

Projekt: Thermisches Verhalten der obersten Geschoßdecke eines Luxushotels im Norden Deutschlands

Vorbemerkung: Das Projekt kam in den Jahren 2000 und 2001 im Rahmen eines Gutachtens zustande, dessen Thematik das Auffinden der Gründe von kurz nach Fertigstellung des Gebäudes entstandenen Bauschäden (Rissbildung in künstlerisch gestalteten Putzoberflächen) war. Zu klären war, ob sich die Schäden auf thermische Beanspruchungen zurückführen lassen.

Das eigentlich Interessante am Projekt war die Notwendigkeit, das thermische Verhalten der obersten Geschoßdecke zweidimensional, periodisch eingeschwungen zu berechnen. Die zweidimensionale Modellierung erfasst unter Anwendung des Konzepts der harmonischen thermischen Leitwerte sowohl den Wärmedurchgang als auch die Wärmespeicherung. Der Vergleich mit den heute üblichen Methoden der Beschreibung mehrdimensional ablaufender Wärmeströmungs- und Wärmespeicherungsprozesse zeigt, dass diese im Bereich von Wärmebrücken zu sehr ungenauen bis grob falschen Ergebnissen führen.

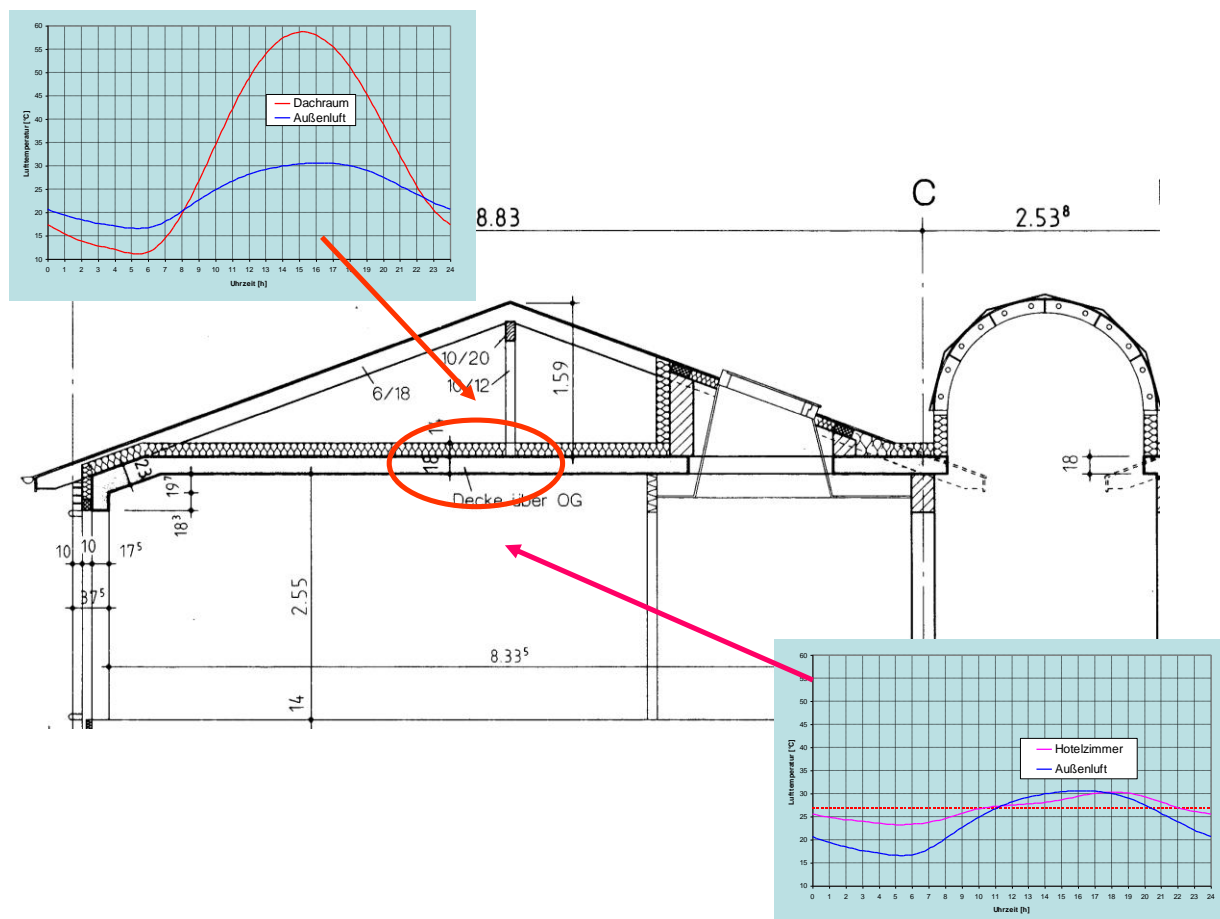
Die folgende Kurzbeschreibung fasst eine zu diesem Thema an der Donau-Universität Krems im Jahr 2008 gehaltene Vorlesung zusammen.

Kurzbeschreibung



Das Dachgeschoß über den Apartments ist durch ein flach geneigtes Blechdach (Kupferblech über Schalung – ungedämmt) geprägt. Die Dämmung (10 cm Mineralwolle) liegt auf der obersten Geschoßdecke.

In einem ersten Schritt werden mittels thermischer Gebäudesimulation unter Verwendung von GEDA die Tagesverläufe der Lufttemperaturen während hochsommerlicher außenklimatischer Bedingungen für die Räume des Gebäudetrakts ermittelt. Die errechneten Tagesverläufe für das Hotelzimmer unterhalb der obersten Geschößdecke und für den Dachraum sind in folgender Abbildung als Randbedingung für die nachfolgend durchgeführte zweidimensionale Simulation des thermischen Verhaltens der Geschößdecke abgebildet



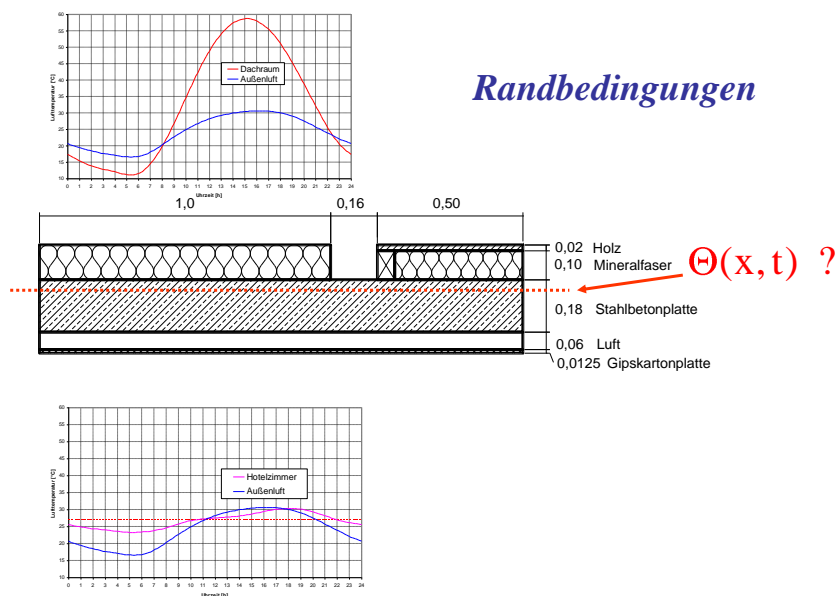
Die starke Überhitzung des Dachraums (Temperaturmaximum: 59 °C um 14 Uhr) rührt von der flachen, ungedämmten Dachhaut her, die aufgrund der starken Sonneneinstrahlung einen sehr hohen Wärmeeintrag in den Dachraum bewirkt. Zudem zeigt die Befundaufnahme, dass die vorgesehenen Belüftungsöffnungen mit Dämmstoff verstopft waren und der Dachraum somit kaum belüftet war. Die flache Dachneigung und die ungedämmte Dachhaut begünstigen zudem die nächtliche Abstrahlung, was zu sehr niedrigen Temperaturen in der Nacht (Temperaturminimum 11 °C um 5 Uhr) führt. Im Dachraum sind somit während hochsommerlicher Hitzeperioden extreme Temperaturschwankungen zu verzeichnen.

Die Temperaturen des Apartments unterhalb der obersten Geschößdecke schwanken zwischen 16 und 30 °C. Gemäß österreichischer Norm B8110-3:1999 ist das Apartment somit bei weitem nicht sommertauglich (nach Norm dürfte die empfundene Temperatur unter Tags 27 °C und in der Nacht 25 °C nicht überschreiten).

Die Untersuchung des thermischen Verhaltens der obersten Geschößdecke erwies sich insofern als schwierig, da lt. Befundaufnahme die Ausführung der Dämmung der obersten Geschößdecke mangelhaft war. Es waren nicht nur die Lüftungsöffnungen durch Dämmstoff verlegt. Die Dämmstoffschicht war zudem nicht geschlossen; neben Holzstegen, die zur Be-

gehbarkeit des Dachraums installiert wurden, klafften Dämmstofflücken von bis zu 16 cm Breite. Die folgende Abbildung zeigt die Dämmücke in der obersten Geschoßdecke – und damit das eigentlich spannende Detail dieses Projekts.

Dämmücke in oberster Geschoßdecke



Der oben dargestellte Ausschnitt der obersten Geschosdecke wurde einer zweidimensionalen, instationären Berechnung unter Verwendung des Wärmebrückenprogramms WAEBRU V6.0 unterzogen. Die damit verbundene Annahme periodisch eingeschwungener Zustände mit der Periodenlänge von einem Tag ist streng genommen zwar eine Fiktion. Dennoch macht sie Sinn, da damit das thermische Verhalten am Ende einer länger dauernden Hitzeperiode – und somit der kritische Fall – beschrieben wird. Ein großer Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass der Zusammenhang zwischen Ursache (im betrachteten Fall die Dämmücke) und Wirkung (die Temperaturverteilung in der Deckenplatte) unmittelbar sichtbar wird.

Die Auswertung der instationären Berechnung des Temperaturfelds in der Deckenplatte erfolgte für eine horizontal verlaufende Ebene knapp unterhalb der oberen Plattenoberfläche – siehe die punktierte Linie in obiger Abbildung. Die Berechnungsergebnisse werden für die vollen Stunden des Tags ausgegeben.

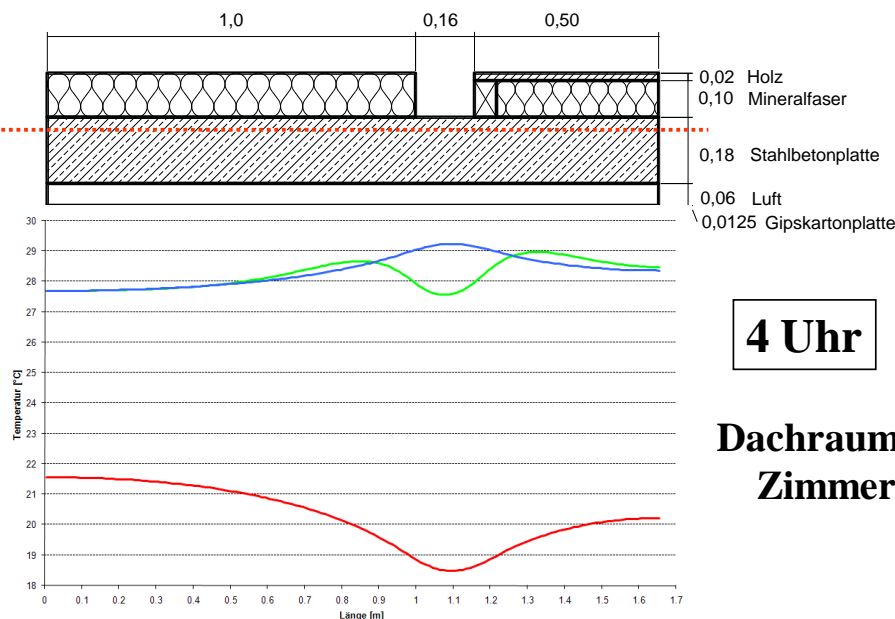
In den folgenden Abbildungen ist der zweidimensional, periodisch eingeschwungen errechnete Temperaturverlauf jeweils zwei gebräuchlichen Näherungsansätzen gegenüber gestellt.

Im ersten Näherungsansatz wird quasistationär gerechnet. Die Temperaturverteilung in der Deckenplatte wird stationär errechnet. Im Zuge der Auswertung werden als Randbedingung jeweils die Werte der Lufttemperaturen in Dachraum und Appartement zur betrachteten vollen Stunde eingesetzt. Die Auswirkungen der Wärmespeicherfähigkeit der Deckenplatte werden bei diesem Ansatz vernachlässigt.

Im zweiten verwendeten Näherungsansatz wird hingegen sowohl der Wärmedurchgang als auch die Wärmespeicherfähigkeit berücksichtigt. Allerdings wird nur in Hinblick auf den Wärmedurchgang mehrdimensional gerechnet. Der Berücksichtigung der Wärmespeicherung wird ein thermisch eindimensionales Modell zugrunde gelegt. Dieser Näherungsansatz findet sich in fast allen heute in Verwendung stehenden Simulationsprogrammen. Diese rechnen stationär und instationär eindimensional und korrigieren Wärmebrückeneinflüsse normgemäß

über Korrekturfaktoren („Wärmebrückenverlustkoeffizienten“ bzw. „ ψ -Werte“). Diese Korrekturfaktoren beziehen sich jedoch generell allein auf den Wärmedurchgang und lassen die Wärmespeicherfähigkeit außer Betracht.

Die folgende Abbildung zeigt die errechneten Temperaturverläufe entlang der horizontalen Linie für den Zeitpunkt 4 Uhr früh.

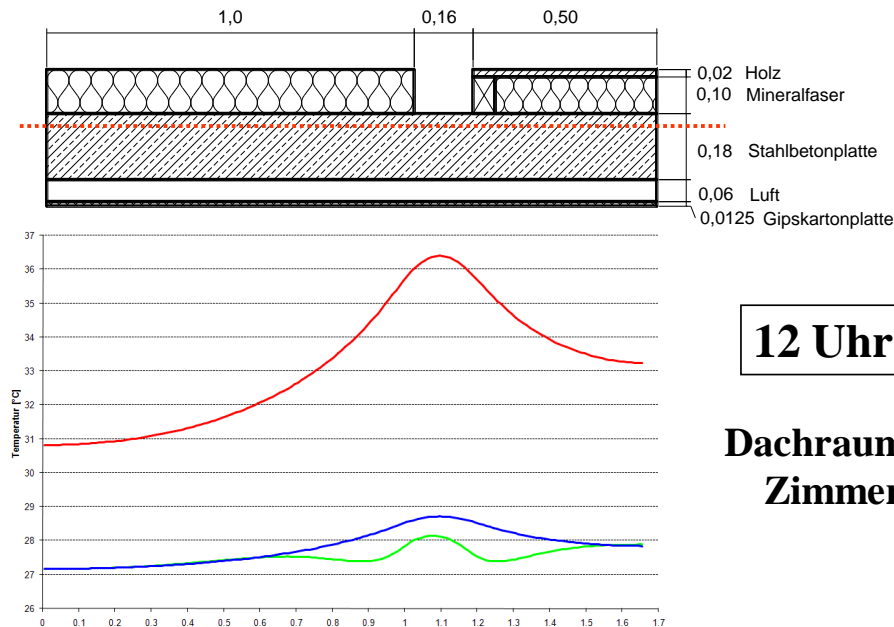


stationär zweidimensional; instationär eindimensional
zweidimensional; periodisch eingeschwungen
zweidimensional; quasistationär

Es stellt sich heraus, dass das Ergebnis der zweidimensional, periodisch eingeschwungenen Rechnung (grüne Linie) sich deutlich von den Ergebnissen der beiden Näherungsansätze (blaue und rote Linie) unterscheidet. Die quasistationäre Rechnung (rote Linie) führt zu grob falschen Ergebnissen; die Vernachlässigung der Effekte der Wärmespeicherung stellt sich somit für den untersuchten Fall als unzulässig heraus. Im Fall der nur eindimensionalen Behandlung der Wärmespeicherung (blaue Linie) zeigt sich, dass diese Näherung im Bereich der Dämmfläche den tatsächlichen Temperaturverlauf nicht darstellen kann; lediglich weit abseits der Dämmfläche – also in Bereichen, in denen die Wärmeleitung und Wärmespeicherung eindimensional beschreibbar ist – sind die Ergebnisse der Näherung mit jenen der exakten Berechnung deckungsgleich.

Der zweidimensional, periodisch eingeschwungen berechnete Temperaturverlauf (grüne Linie) ist insofern plausibel, als sich im Bereich der Dämmfläche die tiefen nächtlichen Temperaturen im Dachraum in Form eines lokalen Minimums auswirken. Dieser Effekt zeigt sich nicht, wenn die Wärmespeicherfähigkeit mittels eines eindimensionalen Modells beschrieben wird (blaue Linie). Die Vernachlässigung der Wärmespeicherfähigkeit im Zuge eines quasistationären Berechnungsansatzes (rote Linie) führt in der Zeit des frühen Morgens zu Temperaturen, die ca. 7,0 K zu tief liegen.

Die folgende Abbildung zeigt die errechneten Temperaturverläufe entlang der horizontalen Linie für den Zeitpunkt 12 Uhr Mittag.



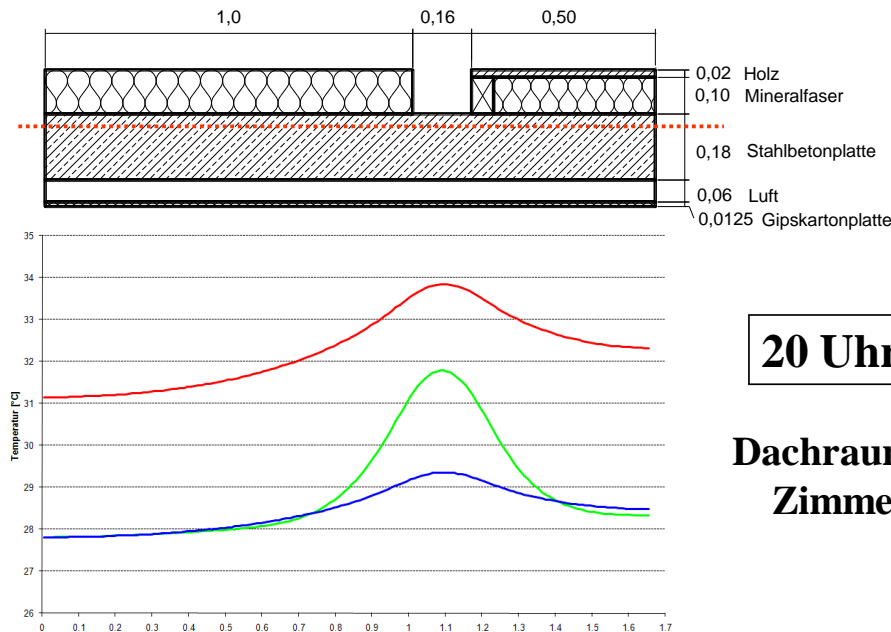
12 Uhr

Dachraum: 48,2 °C
Zimmer: 27,0 °C

zweidimensional; quasistationär
stationär zweidimensional; instationär eindimensional
zweidimensional; periodisch eingeschwungen

Qualitativ zeigt sich ein ähnliches Bild wie für den Zeitpunkt um 4 Uhr früh. Die quasistationäre Berechnung (rote Linie) führt zu grob falschen Ergebnissen, während der üblicherweise in Simulationsprogrammen verwendete Näherungsansatz (blaue Linie) nur weit außerhalb der Dämmfläche zu zutreffenden Ergebnissen führt.

Die folgende Abbildung zeigt abschließend die berechneten Temperaturverläufe für 20 Uhr abends.



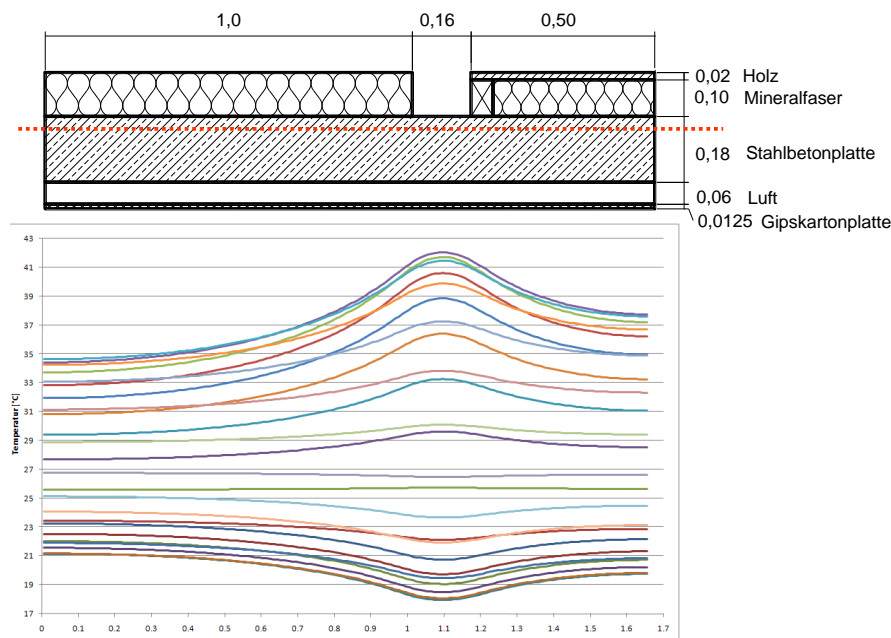
20 Uhr

Dachraum: 39,6 °C
Zimmer: 29,3 °C

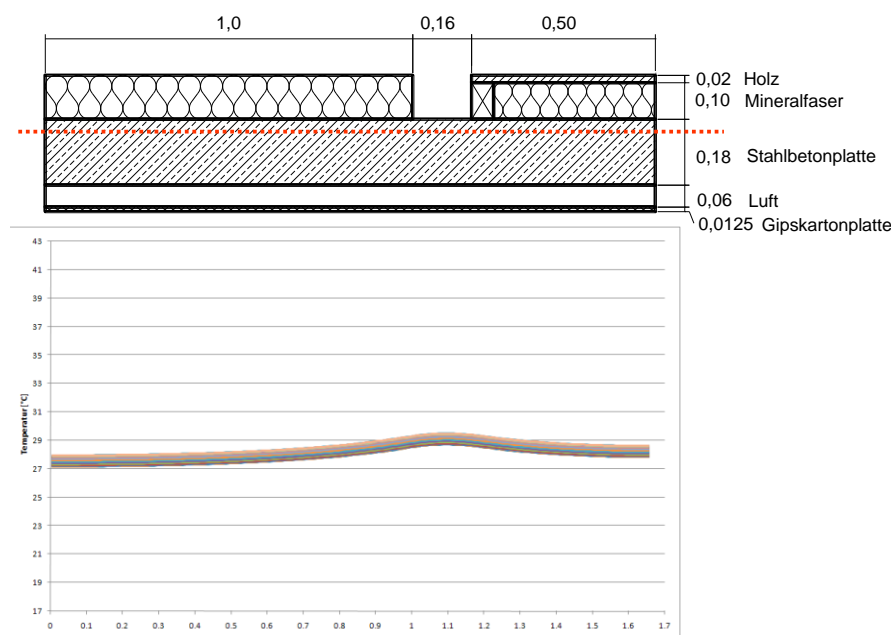
zweidimensional; quasistationär
zweidimensional; periodisch eingeschwungen
stationär zweidimensional; instationär eindimensional

Auch hier führt der quasistationäre Berechnungsansatz (rote Linie) zu deutlich zu hohen Temperaturwerten. Am Verlauf des zweidimensional, periodisch eingeschwungen berechneten Temperaturverlaufs (grüne Linie) zeigt sich, dass die extrem hohen Temperaturen im Dachraum sich nur im Bereich der Dämmücke gravierend auf die Temperaturverteilung innerhalb der Deckenplatte auswirken. Bei eindimensionaler Beschreibung des Wärmespeichervermögens (blaue Kurve) kann dieser Effekt nicht in der richtigen Größenordnung beschrieben werden.

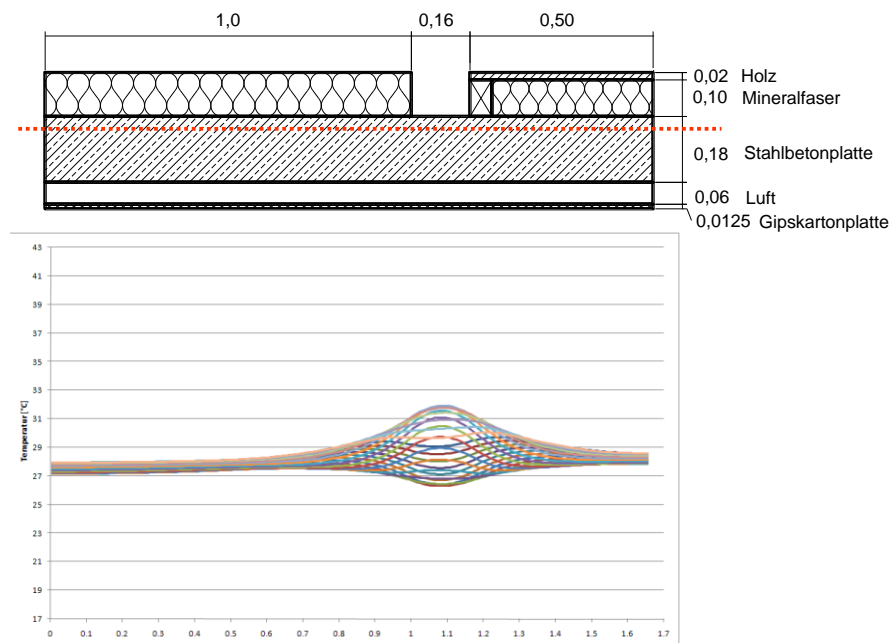
Um die Unterschiede der Ergebnisse bei Verwendung der drei verschiedenen Berechnungsansätze heraus zu streichen, werden in den folgenden drei Abbildungen die errechneten Temperaturverläufe für die vollen Stunden eines Tages grafisch dargestellt.



zweidimensional; quasistationär



stationär zweidimensional; instationär eindimensional



zweidimensional; periodisch eingeschwungen

Der quasistationäre Berechnungsansatz – und damit die Vernachlässigung des Wärmespeichervermögens – führt auf stark schwankende Temperaturverteilungen in der Deckenplatte. Es werden Tagesschwankungen von bis zu ca. 24 K vorgespiegelt. Wird die Wärmespeicherfähigkeit jedoch in eindimensionaler Näherung berücksichtigt, so ergibt sich eine im Tagesverlauf kaum schwankende Temperaturverteilung (maximale Tagesschwankung ca. 0,5 K), die im Bereich der Dämmfläche ein schwach ausgeprägtes Maximum zeigt.

Die genaue zweidimensional, periodisch eingeschwungene Berechnung hingegen zeigt, dass sich im Bereich der Dämmfläche eine deutlich ausgeprägte Tagesschwankung in Höhe von ca. 5,5 K einstellt, während in einem Abstand ab etwa 0,5 m von der Dämmfläche die Tagesschwankung bei nur noch bei ca. 0,5 K liegt.

Conclusio

Das Projekt lieferte u. a. folgende Ergebnisse, die durchaus von grundlegender Bedeutung sind:

1. Die zweidimensionale, periodisch eingeschwungene Berechnung unter Verwendung des verallgemeinerten Leitwert-Konzepts führt auf eine zutreffende und plausibel erklärbare Beschreibung des instationären Temperaturfelds in der Deckenplatte.
2. Der in faktisch allen thermischen Simulationsprogrammen umgesetzte eindimensionale Berechnungsansatz, der mehrdimensionale Wärmeströmungen über (stationäre) Leitwertzuschläge („ ψ -Werte“) berücksichtigt, liefert bei Massivbauweise im Bereich von Wärmebrücken nur Grobnäherungen. Es zeigt sich, dass der mehrdimensional ablaufende Wärmefluss einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf das instationäre, thermische Verhalten von Baukonstruktionen hat.
3. Die Vernachlässigung der Wärmespeicherfähigkeit führt bei massiven Bauteilen zu grob falschen Ergebnissen und ist damit für die Berechnung von Temperaturfeldern keinesfalls zulässig.