

Mehr Sicherheit bei begrüntem Holzdachern

Eine besondere Dachoberfläche braucht auch eine besondere Unterkonstruktion

Dachbegrünungen sehen gut aus, speichern Regenwasser, verbessern das Mikroklima und den sommerlichen Wärmeschutz und helfen sogar Energie zu sparen – es gibt also viele Gründe, warum Gründächer immer beliebter werden. Vor allem bei voll gedämmten Holzkonstruktionen kommt es aber auch immer wieder zu massiven Schäden, da ein begrüntes Dach nur wenig Trocknung zulässt. Gründächer und ihre Beurteilung bzw. Bemessung sind daher seit vielen Jahren sozusagen ein Dauerbrenner. Neue Forschungsergebnisse erlauben nun eine deutlich zuverlässigere Beurteilung der Feuchteverhältnisse in begrüntem Holzkonstruktionen. Dabei zeigt sich deutlich, dass sich Gründächer von normalen Flachdächern nicht nur durch die Deckschicht, sondern auch durch einen angepassten Aufbau unterscheiden sollten. Andernfalls kann in viele Fällen ein Einhalten der Grenzwerte für die Holzfeuchte vor allem in der außenseitigen Schalung nicht sichergestellt werden.

Autoren:

Daniel Zirkelbach, Beate Stöckl,
Fraunhofer-Institut für Bauphysik,
Holzkirchen

Beurteilung nicht mit Glaser, aber wie sonst? Ein Überblick

Die Klimaverhältnisse unter der Begrünung unterscheiden sich deutlich von denen auf einer normalen Dachoberfläche. Seit 2001 steht daher in der DIN 4108-3 unter A 2.1, dass ein Nachweis nur mit einer hygrothermischen Simulation, nicht aber mit Glaser möglich ist. Allerdings war zu diesem Zeitpunkt noch nicht klar, mit welchen Randbedingungen man so eine Simulation durchführen soll.

Als einfache Möglichkeit dienten zunächst häufig die unter einem Substrat gemessenen Temperaturverhältnisse auf einem Dach der Freilandversuchsstelle des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen, die aber nur sehr eingeschränkt für andere Dämmstärken und Standorte genutzt werden konnten. Anschließend Ansätze, bei denen das Substrat als normale Materialschicht mit seinen thermischen Eigenschaften abgebildet wurden, wurden häufig als zu konservativ und vorsichtig angesehen – auch

im Vergleich zu Freilandmessungen, bei denen häufig niedrigere Feuchten gemessen wurden. Im Gegenzug gab es aber auch zahlreiche Schadensfälle, die die kritischen Bedingungen zu bestätigen schienen. Der Bedarf für ein Berechnungsmodell, das auch die Feuchtebilanz der Deckschichten berücksichtigt, war also weiterhin drängend und schlug sich auch in regelmäßigen Nachfragen seitens der Planer nieder.

„Feuchtequelle“ Regen

Ein Gründach kann in kurzer Zeit große Mengen Regen aufnehmen und speichern – viel mehr als normale Baustoffe, für die die Simulationen eigentlich gedacht waren. Erst eine Erweiterung der Simulationsmodelle um variable, niederschlagsabhängige Quellfunktionen ermöglichte vor einigen Jahren, die Regenaufnahme so zu berücksichtigen, dass der Regen auch über die Schwerkraft in die Gründachschichten einsickert und nur überschüssiges Wasser aus dem Substrat wieder abläuft. In einem durch die „Forschungsinitiative Zukunft Bau“ des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) geförderten Projekt [Zirkelbach, Schafaczek 2013] wurden in den vergangenen drei Jahren neue Modelle zur genaueren Beurteilung



lung von Dachbegrünungen unter Berücksichtigung von deren Feuchtebilanz erstellt.

Abb. 1:
Gründachversuchsflächen am
Fraunhofer Institut für Bauphysik,
Holzkirchen

Freilandmessdaten von fünf Standorten als Basis

Ziel des Forschungsvorhabens war die Erstellung von Gründachmodellen, mit denen vor allem die Funktionsfähigkeit der Unterkonstruktion möglichst zuverlässig berechenbar sind. Dazu wurden sowohl vorhandene Messergebnisse von verschiedenen Standorten (Holzkirchen, Leipzig, Wien, Kassel und Mailand) neu ausgewertet als auch auf dem Freigelände des Fraunhofer IBP neue Versuchsflächen mit unterschiedlichen Substrat- und Begrünungstypen errichtet.

Die neuen Versuche waren erforderlich, weil bei den älteren Untersuchungen weder die Feuchteverhältnisse in den Substraten noch die langwellige Gegenstrahlung gemessen wurden. Beides ist aber insbesondere für die Übertragbarkeit der Berechnungsmodelle auf andere Klimabedingungen mit unterschiedlichen Strahlungs- und Niederschlagsverhältnissen wichtig.

Allgemeines Berechnungsmodell für extensive Begrünungen

Für das allgemeine Berechnungsmodell wurde auf Freilandversuche in Holzkirchen, Leipzig [Winter et al. 2010], Wien [Teibinger, Nusser 2010] und Kassel [Minke et al. 2009] zurückgegriffen. Hier standen jeweils die gemessenen Außenklimadaten sowie die Tem-

peraturverhältnisse unter der Begrünung zur Verfügung. Letztere werden u.a. durch folgende Faktoren beeinflusst: Die Masse des Substrats sowie das enthaltene Wasser führen zu einer großen thermischen Trägheit. Im Sommer sorgt die Verdunstungskühlung für eine Verzögerung der Erwärmung, im Winter die Schmelzwärme für eine Verzögerung der Abkühlung unter die Gefriertemperatur. Die Pflanzdeckschicht begrenzt ebenfalls die Erwärmung durch eine gewisse Selbstverschattung, ebenso aber die nächtliche Unterkühlung durch langwellige Abstrahlung. Zusätzlich wird der Wärmeübergang durch die geringere Luftbewegung an der Oberfläche reduziert.

Gute Nachberechnung möglich

Die Nachberechnung der Versuche erfolgte mit Hilfe des am Fraunhofer IBP entwickelten Programms zur Berechnung des instationären Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen WUFI [Künzel 1994]. Dazu wurden die Dachaufbauten aus dem Freilandversuch verwendet und mit den gemessenen Klimadaten beaufschlagt. Die Regenaufnahme wurde durch eine zusätzliche Quelle beschleunigt, die den unteren Bereich des Substrats bis zum Erreichen der freien Sättigung befeuchtet und nur

überschüssiges Wasser abfließen lässt. Die Verschattung an der Oberfläche wurde durch eine entsprechend reduzierte Strahlungsabsorptionszahl berücksichtigt. Da die atmosphärische Gegenstrahlung nicht zur Verfügung stand, wurde eine weitere Reduktion der Absorptionszahl vorgenommen, um die langwelligen Wärmeverluste in der Simulation durch geringere Strahlungsgewinne zu kompensieren und auf diesem Weg das Temperaturniveau in Übereinstimmung zu bringen. Die verschiedenen Parameter wurden basierend auf sinnvollen Startwerten iterativ so angepasst, dass mit demselben Ansatz eine möglichst gute – im Zweifel auf der sicheren Seite liegende – Übereinstimmung mit den Messdaten aller Versuche erreicht wurde. Abb. 2 zeigt den Vergleich von Messung und Berechnung der Temperatur unter der Begrünung im gleitenden Monatsmittel für die vier Freilandversuche. Die Übereinstimmung ist allgemein gut – bei Schneedecke im Winter weichen die Berechnungsergebnisse allerdings etwas stärker von den Messungen ab, da der Schnee in der Simulation vernachlässigt wird. Im Allgemeinen überwiegen im Winter in Regionen, in denen Schnee auftritt, die langwelligen Strahlungsverluste über die kurzwelligen Strahlungsgewinne, so dass eine Berechnung ohne Schnee gegenüber der realen Situation auf der sicheren Seite liegt.

Das allgemeine Modell kann immer dann angewendet werden, wenn bei extensiven Begrünungen bis etwa 10 cm Aufbaudicke die genauen Substrateigenschaften bzw. die Bepflanzung nicht bekannt sind bzw. in den Klimadaten keine langwelligen Gegenstrahlungsmessdaten enthalten sind. Da in den Übergangskoeffizienten implizit die mitteleuropäischen Strahlungsverhältnisse berücksichtigt sind, kann der Ansatz für eine Übertragung auf Standorte mit deutlich anderem Klima nicht empfohlen werden.

Abb. 2: Vergleich zwischen gemessenen und mit dem neuen Modell berechneten Temperaturen (Monatsmittelwerte) unter der Dachbegrünung an den Standorten Holzkirchen und Wien

Spezifische Berechnungsmodelle für verschiedene Substrattypen

Im Rahmen der neuen Freilandversuche in Holzkirchen wurde das allgemeine Modell weiter verfeinert, um produktspezifische Unterschiede der Substrat- und Begrünungstypen zu erfassen und zu überprüfen. Weiterhin wurde bei diesen Versuchen auch die atmosphärische Gegenstrahlung über die Wetterstation des IBP erfasst, so dass diese nicht mehr implizit über die geringere Absorption, sondern explizit im Modell berücksichtigt werden kann. Die untersuchten Begrünungen mit den verschiedenen Schichten sowie die Sensorpositionen sind in Abb. 3 dargestellt.

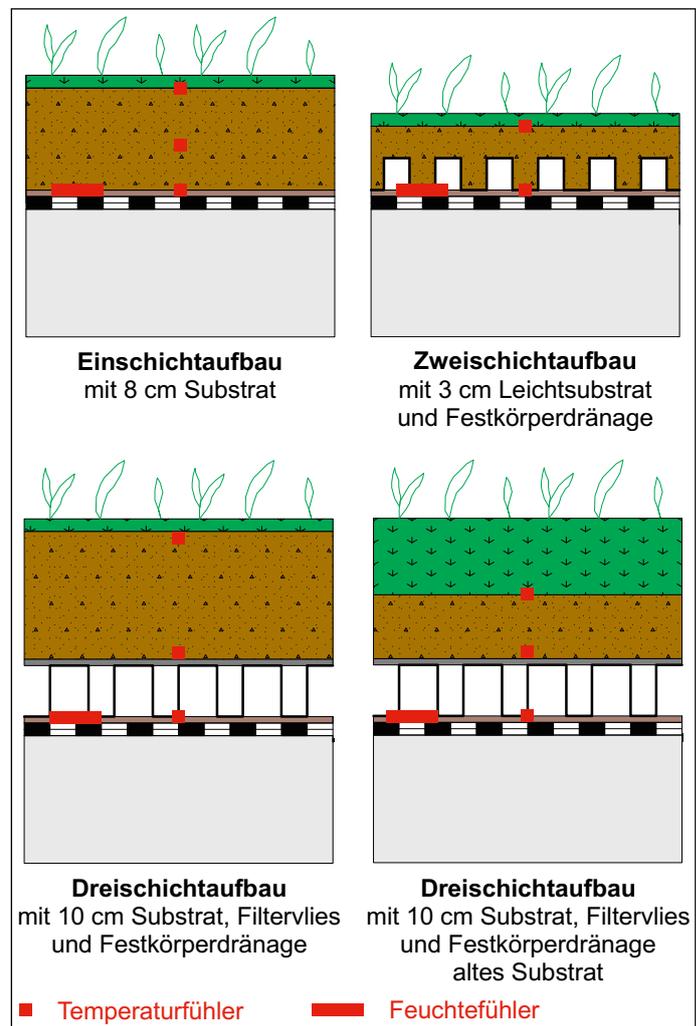
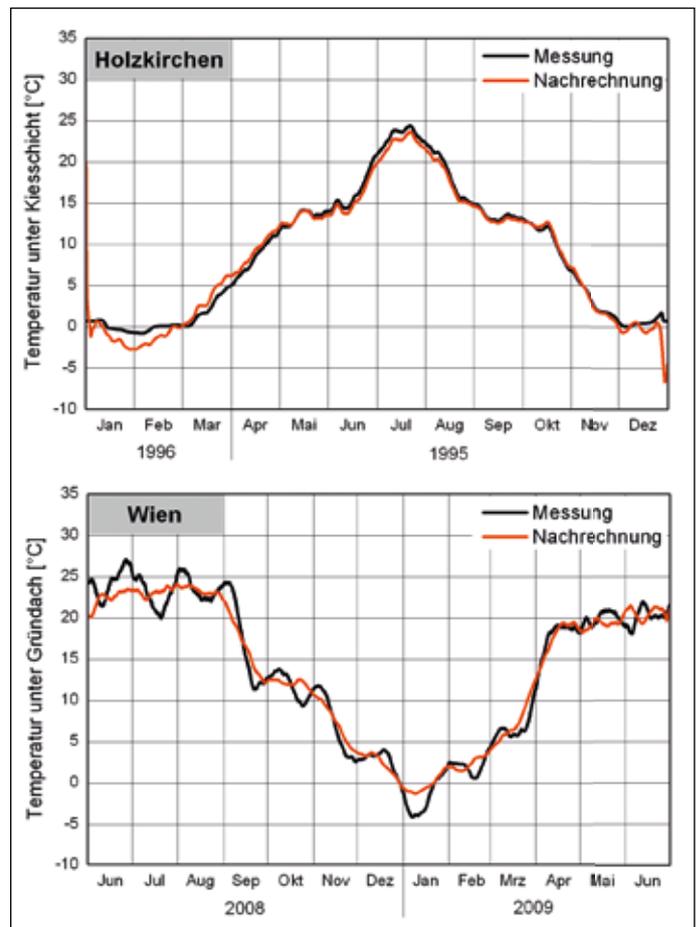


Abb. 3: Aufbau der vier Begrünungen beim neuen Freilandversuch in Holzkirchen

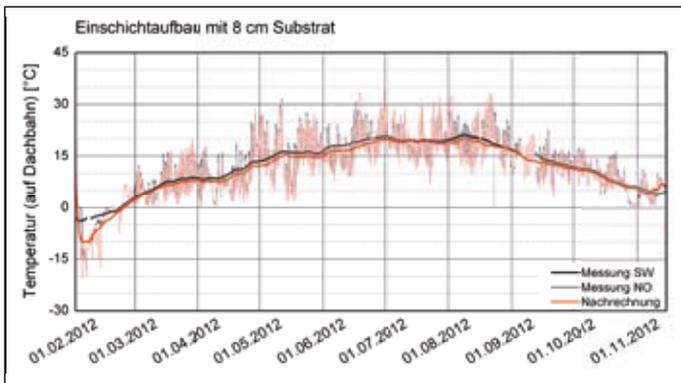
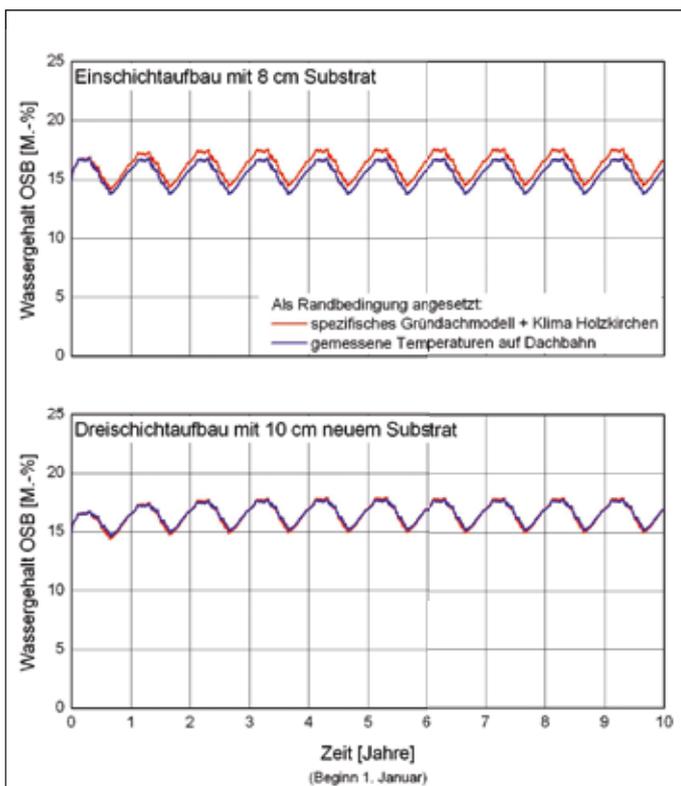


Abb. 4:
Der Vergleich zwischen Messung und Berechnung für das 8 cm dicke Einschichtsubstrat zeigt eine gute Annäherung zwischen Rechnung und Messung. Im Winter bleibt Schnee in der Simulation unberücksichtigt. Die Temperaturen liegen dadurch niedriger und auf der sicheren Seite.

Abb. 5:
Vergleich der in der äußeren Beplankung berechneten Holzfeuchte bei Verwendung der im Freilandversuch gemessenen (blau) bzw. mit den neuen Modellen berechneten Temperaturen (rot) auf der Dachbahn



Untersucht wurden ein Dreischichtaufbau mit neuer und alter, eingewachsener Bepflanzung, ein geringfügig dünnerer Einschichtaufbau ohne separate Drainageelemente sowie ein deutlich dünnerer Zweischichtaufbau, bei dem nur etwa 3 cm Leichtsubstrat auf einem verfüllten Festkörperdränageelement zum Einsatz kommt.

Für die verschiedenen eingesetzten Substrate wurden die Materialdaten im Labor bestimmt. Zu den für das spezifische Modell zusätzlich zu ermittelnden Parametern zählen der detaillierte Strahlungsaustausch an der Oberfläche, der u.a. durch Selbstverschattung, wechselnde Farbgebung und Variabilität der Bepflanzung beeinflusst wird, die wassergehaltsabhängige Wärmeleitfähigkeit des bepflanzen Substrats, der Einfluss der unterschiedlich gefüllten und wasserspeichernden Drän-schichten und die Pflanzdeck-schicht selbst, die den Wärmeübergang behindert und wie eine zusätzliche Dämmung wirkt.

An der Oberfläche wird der Strahlungsaustausch sowohl über die kurzwellige Strahlungsabsorption, als auch über die langwellige Strahlungsemission berücksichtigt. Die Bepflanzung wird durch eine zusätzliche Pflanzdeck-schicht an der Oberfläche des Substrats mitberechnet. Zudem wurde versucht, die zwei-dimensionalen und zeitlich veränderlichen Eigenschaften der Dräneelemente in der 1D-Berechnung vereinfachend mit mittleren Kennwerten abzubilden. Hier muss zwischen einem mit Substrat verfüllten und einem unverfüllten Dräneelement unterschieden werden. Die iterative Anpassung und Optimierung des Modells ist im Forschungsbericht [Zirkelbach, Schafaczek 2013] detailliert beschrieben. Wie beim allgemeinen Ansatz wurden bei der Anpassung, soweit erforderlich, leichte Abweichungen zu den Messwerten auf der sicheren Seite akzeptiert.

Ob das Modell ausreichend genau ist, wird exemplarisch

anhand der Feuchteverhältnisse in der äußeren Schalung einer eher empfindlichen Beispielkonstruktion überprüft. Dabei wurde zum einen die auf der Dachbahn im Freilandversuch gemessene Temperatur angesetzt, zum anderen dagegen diese mit Hilfe des neuen Modells und den Außenklimadaten berechnet. Der Vergleich in Abb. 5 zeigt beispielhaft für zwei der vier Dachaufbauten jeweils qualitativ praktisch identische und quantitativ nur leicht auf der sicheren Seite abweichende Ergebnisse. Gleiches gilt auch für die anderen beiden Substrate (hier nicht abgebildet, können aber dem Forschungsbericht entnommen werden). Die Modelle sind somit für die Beurteilung der Feuchteverhältnisse im Bauteil gut geeignet.

Mit Substrat- und Dämmstoffdicke steigt auch die Holzfeuchte

Berechnet man mit den neuen Modellen typische Holzflachdächer mit Begrünung stellt man fest, dass die Holzfeuchten in der äußeren Schalung über die ersten Jahre langsam steigen.

Je nachdem wie diffusionsdicht der Aufbau nach innen ist, wird der eingeschwungene Zustand oft erst nach 8 bis 15 Jahren erreicht. Daraus resultieren auch die eingangs erwähnten Unterschiede zwischen Berechnung und einzelnen Freilandversuchen: letztere dauern meist maximal zwei bis drei Jahre; nach dieser Zeitspanne liegen die Holzfeuchten u.U. noch deutlich unter den langfristigen zu erwartenden Werten.

Das Feuchteniveau in der äußeren Beplankung steigt u.a. mit dem Dämmniveau und mit der Dicke der Begrünungsschichten. Abb. 7 zeigt exemplarisch die Holzfeuchte in der äußeren OSB-Platte eines Holzflachdachs mit 20 cm Zwischensparrendämmung aus Mineralfaser (vgl. Abb. 6) bei Variation der Dampfbremse, der Substratdicke und einer evtl. Überdämmung der Be-

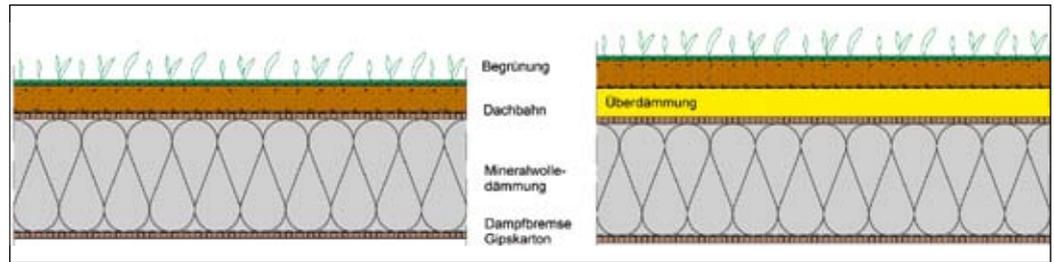
plankung. Mit einer Dampfbremse mit konstantem $s_{d,i}$ -Wert von 2 m steigen die Holzwerkstoff-Feuchten bei 10 cm Substratdicke innerhalb von 5 Jahren auf über 30 M-% (langfristig auf > 40 M-%). Bei 3 cm Substratdicke erreicht die Holzwerkstofffeuchte innerhalb von 5 Jahren Werte von über 25 M-% (langfristig max. 30 M-%). In beiden Varianten besteht aber ein hohes Risiko für das Wachstum holzerstörender Pilze. Zuvor kann es aber bereits zu Verformungen oder sogar zu einem Versagen des Tragverhaltens der OSB-Platte (langfristig über 18 M-%) kommen.

Überdämmung und richtige Dampfbremse

Mit einer 5 cm dicken EPS-Überdämmung der Beplankung bleibt diese im Winter wärmer und es werden bei beiden Substratdicken nur noch Werte von knapp 20 M-% Holzwerkstoff-Feuchte erreicht. Nach DIN 68800-2:2012 ist dies aber immer noch nicht zulässig (max. 18 M-% - Überschreitung bis 20 M-% für drei Monate im Winter zulässig). Generell günstiger sind die Varianten mit variabler Dampfbremse. Hier liegen die maximalen Holzfeuchten ohne Überdämmung für 10 cm Substrat bei 21 M-%. Dies ist zwar nach der Holzschutznorm DIN 68800 nicht zulässig - Holzfäule kann bei diesen Bedingungen allerdings noch nicht auftreten. Mit Überdämmung bleiben die Holzfeuchten ganzjährig unter dem Grenzwerte von 18 M-% und bei Verwendung des nur 3 cm dicken Leichtsubstrats wäre hier gar keine Überdämmung erforderlich.

Regeln für begrünte Holzkonstruktionen

Aufgrund des geringen Trocknungspotentials bleiben begrünte Holzdächer eine anspruchsvolle Lösung, die eine sorgfältige Planung und Ausführung erfordert. Generell sollten folgende Aspekte beachtet werden:



- Feuchtevariable Dampfbremsen verbessern die Feuchtebilanz und hier vor allem die Trocknung und sind daher vorzuziehen.
- Bei Dämmstärken größer etwa 15 – 20 cm sollte eine feuchteresistente Überdämmung der äußeren Beplankung mit zus. Dampfbremse vorgesehen werden. Die warme Schalung bleibt im Winter trockener.
- Eine Trocknung durch die Begrünungsschicht nach oben ist ausgeschlossen - eher findet ein Feuchteeintrag von oben statt - daher sollte die Dachbahn einen möglichst hohen $s_{d,i}$ -Wert aufweisen.
- Alle Materialien sind maximal mit der Feuchte einzubauen, die bei der Nutzung zu erwarten ist. Auf eine gute Luftdichtheit ist auf jeden Fall zu achten und diese sollte auch überprüft werden.
- Standorte mit wenig Strahlung im Sommer und Verschattungen sind besonders kritisch, da hier das bereits geringe Trocknungspotential

weiter sinkt. In solchen Fällen ist ggf. auf dickere Überdämmungen zurückzugreifen.

Aufgrund der Vielzahl von Einflussfaktoren ist eine situationsspezifische Beurteilung immer besonders günstig. Ohne Nachweis dagegen können Aufdachdämmungen oder Umkehrdächer ausgeführt werden, bei denen die tragende Holzkonstruktion vollständig auf der warmen Seite liegt! ■

Literaturverweise

Hinweis: Materialdaten für die Begrünungen sowie Leitfäden für die Vorgehensweise bei der Simulation können unter www.wufi.de heruntergeladen werden.

[Zirkelbach, Schafaczek 2013] Zirkelbach, D. & Schafaczek, B.: Ermittlung von Materialeigenschaften und effektiven Übergangsparmetern von Dachbegrünungen zur zuverlässigen Simulation der hygrothermischen Verhältnisse in und unter Gründächern bei beliebigen Nutzungen und unterschiedlichen Standorten. Forschungsinitiative Zukunft Bau, Band F 2863, Fraunhofer IRB Verlag 2013

[Winter et.al. 2010] Winter, S.; Fülle, C.; Werther, N.: Forschungsprojekt MFPA Leipzig und TU München

Abb. 6: Qualitativer Aufbau eines begrünten Flachdachs in Holzbauweise links ohne und rechts mit Überdämmung

(Z 6 - 10.08.18.7-07.18). „Flachdächer in Holzbauweise“, 2010

[Teibinger, Nusser 2010] Teibinger, M.; Nusser, B.: Ergebnisse experimenteller Untersuchungen an flach geneigten Holzernen Dachkonstruktionen. Herausgegeben von Holzforschung Austria, Wien (Forschungsbericht, HFA-Nr.: P412), 2010

[Minke et.al. 2009] Minke, G.; Otto, F.; Gross, R.: Ermittlung des Wärme-dämmverhaltens von Gründächern, Abschlussbericht, AZ 24242-25, ZUB Kassel, Juli 2009

[Künzel 1994] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation Universität Stuttgart 1994

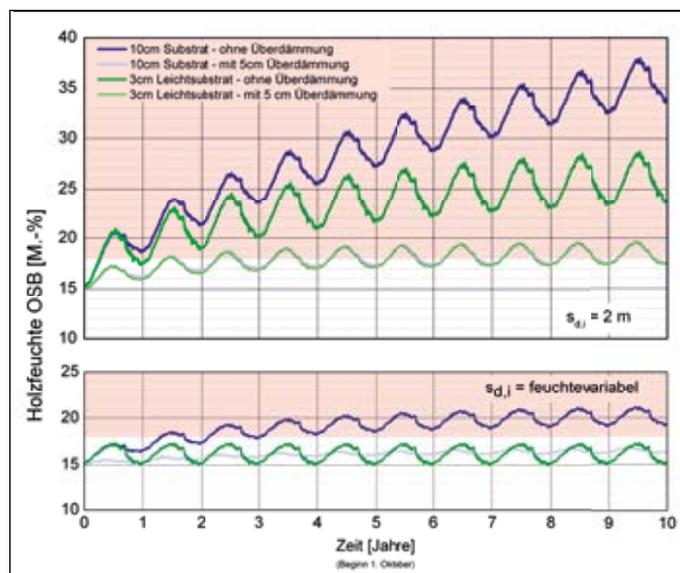


Abb. 7: Materialfeuchteverlauf in der äußeren OSB-Beplankung eines begrünten Flachdachs in Holzbauweise (Abb. 6) mit zwei verschiedenen Substraten mit und ohne Überdämmung a) mit Dampfbremse mit $s_{d,i} = 2$ m (oben) und b) mit feuchtevariabler Dampfbremse (unten)