

Thermische Untersuchungen an einem Metaldach mit Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten

Jan Peter Hinrichs, Andreas Holm*

Problemstellung

Die solare Einstrahlung in Räumen trägt im Winter zur Reduzierung der benötigten Heizenergie bei, kann jedoch im Sommerhalbjahr zu hohen Raumlufttemperaturen führen. Insbesondere sind dann, durch den hohen Sonnenstand, Dachgeschosse betroffen. Die meist in Holzbauweise gebauten Dachstühle können den Wärmeeintrag wegen zu geringer Speichermasse nur wenig puffern. Die zwischen den Sparren eingebrachte Wärmedämmung soll für erträgliche Raumlufttemperaturen sorgen. Im folgenden soll durch experimentelle und rechnerische Analysen die Auswirkung von zwei Dämmstoffarten auf die Raumluft- und Umschließungsflächentemperaturen von zwei kleinen Versuchsräumen in einem Dachgeschoß mit nach Süden orientierten Dachflächen während des Sommers untersucht werden. Zudem werden die Ergebnisse mit dem Simulationsprogramm WUFI®-Plus validiert, und auf ein reales simuliertes Gebäude übertragen.



Abb. 1: Versuchsgebäude

2 Untersuchung des thermischen Verhaltens unter sommerlichen Bedingungen

2.1 Experimentell

2.1.1 Beschreibung des Versuchsaufbaus

Auf dem Freilandversuchsgelände des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik in Holzkirchen befindet sich ein Versuchsgebäude mit 50° geneigtem Satteldach und schwarz gestri-

chener Metalleindeckung auf 30 mm dicker Holzschalung. Die nach Süden und Norden orientierten Dachflächen (ca. 6,7 m x 4,7 m) sind zwischen den Sparren (180 mm) wärmedämmend und raumseitig mit einer Dampfbremse und einer Innenbeplankung aus einlagigen Gipskartonplatten versehen. Auf der Südseite des Daches werden in je vier Sparrenfelder Holzfaserdämmplatten bzw. Mineralwollematten als (WLG 040) Wärmedämmung eingebaut. Die Holzfaserdämmplatten haben eine Rohdichte von 45 kg/m³ und eine spezifische Wärmekapazität von 2100 J/(kg/K). Die eingebaute Mineralwolle verfügt über eine Rohdichte von 15 kg/m³ und einer spezifischen Wärmekapazität von 840 J/(kg/K). Auf die luftdicht verlegte feuchteadaptive Klimamembran („Vario KM Duplex,“) sind 12,5 mm dicke Gipskartonplatten als raumseitige Beplankung angebracht. Den Aufbau der Bauteilschichten der Versuchsdachflächen gibt Bild 2 schematisch wieder. Das Zwischenmaß beträgt 76 cm und die Sparren haben eine Breite von 9 cm.

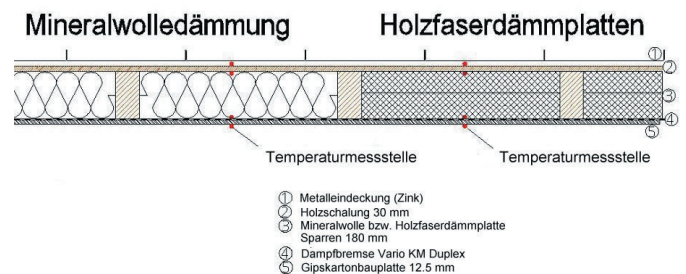


Abb. 2: Bauteilschichtenaufbau

Der Dachraum wird durch eine gedämmte Zwischenwand mit Spanplatten-/ Gipskartonbekleidung in zwei gleich große Räume (je ca. 7 m³) vor der nach Süden gerichteten Dachfläche thermisch getrennt. Die Innenoberfläche des Daches in den Versuchsräume beträgt (3,20m x 2,40m). Auf Abbildung 3 ist der Grundriss des Dachgeschosses mit den beiden Versuchsräumen dargestellt. In den während der Versuchphase nicht beheizten Versuchsräume sind keine Fenster eingebaut.

Um eine Speicherung der Wärme in der Betondecke zu reduzieren wird diese mit einer 6 cm dicken Steinwolle (WLG 040) gedämmt. Außerdem werden Lüftungsrohre in die Versuchskammern gelegt, die eine nächtliche Lüftung realisieren sollen. Zusätzlich werden oben in die Versuchskammer Öffnungen gebohrt und Klappen eingesetzt, die sich nur beim nächtlichem Lüften öffnen. Die sechs Stunden andauernde

* Jan Peter Hinrichs, Dr. Andreas Holm, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

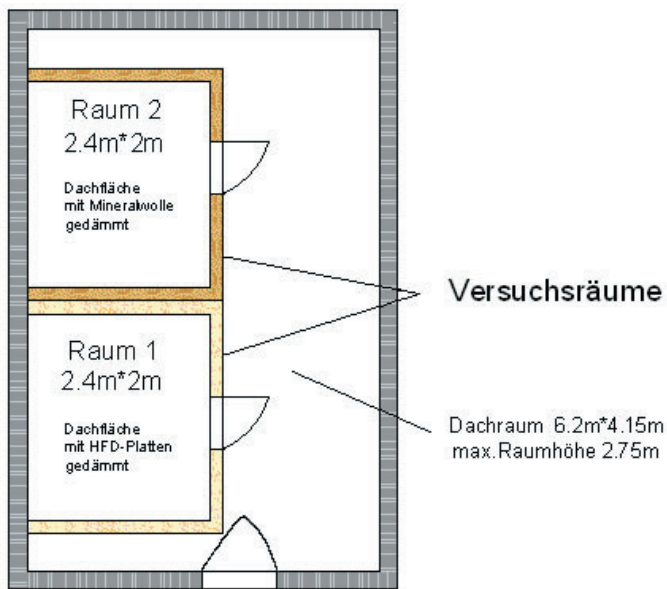


Abb. 3: Versuchsräume

erzwungene Nachtlüftung zwischen 23.00- 5.00 Uhr ist durch einer Zeitschaltuhr geregelt. Der Wert von 6h und die Luftwechselrate von 5 1/h stammt aus der Literatur (Handbuch der passiven Kühlung)

Im Zeitraum von 1. Juni bis Ende August 2007 werden die Messungen mit nächtlicher Lüftung gefahren. Am 30. August wird die nächtliche Lüftung abgeschaltet und die Messungen ohne Lüftung bis zum 30. September 2007 fortgesetzt.

Messtechnisch erfasst werden in ein **Minuten** Abständen über einen Datalogger im „standalone“ Betrieb je Dämm-ausführung (Anordnung siehe Abbildung 2) folgende physikalischen Größen:

- Grenzschichttemperatur zwischen Holzschalung und Metalleindeckung
- Grenzschichttemperatur zwischen Holzschalung und Dämmstoff
- Grenzschichttemperatur zwischen Dämmung/Klimamembran und Gipskartonplatte
- Innenoberflächentemperatur der Gipskartonplatte
- Raumlufttemperatur
- Gerichtete Sonneneinstrahlung (energetisch) auf die Süddachfläche
- Temperatur in den Zuluftrohren
- Vorraumtemperatur

Die zusätzlich benötigten Klimadaten stammen von der sich in unmittelbarer Nähe befindenden meteorologische Station des Institutes.

Messergebnisse

In der Abbildung 4 sind über den betrachteten Zeitraum vom 1. Juli 2007 – zum 30. September 2007 die Verläufe des Außen-

klimas aufgetragen. Die Außenlufttemperatur der Wetterstation des IBP ist in der oberen Grafik abgebildet. In der mittleren Grafik sind die Blechdachtemperatur dargestellt. In der unteren Grafik sind die Verläufe der gerichtete Sonneneinstrahlung aufgetragen. Exemplarisch für die beiden unterschiedlichen Lüftungseinstellungen sind die Zeiträume vom 14. – 17. Juli 2007 (mit Lüftung) und vom 22.-25. September 2007 zur genaueren Untersuchung ausgewählt. Diese beiden Zeiträume zeichneten sich erstens durch hohe

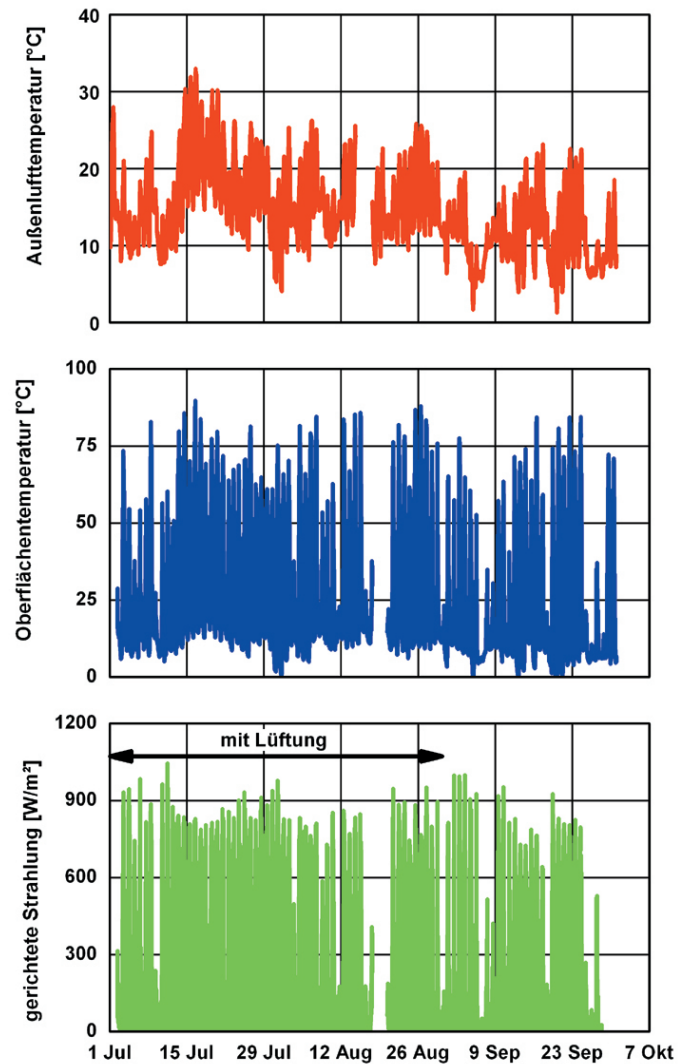


Abb. 4: Klimatische Randbedingungen während des Versuchszeitraums

Außenlufttemperaturen und gleichzeitig durch hohe Sonneneinstrahlung aus, zweitens durch eine Periode mit fortlaufend gutes Wetter. Somit kann eine längere Periode von warmen und strahlungsreichen Tagen ausgewertet werden.

In Abbildung 5 sind jeweils links die Ergebnisse für die Periode mit, rechts für die Periode ohne nächtliche Lüftung abgebildet. In den oberen Diagramm sind die zeitlichen Verläufe von der Südstrahlung und den jeweilig resultierenden Wärmeströmen in den zwei unterschiedlichen Versuchsräumen zu sehen. Auf den mittleren Diagrammen sind die Innenoberflächentemperaturen der Dachschrägen in den Versuchsräumen aus Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten und die dazugehörigen Außenlufttemperaturen aufgezeigt. Ver-

gleichet man die Temperaturverläufe an der Innenoberfläche, so zeigt sich bei der Holzfaserdämmplatte am Anfang ein verzögerter Anstieg infolge des etwas höheren Wärmespeichervermögens. Mit zunehmender Versuchsdauer wird dieser Effekt kompensiert, so dass sich die Temperaturkurven annähern. Danach steigt die Temperatur bei der Holzfaserplatte geringfügig stärker an.

Die unteren Diagramme zeigen die Raumluft und für den Fall der Lüftung die Zulufttemperaturen. Die Raumlufttemperaturen verlaufen bis zum Zeitpunkt des Einschaltens der Lüftung ähnlich wie die Innenoberflächentemperaturen. Beim Einschalten der nächtlichen Lüftung kommt es, wie auf dem unteren linken Diagramm zu sehen, zu einem schnellen Abfall der Temperatur. Die Raumlufttemperaturen im Fall ohne nächtliche Lüftung zeigen deutlicher die Phasenverschiebung, aber auch ein langsames Abklingen der Temperatur.

	Raumluft 26		Raumluft 25		Raumluft 24	
	MW	HFD	MW	HFD	MW	HFD
Juli	82,33	75,83	110,16	106,16	165,5	162,5
August	0	0	0	0	17,833	14,5
September	0	0	0	0	0	0

Tabelle 1: Übertemperaturgradstunden

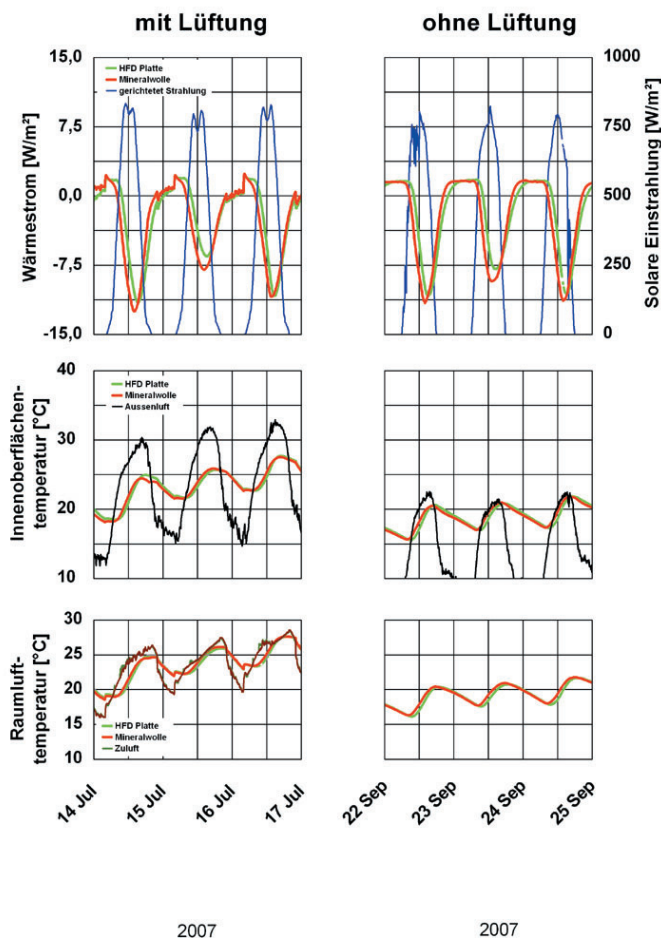


Abb. 5: Zeitliche Verläufe von Wärmestrom- und Südstrahlung (oben), sowie die Innenoberflächen- und der Außentemperatur (Mitte) und der Raum- und Zulufttemperatur (unten) bei Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten

Als weiterer Indikator wird zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes die Übertemperaturgradstunden als Kennwerte herangezogen. Diese beziehen die Zeiträume in denen die Raumtemperaturen „unbehaglich“ hoch sind neben den maximalen Temperaturen mit ein. Die Übertemperaturgradstunden errechnen sich aus der positiven Temperaturdifferenz zwischen einem vorgegebenen Grenzwert und der Raumtemperatur. Als Grenzwerte wurden die Temperaturen 26, 25, 24 °C bestimmt. In Tabelle 1 sind die Übertemperaturgradstunden tabellarisch aufgelistet, dabei hat der Versuchsraum mit Holzfaserdämmplatten leicht weniger Stunden mit unbehaglichen Temperaturen.

2.3 Rechnerische Validierung

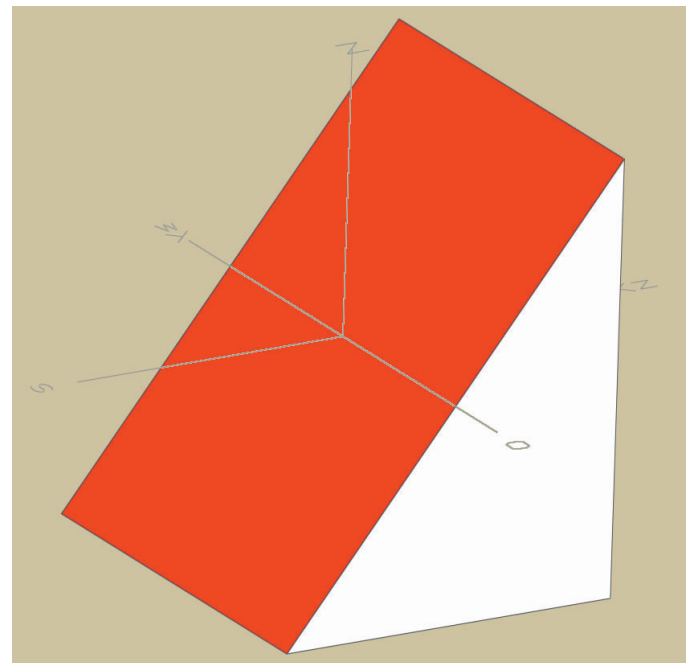


Abb. 6: Modell des Versuchsraums

Die Validierung der Messergebnisse findet mit dem Simulationsprogramm WUFI®-Plus statt. Die Simulationstechnik erlaubt den direkten Vergleich unterschiedlicher Bauteilausführungen unter gleichen Randparametern. Allerdings ist eine genaue Kenntnis über alle Randbedingungen und Konstruktionen nötig. Mit den am IBP Holzkirchen messtechnisch erfassten Klimadaten des Jahres 2007 und den bekannten Aufbauten der Umschließungsflächen sind diese Voraussetzungen gegeben. An das Modell (Abbildung 6) würden die gemessenen Temperaturen des Vorraums und die gemessenen Temperaturen des Erdgeschossraumes angesetzt. Die in der Abbildung 6 zu sehende rote Fläche (Dachfläche) ist dem Außenklima ausgesetzt. Die Grundmaterialkennndaten, die für die Simulation nötig sind, stammen aus der WUFI®-Plus Materialdatenbank.

Für die Lüftung werden Luftwechsel nachts von 5 1/h im Zeitraum von 23 Uhr – 5.00 Uhr und tagsüber von 2 1/h angenommen. Wie Abbildung 7 zeigt stimmen die Ergebnisse aus der Validierung nahezu mit denen der Messung

überein. Dabei sind die roten Kurven die gemessenen und die blaue (Mineralwolle) und grüne (Holzfaserdämmplatte) Kurve die validierte Kurve.

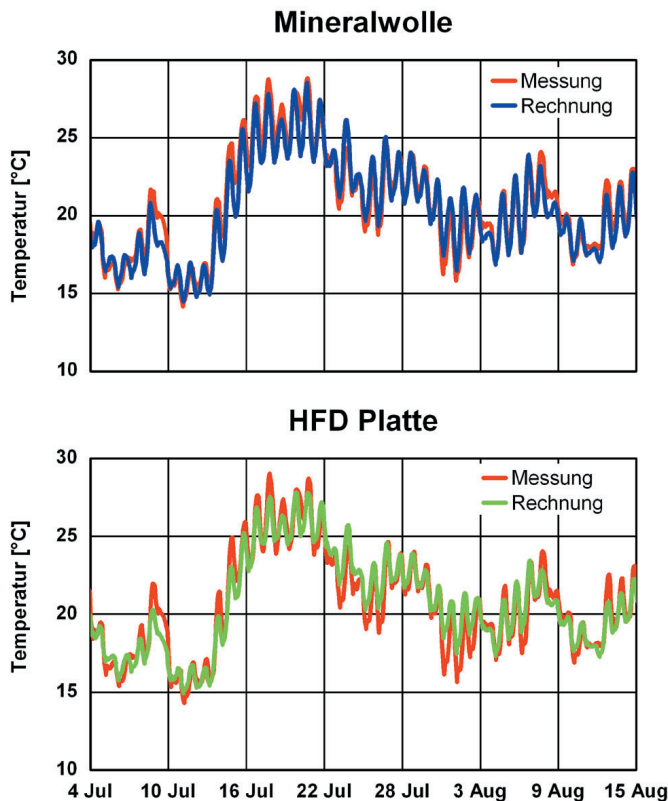


Abb. 7: Validierung der Ergebnisse, oben mit Mineralwolle gedämmter Versuchsraum, unten mit Holzfaserdämmung gedämmter Versuchsraum

3 Übertragung auf ein reales Gebäude durch Simulation

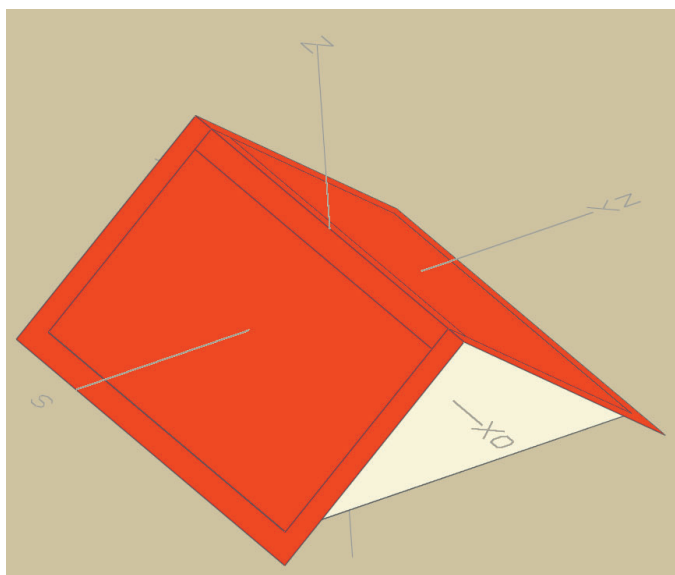


Abb. 8: Simulierter Dachraum

Nach erfolgreicher Validierung erfolgt eine Übertragung auf einen realen, etwas größeren Dachraum mit bzw. ohne zusätzliche Fenster. Dabei wird ein Dachraum gewählt, dessen Standort in Holzkirchen ist. Die Grundfläche des Gebäudes sind 10mx12m, das Volumen des Dachraums

beträgt 309,33 m³, die Dachfläche ist wie in Abbildung 8 zu sehen nach Süden und Norden orientiert und besitzt in der ersten Variante keine Fenster. Der Bauteilaufbau des Daches ist wie folgt von außen nach innen beschrieben, Holzschalung 25 mm, als Dämmung wurde Mineralfaserdämmung (WLG 040) mit einem Lambda von 0,043 W/(mK) oder Holzfaserdämmplatten (WLG040) mit einem Lambda von 0,044 W/(mK) verbaut. Für die Innenbeplankung wurde eine 12,5 mm Gipskartonplatte gewählt. Die Mineralwolle hat eine gewählte Rohdichte von 45 kg/m³ und die Holzfaserdämmplatte eine Rohdichte von 65 kg/m³. Der Luftwechsel wurde auf 0,5 1/h festgelegt, eine nächtliche Lüftung wurde nicht installiert.

In zwei weiteren Varianten wird auf der südlichen Dachfläche ein Fenster eingebaut. Dieses Fenster hat einen Flächenanteil von 5% bzw. 10% und einen U_w von 1,5 W/ m²k und einem G-Wert 0,6. Im Dachraum sind keine Trennwände oder andere speichernde Massen eingebaut.

Auf der Abbildung 9 sind für den Zeitraum vom 1.07.-30.09. die Temperaturverläufe der Innenräume aufgezeichnet, in der oberen Grafik die Variante ohne Fenster. Dabei zeigt sich, dass die Temperatur im Innenraum des mit Mineralwolle gedämmten Daches geringfügig höher steigt als bei dem Dach, welches mit Holzfaserdämmplatte gedämmt ist. Außerdem ist eine größere Amplitude bei dem Mineralfaser gedämmten Dach zu sehen. In der mittleren Grafik ist der Temperaturverlauf der Variante mit dem eingebauten Fensteranteil von 5% zu sehen. In der unteren Grafik ist das Ergebnis der Berechnung mit 10% Fensteranteil aufgezeigt. Mit steigendem Fensteranteil steigt erwartungsgemäß auch die Temperatur im Innenraum. Dabei ist die Temperaturamplitude bei der Mineralwolle größer, die Temperaturunterschiede zur Holzfaserdämmung bleiben aber annähernd gleich.

Zur Verdeutlichung zeigt Abbildung 10 exemplarisch den Einfluss der Fenster auf die Phasenverschiebung an drei heißen und sonnenreichen Tagen im Juli. Dort ist zu sehen, dass bei steigenden Fensteranteilen sich nicht nur die Raumlufttemperatur erhöht, sondern sich auch die materialbedingte Phasenverschiebung minimiert.

Bei der Auswertung der Übertemperaturgradstunden von April bis Oktober ist in der Abbildung 11 die Anzahl Stunden über 24°C für jeden Monat durch Balkendiagramme dargestellt. Es wird die südorientierte Dachfläche ohne Fenster und mit einem Fensteranteil von 10 % ausgewertet. Die Unterschiede zwischen den Übertemperaturgradstunden von Mineralwolle zu Holzfaserdämmplatten sind bei dem simulierten Dachraum ohne Fenster nur einige Stunden. Bei einem Fensteranteil von 10 % sind leichte Unterschiede festzustellen. Tendenziell sind mehr Übergradstunden für das simulierte Dach mit Holzfaserdämmplatte zu beobachten.

GRUND: HFD hat höhere Speicherfähigkeit → längere Zeiten mit hohen Temp → längere Abklingdauer . MW hat zwar höhere Temp aber schnelleres „Abkühlen“

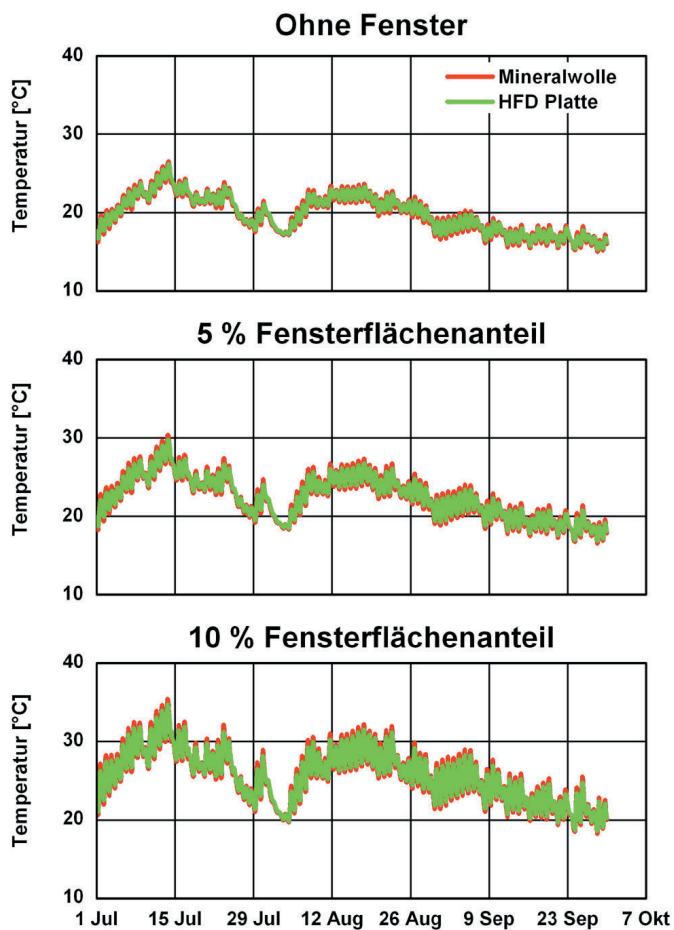


Abb. 9: oben keine Fenster, mitte Fensteranteil 5%, unten Fensteranteil 10% auf der Südseite

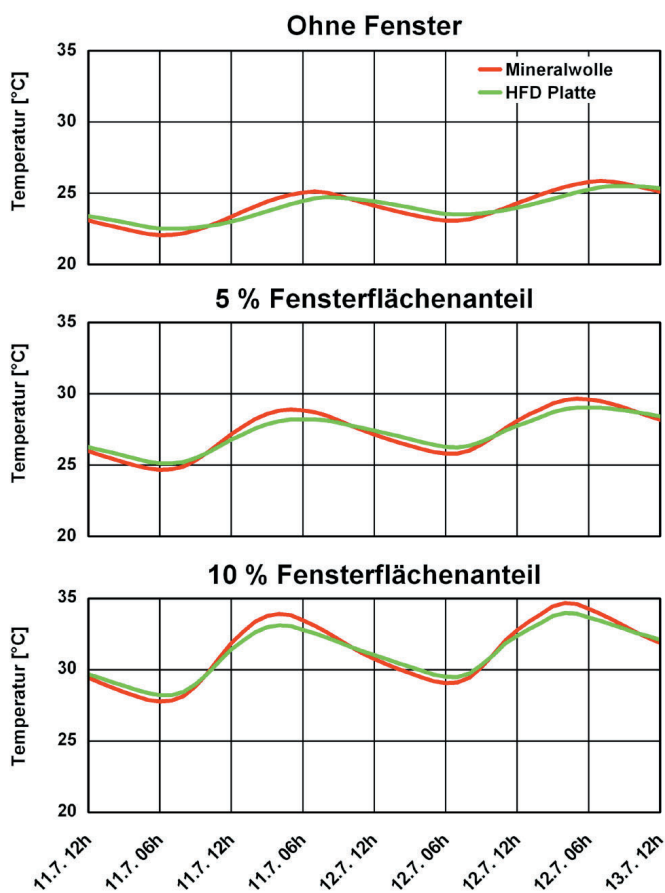


Abb. 10: Einfluss der Fensteranteile auf die Phasenverschiebung

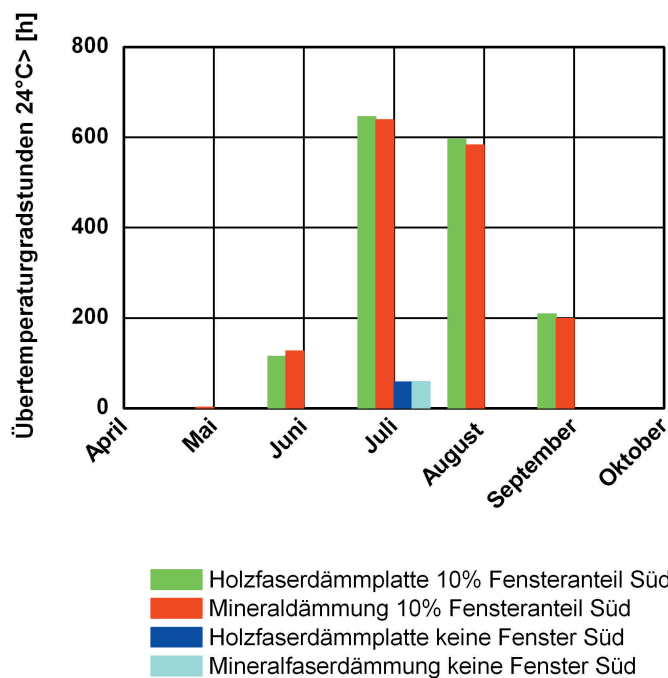


Abb. 11: Übertemperaturgradstunden des südorientierten simulierten Daches Temperaturen über 24°C

Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen wurden vom 01. Juli bis 30. September 2007 durchgeführt. Die beiden Räume waren zu dieser Zeit unbeheizt. In die nach Süden mit 50° Neigung ausgerichteten Dachflächen und in die Versuchsräume sind bewusst keine Fenster eingebaut, um die Auswirkung der unterschiedlichen Dämmungen (Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten) auf die Temperaturen im Dachaufbau und im Raum unbeeinflusst erfassen zu können.

Bei hohen Oberflächentemperaturen des schwarz gestrichenen Metalldaches von ca. 88° C sind maximale Raumlufttemperaturen der belüfteten Räume an die 30° C entstanden. Dabei sind im Juli 2007 die Unterschiede bei den aufgetretenen Raumluft- und Innenoberflächentemperaturen zwischen den mit Mineralwolle und Holzfaserdämmplatten gedämmten Dachräumen nur sehr gering. Ein Grund für die geringen Unterschiede in der Raumlufttemperatur ist das Wärmespeichervermögen über den ganzen Querschnitt. Die 30 mm Holzschalung unter dem Blechdach und die Sparren speichern einen Großteil der Wärme, dadurch ist der Anteil der Dämmung auf das Wärmespeichervermögen gering.

Des Weiteren wurden die Räume des Daches mit WUFI®-Plus validiert. Bei der Simulation wurde eine gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen erreicht. Bei der Übertragung der Ergebnisse aus der Simulation auf ein reales simuliertes Gebäude bzw. auf einen realen Dachraum wurde der Einfluss der Fensterflächen mit einbezogen. Aus den Ergebnissen lässt sich ablesen, dass der Unterschied zwischen der Wärmespeicherfähigkeit der Holzfaserdämmplatte und der Mineralwolle in Bezug auf die Phasenverschiebung abnimmt, sobald Fenster verbaut werden.

Schlussfolgerung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass bei Gebäuden in denen große Speichermassen im Dachraum eingebaut sind, wie dicke Bretterschalungen oder Betondecken, die Wärmespeicherfähigkeit der Zwischensparrendämmung mit üblicher Rohdichte eine untergeordnete Rolle spielen. Auch kann der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit der

Zwischensparrendämmung vernachlässigt werden, wenn größere Fensteranteile in den Dachflächen vorhanden sind, denn der Unterschied der Phasenverschiebung zwischen Mineralwolle und Holzfaserdämmplatte verringert sich bei steigenden Anteil an Fensterfläche.