

Sommerlicher Wärmeschutz

Norbert Rüther
Fraunhofer-Institut für Holzforschung
Wilhelm-Klauditz-Institut WKI
Braunschweig, Deutschland

Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Deutschland
Hochschule Magdeburg-Stendal, Deutschland



Sommerlicher Wärmeschutz

1. Einleitung

Spätestens seit diesem Sommer ist der sommerliche Wärmeschutz in aller Munde. Dass es sich um kein kurzfristiges Modethema handelt, zeigt die Tatsache, dass der sommerliche Wärmeschutz bereits seit vielen Jahrzehnten in der Baunormung verankert ist. Immer größer werdende Fensterflächen erhöhen zum einen den Bedarf an einem guten sommerlichen Wärmeschutz. Dies zeigt jedoch auch eine maßgebliche Problemstellung auf.

Auch, wenn dieser Sommer des Jahres 2018 als außergewöhnliches Wetterphänomen betrachtet werden kann, so zeigen die Klimadaten und -prognosen ganz eindeutig die Erfordernis, dem sommerlichen Wärmeschutz mehr Aufmerksamkeit zu schenken.

Die folgenden Tabellen zeigen die prognostizierte Jahresmitteltemperatur und die Anzahl der Tage mit mehr als 25 °C in ausgewählten deutschen Städten für jedes Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts. Selbstverständlich können die Daten nicht exakt sein, die Tendenz ist jedoch eindeutig.

Tabelle 1: Jahresmitteltemperatur

Jahresmitteltemperatur	Dresden	Frankfurt	Freiburg	Garmisch-Partenkirchen	Hamburg	Hannover	Köln	München	Potsdam	Rostock
2001-2010	9.5	10.7	10.5	5.2	9.3	9.9	10.6	9.5	9.7	9.0
2011-2020	9.4	10.9	10.9	5.4	9.4	10.0	10.8	9.7	9.7	9.0
2021-2030	10.1	11.2	11.1	5.7	10.0	10.5	11.1	10.0	10.3	9.6
2031-2040	10.3	11.7	11.6	6.2	10.2	10.8	11.5	10.4	10.5	9.8
2041-2050	10.8	12.2	12.0	6.7	10.6	11.2	12.0	11.0	11.0	10.2
2051-2060	11.0	12.3	12.3	7.2	10.8	11.4	12.2	11.2	11.2	10.5
2061-2070	12.0	13.4	13.5	8.3	11.4	12.2	13.0	12.5	12.1	11.1
2071-2080	12.0	13.4	13.4	8.2	11.6	12.3	13.1	12.3	12.1	11.2
2081-2090	13.0	14.3	14.3	9.4	12.4	13.1	13.9	13.3	13.0	12.1

Tabelle 2: Anzahl der Tage mit mehr als 25°C

Anzahl der Tage mit einer Temperatur größer 25°C	Dresden	Frankfurt	Freiburg	Garmisch-Partenkirchen	Hamburg	Hannover	Köln	München	Potsdam	Rostock
2001-2010	32	41	38	0	12	17	28	23	11	6
2011-2020	25	54	47	0	12	21	39	25	13	4
2021-2030	59	96	94	0	33	45	76	31	34	15
2031-2040	42	88	80	0	25	32	67	34	19	9
2041-2050	38	78	78	0	19	30	60	29	17	9
2051-2060	65	100	110	2	34	47	89	62	39	24
2061-2070	173	276	303	10	78	115	196	201	100	45
2071-2080	147	211	222	6	73	92	173	156	85	28
2081-2090	148	233	262	22	48	81	170	178	75	28
2091-2100	168	278	317	38	63	93	216	246	81	35

2. Theoretische Grundlagen

2.1. rechtliche / normative Grundlagen

Der sommerliche Wärmeschutz ist in Deutschland geregelt über die Energieeinsparverordnung und über die DIN 4108. Beide zusammen verfolgen das Ziel, die ganzjährige Behaglichkeit mit angemessenem Energieverbrauch zu gewährleisten.

Auf die konkreten Vorgaben und Berechnungen soll hier nicht eingegangen werden. Dazu werden von diversen Organisationen Vorlesungen und Seminare angeboten, die sich mit der normativ «korrekten Berechnung» des Wärmeschutzes beschäftigen.

2.2. Physikalische Grundlagen

2.2.1. Wärmetransport

Wärme kann über die drei unterschiedlichen Mechanismen Leitung, Konvektion und Strahlung transportiert werden. In der Baupraxis sind immer alle drei Transportmechanismen vorhanden. Die Menge der transportierten Energie kann jedoch bei den drei Transportmechanismen sehr unterschiedlich hoch sein.

Die **Wärmeleitung** wird bei den Baustoffen mit der Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt.

Die **Konvektion** findet Berücksichtigung bei den Wärmeübergangswiderständen und somit in Kombination mit der Wärmeleitfähigkeit und der Bauteildicke bei der Berechnung des U-Wertes.

Die **Strahlung** ist ein Wärmetransportphänomen, das insbesondere bei transparenten Bauteilen wie z.B. Fenstern relevant ist und findet Berücksichtigung zum Beispiel im Gesamtenergiedurchlassgrad. Die (kurzwellige) Solarstrahlung setzt sich aus direkter und diffuser (indirekter, an Wolken und der Umgebung reflektierter) Strahlung zusammen. Der Wärmestrom infolge Solarstrahlung nimmt immer positive Werte an, was einem Wärmegewinn bzw. einer Wärmelast entspricht. Die kurzwellige Strahlung dringt einerseits durch transparente Außenbauteile (Fenster) in den Raum ein. Ein kleiner Anteil von etwa 10 % erwärmt die Raumluft direkt, beinahe der ganze Rest erwärmt die Oberflächen der raumbegrenzenden Bauteile. Die direkte und diffuse Solarstrahlung durch Fenster kann mit Verschattungseinrichtungen reduziert werden. Die langwellige Wärmestrahlung beeinflusst die Wärmeverteilung innerhalb eines Gebäudes entscheidend. Wärmestrahlung tritt praktisch überall dort auf wo Oberflächen miteinander «in Sichtkontakt» stehen. Auch zwischen Raumnutzern und Bauteiloberflächen. Der Kehrwert der Summe der Übergangskoeffizienten für Konvektion und Wärmestrahlung ergibt den Wärmeübergangswiderstand, der aus den U-Wert-Berechnungen bekannt ist.

Die zuvor genannten Regelwerke EnEV und DIN 4108 berücksichtigen die drei Wärmetransportmechanismen mittels diverser Kennwerte und Faktoren. Ein zentraler Faktor beim sommerlichen Wärmeschutz ist z.B. der Abminderungsfaktor F_c , der die Wirksamkeit von Sonnenschutzvorrichtungen beschreibt. Außenliegende, drehbare und hinterlüftete Jalousien haben zum Beispiel einen Abminderungsfaktor von 0,25. Es wird somit etwa drei Viertel der Strahlungsenergie von der Sonnenschutzvorrichtung abgehalten.

2.2.2. Materialeigenschaften

Neben den geometrischen Eigenschaften wie Länge, Breite und Dicke sind nachstehende Materialeigenschaften aus wärmetechnischer Sicht bedeutend:

Rohdichte (Masse)

In Kombination mit den geometrischen Eigenschaften ergibt die Rohdichte die Masse und somit ein entscheidendes Kriterium für die Tragheit des gesamten Systems. Zusammen mit der

spezifischen Wärmekapazität

ergibt sich die Wärmespeicherfähigkeit. Je höher die spezifische Wärmekapazität eines Materials und je höher die Masse, desto höher die Wärmespeicherfähigkeit. Im Allgemeinen gilt eine hohe Wärmespeicherfähigkeit als vorteilhaft für den sommerlichen Wärmeschutz. Wichtig dabei ist, dass die speicherfähige Masse mit dem Innenraum wärmetechnisch in Verbindung steht und – idealerweise – auf der Außenseite gedämmt ist. Somit ist nicht ausschließlich für den winterlichen, sondern auch für den sommerlichen Wärmeschutz eine außenseitige Wärmedämmung von Vorteil. Der für eine Dämmung wichtigste Kennwert ist die

Wärmeleitfähigkeit.

Diese beschreibt, wie viel Wärme durch ein Material über Wärmeleitung weitertransportiert wird. Dabei wird ein möglichst niedriger Wert angestrebt – sowohl beim sommerlichen, als auch beim winterlichen Wärmeschutz.

Die Kombination aus hoher Masse und Wärmekapazität und geringer Wärmeleitfähigkeit gilt allgemein als ideal, um eine möglichst große Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung zu erreichen. Baupraktisch weisen jedoch in der Regel die sehr leichten Dämmstoffe eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit auf. Schwere natürliche Dämmstoffe wie zum Beispiel Holz, Hanf, Zellulose und Schafwolle bieten baupraktisch eine gute Eigenschaftskombination aus verhältnismäßig guter (niedriger) Wärmeleitfähigkeit bei gleichzeitig hoher Wärmespeicherkapazität.

Der

Absorptionsgrad

von Baustoffen wird in der Regel nicht deklariert, weil die Eigenschaft baupraktisch vorrangig bei hoher Strahlungsenergie relevant wird. Beim sommerlichen Wärmeschutz ist der Absorptionsgrad somit insbesondere von den Außenflächen von Bedeutung. Zwar können die solaren Energiegewinne von opaken, also nicht transparenten Bauteilen in den Übergangs- und Wintermonaten zur Energieeinsparung beitragen. Hier sind hohe Absorptionsgrade von Vorteil. In den Sommermonaten heizen sich dunkle Oberflächen mit hohem Absorptionsgrad jedoch sehr stark auf. Der Emissionsgrad gibt an, wieviel Strahlung von einem Körper ausgeht, also abgegeben wird. Meistens ist Emissionsgrad gleich Absorptionsgrad. Während der Absorptionsgrad also den Anteil angibt, wieviel Strahlungsenergie von einer Oberfläche in Wärmeenergie umgewandelt wird, gibt der

Transmissionsgrad

den Anteil der Strahlungsenergie an, der bei transparenten Bauteilen, wie zum Beispiel Gläsern, durchgeleitet wird. (Der Begriff Transmission wird im Gebäudebereich auch als Synonym für die Wärmeleitung verwendet (Transmissionswärmeverlust).)

Auf die physikalischen Gleichungen soll an dieser Stelle verzichtet werden. Stattdessen wird im nachfolgenden Kapitel die baupraktischen Bedingungen eingegangen.

3. Praktische Realitäten

Wie bereits erwähnt, haben die baurechtlichen Regeln das Ziel, die ganzjährige Behaglichkeit mit angemessenem Energieverbrauch zu gewährleisten. Die Behaglichkeit im Sommer mit der Nutzung von Klimaanlage zu realisieren, ist definitiv NICHT das Ziel – leider jedoch häufige baupraktische Realität.

Zwar sind die wichtigsten Einflussfaktoren hinreichend bekannt. Nämlich

- das Aufheizen der Dachhaut und
- der «Treibhauseffekt» durch große Fensterflächen.

Hier werden bereits der Einfluss und die Aufgabe des Planers sehr deutlich – insbesondere der Einfluss von Städteplanern. Beide zuvor genannten Faktoren sind vorrangig planerisch zu lösen. Die beiden in Abbildung 1 und Abbildung 2 gezeigten Dächer verdeutlichen die Situation. Die wenigen Kollektoren des Daches in Abbildung 1 bringen keine nennenswerte Verschattung – zudem heizen sich die Kollektoren selbst auf und ausschließlich in den Wassereinlässen erfolgt eine Kühlung. Das gesamte Dach heizt sich im Sommer auf etwa 70 °C auf. Das Dachflächenfenster bietet zudem noch ein Einfallstor für den direkten Eintrag von Wärmeenergie in den Innenraum.

Die nach Süden mit verhältnismäßig hohem Winkel aufgestellten Sonnenkollektoren aus Abbildung 2 sind mit einem großen Luftraum zum Haus hinterlüftet und verschatten somit die nach Süden ausgerichtete Wand.

Nicht in jedem Baugebiet ist eine solche Ausführung erlaubt – deshalb an dieser Stelle der Aufruf an die Stadtplaner, die Baubestimmungen in den einzelnen Baugebieten so zu erarbeiten, dass der sommerliche Wärmeschutz bereits architektonisch, planerisch gelöst werden kann.



Abbildung 1: Negativ: Farbe, Ausrichtung, Dachneigung, Dachfenster



Abbildung 2: Positiv: Ausrichtung. Im Sommer steht die Sonne zu Mittag so hoch, dass selbst die nach Norden geneigte (schwarze) Dachfläche beschienen wird.

Der Einfluss der Dacheindeckung auf die Außen- und Innentemperatur ist in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt. Abgebildet sind jeweils die Oberflächentemperaturen auf der Dachaußenseite und auf der Rauminnenseite. Die Temperaturen wurden errechnet und nicht in unterschiedlichen Häusern gemessen, um identische Randbedingungen zu haben und um deshalb den Einfluss einzelner Eigenschaften herausstellen zu können. Da ausschließlich ein einzelnes Bauteil und nicht das gesamte Gebäude simuliert wurde, können die dargestellten Oberflächentemperaturen nicht die reale Situation darstellen. Bei der Berechnung der Oberflächentemperaturen ist von einer geregelten Innenraumlufttemperatur ausgegangen worden, mit einem sinusförmigen Verlauf der Temperatur von 21 °C im Sommer und 19 °C im Winter.

Die roten Kurven in den beiden Abbildungen sind jeweils für ein Dach mit dunklen Betondachsteinen. Die grünen Kurven sind für ein Gründach. Alle anderen Eigenschaften der beiden simulierten Dächer sind völlig identisch. Während die Außenoberflächentemperatur (Abbildung 3) der Betondachsteine auf 60 bis 70 °C ansteigt, ist der Spitzenwert der Oberflächentemperatur des Gründaches nur 25 bis 26 °C. Diese Temperaturdifferenzen sind selbstverständlich auch raumseitig zu spüren (Abbildung 4). Die innere Oberfläche der Gipsbauplatte wird bei dunkler Dacheindeckung mit etwa 25 bis 26 °C ähnlich warm, wie das Gründach auf der Außenseite. Mit dem Gründach steigen die Oberflächentemperaturen der Gipsbauplatte nur auf etwa 22 °C an.

In Abbildung 5 ist der Verlauf der Oberflächentemperaturen der inneren Gipsbauplatte über die Sommermonate dargestellt. Beide Kurven zeigen die Temperaturen für Dächer mit dunklen Dachsteinen. Sie unterscheiden sich ausschließlich in der Dämmung. Während die rote Kurve wie in den anderen Abbildungen auch, die Temperaturen bei verhältnismäßig leichter Mineralfaserdämmung zeigt, ist die blaue Kurve für eine verhältnismäßig schwere Naturfaserdämmung (konkret: Holzfaserdämmung) errechnet worden. Aus diesen Werten wird sehr deutlich, dass bereits die Wahl der Dämmung einen maßgeblichen Einfluss auf die Oberflächentemperaturen hat. Die hohe Speichermasse bei der Naturfaserdämmung führt zu etwa 2 °C niedrigeren Oberflächentemperaturen, als bei einer leichten Dämmung. Allerdings sind die Tiefsttemperaturen bei der leichten Dämmung auch niedriger, als die der schweren Dämmung – jedoch mit maximal etwa 0,5 °C nur unwesentlich geringer.

Aus Abbildung 6 wird der «ausgleichende Charakter» einer Dämmung mit hoher Wärmespeicherfähigkeit in den Übergangsmonaten deutlich, der in der Fachterminologie als Phasenverschiebung und Amplitudendämpfung physikalisch beschrieben und errechnet werden kann.

In Abbildung 7 ist zusätzlich zu den Oberflächentemperaturen der inneren Gipsbauplatte bei einem Gründach mit schwerer Holzfaserdämmung die gleiche Temperaturstelle jedoch bei einem Dach mit dunklen Dachsteinen, gedämmt mit Mineralfaserdämmung mit geringerer Dicke dargestellt. Beides stellt die baupraktische Realität dar – die Auswirkungen auf den sommerlichen Wärmeschutz werden in der Abbildung deutlich.

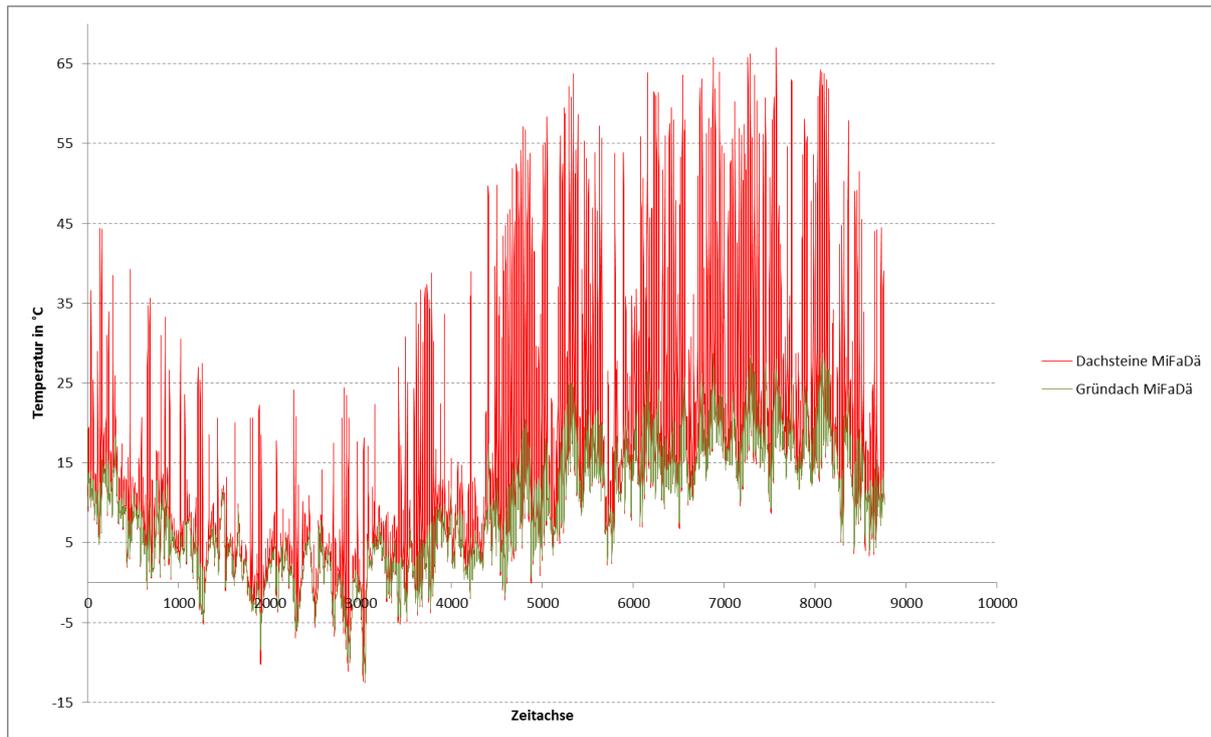


Abbildung 3: Oberflächentemperatur der **Außenseite** zweier simulierter Dächer; rote Kurve: dunkle Dachsteine, grüne Kurve: Gründach

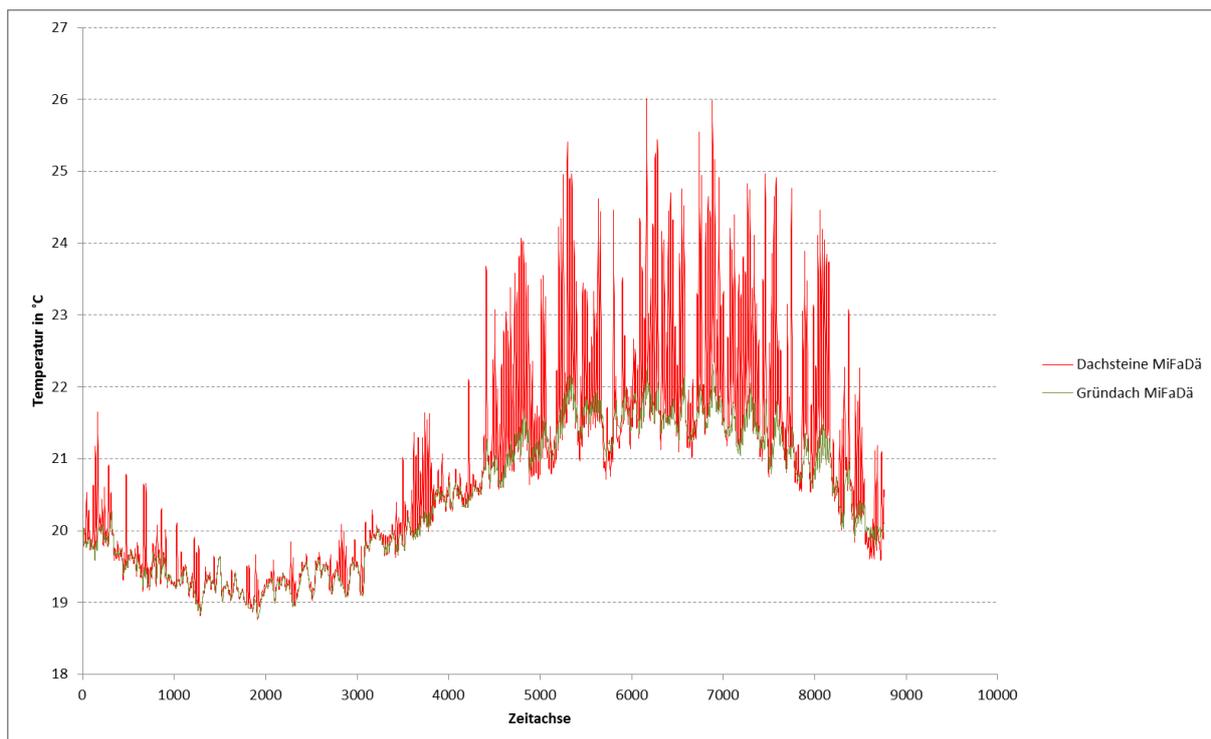


Abbildung 4: Oberflächentemperatur der **Rauminnenseite** zweier simulierter Dächer; rote Kurve: dunkle Dachsteine, grüne Kurve: Gründach

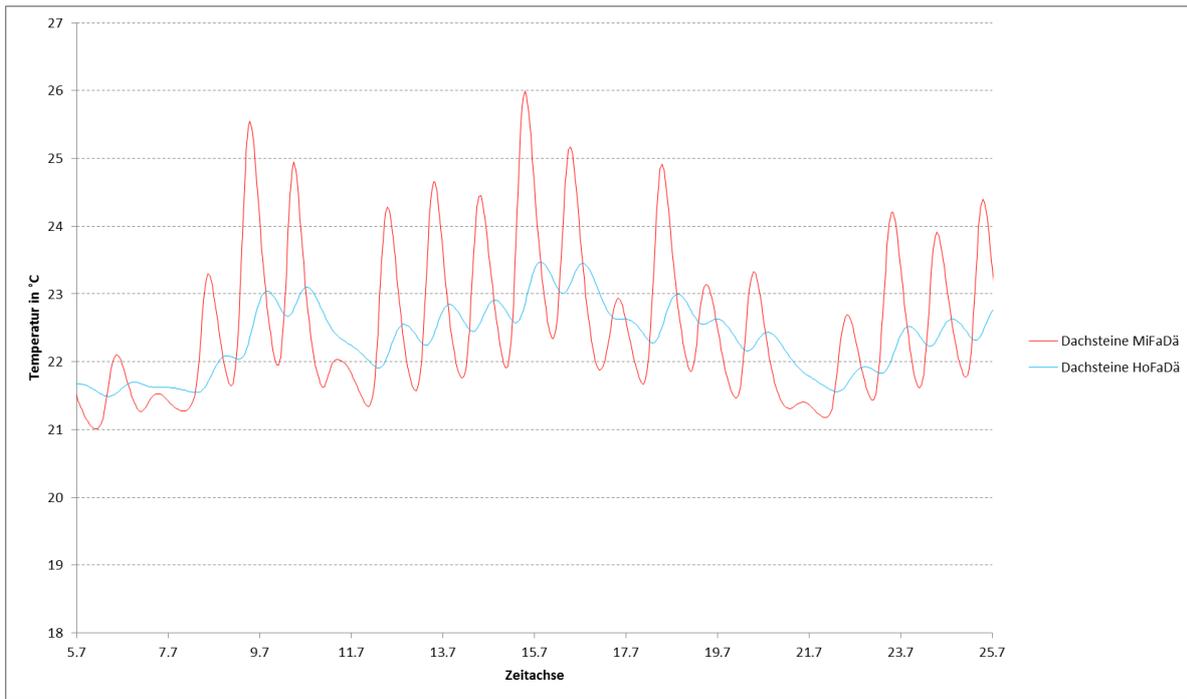


Abbildung 5: Oberflächentemperatur der **Rauminnenseite** zweier simulierter Dächer; rote Kurve: (leichte) Mineralfaserdämmung, blaue Kurve: (schwere) Holzfaserdämmung

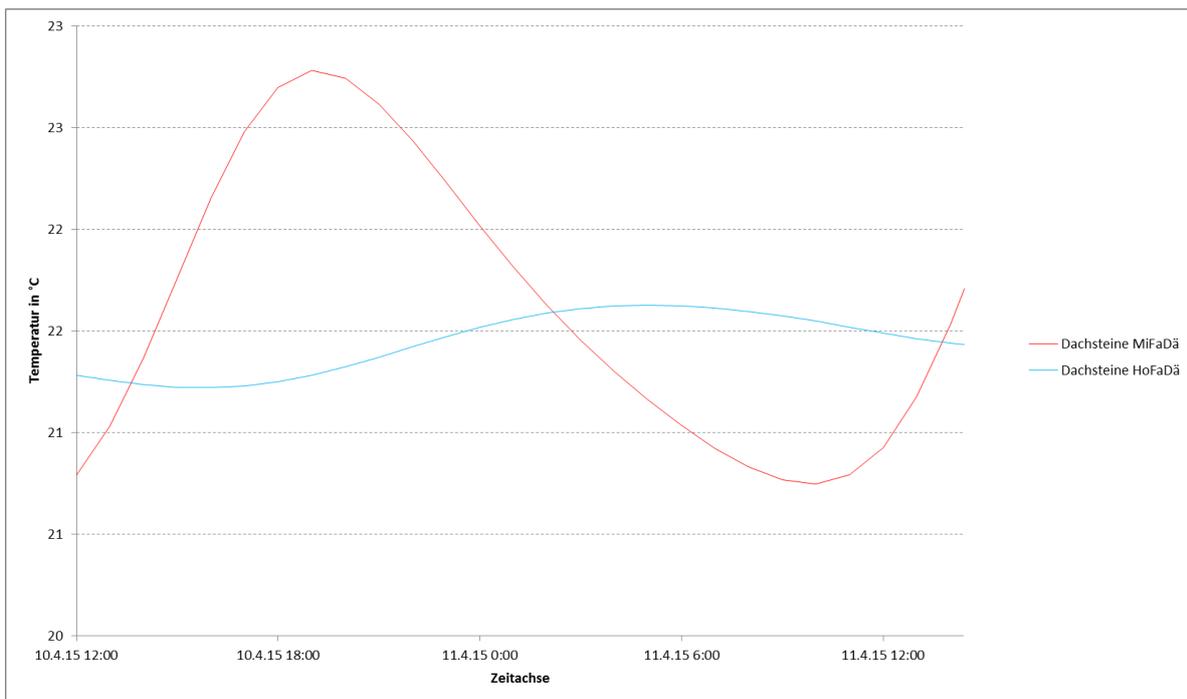


Abbildung 6: Oberflächentemperatur der **Rauminnenseite** zweier simulierter Dächer über einen ausgewählten Tagesverlauf; rote Kurve: (leichte) Mineralfaserdämmung, blaue Kurve: (schwere) Holzfaserdämmung

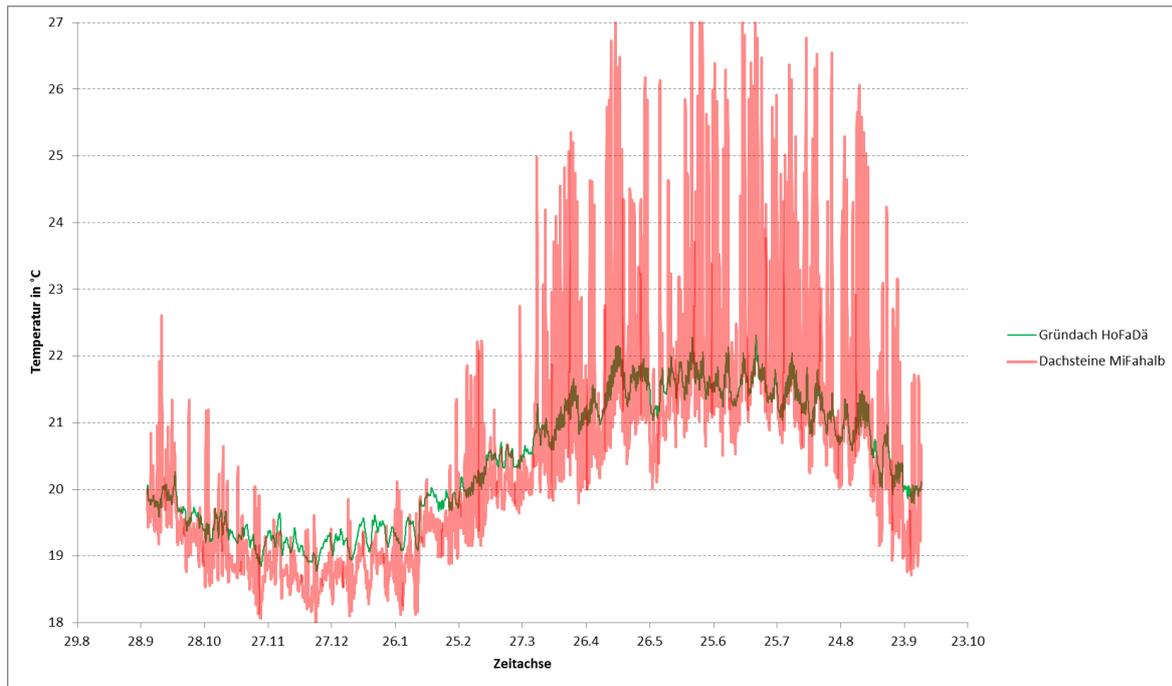


Abbildung 7: Oberflächentemperatur der **Rauminnenseite** zweier simulierter Dächer; rote Kurve: dunkle Dachsteine mit (leichter) Mineralfaserdämmung geringerer Dicke (16 cm), blaue Kurve: Gründach mit (schwerer) Holzfaserdämmung (24 cm dick)

Wie bereits erwähnt, wurde bei den zuvor beschriebenen Ergebnissen eine geregelte Innenraumlufttemperatur (von 21 °C im Sommer) angenommen. Eine vollständige Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes ist ausschließlich mit einer Gebäudesimulation möglich. Bei nicht geregelten Innenraumtemperaturen ergibt sich mittels eines Bilanzverfahrens über das gesamte Gebäude eine Innenraumlufttemperatur. Ein üblicher Kennwert, der die Qualität eines Gebäudes hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes beschreibt, ist die Anzahl der Übertemperaturgradstunden. Also vereinfacht formuliert die Anzahl der Stunden, an denen die Innenraumluft eine Temperatur von 26 °C übersteigt. Eine Zeitstunde mit einer Innenraumlufttemperatur von z.B. 29,5 °C würde dabei jedoch 4 Übertemperaturgradstunden entsprechen. Eine Zeitstunde mit einer Innenraumlufttemperatur von 26,5 °C entspricht nur einer Übertemperaturgradstunde. Die Besonderheit der Simulation liegt in der Ermittlung von Übertemperaturgradstunden der kritischen Räume oder des gesamten Gebäudes. Dazu werden das Gebäude oder ausgewählte Räume mitsamt allen Bauteilen, deren spezifischen Eigenschaften und der Bauweise erfasst. Zusätzlich können weitere Details wie z.B. Eigenverschattung oder passive Kühlung berücksichtigt werden. Anhand der normativ vorgegebenen Randbedingungen (Zeitraum der Simulation, Klimadaten usw.) lassen sich die exakten Temperaturen der Räume stundenweise ermitteln. In der EnEV 2014 wird der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes sowohl für neu zu errichtende Wohngebäude (§ 3 Absatz 4) als auch für Nichtwohngebäude (§ 4 Absatz 4) gefordert. In den Anlagen 1 und 2 werden die hierfür anzuwendenden Verfahren genannt, nämlich das Verfahren mit Sonneneintragskennwerten oder alternativ eine thermische Gebäudesimulation mit dem Ziel der Begrenzung der jährlich auftretenden Übertemperaturgradstunden. Grenzwerte und diverse Randbedingungen für die Berechnung werden von der DIN 4108-2:2013 genannt.

Die Tabelle 3 verdeutlicht den Einfluss des realisierten Wärmeschutzniveaus auf den sommerlichen Wärmeschutz. In der Tabelle sind die Übertemperaturgradstunden des Dachgeschosses eines fiktiven Einfamilienhauses aufgeführt. Hier wurde als Referenz (Var 0) ein übliches Satteldach in der Firstausrichtung in Nord-Süd angenommen, ohne Dachflächenfenster, mit roten Dachziegeln, 20 cm Wärmedämmung aus Mineralfasern mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/m*K. Die nachfolgend aufgeführten Varianten unterscheiden sich wie folgt von der Referenzvariante:

Var 1: Holzfaserdämmung Rohdichte 100 kg/m³ Wärmeleitfähigkeit 0,045 W/m*K

Var 2: Auf jede Dachfläche jeweils ein 1 m² großes Dachflächenfenster

Var 3: Austausch der Dachziegel durch ein Gründach

Var 4: Dicke der Dämmung 16 cm

Var 5: Dicke der Dämmung 24 cm

Wie bereits erwähnt, werden bei der Berechnung der Übertemperaturgradstunden diverse Faktoren berücksichtigt und die Änderungen der Anzahl der Übertemperaturgradstunden in Abhängigkeit der einzelnen Faktoren ist nicht zu verallgemeinern.

Tabelle 2: Errechnete Anzahl der Übertemperaturgradstunden des Dachgeschosses eines fiktiven Einfamilienhauses in Abhängigkeit unterschiedlicher Konstruktionsvarianten

	Referenz	Var 1	Var 2	Var 3	Var 4	Var 5
Küstenklima	55	34	156	0	75	42
Rheingraben	157	112	306	32	178	126

Zuvor aufgeführtes zeigt einzelne mehr oderweniger effektive Maßnahmen, um den Sommerlichen Wärmeschutz mittels konstruktiver Maßnahmen zu beeinflussen. Hier sind der Wärmetransport und die (kurzfristige) Wärmespeicherung sehr zentrale Elemente, die jedoch ambivalent betrachtet und berücksichtigt werden. Ideal wäre, wenn die im Sommer im Überfluss vorhandene Wärme über ein halbes Jahr, also bis zum Winter gespeichert werden könnte. Es gibt bereits seit vielen Jahren diverse Ansätze, die sich jedoch noch nicht im Massenmarkt etabliert haben. Rein praktisch ist ein oberflächennaher Erdwärmetauscher nichts anderes.

Saisonale solare Speicher mit mehreren zehntausend Liter fassenden Wassertanks, die in der Regel mitten im Gebäude platziert sind, können bei entsprechenden Randbedingungen den Bedarf an Wärme nahezu vollständig abdecken. In den Monaten Mai bis September liefert die Sonne rund 65% der im Jahr in Deutschland eingestrahlten Solarenergie. Der Wärmebedarf könnte in dieser Zeit vollständig gedeckt werden. In den Monaten von Oktober bis April beträgt der solare Deckungsanteil jedoch nur etwa 7 %, der Wärmebedarf beträgt in der Zeit jedoch etwa 2/3 des jährlichen Wärmeenergiebedarfs.

In der aktuellen Baupraxis haben sich solche Systeme bisher jedoch nicht etabliert – in der Regel werden sie aus Kostengründen nicht eingesetzt.

Somit bewegt sich der Baupraktiker im Zwiespalt, über das Winterhalbjahr möglichst viele solare Gewinne nutzen zu können, im Sommer jedoch das Gegenteil machen zu müssen.

Praktisch sind wir in den meisten Regionen Deutschlands froh über warme Sommer mit viel Sonnenschein. Dennoch lohnt es sich, Gedanken über den Sommerlichen Wärmeschutz zu machen und je nach Bedarf, persönlichem Empfinden und Geldbeutel stehen diverse Maßnahmen zur Verfügung, die eigentlichen Ziele, nämlich die Schaffung eines angenehmen Wohnklimas mit angemessenem Energieaufwand, zu erreichen. Nachstehende Stichworte geben einen kurzen und unvollständigen Überblick über solche Maßnahmen:

- Gründach, Fassadenbepflanzung
- Schwere Dämmung mit hoher Speicherkapazität
- Verschattungselemente, wie Bäume
(im Winter kahl -> viel Sonne / im Sommer grün -> Verschattung)
- Helle Dachziegel
- Saisonale Wärmespeicher
- Passive Kühlung (Nutzung von Verdampfungsenthalpie)
- Wenig Fensterflächen nach Süden
- Angepasste Architektur (bsp. Hohe Räume, Rundkuppeln anstatt Dachflächen, Badgir, Kaltdach...)

4. Weiterführende Literatur

- Avramides, S.; Naohora, K.; Siau, J. F. (1987): Experiments in nonisothermal diffusion of moisture in wood. *Wood Fiber Science - Madison* 19, S. 407-413
- Avramidis, S; Siau, J.F. (1987): An investigation of external and internal resistance for moisture diffusion in wood. *Wood Science Technology - Berlin* 19, 1987 - S. 249-257
- Demel, M.; Benitz-Wildenburg, J. (2014): EnEV 2016 – Sommerlicher Wärmeschutz. Einfacher Nachweis mit ift-Diagrammenverfahren. Institut für Fenstertechnik e.V. Rosenheim
- De Vries, D.A. (1958): Simultaneous transfer of heat and moisture in porous media. *Trans. Am. Geophys. Union*, 39, 5, S. 909-916
- De Vries, D.A. (1962): Warmte- en Vochttransport in Poreuze Media. *De Ingenieur*, 74, 28, 45-53
- Gariglio, F.; Schnider, Th.; Niemz, P.; Wakili, K.G.; Brombacher, V. (2015): Experimentelle und numerische Untersuchung des hygrothermischen Verhaltens von Flachdachelementen mit Hohlkastensystem. *Bauphysik* 37, DOI: 10.1002/bapi.201510002, S. 17-30
- Kai Schild, Wolfgang M. Willems: *Wärmeschutz (Detailwissen Bauphysik)*. Springer Verlag
- Köhnke, E.U. (2013): Holz auf Holz. In: *Holzbau-die neue Quadriga*, 4/2013, S. 35-38, Verlag Kastner, Wolnzach
- Köhnke, E.U. (2015): Wenn's quillt und drückt. In: *bauen mit holz*, 7.-8. 2015, S.24 – 27, Bruderverlag, Köln
- Künzel, H. (2014): Prüfung, Zulassung und Normung von Wärmedämmverbundsystemen. In: *Der Bausachverständige*, 2/2014, S.37-39
- Künzel, H.M. (1994): Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart
- Martin, J.W.; Nguyen, T.; Gu, X.; Chin, J.; Byrd, W. (2007): Linking Field and Laboratory Exposure Results via Mathematical Models. Vortrag auf dem 3. European Weathering Symposium, Krakow, Poland
- Mehlhorn, L.; Hävemeyer, H.; Greubel, D. (1994): Wärme- und Feuchtehaushalt von Fachwerkbauten – Simulationsberechnungen und Messungen. Bauklimatisches Symposium an der Technischen Universität Dresden, 1994, Dresden, S. 433-463
- Rüter, N. (2009): Untersuchungen hinsichtlich der Dauerhaftigkeit von Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) mit Holzfaserdämmplatten. In.: *Bauphysik* 31. (2009), Heft 4, S. 199ff
- Schultze, H. (1997): Außenwände in Holztafelbauart mit Mauerwerk-Vorsatzschalen; Teil II – Freilandversuche. DGfH-Forschungsbericht der Stiftung für Forschungen im Wohnungs- und Siedlungswesen, Berlin (Förderer)
- Sieder, M. (2003): Zur Nutzung bewehrter Putzschichten als tragender Bestandteil von Sandwich-Dämmelementen im Fassadenbau. Dissertation an der Ruhr-Universität Bochum
- Zirkelbach D. et al. (2009): Dampfkongvektion wird berechenbar – Instationäres Modell zur Berücksichtigung von konvektivem Feuchteeintrag bei der Simulation von Leichtbaukonstruktionen, 4th Intern. Symposium on Building and Ductwork Air Tightness. October 1-2, 2009, Berlin