

DAS HINTERLÜFTETE **FLACHDACH**

STRÖMUNGSVERHALTEN: VERSUCH, MESSUNG UND SIMULATION

JENSEITS DER NORM

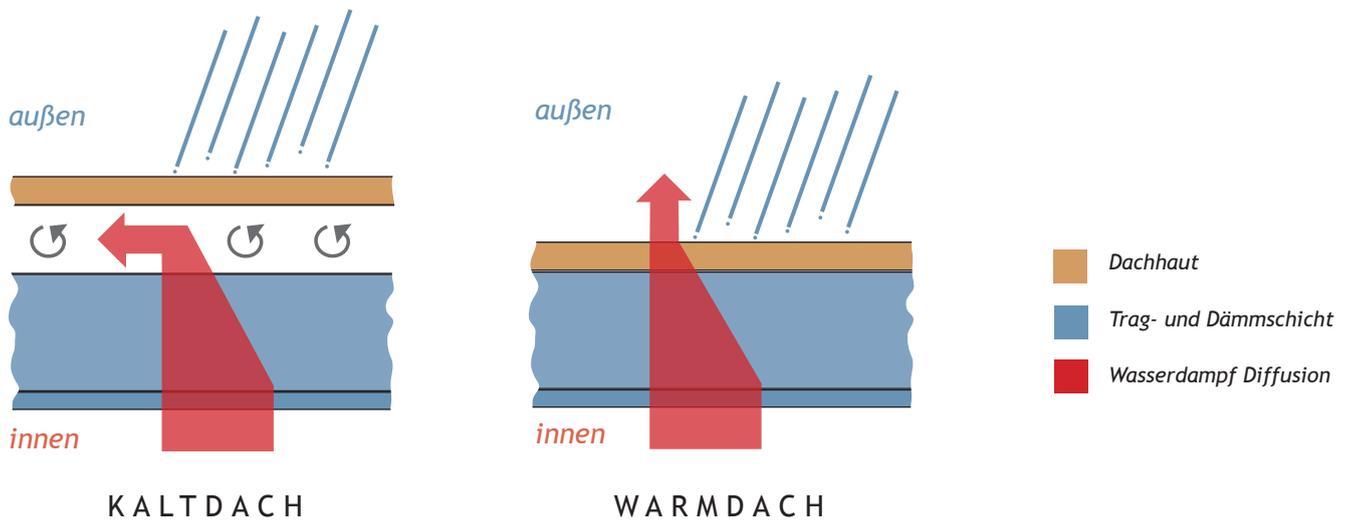
DAS HINTERLÜFTETE FLACHDACH

Das Flachdach ist als großflächiges Bauteil den höchsten bauphysikalischen Belastungen am Gesamtbauwerk ausgesetzt. Temperaturunterschiede bis zu 100 K, hohe mechanische Beanspruchungen, Umweltbelastungen, Wind-, Nutz- und Schneelast müssen berücksichtigt werden.

Unter dem Begriff Flachdach werden Dächer mit einer Neigung von 0-22° zusammengefasst. Im engeren Sinn versteht man darunter allerdings solche mit einer Neigung von 5° oder weniger.

Flachdächer werden meist als Warmdächer ausgeführt. Das Projekt, worüber hier berichtet wird, beschäftigte sich mit einer Alternative: dem Kaltdach. Dabei sind der wärme-gedämmte Raumabschluss und die Dachhaut samt ihrer Unterkonstruktion durch einen „kalten“ Luftzwischenraum getrennt.

Die Dimensionierung der Hinterlüftung von Dächern ist in der aktuell gültigen ÖN B 4119 (Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen, 03/2018) abgebildet. Darin werden abhängig von Sparrenlänge, Neigung und Schneelast Angaben über die erforderliche Mindesthöhe der Konterlattung gemacht. Die Angaben erfolgen jedoch erst ab einer Dachneigung von 5°.



Funktion Kaltdach und Warmdach

| Sparrenlänge | Mindestkonterlattenhöhe | | | | | | | |
|------------------------------------|---|--------|-----------------------------|--------|-----------------------------|--------|----------------------|--------|
| | Dachneigung von 5° ^a bis 15° | | Dachneigung von 15° bis 20° | | Dachneigung von 20° bis 25° | | Dachneigung über 25° | |
| Schneelast sk in kN/m ² | < 3,25 | ≥ 3,25 | < 3,25 | ≥ 3,25 | < 3,25 | ≥ 3,25 | < 3,25 | ≥ 3,25 |
| bis 5 m | 45 | 60 | 45 | 60 | 45 | 45 | 45 | 45 |
| über 5 m bis 10 m | 60 | 60 | 45 | 60 | 45 | 60 | 45 | 60 |
| über 10 m bis 15 m | 60 | 75 | 60 | 75 | 60 | 75 | 45 | 60 |
| über 15 m bis 20 m | 75 | 95 | 75 | 95 | 75 | 75 | 60 | 75 |

^a bei Dächern mit Dachneigungen unter 5° sind Konterlattenhöhe, die Anordnung der Konterlatten die Zu- und Abluftdetails objektbezogen festzulegen.

ÜBERPRÜFUNG

ANHAND VON FREILANDVERSUCHEN

Um die Luftbewegung in hinterlüfteten Flachdächern mit einer Dachneigung unter 5° zu untersuchen, wurde am Lehrbauhof der HTL für Bau und Design Linz ein Prüfstand hergestellt. Prof. DI Johann Spiessberger führte das Projekt im Zusammenhang mit mehreren Diplomarbeiten durch. Es wurde die Luftgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene eines Versuchsaufbaus im Freilandversuch gemessen. Als Messinstrumente kamen Luftströmungssensoren der Fa. Testo zur Anwendung.

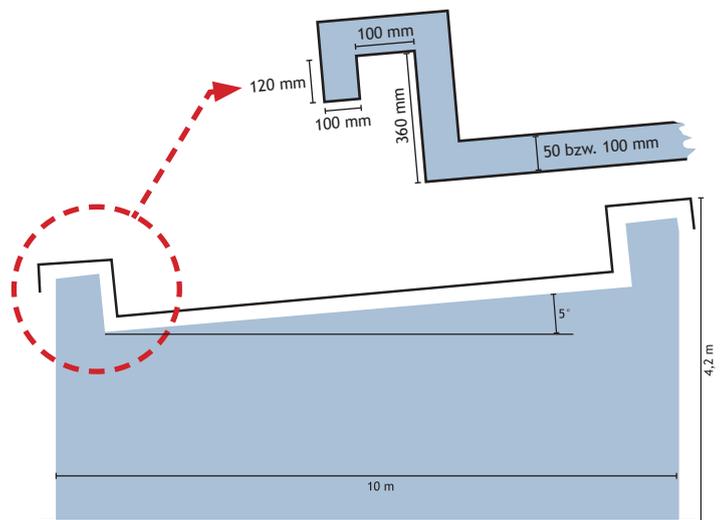
Die Anströmungsgeschwindigkeit der Außenluft und die Außentemperatur wurden ebenfalls erfasst und aufgezeichnet. Verschiedene Geometrien für die Attika und die Hinterlüftungsebene wurden untersucht.



Prüfstand für Freilandversuch am Lehrbauhof der HTL 1 Linz

Die Ergebnisse der Messungen überraschten. Die Luftgeschwindigkeiten waren bei Weitem höher, als zunächst vermutet. Trotz sich nicht „sehender“ Be- und Entlüftungsöffnungen und Querschnitte unter der Norm wurden Luftgeschwindigkeiten gemessen, die ein ausreichendes Rücktrocknungspotenzial der Konstruktion erkennen ließen.

Auch gebaute Beispiele aus der Praxis zeigten, dass hinterlüftete Dächer mit geringen Neigungen, Attiken und schmalen Hinterlüftungsquerschnitten schon bei geringsten Luftbewegungen durchströmt werden und nach etwaiger Befuchtung in der Hinterlüftungsebene rasch trocknen.



2D Geometrie des Prüfstandes

HYPOTHESE

STRÖMUNGSVERHALTEN IST AUSSCHLAGGEBEND

Aus den Feldversuchen und den Erfahrungen in der Baupraxis leitet sich die folgende Annahme ab: Eine schadfreie Konstruktion kann auch allein durch die Sicherstellung einer windverursachten Durchströmung der Hinterlüftung erreicht werden. Wenn eine Konstruktion ein für den jeweiligen Standort und die jeweilige Situation ausreichendes Strömungsverhalten besitzt, kommt es zu keiner dauerhaften Auffeuchtung in der Hinterlüftungsebene beziehungsweise kann anfallendes Kondensat rasch wieder abtrocknen. Thermischer Auftrieb und andere Faktoren würden zusätzliche Beiträge leisten und die Konstruktion noch sicherer machen.

UNTERSUCHUNG MIT CFD

NUMERISCHE STRÖMUNGSMECHANIK

Die Herstellung von Versuchsaufbauten und die Messung anhand von Freilandversuchen sind aufwendig und zeitintensiv. Um dem Durchströmungsverhalten bei verschiedenen Flachdachgeometrien und Windverhältnissen auf den Grund zu gehen, wurde ein anderer Weg gefunden.

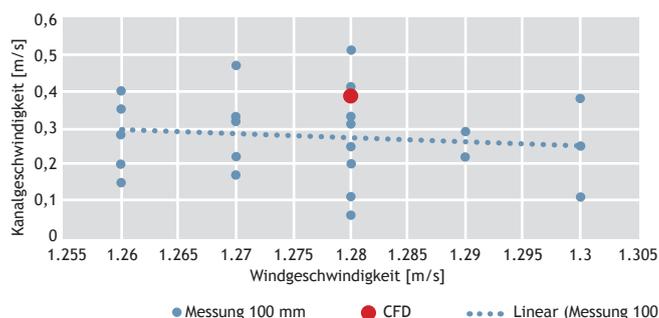
CFD (Computational Fluid Dynamics): Die numerische Strömungsmechanik ist eine Berechnungsmethode, die beispielsweise für die Strömungsoptimierung von Flugzeugteilen oder Fahrzeugen eingesetzt wird. Simuliert wird beispielsweise ein Fluid, das um ein Objekt herum und gleichzeitig in einem Kanal durch dieses hindurch strömen kann. Die numerische Strömungsmechanik bietet eine kostengünstige Alternative zu Freilandversuchen oder Tests im Windkanal. Im Baubereich gibt es bisher nur wenige Anwendungen.

VALIDIERUNG

BERECHNUNGSMODELL

Zunächst wurde der Versuchsaufbau von Spiessberger in der CFD-Software ANSYS Fluent 18.1 zweidimensional nachgebaut. Mit den Daten von drei Messreihen des Freilandversuches wurde das Berechnungsmodell zunächst validiert. Das heißt, die Ergebnisse der Berechnung wurden mit den Messwerten verglichen. Um den Einfluss dreidimensionaler Effekte zu berücksichtigen, wurde neben einer 2-D-Validierung auch eine solche in einer aufwendigen 3-D-Berechnung durchgeführt.

Sowohl in der 3-D- als auch 2-D-Berechnung zeigte sich, dass die gemessenen mittleren Kanalgeschwindigkeiten im Schnitt etwa 1/3 unter jenen der Berechnung lagen. Diese Abweichung erklärt sich durch die in der Berechnung idealisierten Randbedingungen, wie beispielsweise eine konstante, axial in Hinterlüftungsebene gerichtete Anströmung. Die Berechnungsergebnisse befinden sich

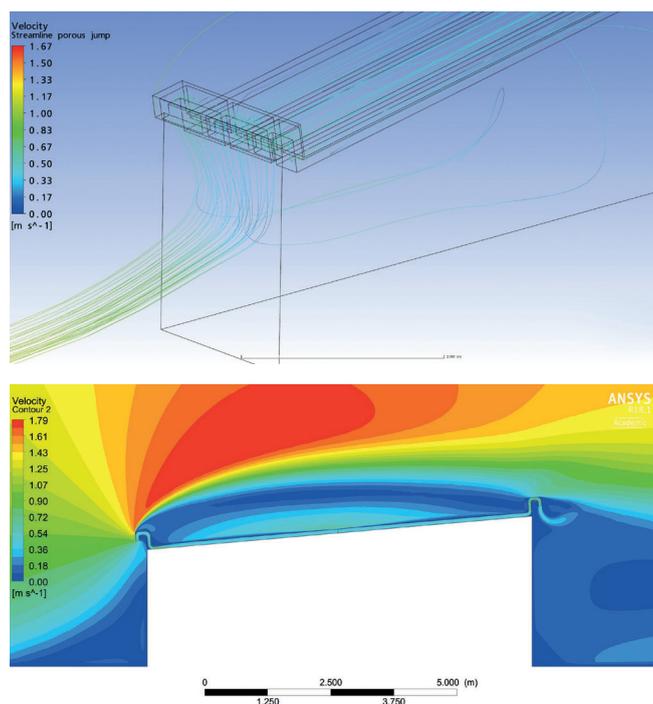


Vergleich der Kanalgeschwindigkeiten in der Berechnung und Messung am Prüfstand

Aufbauend auf den Messergebnissen von Spiessberger an der HTL 1 und Vor-Ort-Messungen auf gebauten Dächern, wurde von der Landesinnung der Dachdecker, Glaser und Spengler und der Landesinnung Holzbau der WKO Oberösterreich sowie vom Fachverband der Holzindustrie Österreichs ein Projekt initiiert. Das Strömungsverhalten hinterlüfteter Flachdächer wurde mit einer CFD-Software simuliert. Ziel war es, den Einfluss verschiedener Geometrieparameter auf die Strömungsgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene zu untersuchen. Damit sollten Anhaltspunkte für schadfreie hinterlüftete Flachdächer gefunden werden.

Mit der FH Oberösterreich Campus Wels wurde ein kompetenter Partner für dieses Vorhaben gefunden. Die Berechnungen wurden von Juli bis September 2018 von Ing. Bernhard Fürpaß BSc. und Prof. DI Dr. Georg Aichinger durchgeführt.

allerdings innerhalb der Schwankungsbreite des gemessenen Bereiches und können damit als aussagekräftig gelten. Aufgrund der Ergebnisse der Validierung wurden aber alle berechneten Kanalgeschwindigkeiten um 1/3 nach unten korrigiert.



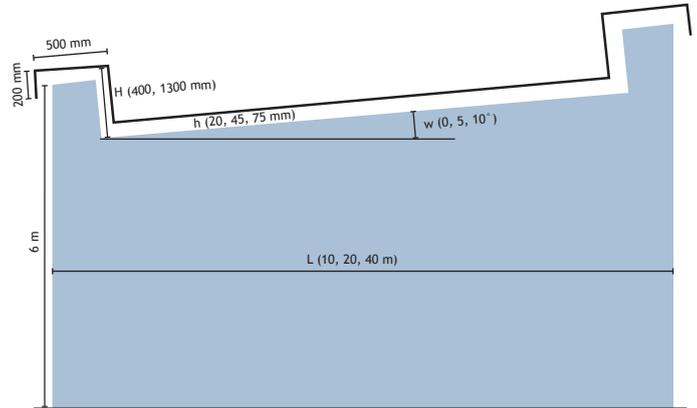
Strömungsgeschwindigkeiten in der zweidimensionalen Berechnung

PARAMETERUNTERSUCHUNG GEOMETRIE DER HINTERLÜFTUNG

Aufgrund der großen Übereinstimmung der Ergebnisse des 3-D- und 2-D-Berechnungsmodells konnte die Parameteruntersuchung zweidimensional durchgeführt werden. Insgesamt wurde das Strömungsverhalten von 54 unterschiedlichen Geometrien für hinterlüftete Flachdächer untersucht.

| Parameter | |
|---------------------|--------------------------|
| Länge | 10, 20, 40 m |
| Höhe | 6 m (luvseitig) |
| Dachneigung | 0°, 5°, 10° |
| Luftraumhöhe | 20, 45, 75 mm |
| Attika Höhe | 400, 1300 mm |
| Insektenschutzblech | 3 mm am Ein- und Auslass |
| Luftraumrauigkeit | Sandrauigkeit 1 mm |
| Windgeschwindigkeit | 1 m/s |

Untersuchte Werte



Die Kanalgeschwindigkeit von 54 unterschiedlichen Geometrieparameter-Kombinationen wurden im zweidimensionalen Modell berechnet.

Aus den Berechnungsergebnissen lassen sich folgende Aussagen ableiten:

- ▶ Eine Durchströmung der Hinterlüftung fand bei allen untersuchten Geometrien trotz Attiken, Dachlängen bis zu 40 m und geringer Lüftungsquerschnitte statt.
- ▶ In den Fällen mit 20 und 40 m Dachlänge und bei 20 mm Höhe der Hinterlüftung wird eine Kanalgeschwindigkeit von 0,05 m/s unterschritten. Diese Aufbauten sind jedenfalls als kritisch zu beurteilen.
- ▶ Die Dachneigung hat bei einer Dachlänge von 40 m wesentlich mehr Einfluss auf die Kanalgeschwindigkeit als bei 10 m.
- ▶ Punktuell liegen die berechneten Kanalgeschwindigkeiten bei 0° Dachneigung sogar über jenen bei 5°.
- ▶ Die Kanalgeschwindigkeit nimmt von 10 bis 20 m Dachlänge stark ab, von 20 bis 40 m ist der Einfluss der Dachlänge geringer.
- ▶ Die Kanalgeschwindigkeit nimmt im untersuchten Bereich von 20 bis 75 mm durchschnittlich in etwa proportional zur Luftraumhöhe zu.
- ▶ Die Attikahöhe hat im untersuchten Bereich von 400 bis 1300 mm wenig Einfluss auf die Kanalgeschwindigkeit.
- ▶ Für die Geometrie, die nach der gültigen ÖN B 4119 gerade noch zulässig ist: Bei 20 m Dachlänge, 1300 mm Attikahöhe, 5° Neigung und 75 mm Hinterlüftung wurden eine Kanalgeschwindigkeit von 0,14 m/s und ein Volumenstrom (bei 1 m breitem Luftraum) von 37,8 m³/h errechnet.
- ▶ Bei einer **Dachlänge bis 10 m**, einer **Neigung von 0°** und einer Attikahöhe bis 1300 mm hat ein 1 m breiter Lüftungsquerschnitt bei einer **Höhe von 45 mm** eine höhere errechnete Kanalgeschwindigkeit (0,18 m/s) als der Grenzfall der derzeit gültigen Norm. Der errechnete Volumenstrom der Normkonstruktion wird allerdings mit 29 m³/h unterschritten.
- ▶ Bei einer **Dachlänge bis 20 m**, einer Attikahöhe von 1300 mm und einer **Neigung von 0°** hat ein 1 m breiter Lüftungsquerschnitt bei einer **Höhe von 75 mm** eine höhere errechnete Kanalgeschwindigkeit (0,18 m/s) und einen höheren errechneten Volumenstrom (48,6 m³/h) als der Grenzfall der derzeit gültigen Norm.
- ▶ Bei einer **Dachlänge bis 40 m**, einer Attikahöhe von 1300 mm und einer **Neigung von 10°** hat ein Lüftungsquerschnitt bei einer **Höhe von 75 mm** eine höhere errechnete Kanalgeschwindigkeit (0,16 m/s) und einen höheren errechneten Volumenstrom (43,2 m³/h) als der Grenzfall der derzeit gültigen Norm.

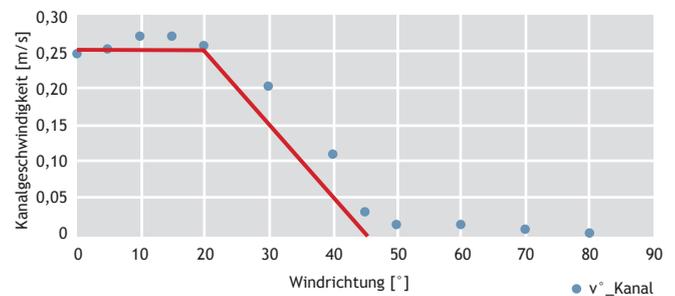
WEITERE EINFLUSSGRÖSSE

WINDRICHTUNG

Alle Berechnungen der Parameterstudie wurden mit einer Anströmung von 1 m/s axial in Richtung der Hinterlüftungsebene gemessen. Um den Einfluss der Windrichtung auf die Strömungsgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene zu untersuchen, wurden für die Geometrie des Validierungsfalles (Aufbau Freilandversuch) die Auswirkungen 10 unterschiedlicher Anströmwinkel von 0-80° auf die Kanalgeschwindigkeit berechnet.

Idealisiert blieb die Kanalgeschwindigkeit bis zu einem Anströmwinkel von 20° in etwa gleich hoch wie bei axialer Anströmung (0°). Im Bereich von 20-45° fällt sie idealisiert linear auf annähernd 0 m/s ab.

In der 3-D-Simulation hat sich gezeigt, dass durch die Aufwärtsbewegung der Luft an der Wand mehr Luft in die Kanäle gedrückt wird als in der 2-D-Simulation. Die angegebenen Werte sind demnach eher konservativ angesetzt.



Einfluss der Anströmrichtung auf die Kanalgeschwindigkeit

WEITERE EINFLUSSGRÖSSE

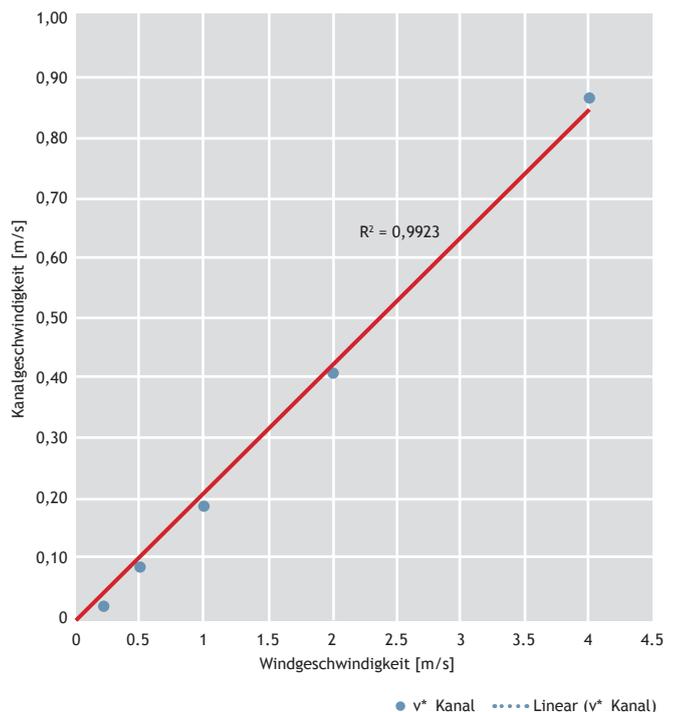
WINDGESCHWINDIGKEIT

Für die Parameterstudie wurde eine konstante Windgeschwindigkeit von 1 m/s herangezogen. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) zeichnet an 163 Wetterstationen neben anderen Wetterdaten auch die Windgeschwindigkeiten und -richtungen auf. Im Zeitraum 1981-2010 wurden von der ZAMG Windmessdaten und ein 30-jähriger Durchschnittswert der Windgeschwindigkeit herausgegeben. Nach diesen Daten wurde bei 2 von 163 Messstationen (1,2 %) das Jahresmittel der gemessenen Windgeschwindigkeit von 1 m/s unterschritten. Der minimale Jahresdurchschnittswert liegt bei 0,9 m/s. Bei 14 von 163 Messstationen (8,6 %) wurde in einzelnen Monaten eine durchschnittliche Windgeschwindigkeit von 1 m/s unterschritten. Der minimale gemessene Monatsdurchschnittswert liegt bei 0,6 m/s.

Die sich ändernde Windrichtung ist in den Daten der ZAMG nicht berücksichtigt. Ebenfalls ist zu bedenken, dass die Messstationen in der Regel in 10 m Höhe über dem Gelände und freistehend angeordnet sind - eine Situation, die wir im Baubereich selten vorfinden.

Um den Einfluss verschiedener Anströmungsgeschwindigkeiten zu untersuchen, wurden fünf verschiedene Windgeschwindigkeiten im Bereich von 0,2-4 m/s anhand der Geometrie des Validierungsfalles (Aufbau Freilandversuch) berechnet.

Es zeigte sich, dass die Kanalgeschwindigkeit in linearem Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit steht. Das heißt, eine Verdoppelung der Windgeschwindigkeit führt annähernd zu einer Verdoppelung der Strömungsgeschwindigkeit in der Hinterlüftungsebene.



Einfluss der Anströmgeschwindigkeit auf die Kanalgeschwindigkeit

Fazit

Die vorliegenden Ergebnisse deuten darauf hin, dass Aufbauten, die von der gültigen ÖN B 4119 hinsichtlich Dachneigung und Lüftungsquerschnitt abweichen, nicht zwangsläufig zu Schäden führen müssen. Die errechneten Kanalgeschwindigkeiten und daraus folgenden Luftvolumenströme lassen auf ein entsprechendes Rücktrocknungspotenzial hinterlüfteter Konstruktionen schließen.

Die durchgeführten Feldversuche und CFD-Simulationen haben gezeigt, dass selbst bei ungünstigen Geometrien noch eine Durchströmung der Hinterlüftungsebene gegeben ist.

Kritik

Besonders inneralpine Beckenlagen und große Talböden des Vorlandes weisen windschwache Verhältnisse auf. In dicht bebauten Gebieten ist ebenfalls mit solchen zu rechnen. Deshalb ist bei der Dimensionierung der Hinterlüftungsquerschnitte immer eine Beurteilung im Einzelfall zu empfehlen.

Dafür müssen der Feuchteanfall in der Hinterlüftungsebene und das Rücktrocknungspotenzial durch die Hinterlüftung berücksichtigt werden. Beide Punkte sind in weiteren Untersuchungen zu klären.

Die Auswirkung quer liegender Strukturen in der Hinterlüftungsebene (z. B. Dachlatten) könnte gegebenenfalls zu einer Wirbelbildung führen, welche die laminare in eine turbulente Strömung verwandelt.

Weitere Infos und Unterlagen:

Normen:

ÖN B 4119 (03/2018): Planung und Ausführung von Unterdächern und Unterspannungen

ÖN B 3691 (12/2012): Planung und Ausführung von Dachabdichtungen

ÖN B 3419 (04/2018): Planung und Ausführung von Dacheindeckungen und Wandverkleidungen

ÖN B 3521-1 (08/2012): Planung und Ausführung von Dacheindeckungen aus Metall

Literatur:

Pech, Hubner, Zach: Baukonstruktionen, Band 9 - Flachdach, Springer-Verlag/Wien 2011

Sedlbauer, Schunck, Barthel, Künzel: Flachdach Atlas, Institut für int. Architekturdokumentation, München 2010

Teibinger, Nusser: Flachgeneigte Dächer aus Holz - Planungsbroschüre, Holzforschung Austria, Wien 2010

Ferziger, J.H.; Peric, M.: Numerische Strömungsmechanik, Springer Verlag, 2008.

Laurien, E.; Oertel, H.: Numerische Strömungsmechanik, Grundgleichungen und Modelle - Lösungsmethoden - Qualität und Genauigkeit, 3. Auflage, Vieweg und Teubner, 2009.

Web:

www.cfd-online.com

www.ansys.com

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Landesinnung Dachdecker, Glaser und Spengler der WKO Oberösterreich, Hessenplatz 3, 4020 Linz

Beteiligte Organisationen, Auftraggeber:

Landesinnung Dachdecker, Glaser und Spengler der WKO Oberösterreich

Landesinnung Holzbau der WKO Oberösterreich
Fachverband der Holzindustrie Österreichs

Technische und wissenschaftliche Bearbeitung:

FH-Prof. Dr. Georg Aichinger, FH Oberösterreich, Campus Wels
Ing. Bernhard Fürpaß, BSc., FH Oberösterreich, Campus Wels
Prof. DI Johann Spiessberger, HTL 1 Bau und Design Linz

Bautechnische Beratung:

IBTS GmbH, Institut für Bauphysik, Bautechnik und Schallschutz

Grafik:

MMGraphics Michael Moder, Linz/Leonding

Lektorat:

DINotext & lektorat, Mag. Sonja Knotek

Text, Projektleitung:

DI (FH) Stefan Leitner, WKO Oberösterreich

Das Copyright 2018 liegt bei den Auftraggebern und Autoren. Die Publikation und alle in ihr enthaltenen Beiträge sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig und strafbar. Es wird darauf hingewiesen, dass alle Angaben trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Herausgebers sowie der Autoren ausgeschlossen ist.