°6	N°7
Fläche	A [m ²]	50	100	190	370	720	1.400	2.710
Länge	L [m]	7,1	10,0	13,8	19,2	26,8	37,4	52,1
Breite	B [m]	7,1	10,0	13,8	19,2	26,8	37,4	52,1
Perimeter	P [m]	28	40	55	77	107	150	208
Bodenmaß	B' [m]	3,5	5,0	6,9	9,6	13,4	18,7	26,0

Basierend auf den in Tabelle 1 definierten Randbedingungen werden Berechnungen durchgeführt. Die folgenden Auswertungen erfolgen exemplarisch für eine Bodenplatte (ungedämmt oder mit vollflächiger Dämmung). Alle anderen möglichen Einbausituationen und Konfigurationen sind entsprechend den Gleichungen der EN 13370 entsprechend zu modifizieren. Bewertet werden die folgenden Aspekte.

- Effektiver U-Wert unter Berücksichtigung der wärmedämmenden Wirkung des Erdreichs
- F_x -Wert der Konstruktion unter Berücksichtigung der wärmedämmenden Wirkung des Erdreichs
- Erforderliche Dämmstoffdicke (bei $\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{mK})$), um die gleiche Dämmeffizienz zu erreichen wie sie über das Referenzgebäude vorgegeben wird.
- Resultierende monatliche Wärmeverluste je m² Bauteilfläche. Differenziert für die Berechnung des Referenzgebäudes und für die beiden Varianten der C.2 und C.3

3.1 Effektiver U-Wert und F_x -Wert für eine Bodenplatte

Folgende Bilder zeigen berechnete effektive U-Werte einer Bodenplatte unter Berücksichtigung der wärmedämmenden Wirkung des Erdreichs für unterschiedliche große quadratische Bodenplatten.

Auf der X-Achse ist der U-Wert der Konstruktion [$U_{\text{Bauteil}} = 1/(R_{\text{se}} + R_{\text{si}} + R_{\text{Bauteil}})$] aufgetragen und auf der Y-Achse der effektive (resultierende) U-Wert gegen Außenklima, unter Berücksichtigung der wärmedämmenden Wirkung des Erdreichs. Analog dazu im rechten Bild der entsprechende Temperaturkorrekturfaktor F_x .

Neben verschiedenen Geometrie- und bauphysikalischen Parametern auf Bauteilebene, spielen auch die thermodynamischen Eigenschaften des Erdreichs eine Rolle. Die Berechnungen sind für die drei in EN 13370 angegebenen Erdreichtypen durchgeführt.

Tabelle 2: Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs nach DIN EN 13370, Tab.7

Bereich	Wärmeleitfähigkeit W/(m·K)	Wärmekapazität J/(m ³ ·K)	Periodische Eindringtiefe δ [m] berechnet
Ton oder Schluff	1,5	3·10 ⁶	2,24
Sand oder Kies	2,0	2·10 ⁶	3,17
Homogener Felsen	3,5	2·10 ⁶	4,19

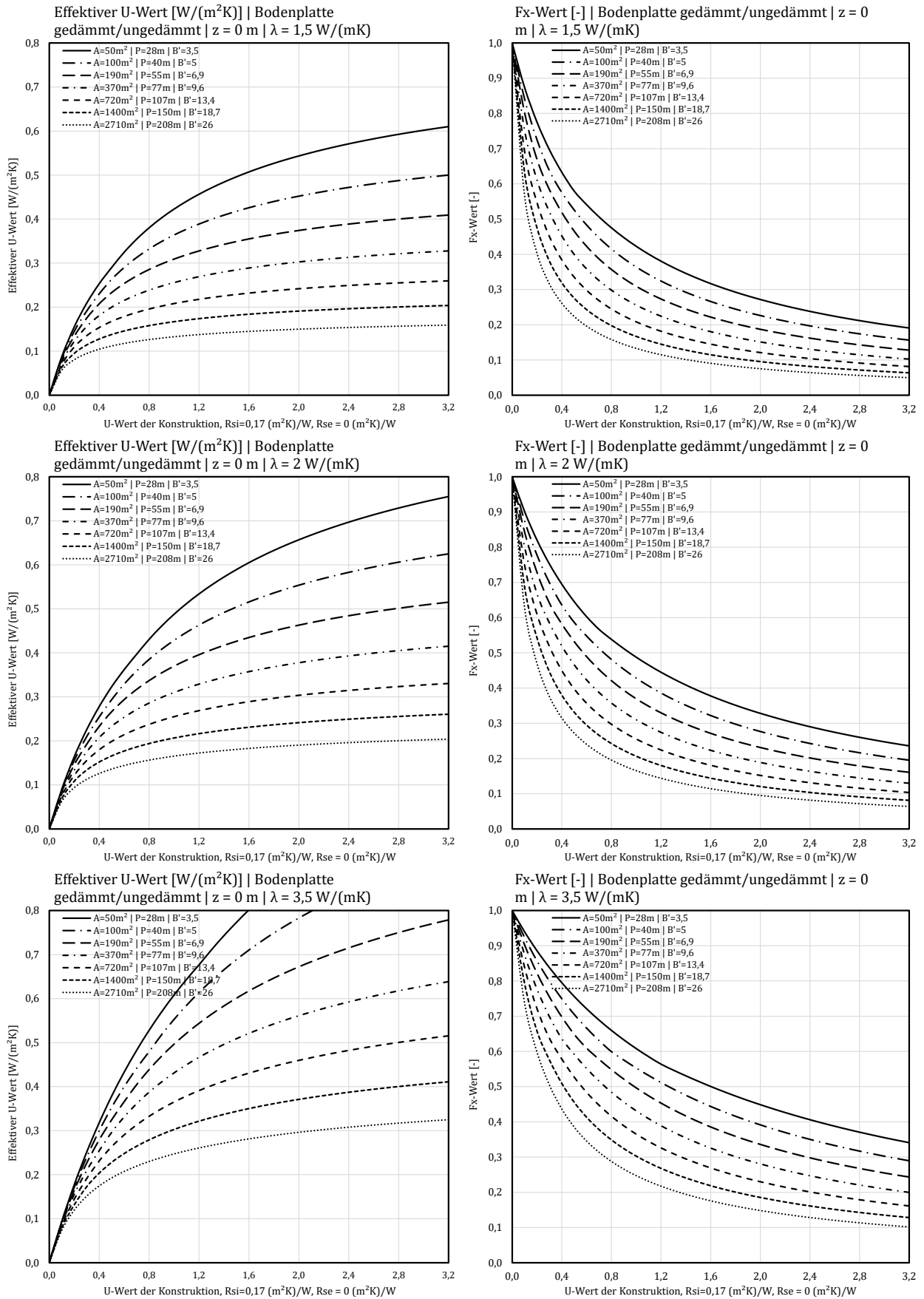


Abbildung 2: Berechnete effektiver U-Werte und Fx-Werte von quadratischen Bodenplatten auf Erdreich, für verschiedene Größen und Bodenarten.

3.2 Erforderliche Dämmstoffdicke für Referenzgebäude-Äquivalenz – Wärmestrom

Im Referenzgebäude (RGD 2021)¹ wird bei Nichtwohngebäuden für erdreichberührte Bauteile ein U-Wert von $0,175 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und ein F_x -Wert von $0,8$ vorgegeben. Dies entspricht in etwa der gleichen Effizianzforderung einer Wand, die an Außenluft grenzt mit einem U-Wert von $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Die Erdreichparameter sind im Referenzgebäude mit einem vorgegebenen F_x -Wert von $0,8$ abgebildet. Die individuelle Ausgestaltung einer Bodenplatte kann im zu bewertenden Gebäude berücksichtigt werden und je nach Konfiguration ist vergleichsweise weniger Dämmung erforderlich. Wie u. a. in DIN V 18599-2 angegeben sind als Standardparameter der Bodentyp „Sand oder Kies“ mit einer Wärmeleitfähigkeit λ von $2 \text{ W}/(\text{mK})$ und einer volumenbezogenen Wärmekapazität C mit $2 \cdot 10^6 \text{ J}/(\text{m}^3\text{K})$ anzusetzen. Die folgenden Bilder zeigen die erforderliche Dämmstoffdicke einer Bodenplatte (ohne Randdämmung) die vorgesehen werden muss, um den gleichen Wärmestrom zu erreichen, wie bei der Referenzgebäudeberechnung für unterschiedliche Bodenarten und Einbautiefen einer Bodenplatte (Details vgl. Tabelle 3).

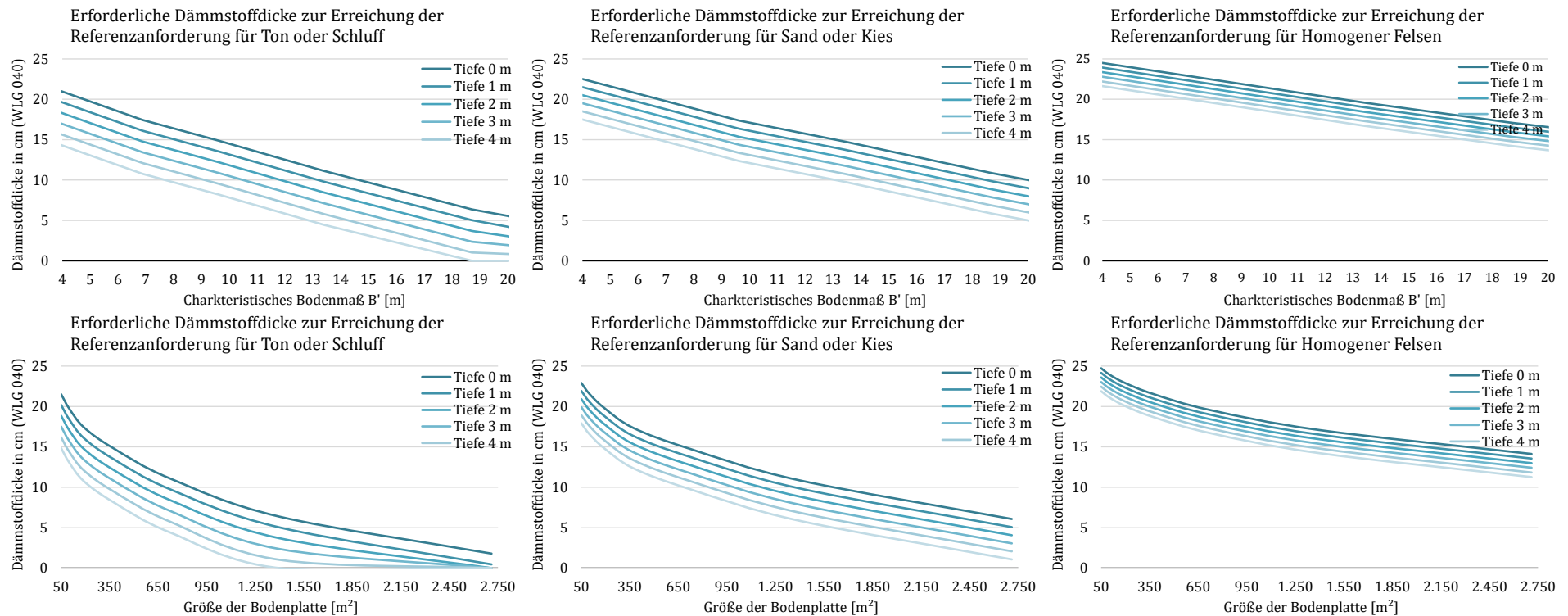


Abbildung 3: Erforderliche Dämmstoffdicken von quadratischen Bodenplatten unterschiedlicher Größe, ohne Randdämmung für verschiedene Bodenarten und Tiefen im Erdreich als Äquivalent zum Wärmestrom der Referenzgebäudeberechnung – aufgetragen über die Größe und das charakteristische Bodenmaß der Bodenplatte.

3.3 Erforderliche Dämmstoffdicke für Referenzgebäude-Äquivalenz – Wärmeverluste

Analog zur Darstellung und den Randbedingungen aus Abschnitt 3.2 zeigen die folgenden Bilder die erforderliche Dämmstoffdicke einer Bodenplatte (ohne Randdämmung) die vorgesehen werden muss, um den gleichen Wärmeverlust [q_h in kWh/(m²a)] über die Monate der Heizperiode (Annahme: Oktober bis März) zu erreichen, wie bei der Referenzgebäudeberechnung im gleichen Zeitraum [$q_{h,ref,Heizperiode} = 9,8$ kWh/(m²a)] für unterschiedliche Bodenarten und Einbautiefen einer Bodenplatte (Details vgl. Tabelle 4).

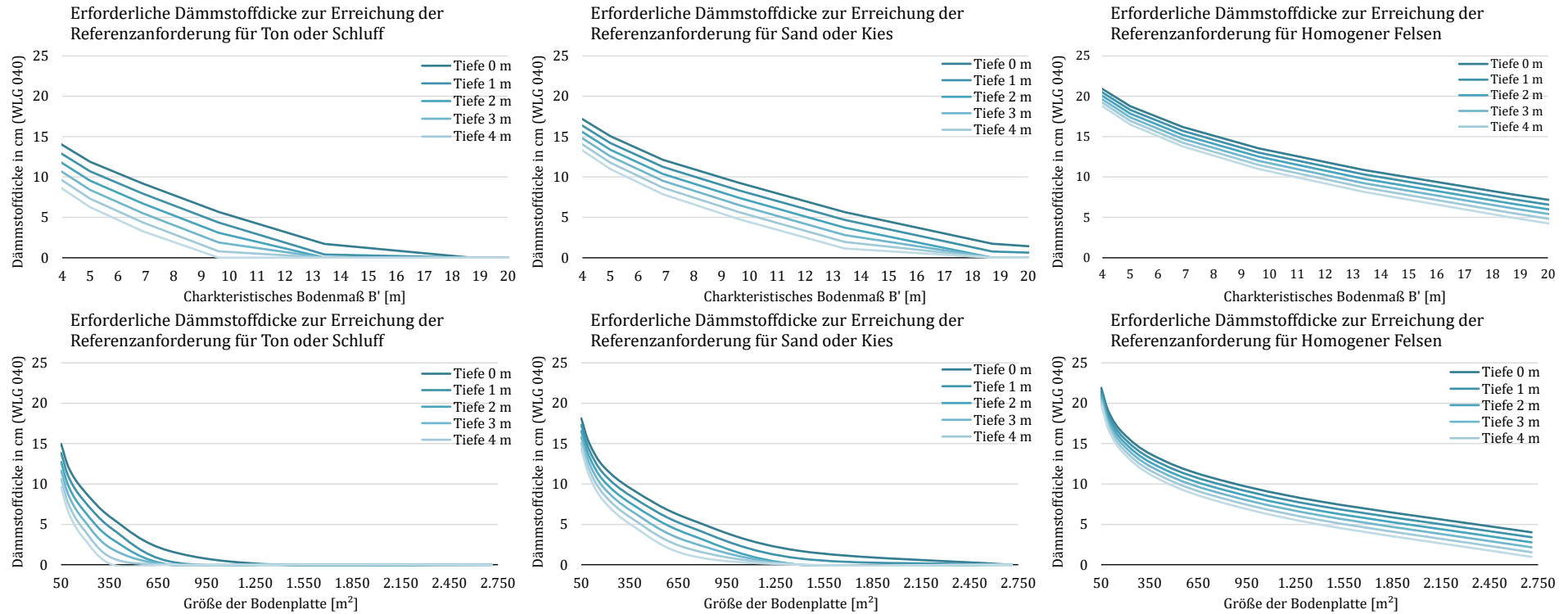


Abbildung 4: Erforderliche Dämmstoffdicken von quadratischen Bodenplatten unterschiedlicher Größe, ohne Randdämmung für verschiedene Bodenarten und Tiefen im Erdreich als Äquivalent zu den Wärmeverlusten der Heizperiode (Oktober bis März) der Referenzgebäudeberechnung im gleichen Zeitraum – aufgetragen über die Größe und das charakteristische Bodenmaß der Bodenplatte.

3.4 Aufteilung der Wärmeverluste

Für die Berechnung nach EN 13370 wird die Dämmstoffdicke der Bodenplatte entsprechend angepasst, sodass der effektive U-Wert der Bodenplatte U_{eff} dem Produkt aus $U_{ref} \cdot F_x$ des Referenzgebäudes entspricht. In dem Fall ist die Dämmeffizienz der Bodenplatte gleichwertig zum Referenzgebäude. Der Brutto-Jahres-Wärmeverlust kann für den Fall des Referenzgebäudes wie folgt berechnet werden¹³.

$$Q_{m(ref)} = A \cdot U \cdot F_x \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) \cdot 8,76$$

$$Q_{m(ref)} = 1 \text{ m}^2 \cdot 0,175 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}) \cdot 0,8 \cdot (20,2 \text{ °C}^{14} - 9,5 \text{ °C}) \cdot 8,76 \text{ kh/a} = 13,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$$

Beim Wärmeverlust innerhalb der Heizperiode unterscheiden sich die Ergebnisse, da die Wärmeverluste während unterschiedlichen Zeiträumen auftreten. Das führt dazu, dass zur Erreichung einer Wärmeschutzklasse¹⁵ in der Regel weniger zu dämmen ist. Folgende Bilder zeigen die Aufteilung der Wärmeverluste über einzelne Monate (Details vgl. Tabelle 4).

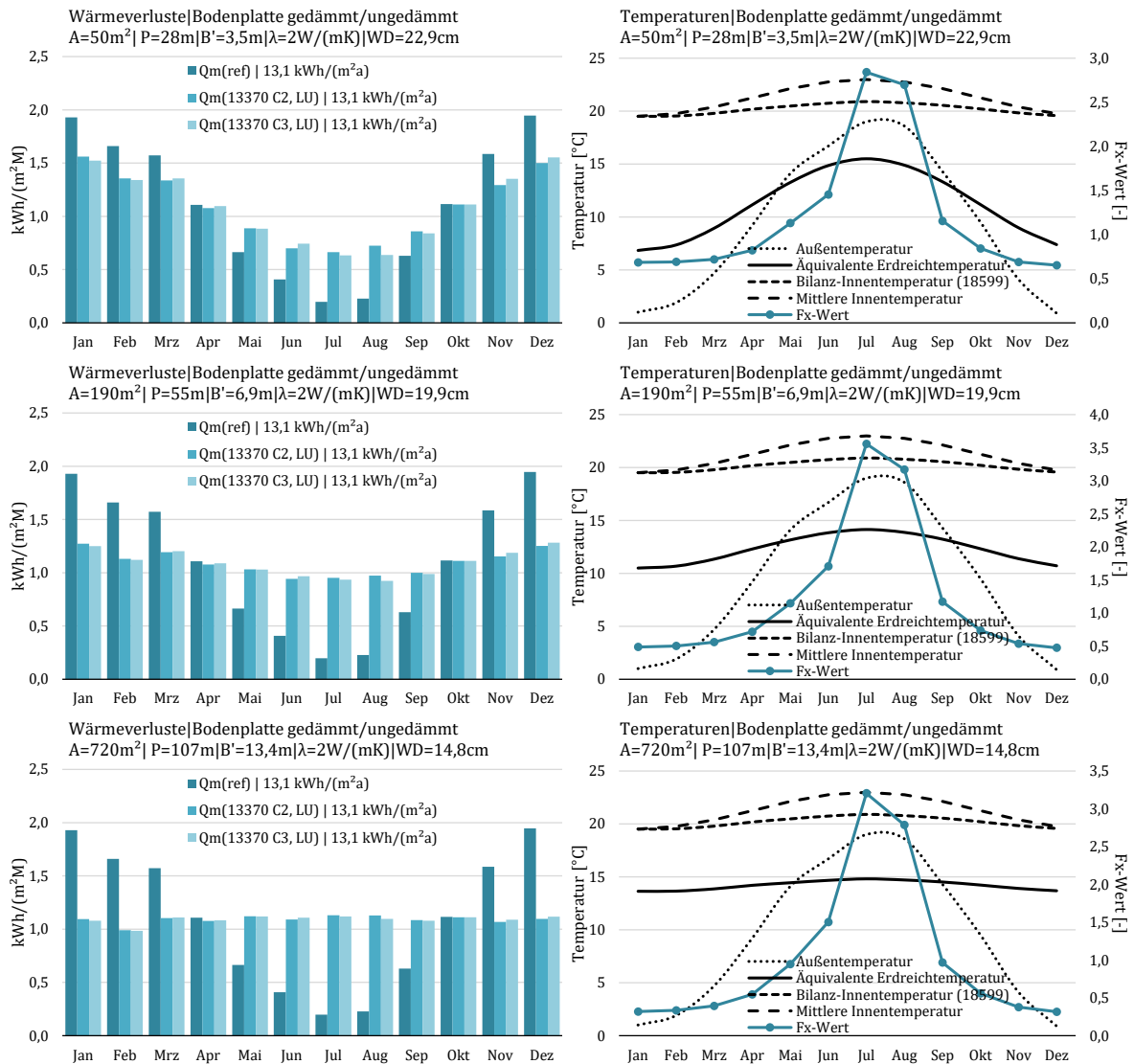


Abbildung 5: Monatliche Wärmeverluste einer quadratischen Bodenplatte auf Erdoberfläche (50 m², 190 m² und 720 m²) für verschiedene Bilanzierungsvarianten [links, $Q_{m(ref)}$ =Bilanz des Referenzgebäudes, $Q_{m(13370 C2, LU)}$ =Verfahren C.2, $Q_{m(13370 C3, LU)}$ =Verfahren C.3], sowie Berechnungstemperaturen und Temperaturkorrekturfaktoren (rechts).

¹³ Vergleichend hier unabhängig von der realen Heizperiode über das Gesamtjahr

¹⁴ Die mittlere Bilanz-Innentemperatur Heizen von 20,2 °C wurde für ein Bürogebäude mit Referenzausstattung nach aktueller Luxemburger Verordnung exemplarisch bestimmt.

¹⁵ Die maßgebende Größe dafür ist der Heizwärmebedarf

Tabelle 3: Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Konfigurationen von Bodenplatten und Erdreichparameter. Die Dämmstoffdicke d_{WD} wurde angepasst, dass der effektive U-Wert nach der EN 13370-Berechnung der Anforderung aus dem Referenzgebäude entspricht [$U_{eff,ref} = U_{ref} \cdot F_{x,ref} = 0,175 \cdot 0,8 = 0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$]. Dargestellt werden zudem die F_x -Werte und die Wärmeverluste für die Heiz- und Kühlperiode (Heizen $h = \text{Oktober bis März}$ | Kühlen $c = \text{April bis September}$). Im Vergleich zum Referenzgebäude beträgt der spezifische Wärmeverlust in Heizperiode $q_{h,ref} = 9,8 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$ und in der Kühlperiode $q_{c,ref} = 3,2 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$.

Parameter				Ton oder Schluff									Sand oder Kies									Homogener Felsen								
A	B	L	Z	U_0	U_{eff}	$F_{x,h}$	$F_{x,c}$	d_{WD}	q_h	q_c	q_t	U_0	U_{eff}	$F_{x,h}$	$F_{x,c}$	d_{WD}	q_h	q_c	q_t	U_0	U_{eff}	$F_{x,h}$	$F_{x,c}$	d_{WD}	q_h	q_c	q_t			
m ³	m	m	m	W/(m ² K)	W/(m ² K)	-	-	cm	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ² K)	W/(m ² K)	-	-	cm	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	W/(m ² K)	W/(m ² K)	-	-	cm	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)	kWh/(m ² a)			
50	7,1	7,1	0	0,176	0,140	0,62	1,79	21,5	7,5	5,5	13,1	0,165	0,140	0,71	1,57	22,9	8,2	4,9	13,1	0,154	0,140	0,82	1,33	24,7	8,8	4,2	13,1			
100	10,0	10,0	0	0,191	0,140	0,54	1,87	19,7	7,1	6,0	13,1	0,175	0,140	0,62	1,79	21,6	7,5	5,5	13,1	0,159	0,140	0,73	1,71	24,0	8,0	5,1	13,1			
190	13,8	13,8	0	0,214	0,140	0,46	1,81	17,4	6,7	6,3	13,1	0,189	0,140	0,55	1,86	19,9	7,1	6,0	13,1	0,165	0,140	0,65	1,95	23,0	7,5	5,6	13,1			
370	19,2	19,2	0	0,248	0,140	0,39	1,68	14,9	6,5	6,6	13,1	0,215	0,140	0,46	1,80	17,4	6,8	6,3	13,1	0,175	0,140	0,58	2,06	21,6	7,0	6,1	13,1			
720	26,8	26,8	0	0,324	0,140	0,29	1,38	11,1	6,2	6,9	13,1	0,250	0,140	0,38	1,66	14,8	6,5	6,6	13,1	0,192	0,140	0,51	2,05	19,6	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	0	0,525	0,140	0,17	0,92	6,4	5,8	7,4	13,1	0,331	0,140	0,28	1,35	10,8	6,2	6,9	13,1	0,218	0,140	0,44	1,92	17,1	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	0	1,319	0,140	0,06	0,42	1,8	5,1	8,0	13,1	0,547	0,140	0,16	0,89	6,1	5,8	7,4	13,1	0,260	0,140	0,35	1,71	14,1	6,2	6,9	13,1			
50	7,1	7,1	1	0,187	0,140	0,59	1,66	20,2	7,6	5,5	13,1	0,173	0,140	0,68	1,47	21,9	8,2	4,9	13,1	0,157	0,140	0,81	1,28	24,2	8,9	4,2	13,1			
100	10,0	10,0	1	0,204	0,140	0,51	1,74	18,4	7,1	6,0	13,1	0,183	0,140	0,60	1,69	20,6	7,6	5,5	13,1	0,162	0,140	0,71	1,66	23,4	8,0	5,0	13,1			
190	13,8	13,8	1	0,231	0,140	0,43	1,68	16,1	6,8	6,3	13,1	0,199	0,140	0,52	1,76	18,9	7,1	6,0	13,1	0,169	0,140	0,64	1,89	22,4	7,5	5,6	13,1			
370	19,2	19,2	1	0,271	0,140	0,35	1,54	13,5	6,4	6,6	13,1	0,227	0,140	0,44	1,70	16,4	6,8	6,3	13,1	0,180	0,140	0,57	2,00	21,0	7,0	6,0	13,1			
720	26,8	26,8	1	0,363	0,140	0,25	1,24	9,8	6,1	7,0	13,1	0,266	0,140	0,36	1,56	13,8	6,5	6,6	13,1	0,197	0,140	0,50	1,99	19,0	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	1	0,637	0,140	0,14	0,77	5,0	5,7	7,4	13,1	0,360	0,140	0,26	1,24	9,8	6,1	7,0	13,1	0,225	0,140	0,42	1,86	16,5	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	1	2,352	0,140	0,03	0,24	0,4	4,9	8,2	13,1	0,633	0,140	0,14	0,78	5,1	5,7	7,4	13,1	0,270	0,140	0,34	1,65	13,6	6,1	7,0	13,1			
50	7,1	7,1	2	0,199	0,140	0,55	1,53	18,9	7,6	5,4	13,1	0,180	0,140	0,66	1,38	20,9	8,3	4,8	13,1	0,161	0,140	0,79	1,23	23,6	8,9	4,1	13,1			
100	10,0	10,0	2	0,218	0,140	0,48	1,60	17,1	7,1	5,9	13,1	0,192	0,140	0,57	1,60	19,6	7,6	5,5	13,1	0,166	0,140	0,70	1,60	22,8	8,1	5,0	13,1			
190	13,8	13,8	2	0,250	0,140	0,40	1,54	14,8	6,8	6,3	13,1	0,209	0,140	0,50	1,66	17,9	7,2	5,9	13,1	0,173	0,140	0,63	1,83	21,8	7,5	5,6	13,1			
370	19,2	19,2	2	0,297	0,140	0,32	1,40	12,2	6,4	6,7	13,1	0,241	0,140	0,41	1,59	15,4	6,8	6,3	13,1	0,185	0,140	0,56	1,94	20,4	7,1	6,0	13,1			
720	26,8	26,8	2	0,412	0,140	0,22	1,09	8,4	6,1	7,0	13,1	0,285	0,140	0,34	1,46	12,8	6,5	6,6	13,1	0,203	0,140	0,49	1,93	18,4	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	2	0,809	0,140	0,11	0,62	3,7	5,6	7,5	13,1	0,396	0,140	0,23	1,13	8,8	6,1	7,0	13,1	0,233	0,140	0,41	1,81	15,9	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	2	3,196	0,133	0,02	0,18	0,0	4,5	8,0	12,5	0,752	0,140	0,12	0,66	4,1	5,6	7,5	13,1	0,281	0,140	0,33	1,59	13,0	6,1	7,0	13,1			
50	7,1	7,1	3	0,213	0,140	0,52	1,40	17,5	7,7	5,4	13,1	0,189	0,140	0,63	1,29	19,9	8,4	4,7	13,1	0,165	0,140	0,78	1,18	23,0	9,0	4,1	13,1			
100	10,0	10,0	3	0,236	0,140	0,44	1,47	15,7	7,2	5,9	13,1	0,202	0,140	0,55	1,50	18,6	7,7	5,4	13,1	0,170	0,140	0,68	1,55	22,3	8,1	5,0	13,1			
190	13,8	13,8	3	0,272	0,140	0,37	1,41	13,4	6,8	6,3	13,1	0,221	0,140	0,47	1,57	16,9	7,2	5,9	13,1	0,178	0,140	0,61	1,78	21,3	7,5	5,6	13,1			
370	19,2	19,2	3	0,330	0,140	0,29	1,26	10,9	6,4	6,7	13,1	0,256	0,140	0,39	1,49	14,4	6,8	6,3	13,1	0,190	0,140	0,54	1,89	19,9	7,1	6,0	13,1			
720	26,8	26,8	3	0,478	0,140	0,19	0,95	7,1	6,1	7,0	13,1	0,307	0,140	0,31	1,35	11,8	6,5	6,6	13,1	0,209	0,140	0,47	1,87	17,9	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	3	1,107	0,140	0,08	0,46	2,4	5,5	7,6	13,1	0,440	0,140	0,21	1,03	7,8	6,1	7,0	13,1	0,241	0,140	0,40	1,75	15,4	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	3	3,196	0,125	0,02	0,17	0,0	4,1	7,6	11,7	0,927	0,140	0,09	0,54	3,1	5,6	7,6	13,1	0,293	0,140	0,31	1,53	12,4	6,1	7,0	13,1			
50	7,1	7,1	4	0,229	0,140	0,49	1,27	16,2	7,8	5,3	13,1	0,198	0,140	0,61	1,19	18,9	8,4	4,6	13,1	0,169	0,140	0,77	1,13	22,5	9,0	4,0	13,1			
100	10,0	10,0	4	0,256	0,140	0,41	1,34	14,4	7,2	5,9	13,1	0,212	0,140	0,52	1,40	17,6	7,7	5,4	13,1	0,174	0,140	0,67	1,49	21,7	8,1	4,9	13,1			
190	13,8	13,8	4	0,300	0,140	0,33	1,27	12,1	6,8	6,3	13,1	0,234	0,140	0,45	1,47	15,9	7,2	5,9	13,1	0,182	0,140	0,60	1,72	20,7	7,5	5,5	13,1			
370	19,2	19,2	4	0,371	0,140	0,26	1,13	9,5	6,4	6,7	13,1	0,274	0,140	0,37	1,39	13,4	6,8	6,3	13,1	0,195	0,140	0,53	1,83	19,3	7,1	6,0	13,1			
720	26,8	26,8	4	0,569	0,140	0,16	0,81	5,8	6,0	7,1	13,1	0,333	0,140	0,29	1,25	10,8	6,5	6,6	13,1	0,216	0,140	0,46	1,81	17,3	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	4	1,755	0,140	0,05	0,30	1,0	5,4	7,8	13,1	0,494	0,140	0,19	0,92	6,8	6,1	7,0	13,1	0,249	0,140	0,38	1,69	14,8	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	4	3,196	0,118	0,02	0,16	0,0	3,8	7,3	11,1	1,206	0,140	0,07	0,42	2,1	5,5	7,6	13,1	0,306	0,140	0,30	1,47	11,8	6,1	7,0	13,1			
50	7,1	7,1	5	0,248	0,140	0,46	1,14	14,9	7,9	5,2	13,1	0,209	0,140	0,58	1,10	17,9	8,5	4,6	13,1	0,173	0,140	0,75	1,08	21,9	9,1	4,0	13,1			
100	10,0	10,0	5	0,279	0,140	0,38	1,21	13,1	7,3	5,8	13,1	0,224	0,140	0,50	1,31	16,6	7,8	5,3	13,1	0,179	0,140	0,66	1,44	21,1	8,2	4,9	13,1			
190	13,8	13,8	5	0,333	0,140	0,30	1,13	10,8	6,9	6,2	13,1	0,248	0,140	0,42	1,37	14,9	7,3	5,8	13,1	0,187	0,140	0,58	1,66	20,1	7,6	5,5	13,1			
370	19,2	19,2	5	0,423	0,140	0,23	0,99	8,2	6,4	6,7	13,1	0,294	0,140	0,34	1,29	12,4	6,8	6,3	13,1	0,200	0,140	0,52	1,77	18,7	7,1	6,0	13,1			
720	26,8	26,8	5	0,702	0,140	0,13	0,66	4,4	6,0	7,1	13,1	0,363	0,140	0,26	1,15	9,8	6,5	6,6	13,1	0,223	0,140	0,44	1,75	16,7	6,7	6,4	13,1			
1400	37,4	37,4	5	3,196	0,138	0,03	0,16	0,0	5,2	7,7	13,0	0,564	0,140	0,16	0,81	5,8	6,0	7,1	13,1	0,258	0,140	0,37	1,63	14,2	6,4	6,7	13,1			
2710	52,1	52,1	5	3,196	0,112	0,02	0,16	0,0	3,5	7,0	10,5	1,727	0,140	0,05	0,30	1,1	5,4	7,7	13,1	0,320	0,140	0,29	1,41	11,3	6,1	7,0	13,1			

Legende: Z = Tiefe im Erdreich | L = Länge der Bodenplatte | B = Breite der Bodenplatte | A = Fläche der Bodenplatte | q_h = Wärmeverlust in der Heizperiode | q_c = Wärmeverlust in der Kühlperiode | q_t = Jahres-Wärmeverlust | d_{WD} = Dicke der Wärmedämmung der Bodenplatte | F_x = Temperaturkorrekt

Tabelle 4: Berechnungsergebnisse für unterschiedliche Konfigurationen von Bodenplatten und Erdreichparameter. Die Dämmstoffdicke d_{WD} wurde angepasst, dass der Wärmeverlust des Referenzgebäudes und Wärmeverlust nach EN 13370 für die Monate der Heizperiode (Oktober bis März) gleich sind. Dargestellt werden zudem die F_x -Werte und die Wärmeverluste für die Heiz- und Kühlperiode (Heizen $h =$ Oktober bis März | Kühlen $c =$ April bis September). Im Vergleich zum Referenzgebäude beträgt der Wärmeverlust in der Heizperiode $q_{h,ref} = 9,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und in der Kühlperiode $q_{c,ref} = 3,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Parameter				Ton oder Schluff						Sand oder Kies						Homogener Felsen											
A m ³	B m	L m	Z m	U ₀ W/(m ² K)	U _{eff}	F _{x,h}	F _{x,c}	d _{WD} cm	q _h	q _c	q _t	U ₀ W/(m ² K)	U _{eff}	F _{x,h}	F _{x,c}	d _{WD} cm	q _h	q _c	q _t	U ₀ W/(m ² K)	U _{eff}	F _{x,h}	F _{x,c}	d _{WD} cm	q _h	q _c	q _t
				kWh/(m ² a)									kWh/(m ² a)														
50	7,1	7,1	0	0,247	0,182	0,57	1,64	15,0	9,8	7,2	17,0	0,206	0,168	0,68	1,51	18,1	9,8	5,9	15,7	0,173	0,155	0,81	1,32	21,9	9,8	4,7	14,5
100	10,0	10,0	0	0,305	0,193	0,47	1,60	11,9	9,8	8,2	18,0	0,245	0,182	0,58	1,65	15,0	9,8	7,2	17,0	0,200	0,171	0,71	1,66	18,8	9,8	6,2	16,0
190	13,8	13,8	0	0,383	0,203	0,38	1,45	9,2	9,8	9,1	18,9	0,299	0,192	0,48	1,60	12,1	9,8	8,1	18,0	0,229	0,184	0,62	1,83	16,2	9,8	7,4	17,2
370	19,2	19,2	0	0,578	0,212	0,25	1,08	5,7	9,8	10,0	19,8	0,380	0,202	0,38	1,45	9,3	9,8	9,1	18,9	0,270	0,195	0,53	1,84	13,5	9,8	8,4	18,2
720	26,8	26,8	0	1,351	0,224	0,11	0,53	1,7	9,8	11,1	20,9	0,580	0,211	0,25	1,07	5,6	9,8	10,0	19,8	0,330	0,204	0,44	1,73	10,9	9,8	9,3	19,1
1400	37,4	37,4	0	3,196	0,204	0,04	0,22	0,0	8,3	10,8	19,1	1,346	0,222	0,11	0,52	1,7	9,8	11,0	20,8	0,440	0,214	0,33	1,46	7,8	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	0	3,196	0,159	0,03	0,20	0,0	5,7	9,2	14,9	3,196	0,204	0,04	0,22	0,0	8,4	10,7	19,1	0,759	0,226	0,19	0,96	4,0	9,8	11,3	21,1
50	7,1	7,1	1	0,265	0,180	0,53	1,48	13,8	9,8	7,0	16,8	0,215	0,167	0,65	1,40	17,3	9,8	5,8	15,6	0,176	0,155	0,80	1,26	21,5	9,8	4,6	14,4
100	10,0	10,0	1	0,335	0,192	0,43	1,42	10,7	9,8	8,1	17,9	0,259	0,180	0,55	1,53	14,2	9,8	7,0	16,8	0,205	0,170	0,69	1,59	18,3	9,8	6,1	15,9
190	13,8	13,8	1	0,435	0,202	0,33	1,26	7,9	9,8	9,0	18,9	0,320	0,191	0,44	1,47	11,2	9,8	8,0	17,9	0,236	0,183	0,60	1,76	15,7	9,8	7,3	17,1
370	19,2	19,2	1	0,712	0,212	0,20	0,88	4,4	9,8	10,0	19,8	0,417	0,201	0,34	1,31	8,3	9,8	9,0	18,8	0,280	0,194	0,51	1,77	13,0	9,8	8,3	18,2
720	26,8	26,8	1	2,418	0,223	0,06	0,29	0,4	9,8	11,1	20,9	0,675	0,211	0,21	0,92	4,7	9,8	9,9	19,7	0,346	0,204	0,42	1,64	10,3	9,8	9,3	19,1
1400	37,4	37,4	1	3,196	0,183	0,04	0,21	0,0	7,3	9,8	17,1	1,984	0,222	0,07	0,35	0,8	9,8	10,9	20,7	0,469	0,214	0,31	1,37	7,3	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	1	3,196	0,144	0,03	0,18	0,0	5,0	8,5	13,5	3,196	0,186	0,04	0,21	0,0	7,6	9,9	17,5	0,861	0,227	0,17	0,86	3,4	9,8	11,4	21,2
50	7,1	7,1	2	0,286	0,178	0,49	1,33	12,7	9,8	6,8	16,6	0,224	0,165	0,63	1,29	16,6	9,8	5,6	15,4	0,179	0,154	0,78	1,21	21,1	9,8	4,5	14,3
100	10,0	10,0	2	0,371	0,190	0,38	1,26	9,5	9,8	8,0	17,8	0,274	0,179	0,52	1,41	13,4	9,8	6,9	16,7	0,209	0,170	0,67	1,53	17,8	9,8	6,0	15,8
190	13,8	13,8	2	0,502	0,200	0,29	1,08	6,7	9,8	8,9	18,7	0,344	0,190	0,41	1,34	10,4	9,8	7,9	17,7	0,243	0,182	0,58	1,69	15,2	9,8	7,2	17,0
370	19,2	19,2	2	0,920	0,211	0,16	0,67	3,1	9,8	9,9	19,7	0,461	0,200	0,31	1,17	7,4	9,8	8,9	18,7	0,291	0,194	0,49	1,69	12,5	9,8	8,3	18,1
720	26,8	26,8	2	3,196	0,209	0,04	0,21	0,0	9,2	10,4	19,6	0,803	0,210	0,18	0,76	3,7	9,8	9,9	19,7	0,363	0,204	0,40	1,56	9,8	9,8	9,3	19,1
1400	37,4	37,4	2	3,196	0,168	0,03	0,19	0,0	6,6	9,1	15,7	3,196	0,218	0,05	0,21	0,0	9,7	10,7	20,4	0,504	0,214	0,29	1,27	6,7	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	2	3,196	0,133	0,02	0,18	0,0	4,5	8,0	12,5	3,196	0,173	0,03	0,19	0,0	7,0	9,3	16,2	0,994	0,227	0,15	0,75	2,8	9,8	11,5	21,3
50	7,1	7,1	3	0,310	0,176	0,46	1,18	11,7	9,8	6,6	16,4	0,234	0,164	0,60	1,19	15,8	9,8	5,5	15,3	0,183	0,153	0,77	1,15	20,7	9,8	4,4	14,2
100	10,0	10,0	3	0,414	0,188	0,34	1,09	8,4	9,8	7,8	17,6	0,290	0,177	0,49	1,29	12,6	9,8	6,8	16,6	0,215	0,169	0,66	1,47	17,4	9,8	5,9	15,8
190	13,8	13,8	3	0,590	0,199	0,24	0,90	5,5	9,8	8,8	18,6	0,372	0,188	0,38	1,22	9,5	9,8	7,8	17,6	0,250	0,182	0,57	1,62	14,7	9,8	7,2	17,0
370	19,2	19,2	3	1,274	0,209	0,11	0,48	1,9	9,8	9,8	19,6	0,515	0,199	0,28	1,03	6,5	9,8	8,8	18,6	0,302	0,193	0,47	1,61	12,0	9,8	8,2	18,1
720	26,8	26,8	3	3,196	0,193	0,04	0,19	0,0	8,4	9,6	18,0	0,985	0,209	0,15	0,62	2,8	9,8	9,8	19,6	0,382	0,203	0,38	1,47	9,2	9,8	9,2	19,0
1400	37,4	37,4	3	3,196	0,156	0,03	0,18	0,0	6,0	8,6	14,6	3,196	0,203	0,04	0,20	0,0	9,0	10,0	19,0	0,543	0,214	0,27	1,18	6,1	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	3	3,196	0,125	0,02	0,17	0,0	4,1	7,6	11,7	3,196	0,163	0,03	0,18	0,0	6,5	8,8	15,3	1,175	0,228	0,13	0,64	2,2	9,8	11,5	21,4
50	7,1	7,1	4	0,337	0,174	0,42	1,04	10,6	9,8	6,4	16,2	0,245	0,162	0,57	1,09	15,1	9,8	5,3	15,1	0,186	0,152	0,75	1,10	20,3	9,8	4,3	14,2
100	10,0	10,0	4	0,467	0,186	0,30	0,94	7,3	9,8	7,6	17,4	0,307	0,176	0,46	1,18	11,8	9,8	6,6	16,4	0,220	0,168	0,64	1,40	16,9	9,8	5,9	15,7
190	13,8	13,8	4	0,711	0,197	0,20	0,73	4,4	9,8	8,6	18,4	0,403	0,187	0,35	1,10	8,7	9,8	7,7	17,5	0,258	0,181	0,55	1,55	14,2	9,8	7,1	16,9
370	19,2	19,2	4	1,954	0,207	0,07	0,30	0,8	9,8	9,5	19,3	0,581	0,198	0,25	0,90	5,6	9,8	8,7	18,5	0,314	0,192	0,45	1,54	11,5	9,8	8,2	18,0
720	26,8	26,8	4	3,196	0,179	0,04	0,18	0,0	7,8	9,0	16,8	1,252	0,208	0,12	0,48	1,9	9,8	9,6	19,4	0,403	0,203	0,36	1,39	8,7	9,8	9,2	19,0
1400	37,4	37,4	4	3,196	0,146	0,03	0,17	0,0	5,6	8,1	13,7	3,196	0,191	0,04	0,19	0,0	8,5	9,4	17,9	0,589	0,214	0,25	1,09	5,5	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	4	3,196	0,118	0,02	0,16	0,0	3,8	7,3	11,1	3,196	0,154	0,03	0,18	0,0	6,1	8,4	14,5	1,429	0,229	0,10	0,53	1,5	9,8	11,6	21,4
50	7,1	7,1	5	0,367	0,171	0,38	0,90	9,6	9,8	6,2	16,0	0,256	0,160	0,55	1,00	14,4	9,8	5,1	14,9	0,190	0,151	0,74	1,05	19,8	9,8	4,2	14,1
100	10,0	10,0	5	0,532	0,184	0,27	0,79	6,3	9,8	7,4	17,2	0,327	0,174	0,43	1,08	11,0	9,8	6,5	16,3	0,225	0,167	0,62	1,34	16,5	9,8	5,8	15,6
190	13,8	13,8	5	0,882	0,195	0,16	0,56	3,3	9,8	8,4	18,2	0,439	0,185	0,32	0,98	7,9	9,8	7,5	17,3	0,266	0,180	0,53	1,48	13,8	9,8	7,0	16,8
370	19,2	19,2	5	3,196	0,201	0,04	0,17	0,0	9,7	9,1	18,8	0,663	0,197	0,22	0,77	4,8	9,8	8,6	18,4	0,327	0,192	0,44	1,46	11,0	9,8	8,1	17,9
720	26,8	26,8	5	3,196	0,168	0,03	0,17	0,0	7,3	8,5	15,7	1,666	0,205	0,09	0,35	1,1	9,8	9,4	19,2	0,426	0,203	0,34	1,31	8,1	9,8	9,2	19,0
1400	37,4	37,4	5	3,196	0,138	0,03	0,16	0,0	5,2	7,7	13,0	3,196	0,181	0,04	0,18	0,0	8,0	8,9	16,9	0,642	0,214	0,23	1,00	5,0	9,8	10,2	20,0
2710	52,1	52,1	5	3,196	0,112	0,02	0,16	0,0	3,5	7,0	10,5	3,196	0,147	0,03	0,17	0,0	5,7	8,0	13,8	1,803	0,229	0,08	0,42	1,0	9,8	11,6	21,4

Legende: Z = Tiefe im Erdreich | L = Länge der Bodenplatte | B = Breite der Bodenplatte | A = Fläche der Bodenplatte | q_h = Wärmeverlust in der Heizperiode | q_c = Wärmeverlust in der Kühlperiode | q_t = Jahres-Wärmeverlust | d_{WD} = Dicke der Wärmedämmung der Bodenplatte | F_x = Temperaturkorrekturfaktor ($F_{x,h}$ für die Heizperiode und $F_{x,c}$ für die Kühlperiode).

4 Ergebnis

Die detaillierte Berechnung monatlicher Wärmeströme nach EN 13370 ist das Verfahren der Wahl – insbesondere für die energetische Bewertung von effizienten Gebäuden mit hohem Wärmeschutzniveau und bei Hallengebäuden. In DIN V 18599 ist die Berechnung nach EN 13370 auch grundsätzlich vorgesehen. Für nur beheizte Zonen, kann die energetische Bewertung von erdreichberührten Bauteilen noch vereinfacht über F_x -Werte erfolgen. Im Fall von gekühlten Zonen ist dies nicht mehr zulässig. Wird die Berechnung außerhalb der DIN V 18599 über die EN 13370 durchgeführt, müssen Berechnungsrandbedingungen festgelegt werden, damit die Berechnungsergebnisse vergleichbar sind. Ansonsten können sich veränderte und ggf. unerwünschte Anforderungen an den Wärmeschutz ergeben. Insbesondere wenn das Berechnungsergebnis mit einer Referenzgebäudeberechnung verglichen wird. In DIN V 18599 werden hierzu keine Angaben gemacht.

Gemäß DIN V 18599-2 werden vier thermische Bilanzen (Heizen und Kühlen, jeweils Nutzungs- und Nichtnutzungszeit) durchgeführt. Wird die Berechnung nach EN 13370 integriert, ist es erforderlich, dass die Berechnung des Wärmestroms mit den gleichen Randbedingungen erfolgt, wie in DIN V 18599. In EN 13370 ist entsprechend die jeweilige mittlere jährliche Bilanz-Temperatur zu verwenden – entweder für jede thermische Bilanz separat oder als zeitgewichteter Mittelwert für jeweils die Heiz- und Kühlbilanz.

Um den Einfluss der periodischen Wärmeströme einzubeziehen, sind mittlere Raumtemperaturen zu berücksichtigen, die sich von der Bilanz-Innentemperatur der jeweiligen thermischen Bilanz nach DIN V 18599 unterscheiden können. Der Jahresverlauf der Raumtemperatur sollte hier möglichst realistisch einbezogen werden. Die niedrigste Temperatur kann entweder aus der Bilanz-Innentemperatur der Heizbilanz abgeleitet werden oder vereinfacht mit 20 °C festgelegt werden; die maximale Temperatur entsprechend der Kühlbilanz oder vereinfacht mit 23 °C berücksichtigt werden.

Die in diesem Bericht angegebenen Parameter beziehen sich auf eine möglichst einfache Verknüpfung der beiden Normen EN 13370 und DIN V 18599 zur Anwendung in der Luxemburger Gebäude-Effizienzverordnung (RGD 2021) und stellt in diesem Sinn einen „Workaround“ dar, um eine kurzfristige Anpassung im 18599-Rechenkern des Fraunhofer IBP für Luxemburg zu implementieren. Das ist für Luxemburg erforderlich, da im Referenzgebäude mit gegebenenfalls anderen Randbedingungen ($U_{Referenz} \cdot F_x$) gerechnet wird als im zu bewertenden Gebäude und die energetischen Anforderungen an den Neubau vergleichsweise hoch sind – entsprechend relevant sind auch mögliche Unterschiede. Die Berechnungsmethoden der Normen selbst werden an dieser Stelle nicht bewertet.