



Ermittlung des Wärmedämmverhaltens von Gründächern

Abschlussbericht

Die Forschungsarbeit wird mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert.
(Aktenzeichen: 24242-25)

Die Verantwortung für den Inhalt des Abschlussberichts liegt bei den Autoren.

Der Abschlussbericht umfasst:

19 Seiten Text
31 Abbildungen
7 Tabellen

Kassel, den 30. Juli 2009

(Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Gernot Minke)

(Dr.-Ing. Frank Otto)

(Dipl.-Ing. Rolf Gross)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Aufgabenstellung	3
3	Untersuchungsmethode	3
4	Messtechnische Untersuchung	3
4.1	Aufbau der Prüffelder.....	3
4.2	Messwerterfassung.....	5
4.3	Auswertung der Messergebnisse	5
5	Verhalten der Gründächer in der Hitzeperiode.....	7
5.1	Übersicht Sommerwoche 2008.....	7
5.2	Vergleich Feld II und Feld IV	7
5.3	Vergleich Feld III und IV	8
5.4	Vergleich Feld III und V	9
5.5	Vergleich Feld V und VI	10
6	Verhalten der Gründächer in der Kälteperiode.....	11
6.1	Übersicht Winterwoche 2009.....	11
6.2	Vergleich Feld II und IV	11
6.3	Vergleich Feld III und IV	12
6.4	Vergleich Feld III und V	13
6.5	Vergleich Feld V und VI	14
7	Feldvergleich der monatlichen Transmissionswärmeverluste.....	15
8	Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick auf weitergehende Untersuchungen.....	18
9	Literaturverzeichnis	19

1 Einleitung

Gründächer werden nach den anerkannten Regeln der Technik, welche die Grundlage der bauordnungsrechtlichen Bewertung des Wärmeschutzes von Gebäuden darstellt [1], in ihrer positiven Wirkung auf den winterlichen und den sommerlichen Wärmeschutz nicht berücksichtigt. Alle Bauteilschichten außerhalb der Bauwerksabdichtung werden in ihrer günstigen Wirkung auf den Wärmeschutz nur in Ausnahmefällen in Ansatz gebracht. Lediglich feuchteresistente Dämmstoffe dürfen unter Beachtung der schichtdickenabhängigen Minderung ihrer Dämmwirkung angesetzt werden [2]. Die günstige Wirkung von Substrat- und Vegetationsschichten auf den sommerlichen Wärmeschutz bleibt bisher gänzlich unberücksichtigt.

Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand der Substratschicht eines Gründachaufbaus führt im Winter zu einer Verringerung der Wärmeverluste und damit zu einer Verbesserung des Wärmeschutzes. Darüber hinaus wirkt sich die Wasserverdunstung von Morgentau und Regen auf die Bauteiltemperaturen im Winter und im Sommer aus.

Die Vegetationsschicht führt zu einer Abschirmung der Erdgrenzschicht. Der erhöhte Reibungswiderstand von bepflanzten Dachflächen vermindert den konvektiven Wärmeübertragung. Die Blätter und Zweige verschatten die Oberfläche.

Der Einfluss von Gründächern auf den Wärmehaushalt von Gebäuden kann derzeit bei den bauordnungsrechtlichen Nachweisen nicht angesetzt werden. Lediglich aufwendige, nur selten genutzte hygrothermische Bauteilsimulationen oder die Adaption von Messergebnissen auf konkrete Einbausituationen ermöglichen eine praxisgerechte Berücksichtigung von Gründächern.

Die Verfahren zur Bewertung des winterlichen und des sommerlichen Wärmeschutzes unterscheiden sich durch die differierenden Berechnungsansätze erheblich. Der winterliche Wärmeschutz basiert auf dem Wärmedurchlasswiderstand, der sich aus Schichtdicke und der Wärmeleitfähigkeit - konkret den Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit – bestimmt [2]. Die Einbeziehung der Vegetationsschichten in Form eines Zuschlags ΔU oder die Ableitung einer effektiven Wärmeleitfähigkeit wäre denkbar.

Der sommerliche Wärmeschutz wird anhand des Sonneneintragskennwertes [2] für ausgewählte Räume nachgewiesen, der sich additiv aus einzelnen Werten für die Berücksichtigung der wesentlichen Einflussgrößen zusammensetzt. Die Einbeziehung einer separaten Ein-

flussgröße für die Wirkung von Gründächern wäre auch in diesem Fall möglich.

2 Aufgabenstellung

Um für eine praxisgerechte Bewertung von Gründächern die fundierte Grundlage zu schaffen, soll ausgehend von messtechnischen Untersuchungen das thermische Verhalten von Bauteilen unter Einbeziehung von Dachbegrünungen systematisch analysiert werden.

Die Messungen werden an Prüfkörpern unter natürlicher Bewitterung im innerstädtischen Bereich in Kassel durchgeführt. Die Gründachaufbauten bilden den oberen Abschluss einer Versuchskammer, die auf dem Dach des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen platziert ist. Der Sollwert der Lufttemperatur in der Kammer beträgt 20° C. Aufgrund der unvermeidbaren Regelschwankungen variiert die Lufttemperatur zwischen 19° C und 22° C. Für die Untersuchung werden sechs unterschiedliche Dachaufbauten ausgewählt. Eine Referenzkonstruktion ohne Begrünung mit üblicher Dachabdichtung liefert das wärmetechnische Verhalten heute gängiger Dachaufbauten.

Das thermische und hygrische Verhalten der Dachkonstruktion wird durch den Einbau von Wärmestrommesssonden, Pt 100-Temperaturfühlern und Feuchtemesssonden erfasst. Die Daten werden kontinuierlich in einem Intervall von 6 min aufgezeichnet. Die aktuellen Klimadaten des Standortes stellt die in unmittelbarer Nähe befindliche Meteorologiestation des Fachgebietes Bauphysik der Universität Kassel zur Verfügung.

3 Untersuchungsmethode

Das wärmetechnische Verhalten ausgewählter Gründachaufbauten wird unter natürlichen Randbedingungen für ein vollständiges Kalenderjahr untersucht.

Durch den Vergleich von Bauteiltemperaturen und Transmissionswärmeverlusten wird die Wirkung von Substrat- und Vegetationsschichten ermittelt.

4 Messtechnische Untersuchung

4.1 Aufbau der Prüffelder

Der Gründachversuchsaufbau besteht aus sechs Feldern mit unterschiedlichen Dämmschichtdicken sowie verschiedenen Vegetationsschichten. Ziel der Untersuchung ist es, den Einfluss der Dachbegrünung auf das winterliche und sommerliche Wärmeverhalten im Vergleich zu Konstruktionen ohne Begrünung aufzuzeigen. Die zu untersuchenden Aufbauten werden in Zusammenarbeit mit dem

Fachgebiet experimentelles Bauen an der Universität Kassel und der Fachvereinigung Bauwerksbegrünung e.V. festgelegt. In den folgenden Ausführungen wird jeder Feldaufbau erläutert.

Die Felder sind in unterschiedlichen Substratschichtdicken ausgebildet, wie sie in Tabelle 1 detailliert aufgeführt sind.

Für die Begrünung der Konstruktion kommen 3 Varianten zur Anwendung:

1. Gestochener Grassoden, siehe Bild 1
2. Vegetationsmatte von Optigrün,
Typ:SKG/G
Vegetationszusammensetzung: Sedum mit Kräuter- und Gräseranteilen. Dicke: ca. 1,5 – 2,5 cm.
3. Vegetationsmatte von Optigrün,
Typ:SM/G
Vegetationszusammensetzung: überwiegend Sedum (80-100%) Sedum: Sedum album in Sorten; Sedum album Kräuter, Gräser (0-20%).

Für alle Felder wird das Substrat „GTD M-Leicht“ mit folgenden Spezifikationen verwendet:

- Trockengewicht: 1300 kg/m³
- Wasserkapazität: 1600 kg/m³
- Max. Wasserkapazität: > 20 %
- Luftgehalt bei max. Wasserkapazität: >10 %
- Wasserdurchlässigkeit > 60 mm/min
- pH-Wert 6,5-9,5



Bild 1: Gestochener Grassoden.

In Tabelle 1 sind für die einzelnen Versuchsfelder die Dämmstoffdicke, die Substratschichtdicke sowie die jeweilige Art der Begrünung aufgeführt.

Tabelle 1: Übersicht der relevanten Bauteilspezifikationen der einzelnen Felder.

Feld Nr.	Dämm-schichtdicke [cm]	Substrat-schicht-dicke [cm]	Vegetationsform
I	20	0	–
II	20	8	Vegetationsmatte, Nr. 2
III	20	15	Grassoden, Nr. 1
IV	20	15	Vegetationsmatte, Nr. 2
V	10	15	Grassoden, Nr. 1
VI	10	8	Vegetationsmatte, Nr.3

Der Gründachversuchsaufbau steht auf dem Dach des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen in einer Höhe von ca. 14 m über der Geländeoberkante (siehe Bild 2). Die Längsachse des Versuchsstands hat eine Ostwest-Orientierung. Bild 3 zeigt einen Querschnitt des entwickelten Prüfstandes. Die Prüfflächen sind ganzjährig unverschattet.

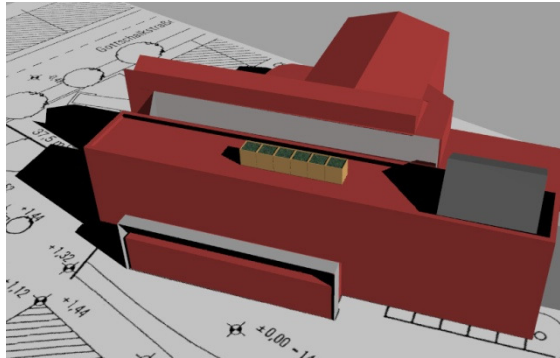


Bild 2: Lage des Versuchsstands auf dem Dach des Zentrums für Umweltbewusstes Bauen.

4.2 Messwerterfassung

Zur Bewertung und zum Vergleich der einzelnen Gründachkonstruktionen werden folgende Messwerte erfasst:

- Außenlufttemperatur
- Globalstrahlung
- Temperaturen in der Dämmebene
- Temperaturen in der Substratschicht (Mitte und unterer Rand)
- Wärmestromdichte
- Lufttemperatur im Versuchsstand

Die Erfassung der Außenlufttemperatur erfolgt durch die Wetterstation der Universität Kassel, die sich in einem Abstand von ca. 20 m vom Versuchsstand befindet.

Zur Messung der Bauteiltemperaturen befinden sich in unterschiedlichen Einbautiefen Messfühler (Pt 100) in den Prüfkörpern. Die Position der einzelnen Fühler kann den Bildern 4 bis 9 entnommen werden. Es kommen jeweils 11 Temperaturfühler pro Messfeld zum Einsatz. Das Messintervall beträgt 6 Minuten.

Die Erfassung des Wärmetransports durch die Prüffelder erfolgt anhand von Wärmestrommesssensoren, die jeweils in Feldmitte appliziert werden. Die Wärmeverluste werden positiv und Wärmegewinne negativ ausgewiesen.

4.3 Auswertung der Messergebnisse

Um die Bedeutung des Gründachaufbaus für den Wärmeschutz aufzuzeigen, erfolgt ein Vergleich von Temperaturen in den Substratschichten sowie der Monats- und

Jahressummen der Transmissionswärmeverluste.

Aus den vollständigen Datensätzen werden für den Vergleich der Bauteiltemperaturen zwei charakteristische Phasen ausgewählt. Bei den Zeitabschnitten handelt es sich jeweils um einen Wochenzyklus mit hohen Temperaturen (Hitzeperiode) und mit niedrigen Temperaturen (Kälteperiode).

Die Hitzeperiode liegt in der Woche vom 17. Juni bis zum 23. Juni 2008.

Die Kälteperiode liegt in der Woche vom 2. Januar bis zum 8. Januar.

Die Ergebnisse für die Hitzeperiode sind in Kapitel 5 dargestellt. Die Ergebnisse für die Kälteperiode werden in Kapitel 6 diskutiert. Die Auswertung der Transmissionswärmeverluste kann Kapitel 7 entnommen werden.

Die Vegetations- und Substratschichten wirken sich auf den Temperaturverlauf und die sich einstellenden Wärmeströme aus. Am anschaulichsten sind hierbei die Temperaturen in der Mitte der Felder in der Ebene der Abdichtungsbahnen. Bei den Feldern II bis VI befinden sich die Temperaturmesssonden direkt über den wurzeldichten Abdichtungsbahnen. Beim Referenzfeld (Feld I) wird die Temperatur direkt unterhalb der Abdichtungsbahn gemessen (siehe Bild 4). Die Messung der Wärmestromdichte erfolgt auf der Unterseite der raumseitigen Holzverschalung. Es werden sowohl Momentanwerte als auch die Summenwerte miteinander verglichen.

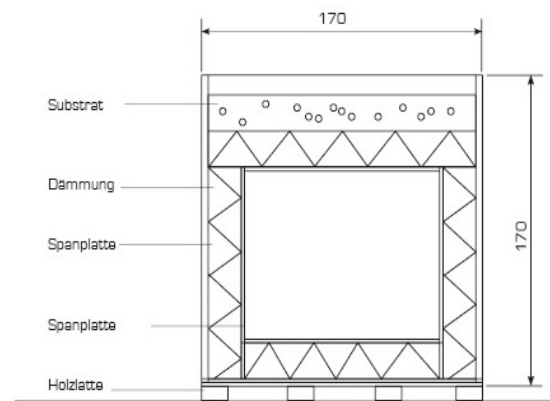
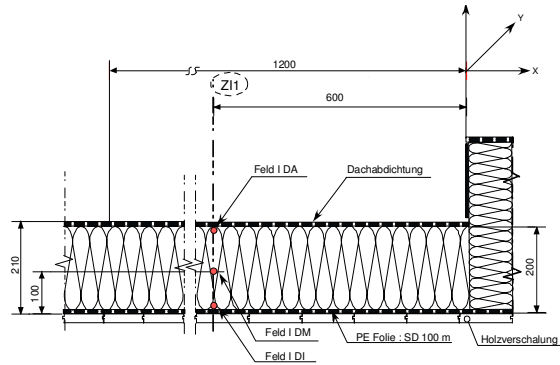
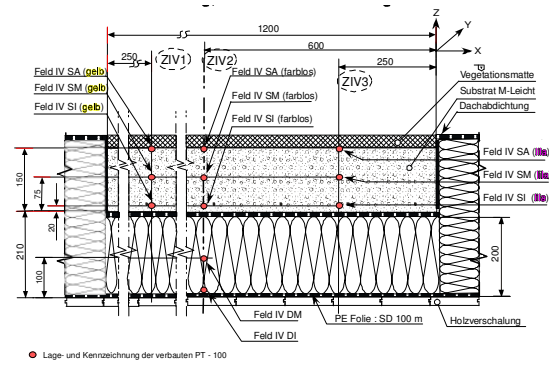


Bild 3: Schnitt durch den Versuchsaufbau.



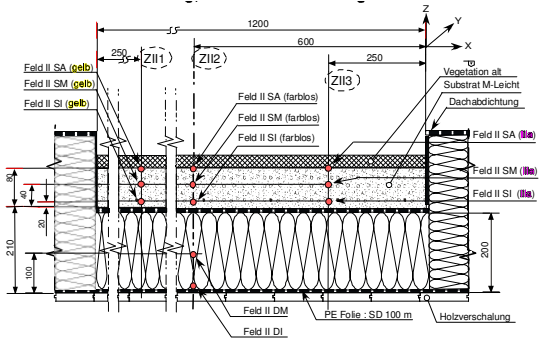
● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 4: Feld I, Referenzfeld ohne Begrünung.



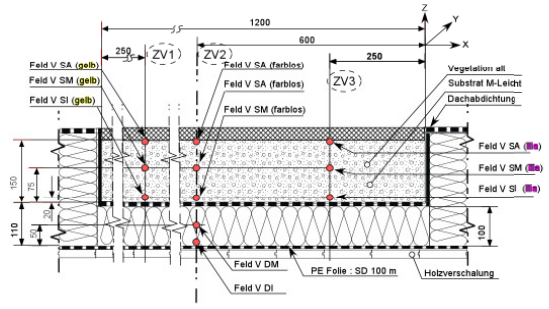
● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 7: Feld IV, 20 cm Dämmung, 15 cm GTD M-Leicht sowie Vegetationsmatte SKG/G.



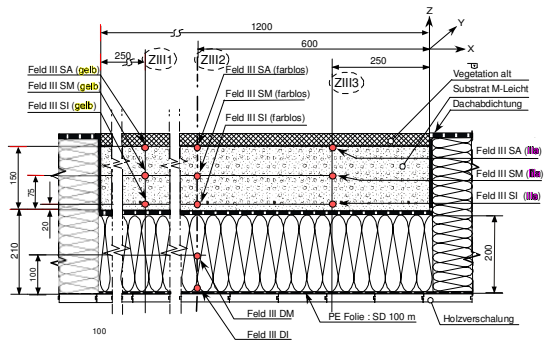
● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 5: Feld II, 20 cm Dämmung, 8 cm GTD M-Leicht sowie gestochener Grassoden.



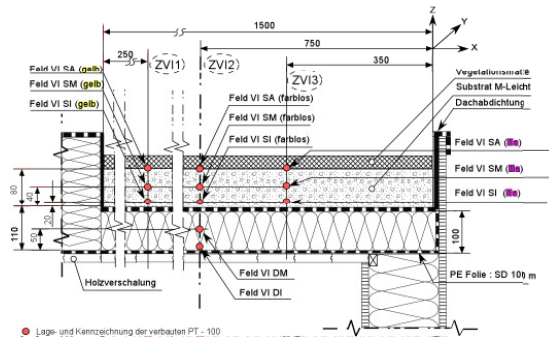
● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 8: Feld V, 10 cm Dämmung, 15 cm GTD M-Leicht sowie gestochener Grassoden.



● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 6: Feld III, 20 cm Dämmung, 15 cm GTD M-Leicht sowie gestochener Grassoden.



● Lage- und Kennzeichnung der verbauten PT - 100

Bild 9: Feld VI, 10 cm Dämmung 8 cm GTD M-Leicht sowie Vegetationsmatte SM/G.

5 Verhalten der Gründächer in der Hitzeperiode

5.1 Übersicht Sommerwoche 2008

Die in Bild 10 abgebildeten Temperaturverläufe verdeutlichen den Einfluss des Gründachaufbaus auf die Oberflächentemperatur der Dachabdichtung. Die Bauteiloberflächentemperatur im Referenzfeld liegt im Maximum um mehr als 40 Kelvin über den Temperaturen in der Ebene der Abdichtungsbahn bei den Gründächern.

5.2 Vergleich Feld II und Feld IV

Die Felder II und IV unterscheiden sich durch die verbaute Substratschichtdicke und durch unterschiedliche Vegetationsarten (siehe Bild 5 und Bild 9).

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 11 zeigt, dass der Temperaturverlauf im Feld II mit 8 cm Substratschicht einer höheren Schwankung unterliegt als der Verlauf im Feld IV mit 15 cm. Auffällig ist, dass sich ein zeitlicher Versatz der Minimal- und Maximaltemperatur gegenüber der Lufttemperatur einstellt. Diese zeitliche Verschiebung – auch Phasenverschiebung genannt – resultiert aus der Wärmespeicherkapazität des Gründachaufbaus.

Die täglichen Maxima stellen sich mit einem zeitlichen Versatz von ca. 2 Stunden ein. In den Mittagsstunden bei hoher Sonneneinstrahlungsintensität sinken die Temperaturdifferenzen zwischen den Feldern. Im Durchschnitt ergibt sich eine Temperaturdifferenz unter dem Substrat von ca. 1,5 Kelvin.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder II und IV zeigt in Bild 12, dass die Differenz zwischen den betrachteten Feldern $\leq 1 \text{ W/m}^2$ ausfällt.

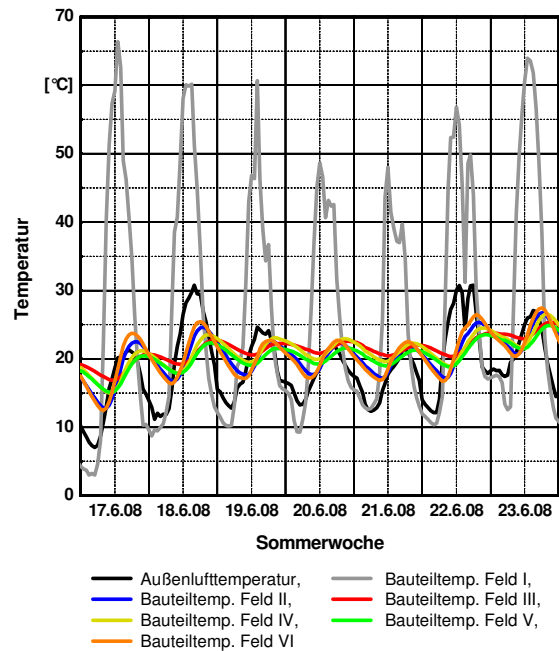


Bild 10: Bauteiltemperaturen aller Felder sowie Außenlufttemperatur in der Sommerwoche 2008.

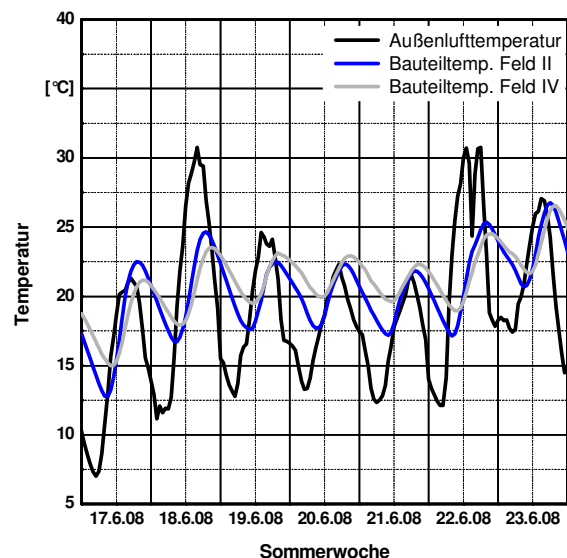


Bild 11: Bauteiltemperaturen der Felder II und IV sowie Außenlufttemperatur in der Sommerwoche 2008.

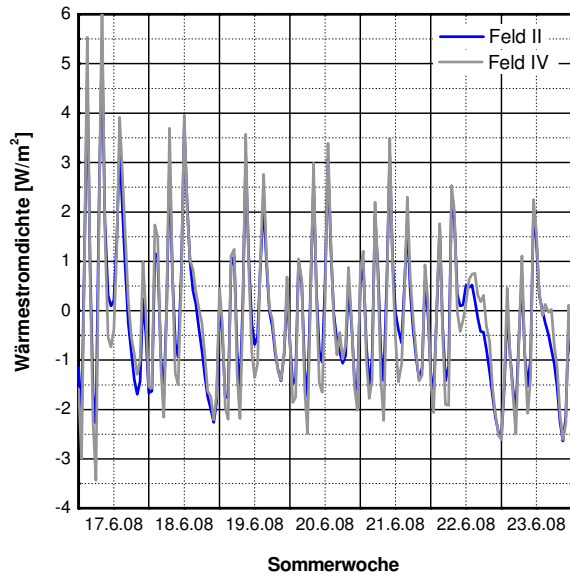


Bild 12: Verlauf der Wärmestromdichte für die Felder II und IV in der Sommerwoche 2008.

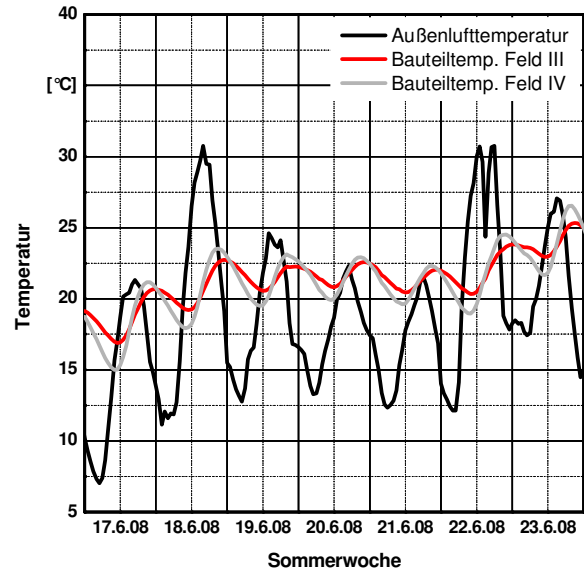


Bild 13: Bauteiltemperaturen der Felder III und IV sowie die Außenlufttemperatur in der Sommerwoche 2008.

5.3 Vergleich Feld III und IV

Die Felder III und IV unterscheiden sich lediglich in der Art der Vegetation (siehe Bild 6 und Bild 7). Feld III ist mit Grassoden bedeckt und Feld IV mit einer 2 cm dicken Vegetationsmatte.

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 13 zeigt, dass der Temperaturverlauf im Feld III mit der zusätzlichen Wurzelschicht geringeren Schwankungen unterliegt als das Feld IV mit der 2 cm dicken Vegetationsmatte. Dies ergibt sich aus der höheren Wärmespeicherkapazität der Wurzelschicht.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichte der Felder III und IV (siehe Bild 14) zeigt, dass die Differenz der Wärmestromdichte in der Sommerwoche zwischen den Feldern ≤ 1 W/m² ausfällt.

Im Sommer stellt sich tagsüber phasenweise eine Umkehr der Wärmestromrichtung von außen nach innen ein (siehe Bild 14).

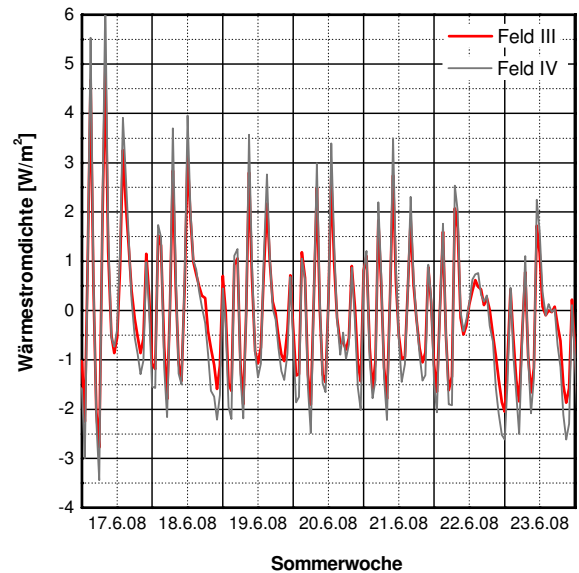


Bild 14: Wärmestromdichte für die Felder III und IV in der Sommerwoche 2008.

5.4 Vergleich Feld III und V

Die Felder III und V unterscheiden sich durch die Dicke der eingebauten Dämmschicht (siehe Bild 6 und Bild 8). Feld III ist mit einer Schichtdicke von 20 cm und Feld V mit 10 cm Wärmedämmstoff ausgeführt.

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 15 zeigt, dass die Temperaturen im Feld III während der Mittagszeit nicht auf das gleiche Niveau wie in Feld V abfällt. Die größere Dämmstoffdicke verursacht eine stärkere Entkopplung vom konditionierten Innenraum. Im Sommer stellt sich tagsüber eine Umkehr der Wärmestromrichtung von außen nach innen ein (siehe Bild 16).

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder III und V (siehe Bild 16) zeigt, dass die Differenz der Wärmestromdichten in der Sommerwoche max. 2 W/m² beträgt.

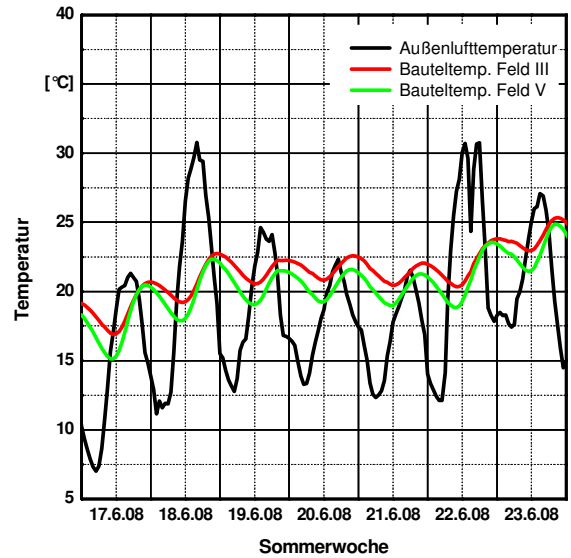


Bild 15: Bauteiltemperaturen der Felder III und V sowie Außenlufttemperatur in der Sommerwoche 2008.

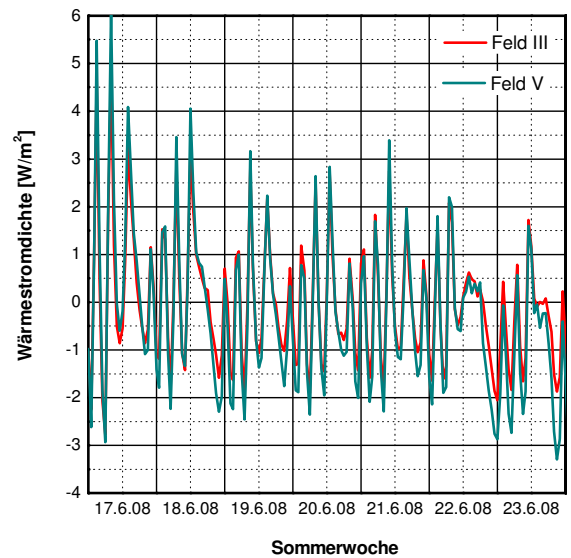


Bild 16: Wärmestromdichte für Felder III und V in der Sommerwoche 2008.

5.5 Vergleich Feld V und VI

Die Felder V und VI unterscheiden sich durch die verbaute Substratschichtdicke und die Vegetationsschicht. Feld V ist mit Grassoden und Feld VI mit einer 2 cm dicken Vegetationsmatte bedeckt. In Feld V sind 15 cm und in Feld VI sind 8 cm Substrat eingebracht.

Die Temperaturverläufe in Bild 17 zeigen deutlich, dass die höhere Speichermasse in Feld V eine stärkere Dämpfung der Temperaturamplitude zur Folge hat. Es werden Temperaturdifferenzen von max. 5 Kelvin festgestellt.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder V und VI (siehe Bild 18) zeigt, dass die Differenz der Wärmestromdichte in der Sommerwoche max. 3,5 W/m² beträgt.

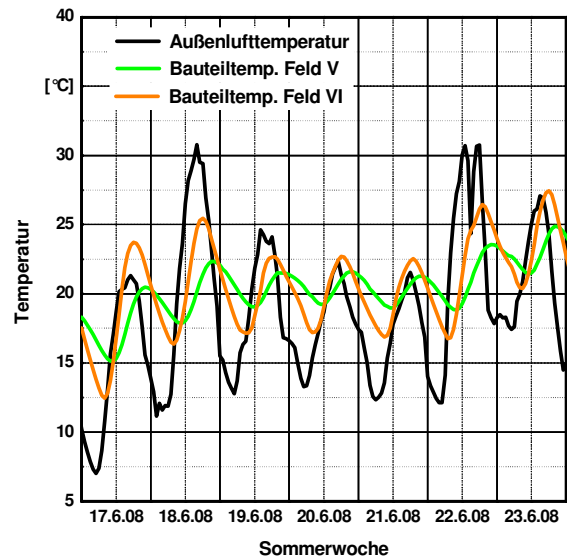


Bild 17: Bauteiltemperaturen der Felder V und VI sowie Außenlufttemperatur in der Sommerwoche 2008.

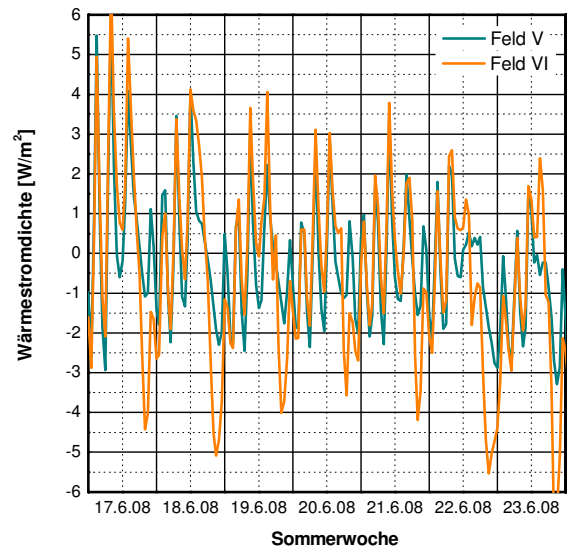


Bild 18: Wärmestromdichte für Felder V und VI in der Sommerwoche 2008.

6 Verhalten der Gründächer in der Kälteperiode

6.1 Übersicht Winterwoche 2009

Für die Ergebnisdarstellung werden die Temperaturen in der Ebene der Dachabdichtung herangezogen. Die in Bild 19 dokumentierten Temperaturverläufe zeigen deutlich, welche Bedeutung die zusätzlichen Schichten für den Wärmehaushalt in Dachkonstruktionen haben. Die Messergebnisse zeigen, dass begrünte Dachkonstruktionen die Temperaturschwankungen an der Dachfläche im Winter deutlich reduzieren und in einigen Fällen sogar weitgehend dämpfen.

6.2 Vergleich Feld II und IV

Die Felder II und IV unterscheiden sich durch die verbaute Dämmstoffdicke und durch die unterschiedliche Art der Vegetation (siehe Bild 5 und Bild 7). Feld II weist eine Dämmstoffdicke von 20 cm, eine 8 cm dicke Substratschicht und eine 2 cm dicke Vegetationsmatte auf. Feld IV hat eine 10 cm dicke Dämmstoffebene, eine 15 cm dicke Substratschicht und ist mit Grassoden abgedeckt.

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 20 zeigt, dass der Temperaturverlauf im Feld II mit 8 cm Substratschicht einer größeren Schwankung unterliegt als der Temperaturverlauf im Feld IV. Der Verlauf von Feld IV weist keine relevanten Schwankungen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur auf. Hier zeigt sich ein positiver Einfluss der höheren Substratschicht auf die Temperatur in der Abdichtungsebene.

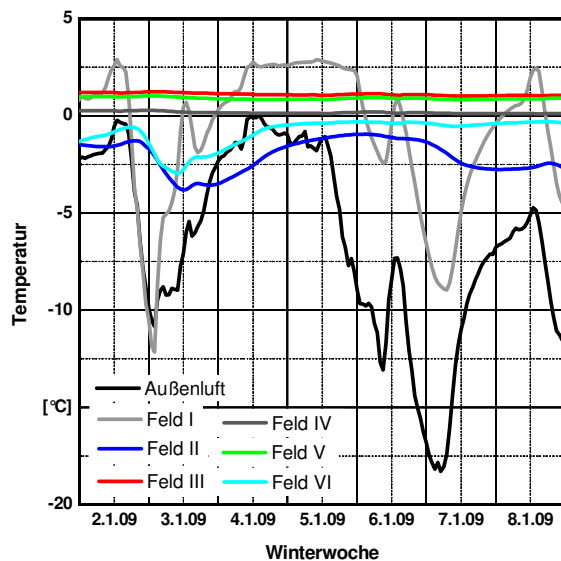


Bild 19: Bauteiltemperaturen aller Felder sowie Außenlufttemperatur in der Winterwoche 2009.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder II und IV (siehe Bild 21) zeigt, dass die Differenz der Momentanwerte $< 1 \text{ W/m}^2$ beträgt.

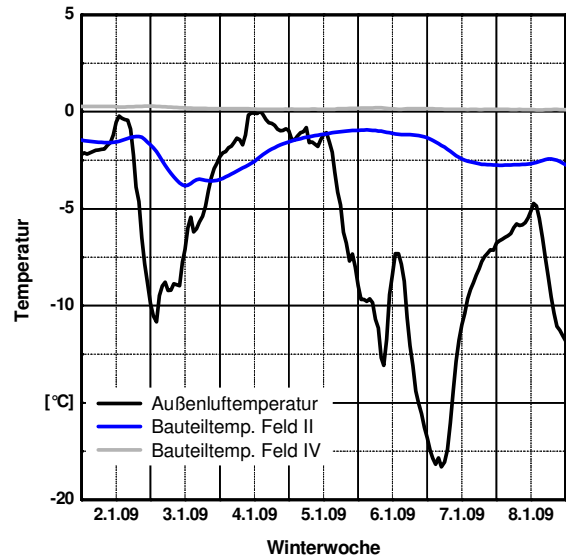


Bild 20: Bauteiltemperaturen der Felder II und IV, sowie Außenlufttemperatur in der Winterwoche 2009.

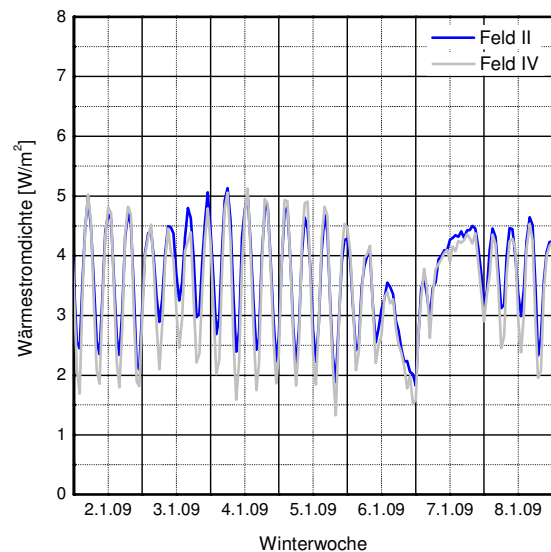


Bild 21: Wärmestromdichte für die Felder II und IV in der Winterwoche 2009.

6.3 Vergleich Feld III und IV

Die Felder III und IV unterscheiden sich lediglich durch die unterschiedliche Art der Vegetation (siehe Bild 6 und Bild 7). Die Substratschichtdicke über der Dachabdichtung beträgt 15 cm.

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 22 zeigt, dass die Temperaturverläufe vom Feld III und IV keinen Schwankungen unterliegen. Die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Funktionen liegt bei ca. 1 Kelvin. Beide Temperaturverläufe zeigen keine relevanten Schwankungen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur. Hier zeigt sich deutlich der dämpfende Einfluss der höheren Substratschicht auf die Bauteiltemperatur.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder III und V (siehe Bild 23) zeigt, dass die Differenz der Momentanwerte in der Sommerwoche weniger als 1 W/m^2 beträgt.

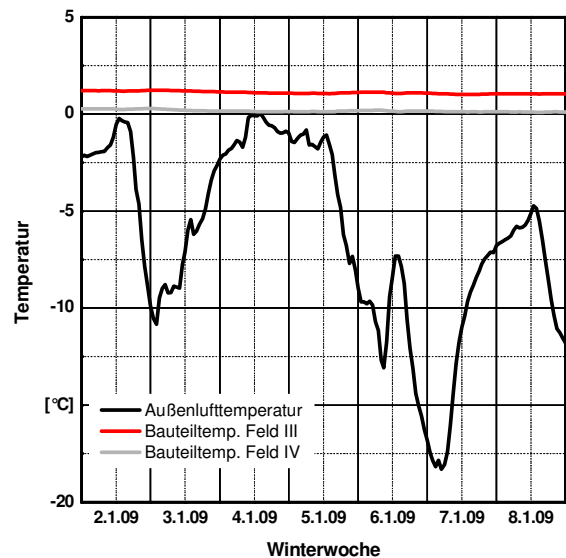


Bild 22: Bauteiltemperaturen der Felder III und IV sowie Außenlufttemperatur in der Winterwoche 2009.

Feld III und IV Wärmestrom

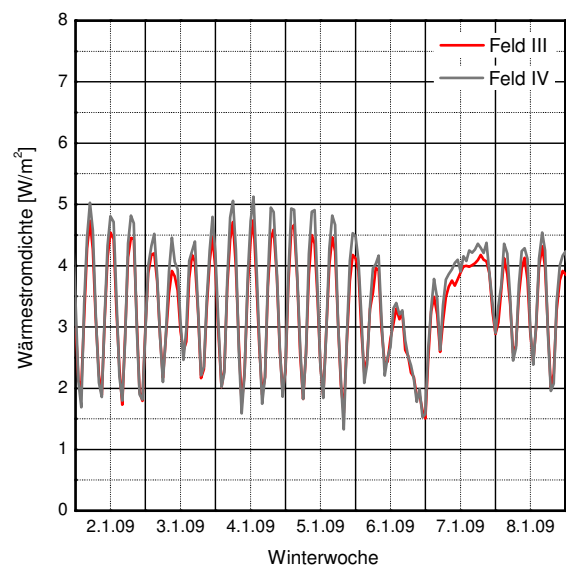


Bild 23: Wärmestromdichte für die Felder III und IV in der Winterwoche 2009.

6.4 Vergleich Feld III und V

Die Felder III und V unterscheiden sich durch die verbaute Dämmstoffstärke. In Feld III sind 20 cm und in Feld V 10 cm Dämmstoff eingebracht. Die Substratschicht und die Vegetationsschicht sind gleich (siehe Bild 6 und Bild 7).

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 24 zeigt, dass die Temperaturverläufe vom Feld III und V nahezu gleich sind. Beide Temperaturverläufe zeigen keine relevanten Schwankungen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur.

Die in Bild 25 dargestellten Ergebnisse der Wärmestromdichtemessungen zeigen deutlich den direkten Zusammenhang von Wärmedämmung eines Bauteils und dem hieraus resultierenden Wärmeverlust.

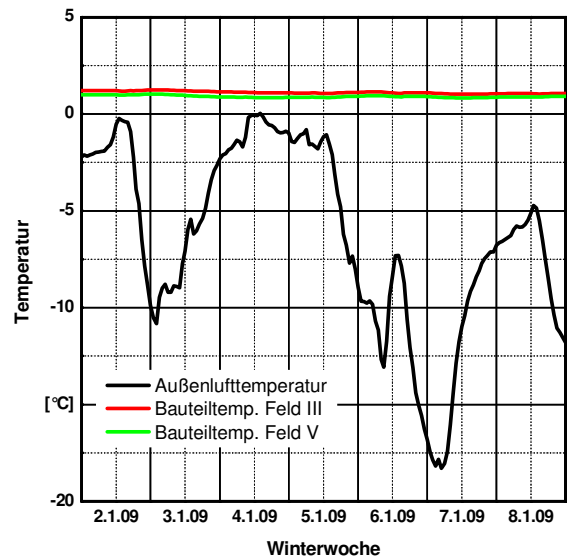


Bild 24: Bauteiltemperaturen der Felder III und V sowie Außenlufttemperatur in der Winterwoche 2009.

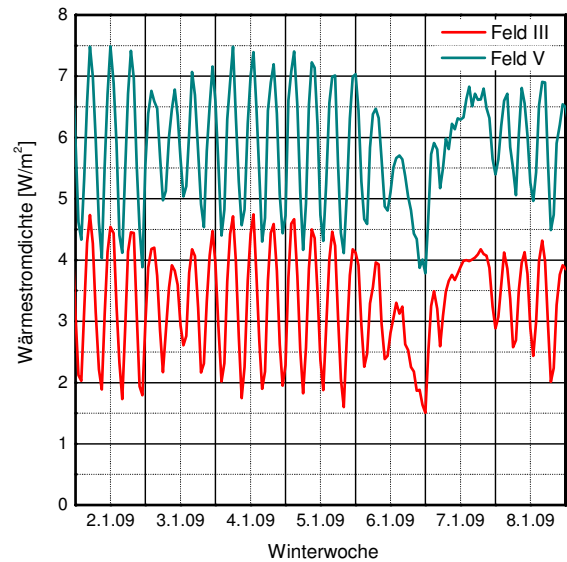


Bild 25: Wärmestromdichte für die Felder III und V in der Winterwoche 2009.

6.5 Vergleich Feld V und VI

Die Felder V und VI unterscheiden sich durch die verbaute Substratschichtdicke. In Feld V sind 15 cm und in Feld VI 8 cm eingebracht. Die Vegetationsschicht ist gleich (siehe Bild 8 und Bild 9).

Die Gegenüberstellung der Bauteiltemperaturen in Bild 26 zeigt, dass sich die Temperaturverläufe vom Feld V und VI deutlich unterscheiden. Der Temperaturverlauf von Feld V liegt in der betrachteten Woche immer über 0°C während die Bauteiltemperatur von Feld VI stets unter 0°C liegt. Weiterhin zeigt der Temperaturverlauf von Feld V keine relevanten Schwankungen in Abhängigkeit von der Außenlufttemperatur. Der Temperaturverlauf vom Feld VI zeigt im Gegensatz hierzu eine deutliche Ankopplung an die Außenlufttemperatur.

Dieser Effekt zeigt den positiven Einfluss der höheren Substratschicht.

Die Gegenüberstellung der Wärmestromdichten der Felder V und VI (siehe Bild 27) zeigt, dass die Differenz der Momentanwerte $< 1,5\text{ W/m}^2$ beträgt.

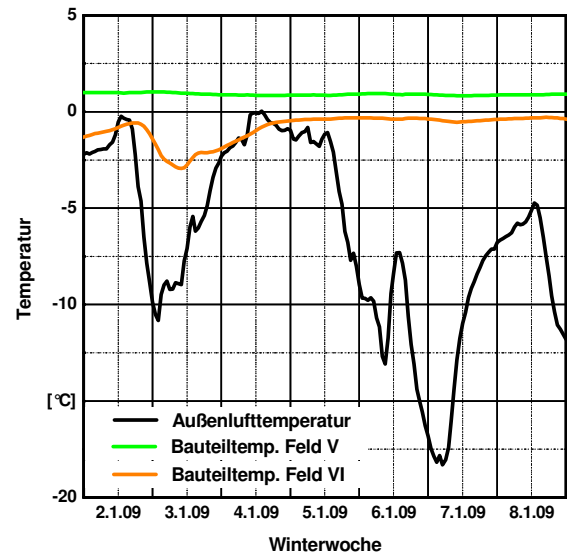


Bild 26: Bauteiltemperaturen der Felder V und VI sowie Außenlufttemperatur in der Winterwoche 2009.

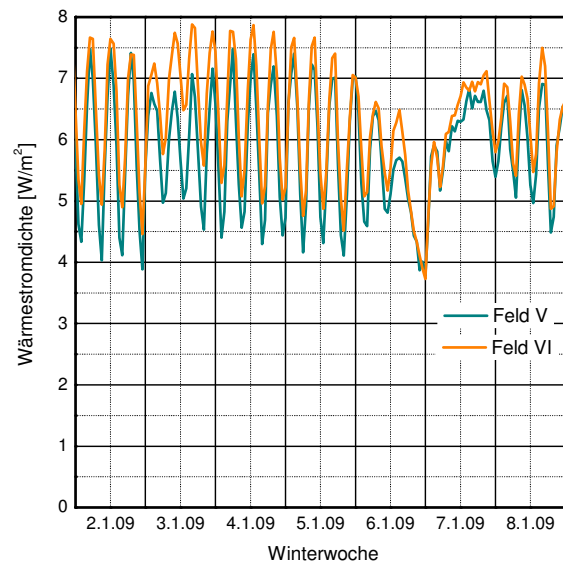


Bild 27: Wärmestromdichte für die Felder V und VI, in der Winterwoche 2009.

7 Feldvergleich der monatlichen Transmissionswärmeverluste

Die monatlichen Transmissionswärmeverluste werden für die drei typischen Klimaphasen im Jahr (Heizperiode, Übergangszeit, Sommerperiode) separat ausgewiesen.

Phase 1: Heizperiode von Oktober bis März (siehe Tabelle 2).

Phase 2: Übergangszeit April, Mai und September (siehe Tabelle 3).

Phase 3: Sommerperiode im Juni, Juli und August (siehe Tabelle 4).

Tabelle 2: Transmissionswärmeverlust der Prüffelder in der Heizperiode 2008.

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Referenz	Feld II	Feld III
Oktober	1.284,6	1.133,3	1.033,7
November	2.085,3	1.712,7	1.586,3
Dezember	2.868,2	2.239,6	2.150,5
Januar	1.865,2	1.576,3	1.561,3
Februar	2.083,7	1.784,0	1.786,6
März	1.886,3	1.691,3	1.692,5
Summe	12.073,2	10.137,1	9.811,0

Tabelle 2: Fortsetzung

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Feld IV	Feld V	Feld VI
Oktober	1.122,7	1.763,1	1.962,0
November	1.707,2	2.755,7	3.016,1
Dezember	2.243,0	3.706,9	3.929,2
Januar	1.513,8	2.720,3	3.024,7
Februar	1.711,1	3.120,9	3.488,6
März	1.640,1	2.877,0	3.198,4
Summe	9.937,9	16.943,9	18.619,1

Tabelle 3: Transmissionswärmeverlust der Prüffelder in der Übergangszeit 2008.

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Referenz	Feld II	Feld III
April	1.004,9	1.171,5	1.135,9
Mai	93,6	530,7	597,8
September	446,2	657,3	613,8
Summe	1.544,7	2.359,5	2.347,6

Tabelle 3: Fortsetzung

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Feld IV	Feld V	Feld VI
April	1.123,8	1.835,1	2.052,4
Mai	542,3	815,8	822,6
September	638,8	949,7	1.056,2
Summe	2.304,9	3.600,6	3.931,2

Tabelle 4: Transmissionswärmeverlust der Prüffelder im Sommer 2008.

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Referenz	Feld II	Feld III
Juni	-960,1	-173,3	-167,1
Juli	-794,4	84,8	68,0
August	-341,7	235,4	210,8
Summe	-2.096,2	146,9	111,7

Tabelle 4: Fortsetzung

Monate	Wärmeverlust [Wh/(m ² ·M)]		
	Feld IV	Feld V	Feld VI
Juni	-230,4	-370,4	-439,5
Juli	22,3	-31,2	-76,3
August	165,5	187,7	269,9
Summe	-42,6	-213,9	-245,8

Um den Einfluss der Substratschichtdicke auf den Transmissionswärmeverlust aufzuzeigen, werden die monatlichen Wärmeverluste des Referenzfelds sowie der Felder II, III und IV in den Tabellen 5 und 6 gegenübergestellt. Der Vergleich zeigt deutlich, dass bei einer Dämmstoffdicke von 20 cm der Einfluss der Substratschicht einen bis zu 25 % geringeren Wärmeverlust während der Heizperiode aufweist.

Die unterschiedliche Substratschichtdicke in Feld II und IV mit 8 cm bzw. 15 cm zeigt bei gleicher Dämmstoffstärke von 20 cm nur einen geringen Effekt. In Bezug auf den Wärmeverlust des Referenzfeldes ist eine Differenz von max. 8 % festzustellen.

Eine vergleichende Jahresübersicht über die Transmissionswärmeverluste der Felder II und III sowie II und IV zeigen die Bilder 28 und 29.

Tabelle 5: Prozentuale Differenz der Wärmeverluste in Bezug zum Referenzfeld für Feld II und III. Betrachtet wird der Zeitraum während der Heizperiode.

Heizperiode	prozentuale Differenz der Wärmeverluste zum Referenzfeld		
	Referenz [Wh/(m ² ·M)]	Feld II [%]	Feld III [%]
Oktober	1.284,6	-12	-20
November	2.085,3	-18	-24
Dezember	2.868,2	-22	-25
Januar	1.865,2	-15	-16
Februar	2.083,7	-14	-14
März	1.886,3	-10	-10

Tabelle 6: Prozentuale Differenz der Wärmeverluste in Bezug zum Referenzfeld für Feld III und IV. Betrachtet wird der Zeitraum während der Heizperiode.

Heizperiode	prozentuale Differenz der Wärmeverluste zum Referenzfeld		
	Referenz [Wh/(m ² ·M)]	Feld III [%]	Feld IV [%]
Oktober	1.284,6	-20	-13
November	2.085,3	-24	-18
Dezember	2.868,2	-25	-22
Januar	1.865,2	-16	-19
Februar	2.083,7	-14	-18
März	1.886,3	-10	-13

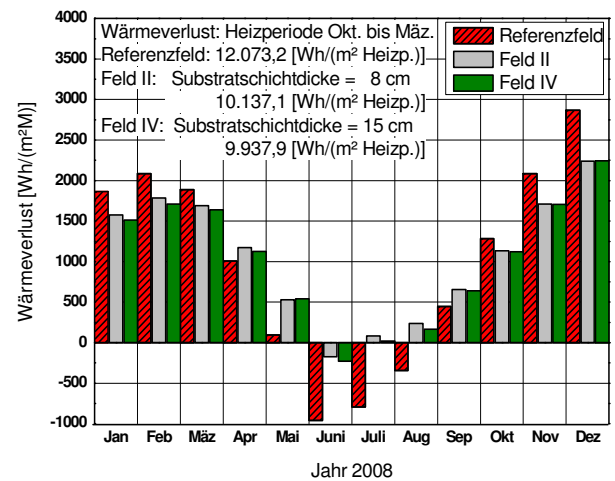


Bild 28: Monatlicher Wärmeverlust für das Referenzfeld, Feld II und Feld IV in 2008.

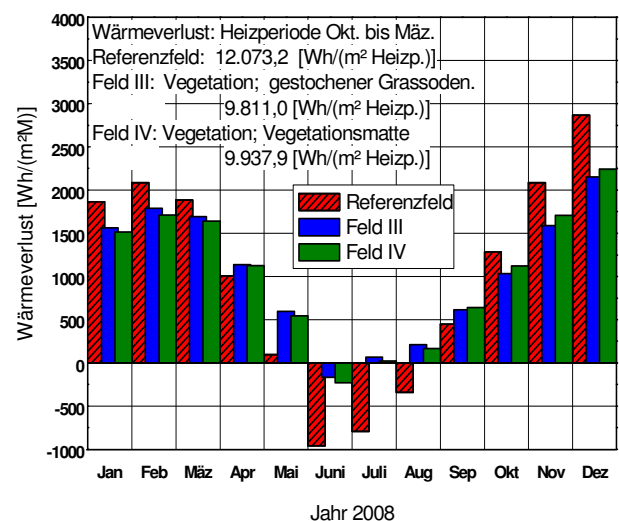


Bild 29: Monatlicher Wärmeverlust des Referenzfelds, Feld III und IV für 2008.

Um den Einfluss der Substratschichtdicke auf den Wärmeverlust bei einer Dämmstoffdicke von 10 cm aufzuzeigen, werden die Ergebnisse der Felder V und VI gegenübergestellt. Betrachtet wird die Heizperiode.

Es zeigt sich, dass die dickere Substratschicht in Feld V einen bis zu 12 % geringeren Wärmeverlust im Vergleich zu Feld VI aufweist.

Tabelle 7: Prozentualer Unterschied der Transmissionswärmeverluste von Feld V und Feld VI. Betrachtet wird der Zeitraum während der Heizperiode.

Heizperiode	prozentuale Differenz der Transmissionswärmeverluste von Feld V zu Feld VI		
	[Wh/(m ² ·M)]		[%]
	Feld V	Feld VI	
Oktober	1.763,1	1962,0	11
November	2.755,7	3016,1	9
Dezember	3.706,9	3929,2	6
Januar	2.720,3	3024,7	11
Februar	3.120,9	3488,6	12
März	2.877,0	3198,4	11

Eine vergleichende Jahresübersicht über die Transmissionswärmeverluste der Felder V und VI zeigt Bild 30.

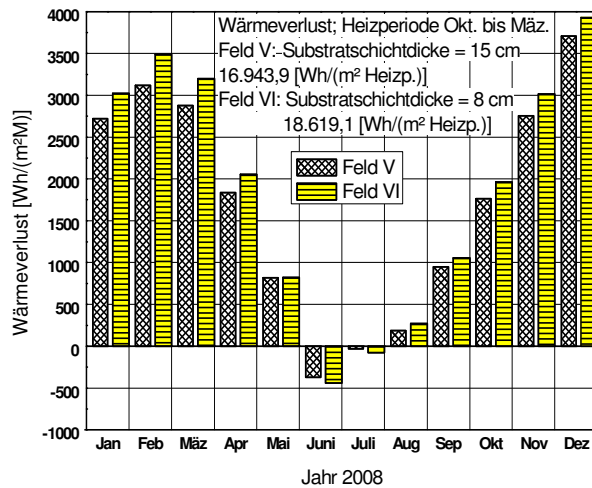


Bild 30: Monatlicher Transmissionswärmeverlust der Felder V und VI für 2008.

8 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick auf weitergehende Untersuchungen

Gründächer wirken sich auf den Wärmeschutz von Dachkonstruktionen aus. Anhand von Messungen wird die Bedeutung unterschiedlicher Substrat und Vegetationsschichten für den Wärmeschutz untersucht.

Die Messungen werden vom 20.11.2007 bis zum 15.02.2009 durchgeführt. Betrachtet wird der Messzeitraum im Jahr 2008. Drei Prüffelder werden mit einer Dämmstoffdicke von 20 cm und 2 Felder mit 10 cm Wärmedämmung aufgeführt. Die Substratschicht variiert zwischen 8 cm und 15 cm. Für die Vegetationsschicht werden 2 unterschiedliche am Markt verfügbare Produkte sowie ein natürlich gewachsener Grassoden verwendet. Das Referenzfeld ist mit einer Dämmstoffdicke von 20 cm ausgeführt.

Die Prüffelder werden jeweils mit 12 Temperaturfühlern und einer Wärmestrommesssonde ausgestattet. Die Erfassung der Messwerte erfolgt alle 6 Minuten.

Bei den untersuchten Dachkonstruktionen verringert sich der Transmissionswärmeverlust in der Heizperiode um bis zu 19 % gegenüber einer üblichen Flachdachausbildung. In Hitzeperiode kommt es häufig zu Phasen in denen beim Referenzdach Wärme in die Prüfkammer strömt und bei den Gründächern nach außen abfließt. Ein erwünschter Effekt, um Überhitzungen von Dachräumen zu vermeiden.

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass sowohl die Eigenschaften des Substrats als auch die Art der Vegetation einen erheblichen Einfluss auf den Wärmehaushalt von Dachgeschossen ausüben.

Dies wird auch durch die vorangegangenen Untersuchungen an einem Wildgräser-/Wildkräuterdach mit 16 cm Substrat und 15 cm Wärmedämmung deutlich (siehe Bild 31). Während die hier gezeigten Messungen eine Temperaturdifferenz zwischen Luft und Unterkante Substrat im September bis zu 12,5° Kelvin beträgt, erreichten die größten Temperaturdifferenzen die in diesem Projekt zwischen Luft und Substratunterkante im Sommer gemessen wurden lediglich 10° Kelvin.

Dies ist vor allem dadurch bedingt, dass die Vegetation in dem vorliegenden Forschungsvorhaben aufgrund des verwendeten mageren Leichtsubstrats eine geringere Höhe und geringere Dichte aufwies.

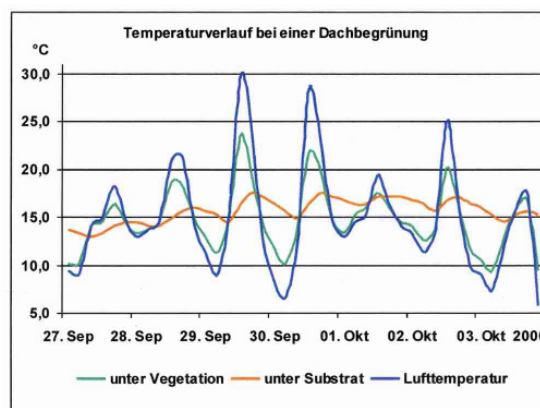


Bild 31: Sommerlicher Temperaturverlauf einer Dachbegrünung mit Wildgräsern-/ Wildkräutern und 16 cm Substrat sowie 15 cm Wärmedämmung.

Die positiven Ergebnisse bilden eine gute Ausgangslage für weitere Untersuchungen an Gründächern. Wesentliche Hinweise für die Auswahl von Substraten und Vegetationsschichten sollten in weiteren Untersuchungen systematisch ermittelt werden. Insbesondere die Übertragung der Messwerte in Rechenmodelle zur Abschätzung der Rückkopplung von Gründächern auf den thermischen Komfort von Wohnräumen sollte forciert werden.

9 Literaturverzeichnis

- [1] EnEV 2007 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden – Energieeinsparverordnung EnEV vom 24.Juli 2007
- [2] DIN 4108 - 2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz vom Juli 2003
- [3] DIN 4108 - 4: Wärmeschutz und Energie - Einsparung in Gebäuden Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte vom Juli 2004