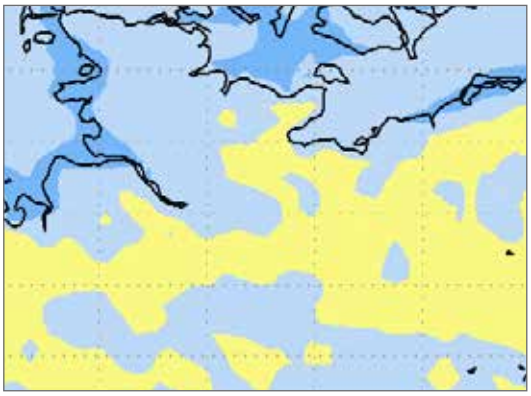
KLIMZUG-NORD
Strategische Anpassungsansätze
zum Klimawandel in der Metropolregion Hamburg

Dokumentation zum Teilvorhaben 5

Klimawandel
auf norddeutschen Dächern

Strategien zum Erhalt von Reetdächern

Dachaufstockungen zur städtischen Nachverdichtung
mit resilientem Innenraumklima



Gefördert durch das
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Koordination

FACH HOCHSCHULE LÜBECK
University of Applied Sciences

regionalhaus Lübecker Bucht
Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen

Hamburg

metropolregion hamburg

TuTech INNOVATION

Inhalt

Versuchsdächer auf dem Campus der FH

Zunahme Niederschlag im Jahresmittel

Raumzelle auf dem Campus der FH

Projektleitung
Prof. Dipl.-Ing. Georg Conradi, FH Lübeck

· *Einleitung*.....03

· *Strategien zum Erhalt von Reetdächern*.....04
· *Allgemeine und klimatische Einflüsse auf Reetdächer*.....05
· *Änderungen durch Klimawandel*.....13
· *Versuchsdächer an der FH*.....16
· *Positivliste*.....23

Verfasser
Dipl.-Ing. Steffen Slama, FH Lübeck

· *Dachaufstockungen zur städtischen Nachverdichtung mit resilientem Innenraumklima*.....26
· *Hintergrund*.....26
· *Moderne Holzbautechnik*.....30
· *Brandschutz und baurechtliche Voraussetzungen*.....34
· *Vorfertigung und Qualitätssicherung im Holzbau*.....39
· *Nachhaltigkeit*.....39
· *Fazit*.....39
· *Gebaute Beispiele*.....40

Verfasser
Prof. Dipl.-Ing. Ludger Dederich, HS Rottenburg

· *Musterbauvorhaben und Demonstrationsanlagen*.....45
· *Elbehafen*.....45
· *Brandshofer Deich*.....48
· *Demonstrationsanlage Raumzelle auf FH-Campus*.....50

Verfasser
Prof. Dipl.-Ing. Ludger Dederich, HS Rottenburg
Dipl.-Ing. Steffen Slama, FH Lübeck
Grafiken und Pläne: M.A. Dipl.-Ing. Ayoub Benjamin

· *Quellen*.....55

Herausgeber
Fachhochschule Lübeck
Institut für Bauen mit Nachwachsenden Rohstoffen
Prof. Dipl.-Ing. Georg Conradi
Mönkhofer Weg 239
23562 Lübeck

Tel.: 0451 300-5145
Fax: 0451 300-5143
conradi@fh-luebeck.de

www.regionalhaus-sh.de

Druck
dieUmweltDruckerei GmbH
Lohweg 1
30559 Hannover
www.dieUmweltDruckerei.de

Layout
Christiane Behnke
www.christiane-behnke.de

Beteiligte Studierende im Projekt
Björn Neitzel
Dimitrij Gerdt
Franziska-Marie Klehn
Johannes Knaut
Martin Riewendt
Malte Tams
Mathis Fehring
Peter Meyer
Tobias Wegner

Mitarbeiter im Projekt
Dr. Jasna Hamidović-Baumgarten
M.A. Dipl.-Ing. Ayoub Benjamin
Dipl.-Ing. Steffen Slama
Dipl.-Ing. Eva Starke

Einleitung

Prof. Dipl.-Ing. Georg Conradi

In KLIMZUG-NORD werden die Auswirkungen des globalen Klimawandels auf den Küstenschutz der Elbmündung, auf die Hamburger Stadtentwicklung und auf die Bewirtschaftung des Umlandes in über 40 Forschungsvorhaben untersucht. Der Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung von Techniken und Methoden zur Minderung der Klimafolgen und der Anpassung von Gesellschaft und Ökonomie an die erhöhten Risiken durch den Klimawandel.
An KLIMZUG-NORD sind neben der Fachhochschule Lübeck fünf Hochschulen, sechs Forschungsreinrichtungen, elf Behörden und behördennahe Einrichtungen und zehn Unternehmen direkt beteiligt. Hinzu kommen zahlreiche weitere assoziierte Partner. Unterstützt wird das Projekt von acht niedersächsischen Landkreisen und sechs schleswig-holsteinischen Kreisen der Metropolregion.
Das fünf Jahre (2009-2014) laufende Projekt hat ein Gesamtvolumen von ca. 25 Mio. Euro. Es wird maßgeblich durch den Bund mit rund 15 Mio. Euro gefördert. Die beteiligten Einrichtungen bringen erhebliche Eigenmittel auf. Weitere ca. 1,2 Mio. Euro werden von der Freien und Hansestadt Hamburg beigesteuert.

Die Fachhochschule Lübeck mit dem Institut für Bauen mit nachwachsenden Rohstoffen beteiligt sich mit den Teilprojekten „Entwickeln einer klimaangepassten Reetdachkonstruktion“ und „Dachaufstockung in Massivholzbauweise“ am Verbundvorhaben KLIMZUG-NORD.
Die beiden Teilprojekte sind im Themenfeld „Integrierte Stadt- und Raumentwicklung“ im Bereich „Innovationen im Bauen zur Klimaanpassung“ angeordnet. Dieses Themenfeld geht den Fragen nach, welche neuen Anforderungen aufgrund der Folgen des Klimawandels bei der zukünftigen Stadt- und Raumentwicklung der Metropolregion berücksichtigt werden müssen und welche Maßnahmen zur Sicherung der Lebensqualität in den Siedlungsräumen der Region erforderlich sind.
Die für die Gebäude selbst relevanten klimatischen Änderungen sind erhöhte Temperaturen und Windgeschwindigkeiten sowie eine veränderte Niederschlagsverteilung und -menge. Auf diese Aspekte sind unsere bestehenden Gebäude und Konstruktionen im Wesentlichen bereits eingerichtet. Bei einer zukünftigen Steigerung des Nutzerkomforts und bei gleichzeitiger Reduzierung des Energiebedarfs sind die Grundlagen in Wissen und Gebäudetechnik vorhanden; es fehlt jedoch weitgehend deren praktische Umsetzung insbesondere bezogen auf die jeweiligen lokalen klimatischen Verhältnisse.
In den beiden Teilprojekte der Fachhochschule Lübeck geht man daher der Frage nach, wie zukünftige klimaangepasste Reetdachkonstruktionen aussehen und welches geeignete Maßnahmen zur passiven Raumklimatisierung bei Massivholzkonstruktionen sind.

Metropolregion Hamburg

Strategien zum Erhalt von Reetdächern

Traditionelles Reetdach mit Friesengiebel

Zu den ursprünglichsten und traditionsreichsten Dächern gehört die Eindeckung mit Reet. Vor allem im Nord- und Ostseeraum trifft man auf zahlreiche reetgedeckte Häuser, so auch in der Metropolregion Hamburg. Da es sich bei Reet bzw. Schilfrohr um einen natürlichen Baustoff handelt, haben Änderungen durch den Klimawandel einen relevanten Einfluss auf die Haltbarkeit dieser Dacheindeckung.
In den letzten acht Jahren häuften sich die Schadensmeldungen von Reetdächern, die deutlich vor ihrer normalen Lebensdauer, im Mittel innerhalb von dreißig Jahren, starke Zersetzungserscheinungen aufwiesen. In diesem Zusammenhang wurden in Deutschland verschiedene Forschungsprojekte initialisiert, die nach den Ursachen für den vorzeitigen Zerfall des Reets suchten. Neben Einrichtungen wie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), dem Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) und dem Institut für Marine Biotechnologie e.V. Greifswald führte die Fachhochschule Lübeck (FHL) bereits seit 2006 erste Untersuchungen an bestehenden Reetdächern durch. 2007 wurde ein reetgedecktes Versuchshaus mit zwei unterschiedlichen Dachaufbauten auf dem Campus der FHL mit zahlreichen Sensoren zur dauerhaften Überwachung des Temperatur- und Feuchteverhalten versehen. Die Messungen dauern an und lieferten bereits zahlreiche Erkenntnisse zum konstruktiven und bauphysikalischen Aufbau von Reetdächern.
Die Herstellung einer Eindeckung mit Reet geschieht vorwiegend entsprechend den regionalen Gepflogenheiten und wird lediglich sehr allgemeingültig in den handwerklichen Fachregeln beschreiben. Aufgrund der neuen Erkenntnisse aus den Schadensfällen und den durchgeführten Forschungen ist bekannt, dass die Handwerksregeln nicht ausreichen, um sämtliche Maßnahmen für ein langlebiges bzw. dauerhaftes Reetdach sicherzustellen. Wie bei anderen Konstruktionen ist es daher wichtig, dass Forschungsergebnisse in die Neugestaltung der Ausführungsregeln für das Handwerk übernommen werden.

Allgemeine und klimatische Einflüsse auf Reetdächer

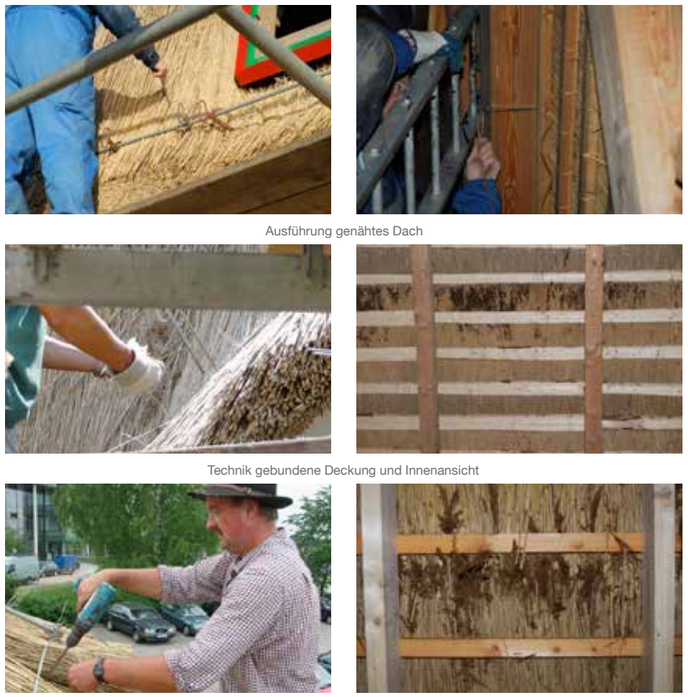
Um die Auswirkungen des Klimawandels auf Reetdächer bestimmen zu können, mussten zunächst die für die Haltbarkeit des Reets wesentlichen Einflussfaktoren ermittelt werden. In Kooperation mit niederländischen, dänischen und deutschen Fachverbänden für die Eindeckung mit Reet wurden die wichtigsten Faktoren bestimmt bzw. abgeleitet. Im Wesentlichen lassen sich die zahlreichen Faktoren in vier Bereiche unterteilen:

1. *Konstruktive Bedingungen*
2. *Umweltbedingten Einflüsse*
3. *Handwerkliche Ursachen*
4. *Materialanforderungen*

Zu den Faktoren gehören z.B. die Dachform, die Dach- und Halmneigung, die Unterkonstruktion, die Kompetenz des Reetdachdeckers, die Lage des Daches, die Pflege und Wartung, Reetlänge und Reetdurchmesser. So zahlreich die Faktoren auch sind, allen gemeinsam ist ihr Einfluss auf die Feuchte in der Dachkonstruktion. Denn je höher bzw. länger der Feuchtegehalt im Material ist, desto geringer ist die Haltbarkeit der Eindeckung.

Materialanordnung

Im Folgenden werden einige Faktoren, die für die weiteren Betrachtungen wichtig sind, näher erläutert. Dazu noch eine Eingrenzung: Da es sich hier im Wesentlichen um baukonstruktive und bauphysikalische Untersuchungen handelt, werden materialspezifische Erörterungen, wie der Einfluss des Klimas auf Wachstum und Beschaffenheit der Pflanze, nicht vorgenommen.
Der wichtigste konstruktive Faktor für ein haltbares Dach ist die Halmneigung bzw. die Eindeckqualität. Denn je schneller auftreffendes Wasser vom Dach abgeleitet werden kann, desto schneller trocknet es und desto länger hält es somit. Die Halmneigung selbst wird wiederum von verschiedenen Faktoren beeinflusst, so spielen die Dachneigung, die Reetlänge, der Reetdurchmesser, die Tiefe und Festigkeit der Bindung eine entscheidende Rolle. Die Eindeckqualität beschreibt darüber hinaus das Wasserablaufverhalten und die Durchlässigkeit der Eindeckung.
Die Dachdeckung mit Reet ist auch heute noch eine reine Handarbeit. Das Reet muss so auf den Dachstuhl aufgelegt und befestigt werden, dass die Halme eine regensichere Hülle bilden. Dazu werden die Bunde so auf die Unterkonstruktion aufgebracht, dass eine vollflächige Schicht im Mittel von 30 cm entsteht. Für die Art der Befestigung, fachlich als Binden bezeichnet, haben sich im Laufe der Entwicklung des Daches folgende drei Techniken herausgebildet:
Beim genähten Reetdach werden die einzelnen Lagen mittels nichtrostenden Stahldrahts in endloser Form auf die Latten gebunden. Beim gebundenen Dach werden die Decklagen zwischen dem Vorlegedraht und den Latten eingeklemmt. Dazu wird der dickere



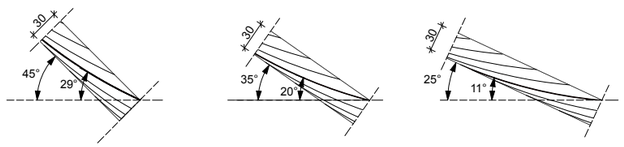
Ausführung genähtes Dach

Technik gebundene Deckung und Innenansicht

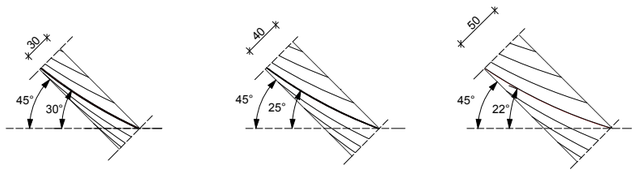
Schraubtechnik und Innenansicht

Typ	Kurzes Reet	Mittellanges Reet	Langes Reet
Länge	bis ca. 1,50 m	bis ca. 1,80 m	bis ca. 2,30 m
Höchstens 5% der Halme kürzer als	0,80 m	1,10 m	1,40 m
2/3 der Halme	1,00 - 1,50 m	1,60 - 1,80 m	1,90 - 2,30 m
Durchmesser	≤ 6 mm	3 bis 9 mm	4 bis 12 mm

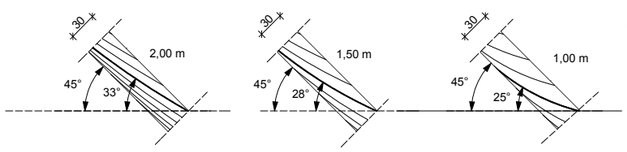
Sortierung von Reetbunden [1]



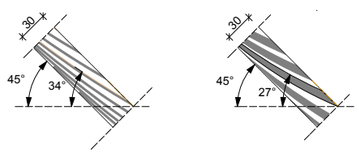
Abhängigkeit Halm- zu Dachneigung (Reetlänge 1,50 m)



Abhängigkeit Halmneigung von Eindeckstärke (Reetlänge 1,50 m)



Zusammenhang Reetlänge und Halmneigung



Halmneigung bei geringer und deutlicher Abnahme (konisch) des Halmdurchmessers

Vorlegedraht in regelmäßigen Abständen mit dünneren Bindedrähten, beide aus nichtrostendem Stahldraht, an der darunterliegenden Latte befestigt. Die Schraubtechnik ähnelt dem gebundenen Reetdach. Abweichend werden hier die Bindedrähte nicht mehr um die Lattung herumgeführt, sondern die Bindedrähte mittels Schraube von oben in die Unterkonstruktion hineingeschraubt. Diese Technik eignet sich daher für geschlossenen Unterkonstruktionen oder schwer zugängliche Stellen.
Je nach optischem Erscheinungsbild oder technischer Notwendigkeit benötigt man für die Herstellung eines Reetdaches unterschiedlich langes bzw. dickes Reet. So nutzt man für kleinere Flächen wie Walme oder Gauben kürzeres Reet und für die größeren Dachflächen längeres Reet. Eine Übersicht der unterschiedlichen Sortierklassen ist in der obenstehenden Tabelle dargestellt.

Die Halmneigung ergibt sich wie oben beschrieben aus verschiedenen Faktoren. Diese werden im Folgenden näher beschrieben:
• zunächst das allgemeine Verhalten der Dachneigung zur Halmneigung. Dazu nimmt man mittellanges Reet (l = 1,50 m) und legt dieses auf verschiedene Dächer mit unterschiedlicher Neigung und gleicher Eindeckstärke.

• Eine andere Abhängigkeit ist die von Halmneigung und Eindeckstärke. Geht man von gleich langem Reet aus, so gilt: Je dicker ein Dach eingedeckt wird, desto flacher liegt der Halm.
• weiterhin der Zusammenhang von Halmneigung zur Reetlänge. Aus der geometrischen Anordnung des Reets auf einem Dach wird klar, dass bei gleicher Eindeckstärke längeres Reet deutlich steiler angeordnet ist als kürzeres Reet.
• Neben der Reetlänge beeinflusst auch der Halmdurchmesser die Neigung. So liegt ein stark konischer Halm deutlich flacher als ein Halm dessen Durchmesser sich nicht so stark verjüngt.

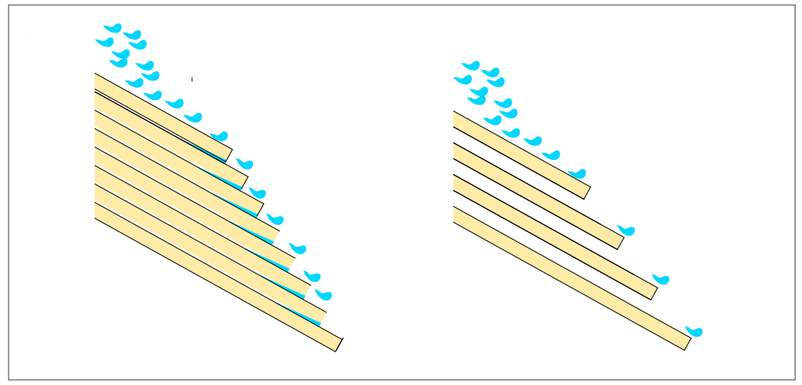
Ein weiterer Faktor, der die Haltbarkeit eines Reetdaches beeinflussen kann, ist die Bindung. Die unterschiedlichen Arten wurden bereits beschrieben. Bei der Ausführung der Bindung ist die verwendete Art von untergeordneter Bedeutung, viel wichtiger ist die Lage und Festigkeit der Bindung. So sollte die Bindung möglichst tief in der Reetschicht liegen, da im Laufe der Zeit die äußeren Halmenden durch Sonne, Wind und Niederschläge zerfallen bzw. abgebaut werden und die Eindeckung so immer dünner wird.

Bei Freiliegen der Bindung ist bei lokal begrenzten Stellen eine Reparatur oder bei großflächigen Bereichen eine Erneuerung der gesamten Dachfläche notwendig.
Entscheidend für ein gutes Trocknungsverhalten der Eindeckung ist auch die Festigkeit der Bindung. So kommt es bei einer flacheren und festen Bindung zu einer stärkeren und tieferen Durchfeuchtung der Eindeckung aufgrund der Kapillarwirkung. Eine deutlich lockere und tiefere Bindung bedingt dagegen ein besseres Wasserablaufverhalten, da auftreffende Regentropfen eine höhere Fallenergie erhalten und so schneller vom Dach „abperlen“.
Des Weiteren kann es bei einer zu festen Bindung zu einem Abknicken der Halme kommen, da diese beim Einbau relativ trocken sind und unter den normalen Witterungsbedingungen aufquellen.
Neben der Festigkeit und Tiefe der Bindung ist auch der Halmdurchmesser für die Stärke der Durchfeuchtung und die Möglichkeit der Trocknung entscheidend. So ist die Kapillarwirkung bei sehr dünnem und fest gebundenem Reet stärker bzw. die Feuchtigkeit dringt tiefer in die Eindeckung ein als bei gröberem Reet mit einer lockeren Bindung.

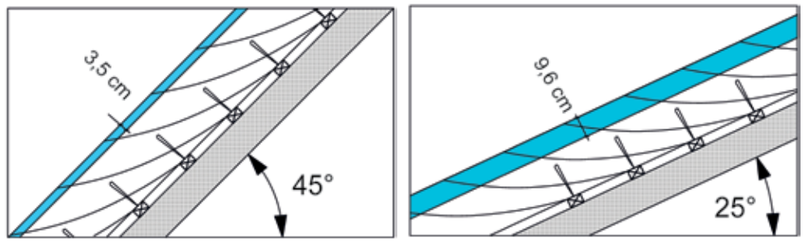
Überdies bewirkt grobes Reet eine bessere Durchlüftung der Eindeckung und ermöglicht so eine schnellere Trocknung. Der Zusammenhang zwischen Halmdurchmesser und Halmneigung wurde bereits in einem früheren Forschungsprojekt an der Fachhochschule Lübeck untersucht. [2]

Versuchsaufbau zur Durchströmungsmessung

Sichtbare Bindung



Ablaufverhalten von Wasser bei festem und losem Reet



Eindringtiefe von Wasser ins Reet bei unterschiedlichen Dachneigungen

Dachform und Dachaufbau

Reetdächer werden entweder als Satteldach, selten als Zeltdach oder klassisch als Walm- bzw. Krüppelwalmdach hergestellt. Als sturmsicherer gelten Walm- oder Krüppelwalmdächer. Durch die abgewalmten Giebelflächen verringern sich die Druckunterschiede am Dach zwischen der Luv- und Leeseite und sorgen so für weniger Schäden bei Sturm oder starken Windböen. Dies ist im Besonderen in Küstennähe zu beachten.
Neben den verschiedenen Eindeckarten und Dachformen gibt es regionaltypische Ausführungsvarianten der verschiedenen Dach- und Anschlussdetails wie Traufe, First, Ortgang, Gaube und Schornstein. Da für die weiteren Erläuterungen nicht alle Details von Bedeutung sind, wird nachfolgend nur auf die verschiedenen Ausbildungen von First, Kehle und Gaube eingegangen.
In Deutschland werden im Wesentlichen drei verschiedene Ausführungsvarianten für den First verwendet. Am gebräuchlichsten ist der Heidefirst. Bei diesem wird üblicherweise als Unterlage auf die letzte Lage Reet eine Bitumen- oder Kunststoffbahn aufgelegt. Dann befestigt der Dachdecker entlang des Firstes auf beiden Seiten einen Maschendraht und stopft das Kraut fest darunter. Anschließend wird der Maschendraht in der Mitte zusammengenäht.
Den Reetfirst findet man vor allem im Ostseeraum und in Ostdeutschland. Bei diesem werden Reetbunde mit den Stoppeln nach oben überlappend auf dem First befestigt, mit einem deutlichen Reetüberstand zur windabgewandten Seite. Anschließend werden die überstehenden Halmspitzen unterhalb des Firstes abgeschnitten.
Die Verwendung des Sodenfirstes geht immer weiter zurück, da die Beschaffung des Materials sehr aufwendig ist und die Kosten des fertigen Firstes im Vergleich zu den beiden zuvor genannten deutlich höher sind. Als Unterlage dient auch hier eine Bitumen- oder Kunststoffbahn. Die Grassoden sind etwa 30 cm breit und haben eine Länge von 1,30 bis 1,50 m. Verlegt werden sie entgegen der Hauptwindrichtung und entweder in überlappender Form oder zweilagig übereinander. Die Befestigung der Soden untereinander erfolgt durch Holzpflöcke.
Neben den drei beschriebenen Firstausführungen gibt es jedoch eine Reihe weiterer Gestaltungsmöglichkeiten. Beispielhaft seien hier der Dachziegelfirst und die Firstabdeckung mit Kupfer genannt.

Heidefirst mit Giebelschmuck

Reetfirst mit Giebelschmuck

Sodenfirst mit Blitzschutz

Kupferabdeckung auf First

Kehlenausführung mit Rinne

Verringerung Dachneigung auf der Gaube

Von besonderer Bedeutung, da konstruktiv eine Schwachstelle, ist die Ausführung der Kehle. In der Kehle stoßen zwei Dachflächen in einer Innenecke aneinander. Durch die Einengung der Flächen fließt in der Kehle deutlich mehr Wasser ab als auf einer geraden Dachfläche. Daher ist hier besondere Aufmerksamkeit bereits bei der Planung und insbesondere bei der Ausführung geboten. Um das tiefere Eindringen von Wasser zu vermeiden, kann mit einer zusätzlichen Querlattung der Bereich der Kehle unterlegt werden oder bei einer starken Reduzierung der Ablauffläche eine Rinne ausgebildet werden.
Bei der Gestaltung der Gaube unterscheidet man im Wesentlichen zwei Grundtypen: Die Fledermausgaube mit ihrer geschwungenen, flacheren Form und die Schleppgaube mit ihrer hohen, aufrechten Form. Notwendig zur Belichtung und Belüftung des Dachraumes reduziert sich bedingt durch das Herausragen aus der Dachfläche die Dachneigung auf und seitlich der Gaube zum Teil recht erheblich. Berücksichtigt man die Abhängigkeiten der Halmneigung, so kommt es durch jede Gaube zu einer Verminderung der Ablaufgeschwindigkeit des auftreffenden Wassers und damit zu einer zusätzlichen Feuchtebelastung der Eindeckung.

Satteldach mit Reetdach und Gaube

1 Ortgang
2 Traufe
3 Giebel
4 Dachfläche
5 Dachüberstand
6 Gaube
7 Grat
8 Walmfläche
9 Eulenloch
10 First
11 Schornstein
12 Kehle

Krüppelwalmdach mit Heidefirst und Friesengiebel

Unterkonstruktion und Belüftung

Reetdächer sind seit ihrer Entstehung eine luftdurchlässige offene Konstruktion. Bis auf wenige Ausnahmen wurde das Reet bis zum 19. Jh. auf den offenen Dachstuhl gebunden und war daher von der Dachunterseite sichtbar. Erst durch die Nutzung des Dachraumes als Wohn- oder Aufenthaltsraum wurden in den letzten dreißig Jahren zunehmend Dachgeschosse ausgebaut. Davor vorwiegend als ungenutzter oder Lagerraum verwendet, wird dieser heute fast vollständig genutzt. Aufgrund der Nutzung wird daher das Dachgeschoss entsprechend ausgebaut und gedämmt. Es kommt somit zu einer Veränderung der Unterkonstruktion und der Belüftung der Eindeckung.

Aus einem Aufenthalt von Personen unmittelbar unter dem Dach resultiert eine zusätzliche Entstehung von Wasserdampf, welcher in die umliegenden Bauteile, also auch ins Reetdach, eindringt. Die Fachregeln des Dachdeckerhandwerks schreiben hier eine durchgehende Lüftungsebene unterhalb der Eindeckung von 6 cm und seit 2008 zusätzliche Zu- und Abluftöffnungen an Traufe und First vor. Diese Maßnahmen sollen die zusätzliche Feuchtebelastung der Eindeckung minimieren bzw. den Abtransport des Wasserdampfes sicherstellen.

Analysiert man diese Maßnahmen jedoch näher, so stellt man fest, dass die Hinterlüftung aus der Eindeckung mit Dachsteinen wie Schiefer, Ziegel oder Beton kommt. Diese verfügen nur über einen geringen Fugenanteil und ermöglichen daher nur eine sehr geringe bis keine Durchlüftung der Eindeckung. Auch die seit kurzem verbindlichen Abluftöffnungen im First von Reetdächern dienen unteranderem der Minimierung einer unbeabsichtigten Schwachstelle. Denn aufgrund der Verwendung von Bitumen- und Kunststoffbahnen zur Firstabdeckung wird dieser Bereich hermetisch abgedichtet, so dass hier eine Durchströmung bzw. Diffusion verhindert wird. Unter ungünstigen Umständen sammelt sich so im Firstbereich feuchtwarme Luft, die nicht entweichen kann.

Anhand von Versuchen verschiedener Reetanordnungen auf dem Radialventilatorprüfstand in Kammerbauweise der Fachhochschule Lübeck wurde 2009 erstmalig das Durchströmungsverhalten von Reet unter Laborbedingungen ermittelt. Dazu wurden drei Reetelemente mit unterschiedlichen Halmneigungen hergestellt und die Durchlässigkeit im Durchströmungsversuch ermittelt. Im Mittel wurden Durchlässigkeiten von 5 bis 9 % je nach Windgeschwindigkeit gemessen. Selbst unter ungünstigsten Bedingungen wurde noch eine Durchströmung von über 2 % erreicht. Ein Reetdach ist daher alles andere als eine dichte Eindeckung.

Probekörper für Durchströmungsversuche und Probekörper im Prüfstand

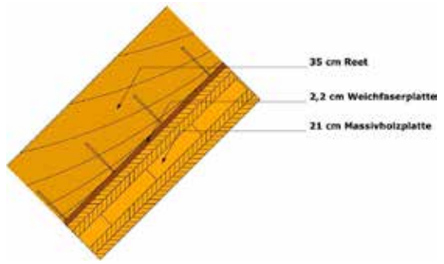
Einen gänzlich anderen Ansatz verfolgte eine Entwicklung im Projekt „Regionalhaus HRL aus 100% nachwachsenden Rohstoffen“ der Fachhochschule Lübeck in den Jahren 2003 bis 2004. Aufgrund der üblichen Hinterlüftung der Reetschicht darf diese wärmetechnisch nicht für die Dämmung des Hauses angesetzt werden. Erste Auswertungen aus den Dauermessungen der Versuchsdächer an der Fachhochschule Lübeck zeigen jedoch auch bei einer Hinterlüftung des Reets positive Effekte für den Wärmeschutz, welche nach Prüfung der verschiedenen Wechselbeziehungen in Zukunft hoffentlich allgemein anerkannt werden.

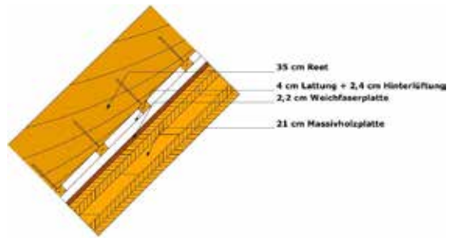
Im Projekt erfolgte eine Neukombination der Materialien Holz, Reet und Lehm. So wurde das Reet direkt auf eine massive Holzplatte ohne Hinterlüftung gebunden. Mit dem Bau eines Testhauses im Jahre 2004 sollten die wärmetechnischen und brandschutztechnischen Vorteile dieser Konstruktion überprüft werden. Dazu wurden zunächst einige Holzfeuchtesensoren installiert, die ein sporadisches Ablesen der Feuchte in den verschiedenen Bauteilschichten ermöglichten. 2006 fand im Zuge eines Anschlussprojektes zunächst ein Realbrandversuch am Testhaus zur Überprüfung des Brandverhaltens der neuen Konstruktion statt. Nach Wiederherstellung der Eindeckung in Form von zwei Versuchsflächen (mit und ohne Hinterlüftung) wurden diese mit zahlreichen Sensoren versehen, die dezidiert Aussagen zum Temperatur- und Feuchteverhalten der beiden Konstruktionen liefern. Die Messung wurden als Dauermessung mit automatischer Speicherung der Werte zunächst alle fünf Minuten und ab 2010 alle zehn Minuten eingerichtet. Eine Auswertung der ersten fünf Jahre seit Neueindeckung zeigte im Mittel keine gravierenden Unterschiede der beiden Konstruktionen hinsichtlich ihres Feuchtegehalts. Die nicht hinterlüftete Konstruktion ist deutlich träger in Bezug auf Veränderungen in den Umgebungsbedingungen. Sie gleicht so manche Temperatur- und Feuchtespitze aus, benötigt dafür aber länger, um wieder ihren Gleichgewichtszustand zu erreichen. Anders der hinterlüftete Dachaufbau. Dieser reagiert deutlich schneller auf Veränderungen, sowohl was die Zunahme von Temperatur und Feuchte angeht als auch die Abnahme. Ein Unterschied in der Haltbarkeit der Konstruktion kann bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht festgestellt werden.

Weitere Ausführungen bezüglich der Belüftung von Reeteindeckungen finden sich in den folgenden Kapiteln, in denen auf die Versuche und Messungen innerhalb des KLIMZUG-Projektes eingegangen wird.

Realbrandversuch am Testhaus auf dem FH Campus

Testhaus vor Neueindeckung mit zwei Versuchsflächen, links nicht hinterlüftet und rechts hinterlüftet





Aufbau der zwei Versuchflächen auf dem Testhaus

Testhaus nach Neueindeckung

Örtliche Bedingungen / Mikroklima

Neben den materialbedingten und konstruktiven Faktoren sind auch die äußeren Bedingungen von wesentlicher Bedeutung für die Haltbarkeit des Daches. So haben vor allem der Bewuchs und die Bebauung in der unmittelbaren Nachbarschaft einen großen Einfluss auf die Feuchtebelastung des Dac hes. Größere Objekte wie Gebäude und Bäume beeinträchtigen nicht nur die Windverhältnisse, sondern führen auch zu einer Verschattung der Dachflächen und damit zu schlechteren Trocknungsbedingungen. Darüber hinaus liegt im Bereich von Bäumen und Sträuchern aufgrund deren Verdunstung eine höhere Luftfeuchte vor.
Im Vergleich zum Freiland ergeben sich daher bei einem dichten Baum- und Strauchbestand im näheren Umfeld eines Reetdaches Beeinträchtigungen im Strahlungs-, Wärme- und Wasserhaushalt. So kommt es zu schwankenden Werten innerhalb der verschiedenen Vegetationshöhen bei Oberflächen- und Lufttemperaturen, der Luftfeuchte und der Windgeschwindigkeit. Die Temperaturverteilung verändert sich im und unterhalb des Kronenraumes der Gestalt, dass aufgrund der Einstrahlung die Temperaturen im Zeitraum Mittag bis früher Nachmittag höher als im Bodenbereich, auf der Kronenoberfläche oder im Freiland sind. Des Weiteren kommt es aufgrund der Reduzierung der Windgeschwindigkeit innerhalb des Kronen- und Stammraumes ebenfalls zu höheren Temperaturen als oberhalb der Baukronen oder im Freiland. So können sich lokale Temperaturunterschiede von bis + 2°C ergeben. [3]
Die Luftfeuchte innerhalb und in unmittelbarer Nähe eines Baumbestandes ist in Bodennähe am größten, nimmt im Stammraum leicht ab und steigt im Kronenraum wieder an. Der Tagesgang über dem Boden und im Baumkronenbereich verläuft dabei nahezu parallel. Die Feuchte über dem Boden ist dabei höher als über den Kronen bzw. im Freiland. Sie erreicht ihr Maximum am Nachmittag mit Werten bis + 15 %. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Luftfeuchte über Wasserflächen im Vergleich zu festem Boden höher ist. Jedoch ist sie im Bereich von Pflanzenbeständen an See- oder Flussufern in Folge höherer Temperatur und der Verdunstung von Wasser am höchsten. Ähnliches gilt für offene Wasserflächen in der Nähe von Reetdächern. Kommt es hier durch hohen Bewuchs zu einer Reduzierung der Windverhältnisse, ist selbst bei optimaler Konstruktion des Daches mit einer deutlichen Verminderung der Haltbarkeit zu rechnen. [3]

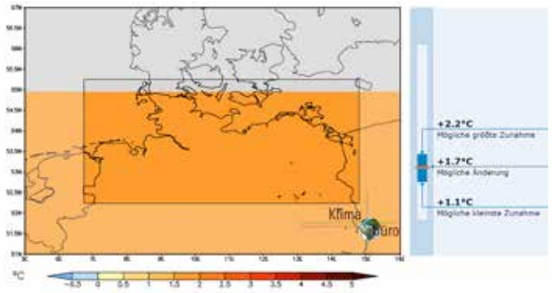
Reetdach mit Moosbewuchs und Blätterbelag

Verschattung der Dachfläche

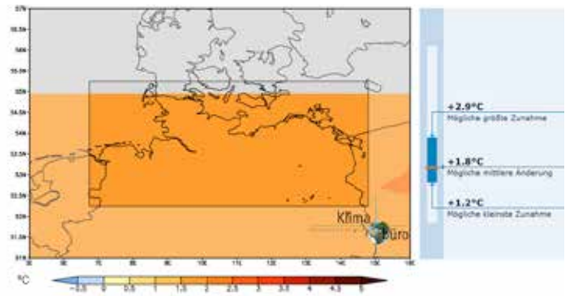
In der Regel erfolgt die Trocknung von Bauteilen durch Verdunstung. Bei Windstille handelt es sich um eine freie Konvektion (vertikaler Materialtransport infolge Temperaturausgleichs), bei Wind um eine erzwungene Konvektion. Faktoren, die die Trocknungsgeschwindigkeit bestimmen, sind daher die Temperatur, Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und effektive Oberfläche des Bauteiles im Vergleich zu seinem Volumen. Eine Berechnung der Trocknungszeiten sind daher nur sehr schwer möglich, da diese von den örtlichen Bedingungen abhängen und je nach Konstruktion und Ausbauzustand des Daches zusätzliche Feuchteeinträge von innen stattfinden. Für detaillierte Aussagen sind daher immer Messungen durchzuführen.
Neben den zuvor genannten Beeinträchtigungen durch den umliegenden Bewuchs kommt es durch diesen zu einer zusätzliche Beaufschlagung mit Blättern, Pollen und Fruchtkörpern, die sich auf dem Reetdach sammeln können und zu einer deutlichen Reduzierung des Trocknungsverhaltens führen. Unterhalb dieser Ablagerungen staut sich die Feuchte über längere Zeit bzw. kann nicht verdunsten. Um die Haltbarkeit der Eindeckung nicht zu stark zu gefährden, ist daher eine regelmäßig Reinigung der Dachflächen erforderlich.

Änderungen durch Klimawandel

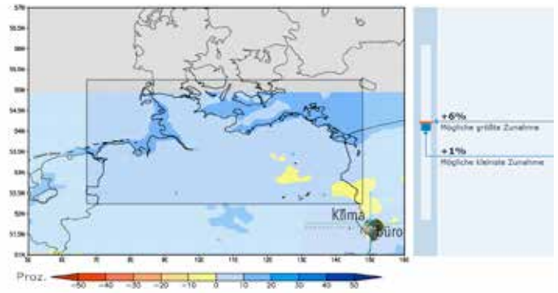
2036 - 2065



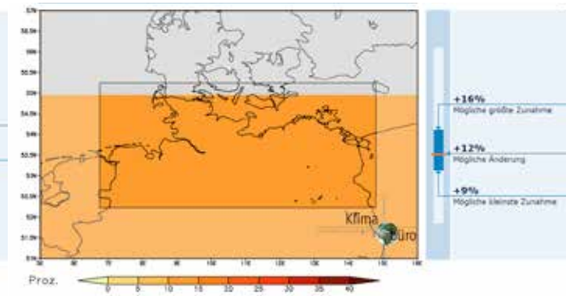
Zunahme durchschnittliche Temperatur im Jahresmittel



Zunahme durchschnittliche Temperatur im Winter



Zunahme Niederschlag im Jahresmittel

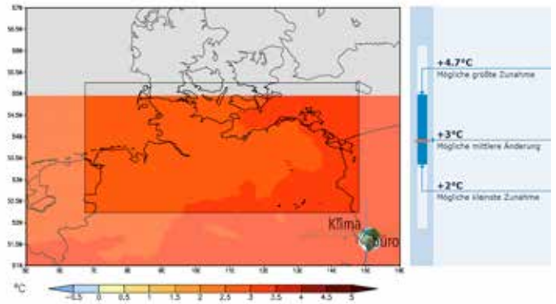


Zunahme Wasserdampfgehalt der Luft im Jahresmittel

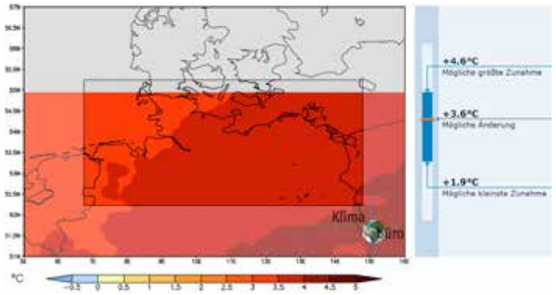
Zuvor wurden die wesentlichen Einflussfaktoren für die Haltbarkeit von Reetdächern beschrieben. Dabei spielen die umweltbedingten Faktoren eine wichtige Rolle. Doch was passiert mit dem Klima in den nächsten Jahren? Aufgrund des stetigen Anstiegs der Treibhausgase ist von einer langfristigen Erwärmung der Erdoberfläche auszugehen. Dieser globale Wandel wirkt sich auch auf das hiesiges Klima aus. Wie diese Veränderungen im Einzelnen aussehen können, soll im Folgenden beschrieben werden.

Zunächst jedoch einige Hintergrundinformationen zur Klimaforschung bzw. zu den verwendeten Daten. Die Berechnungen des zukünftigen Klimas werden mittels verschiedener Computersimulationen durchgeführt. Diese bilden realistisch ein hochkomplexes Klimasystem mit seiner internen Dynamik und den Einfluss von externen Faktoren, insbesondere den Einfluss des Menschen, nach. Trotz der stetig steigenden Computerleistung sind die simulierten Systeme in ihrer Leistungsfähigkeit begrenzt. So liegt die räumliche Auflösung der globalen Atmosphärenmodellen gegenwärtig bei einem Gitternetz von über 100 km Breite, so dass viele kleinräumige Prozesse wie die Wolkenbildung oder die Dynamik der großen Eisschilde nicht erfasst werden können. [4]
„Globale Vorhersagen sagen wenig über die Klimaänderungen in einzelnen Staaten oder Regionen aus, da ihre Auflösung nicht ausreicht. Für eine Abschätzung von Klimafolgen, wie etwa der Veränderung der Vegetationsdecke oder der Zunahme von Überschwemmungen infolge höherer regionaler Starkniederschläge, sind realistische regionale und lokale Klimaprognosen unerlässlich. Vor allem an solchen Klimaprognosen sind schließlich die Entscheidungsträger in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft interessiert. Selbst die aktuellsten globalen gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modelle besitzen aber für regionale und lokale Prognosen, die eine Auflösung von deutlich unter 100 km erfordern, immer noch eine zu große Maschenweite. Da allein eine Verdopplung der horizontalen Auflösung eine achtfache Steigerung des erforderlichen Rechenaufwandes bedeutet, sind hier aus Kostengründen und von der Computerleistung her Grenzen gesetzt.
Sollen nun Aussagen über mögliche regionale oder lokale Klimaänderungen und ihre Auswirkungen getroffen werden, so muss die Brücke zwischen der globalen Klimaänderungsberechnung und den Auswirkungen auf die Region geschlagen werden. Hierzu werden die Basisinformationen globaler Modelle als Randbedingungen regionaler Klimamodelle genutzt, um dann das Klima der Region im Detail quasi wie mit einer Lupe zu betrachten.“ [4]

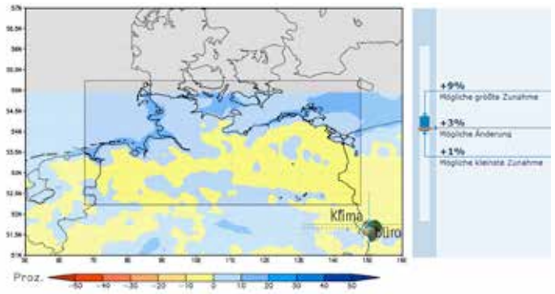
2071 - 2100



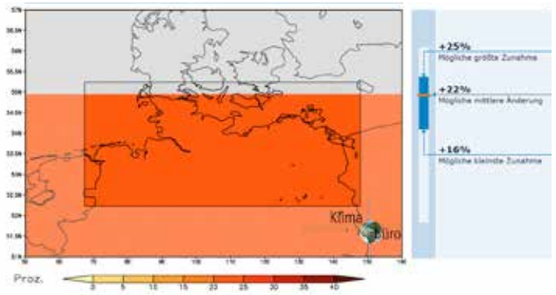
Zunahme durchschnittliche Temperatur im Jahresmittel



Zunahme durchschnittliche Temperatur im Winter



Zunahme Niederschlag im Jahresmittel



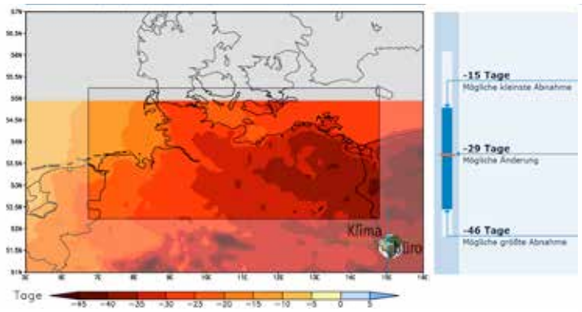
Zunahme Wasserdampfgehalt der Luft im Jahresmittel

Wie sich das Klima ändert, hängt in zunehmendem Maße auch von Einflüssen durch den Menschen ab. Daher werden in verschiedenen Szenarien die zukünftigen Entwicklungen der globalen Wirtschaft und die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen berücksichtigt. Das im Folgenden verwendete Emissionsszenario A1B geht von einem starken Wirtschaftswachstum, der raschen Entwicklung neuer und effizienter Technologien sowie einer ausgewogenen Nutzung erneuerbarer und fossiler Energiequellen aus. Als Klimamodell wurden die deutschen globalen ECHAM5-Rechnungen des Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) in Hamburg verwendet. Zur Verbesserung der Auflösung flossen diese in das regionale Klimamodell REMO, welches als numerisches Klimamodell zum Teil auf dem EM-Wettervorhersagemodell des Deutschen Wetterdienstes basiert. Dieses verfügt über eine horizontale Auflösung von 10 x 10 km. [5]
Die detaillierte Auswertung der Ergebnisse aus den Klimasimulationen erfolgt zur besseren Verdeutlichung in zwei Schritten bzw. für zwei unterschiedliche Zeitabschnitte, so dass der Grad der Zu- bzw. Abnahme deutlicher wird. Dazu werden zunächst die Änderungen zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2036-2065) und anschließend zum Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100) betrachtet. Die Änderungen ergeben sich jeweils zum Referenzzeitraum von 1961-1990.
Aufgrund der durch den Norddeutschen Klimaatlas (www.norddeutscher-klimaatlas.de) zur Verfügung stehenden Daten wurde im Projekt keine eigene Auswertung der Klimadaten vorgenommen. Da es sich bei den Ergebnissen aus den Simulationen um Prognosen handelt und diese zahlreichen Einflüssen unterliegen, erfolgte anders als bei den Messungen an den Versuchsdächern keine minuten- oder stundenweise Taktung der Werte sondern lediglich eine jahres- und quartalsweise Auswertung.
Weil nicht alle Daten in den Klimasimulationen relevant für die umweltbedingten Faktoren bei Reetdächern sind, erfolgt hier lediglich eine Auswahl der wesentlichen Größen:

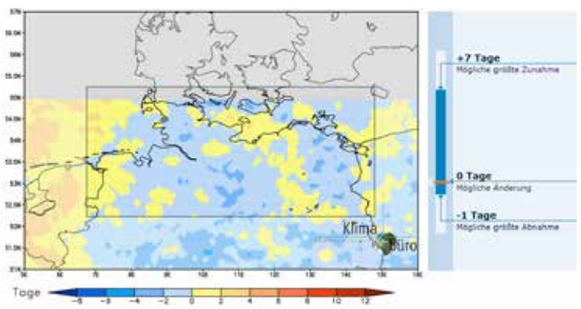
- *Durchschnittliche Temperatur*
- *Frosttage*
- *Niederschlag*
- *Regentage*
- *Längste Trockenperiode*
- *Luftfeuchte / Wasserdampf*

Zunächst erfolgt die grafische Darstellung der Änderungen bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2036-2065).

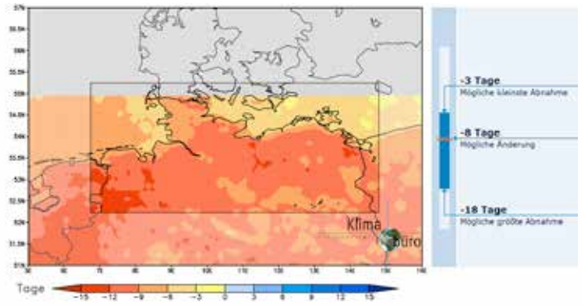
2071 - 2100



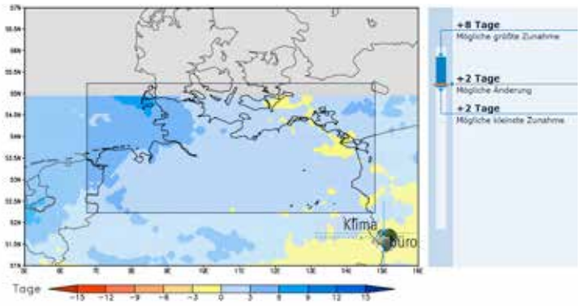
Abnahme Frosttage im Jahr



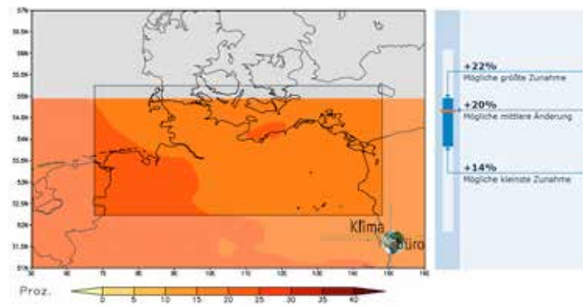
Änderung längste Trockenperiode im Jahr



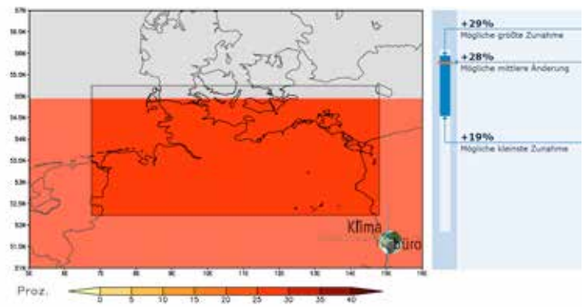
Abnahme Regentage im Sommer



Zunahme Regentage im Winter



Zunahme Wasserdampfgehalt der Luft im Sommer



Zunahme Wasserdampfgehalt der Luft im Winter

Vergleicht man nun die zu erwartenden Änderungen aus den Klimasimulationen mit den lokalen Bedingungen durch z.B. hohen Baumbewuchs in Dachnähe, so ergibt sich zunächst ein minimaler Einfluss des Mikroklimas. Die örtlichen Werte infolge der Vegetation zeigen dabei Abweichungen mit einem Temperaturanstieg von 2°C und einer Feuchtezunahme von 15 % gegenüber dem freien Umland, während die Zunahme aus den Simulationen einen mittleren Anstieg der Jahrestemperatur von 1,7°C, der mittleren Wintertemperatur von 1,8°C, der Jahresniederschlagsmenge von maximal 6 % und dem mittleren Jahreswasserdampfgehalt von 12 % ergeben haben.

Änderungen in dieser Größenordnung führen schon zu verringerten Haltbarkeiten der Reeteindeckung, wenn hier nicht mit optimalen Belüftungs- und Trocknungsbedingungen entgegengewirkt wird. Derartige Änderungen im gesamten deutschen Reetdachgebiet erfordern daher höhere Sorgfalt bei der Planung, Ausführung der Dächer und bei der Standortauswahl.
Nun die Änderungen der Klimarechnungen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts (2071-2100).
Stellt man die gleichen Größen für Mitte und Ende des 21. Jahrhunderts gegenüber, so ergibt sich noch einmal eine deutliche Zunahme im Vergleich zum Referenzzeitraum.

Unter Berücksichtigung der wesentlichen Größen für den Feuchteeintrag bei Reetdächern und ihrer jahreszeitlichen Änderungen werden darüber hinaus weitere Ergebnisse aus den Klimasimulationen betrachtet. Wertet man die Ergebnisse aus, so kommt es gerade im Winter zu höheren Temperaturen mit weniger Frosttagen und vermehrten Niederschlägen als Regen statt Schnee sowie dem höchsten Anstieg des Wasserdampfgehaltes in der Luft. Dies wirkt sich besonders nachteilig auf die Eindeckung mit Reet aus, da gerade im Winter die vorwiegende Trocknung des Daches aufgrund der geringen Luftfeuchte und Niederschlägen in Form von Schnee stattfindet. Des Weiteren ergeben sich für den Sommer längere Trockenzeiten ohne Niederschläge. Jedoch sind auch hier höhere absolute Feuchtewerte von + 20 % festzustellen, so dass in Summe wieder mit einer höheren Feuchtebelastung zu rechnen ist.
Fasst man die Ergebnisse aus den Klimarechnungen zusammen, so ergibt sich gerade zum Ende des 21. Jahrhunderts ein deutlicher Anstieg der Umgebungsbedingungen bzw. eine gestiegene Beanspruchung der Reetdächer. Dies ist nur durch eine höhere Qualität bei der Materialauswahl und der handwerklichen Ausführung nicht zu kompensieren.

	2036-2065	2071-2100
durchschnittliche Temperatur im Jahresmittel	+ 1,7°C	+ 3°C
durchschnittliche Temperatur im Winter	+ 1,8°C	+ 3,6°C
Niederschlag im Jahresmittel	max. + 6 %	max. + 9 %
Wasserdampfgehalt im Jahresmittel	+ 12 %	+ 22 %

Vergleich der Klimarechnung

Versuchsdächer an der FH

Für Untersuchungen der verschiedenen Einflüsse auf die Eindeckung mit Reet sowie das Langzeitverhalten bei natürlicher Bewitterung wurden 2009/2010 zwei Versuchsdächer auf dem Gelände der Fachhochschule Lübeck errichtet. Mit diesen Dächern soll vorrangig das Durchströmungs- und Feuchteverhalten analysiert werden.

Beide Versuchsobjekte wurden mit der gleichen Konstruktion und geographische Ausrichtung hergestellt. Lediglich die Eindeckung wurde variiert. So erfolgte beim Versuchsdach (VSD) grün eine Eindeckung mit 1,80 m langen Reetbunden und einer lockeren Bindung und das VSD orange wurde mit 1,50 langen, dünnhalmigen Reet und fester Bindung versehen.

(Bild vorne) Fundamente Versuchsdach und (Bild hinten) Stellen eines Seitenteils und Einbringen der Sparren

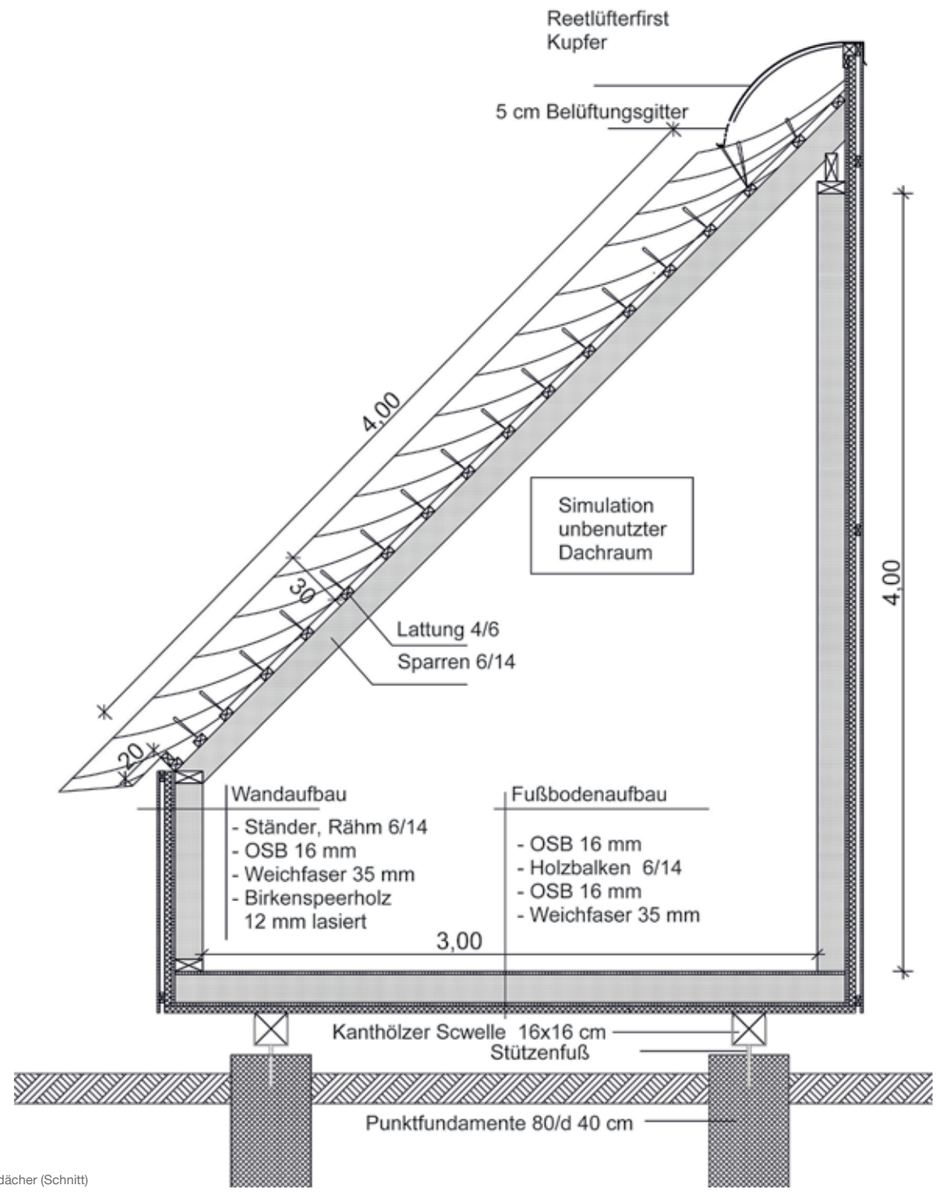
Latten des Versuchsdaches und Montieren der Fassadenplatten

Streichen der Fassade und Eindeckung der Versuchsdächer

Material und Werkzeug zum Eindecken und fertig eingedeckte Versuchsdächer

Innenansicht Versuchsdach und fertige Versuchsdächer mit Vordach

Darüber hinaus wies das Reet für das VSD orange einen höheren Feuchtegehalt als das Reet für das andere VSD auf. Die Ausrichtung der Dachflächen erfolgte nach Norden, um hier die ungünstigen Bedingungen überprüfen zu können. Aufgrund der Nordausrichtung erhalten die Flächen lediglich im Sommer bei sehr hohem Sonnenstand eine direkt Bestrahlung. Die Hauptwindrichtung am Standort ist Süd-West und nördlich der Dächer befinden sich höhere Gebäude, so dass auch hier keine direkte Belüftung stattfinden kann. Aus Gründen der möglichen Modifikation der Dachunterkonstruktion wurde zunächst eine offene Konstruktion gewählt. Des Weiteren sollte keine Nutzung des Dachraumes simuliert werden, daher wurden die Versuchsobjekte ohne Dämmung und Innenausbau hergestellt.



Aufbau der Versuchsdächer (Schnitt)

Mit der Versorgungs- und Messtechnik in den Versuchsdächern auf dem Campus der FH Lübeck sollte erprobt werden, ob diese für Feldmessungen ohne Netzanschluss geeignet sind. Daher wurde eigens für die Versorgung der Messtechnik eine solarbetriebene Speichereinheit entwickelt, welche die sensiblen Sensoren und Datenlogger zuverlässig mit Strom beliefert. Zur Ermittlung der erforderlichen Größe der Solarfläche und des Batteriespeichers für einen ganzjährigen Betrieb wurden beide Versuchsdächer mit verschieden großen Solarpanels und Batterien versehen. Aufgrund der unmittelbaren Nähe der beiden neuerrichteten Dächer zur bestehenden Messanlage im Testhaus (Projekt - Regionalhaus aus 100 % nachwachsenden Rohstoffen) wird auf eine Aufzeichnung der Messwerte in den Versuchsdächern verzichtet und eine zentrale Speicherung im Testhaus vorgenommen. Eine Übertragung der Messwerte erfolgt jeweils über einen Datenlogger direkt per Bluetooth.

Vordächer mit Solarzellen

Versorgungseinheit und ein Teil der Messtechnik und Schaltschrank mit Batteriespeicher und Steuerung

Nach einer Erprobungsphase wurden im Frühjahr 2011 in die Dächer diverse Temperatur- und Feuchtesensoren sowie zwei verschiedene Sensoren zur Durchströmungsmessung installiert. Die Temperatursensoren wurden im VSD grün in 5 cm Schritten beginnend auf der Außenseite der Eindeckung bis zur Innenseite verlegt. Damit werden die Temperaturunterschiede im Bauteil ermittelt. Die Verteilung der Temperatursensoren im VSD orange erfolgte in 1 m Anständen auf der Ober- und Unterseite der Eindeckung beginnend an der Traufe und endend am First. Hiermit werden die Temperaturverhältnisse auf und unterhalb der Eindeckung gemessen. Zusätzlich werden die Außenbedingungen durch den Wettermast am Testhaus und die Innenbedingungen jeweils durch einen Temperatur- und Feuchtesensor in den Versuchsdächern ermittelt.
Die Temperatursensoren in den unterschiedlichen Bauteilschichten liefern gute verwertbare Ergebnisse und bleiben für die Langzeitmessungen dauerhaft installiert. Bei den kombinierten Temperatur- und Feuchtesensoren zur Messung der Außen- und Innenraumbedingungen sind die Ergebnisse ebenfalls gut. Da der Feuchtesensor aufgrund seiner Alterung nicht beliebig lang einsetzbar ist, erfolgt jährlich eine Überprüfung und Kalibrierung des Sensors oder ggf. ein Austausch.
Zur Ermittlung des Durchströmungsverhaltens der Reeteindeckung wurden zunächst auf der Innenseite des Versuchsdaches nebeneinander ein Flügelradanemometer sowie ein Differenzdrucksensor betrieben. Es zeigte sich, dass das Flügelradanemometer erst ab Strömungsgeschwindigkeiten von > 1 m/s Messergebnisse liefern konnte. Da die überwachte Fläche sehr klein war (Durchmesser 20 cm), wurden diese Werte nur selten erreicht. Besser ist hier der Differenzdrucksensor, der zwar ebenfalls erst ab 1 m/s Durchströmungsgeschwindigkeit Werte aufzeichnet, jedoch aufgrund der Größe der überwachten Fläche von 16 m² dauerhaft Ergebnisse lieferte. Nach einem dreimonatigen Parallelbetrieb wurde daher das Flügelrad wieder entfernt.
Nach Auswertung der Druckmessungen eines Jahres ergaben sich deutlich Unterschiede zu den Messungen aus dem Durchströmungsversuche im Radialventilatorprüfstand von 2009 (siehe Abschnitt - Allgemeine und klimatische Einflüsse auf Reetdächer). So zeigten sich unter realen Bedingungen Spitzenwerte für die Durchlässigkeit von über 25 %. Hier ist zu vermuten, dass gerade auch die Randbereiche (Ortgang und First) eine wesentlich bessere Durchströmung zeigen, als in den Versuchen ermittelt. Aufgrund der kleinen Dachfläche ergibt sich ein deutlich höherer Randanteil/Umfang, so dass die Durchlässigkeit bei normalen Dächern geringer ausfallen wird.

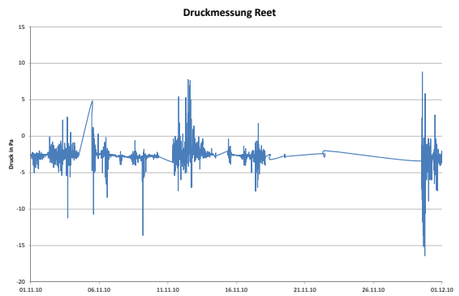
Flügelradanemometer und Druckdifferenzmessung

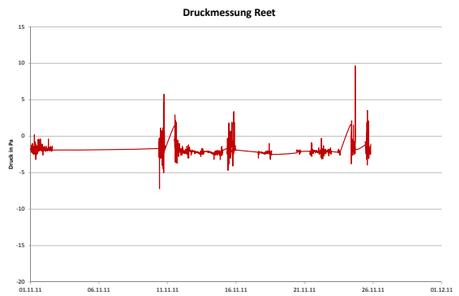
Messwerterfassung im Versuchsdach; Temperatur- und Druckdifferenzsensoren sowie Innenfühler im Versuchsdach

Montage des Lüfterfirstes und Ansicht Lüfterfirst von unten

Versuchsdächer mit Lüfterfirst

Im April 2011 wurde ein neuartiger Lüfterfirst aus Kupfer auf beiden Versuchsdächern installiert. Dieser sollte gemäß Herstellerangaben eine bessere Durchlüftung der Eindeckung aufgrund der größeren Abluftöffnung im Firstbereich ermöglichen. Eine vergleichende Messung von Lüfterfirst und First mit Folienabdeckung wurde nicht durchgeführt, da die Sensoren zur Druckmessung fest im VSD grün installiert sind. Deshalb erfolgte eine Auswertung durch einen Vergleich der Messwerte für den Zeitraum des Firstes mit Folienabdeckung und für den Zeitraum mit Lüfterfirst. Die Ergebnisse bestätigten die Angaben des Herstellers und zeigten eine Verbesserung der Durchströmung der Eindeckung im Mittel von 28 %. Dieser Wert gilt jedoch nur für den hier getesteten Aufbau. Die Versuchsdächer mit Pultdach der FH Lübeck haben ein Verhältnis von Sparrenlänge zu Firstbreite von 3,5:1 und weichen daher stark von normalen Reetdächern ab. Selbst bei kleineren Ferienhäusern mit Satteldach liegt das Verhältnis bereits bei 11:1, so dass hier die Verbesserung der Durchlüftungsbedingungen nicht ganz so hoch ausfällt.





Messung Druckdifferenz von Folienfirst (Blau) und Lüfterfirst (Rot)

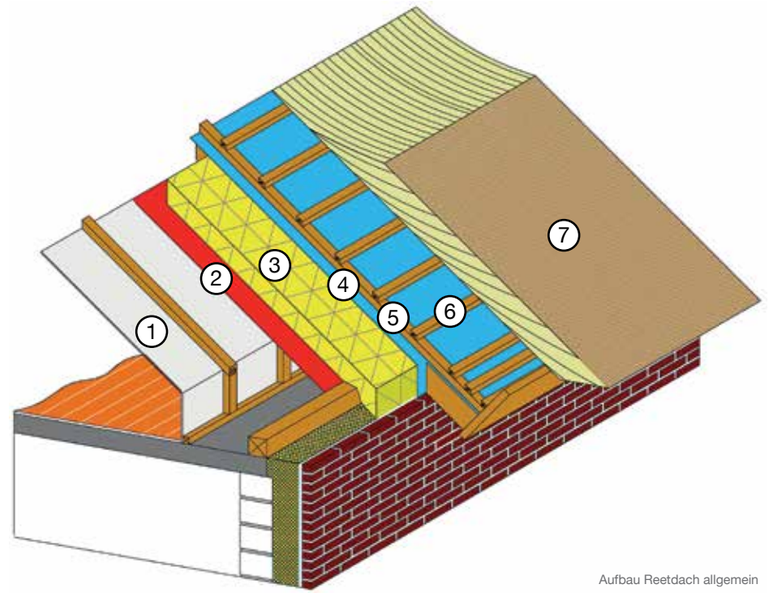
Ein weiterer Faktor, der mithilfe der Versuchsdächer ermittelt werden sollte, ist die eindringende Feuchte in die Eindeckung durch Niederschläge und Wasserdampf aus der Luft. Im vorangegangenen Kapitel wurden die zukünftigen klimatischen Änderungen mit einem höheren Wasserdampfgehalt in der Luft und sowohl jährlich als auch saisonal höheren Niederschlagsmengen beschrieben. Daher ist das Ablauf- und Trocknungsverhalten von wesentlicher Bedeutung für die Lebensdauer der Reeteindeckung. Hier ist vor allem der äußere Bereich bis 15 cm relevant für Beobachtungen und Messungen. Die zentrale Frage ist dabei: Wie weit dringt das Wasser aus Niederschlägen in die Eindeckung ein und wie lange dauert die anschließende Trocknung?
Im Projekt wurde zu diesem Zwecke eine intensive Marktrecherche zu möglichen Sensoren durchgeführt. Diese ergab jedoch keine geeigneten Messfühler für den angestrebten Anwendungsfall. Deshalb wurde zunächst die Entwicklung spezieller Feuchtesensoren erwogen. Diese sollten die eindringende Feuchtigkeit in den verschiedenen Reetschichten messtechnisch erfassen. Erste Versuchsanordnungen lieferten jedoch nur ungenügende Ergebnisse und wurden wieder verworfen. Aufgrund der erheblichen Kosten, die für die Entwicklung geeigneter Sensoren notwendig gewesen wären, wurde dieser Ansatz aufgegeben. Zur Ermittlung der erforderlichen Größen wurden vermehrt Messungen bei bestehenden Reetdächern durchgeführt, so dass die benötigten Werte auf andere Weise beschafft werden konnten.

Reetdächer besitzen im Schnitt eine Lebensdauer von 30 Jahren. Innerhalb dieses Lebenszyklus durchläuft das Dach verschiedene Prozesse, die einen entscheidenden Einfluss auf die Haltbarkeit haben. So benötigt ein neueingedecktes Dach drei Jahre und zum Teil noch länger, bevor es sich den örtlichen Bedingungen angepasst hat. Innerhalb dieser Zeit wirken sich negative Einflüsse besonders nachteilig aus. Allerdings bedeutet das für Untersuchungen und Analysen zur Ermittlung der verschiedenen Wirkungen auf die Eindeckung, dass Versuchsreihen über einen längeren Zeitraum, je nach Untersuchungsgegenstand mindestens ein Jahr, durchgeführt werden müssen. Daher konnten innerhalb der Projektlaufzeit nicht sämtliche aufgeworfene Fragestellungen untersucht werden. So sind weitere Untersuchungen wie der Einfluss der Hinterlüftungsebene auf das Durchströmungsverhalten und das Temperaturverhalten bei unterschiedlich aufgebauten Reetdächern geplant.

Feuchtemessungen auf Reetdach

Positivliste

Wertet man die Untersuchungen an den Referenzdächern sowie die Ergebnisse aus den gewonnenen Daten der Versuchsdächer aus und bezieht die Rechnungen aus den Klimamodellen mit ein, so lassen sich wesentlichen Handlungsempfehlungen für zukünftige Reetdachkonstruktionen zusammenfassen. Zum besseren Verständnis erfolgt die Aufteilung bzw. Zuordnung der Maßnahmen in die bereits zuvor genannten vier Bereiche.
Zum besseren Verständnis erfolgen zunächst einige grundsätzliche Erläuterungen zum Reetdach: Der allgemeine Aufbau für ein Reetdach mit ausgebautem Dachgeschoss und Dämmung des Zwischensparrenbereichs ist in der unten abgebildeten Zeichnung zu sehen. An diesem sind auch bei Berücksichtigung des zukünftigen Klimawandels mit seinen geänderten Umweltbedingungen zunächst keine gravierenden Änderungen erforderlich. Die Dachkonstruktion ist grundsätzlich geeignet für die Eindeckung mit Reet. Allerdings ist für diese Art der Eindeckung ein deutlich höherer Planungsaufwand als für andere Dacheindeckungen erforderlich. So spielen Dachform, Einbauten und Ausbau eine wesentliche Rolle ebenso wie die örtlichen Bedingungen und diese müssen für jedes Objekt individuell in der Planung berücksichtigt werden.



1. Innenausbau
2. Dampfbremse
3. Sparren mit Dämmung
4. Unterspannbahn
5. Konterlattung
6. Lattung
7. Reeteindeckung

Aufbau Reetdach allgemein

Änderungen sind jedoch zukünftig bei der Planung und Ausführung der Hinterlüftung erforderlich. So haben die Untersuchungs- und Messergebnisse gezeigt, dass die aktuellen Fachregeln die Maßnahmen zur Belüftung der Eindeckung nicht in geeigneter Weise berücksichtigten. Aufgrund der hohen Durchlässigkeit ist eine einheitliche Stärke der Hinterlüftungsebene nicht ratsam bzw. reicht für die meisten Dachkonstruktionen nicht aus. Daher sind die Bedingungen des jeweiligen Daches zu überprüfen und in der Planung zu berücksichtigen. So sollte mit steigender Sparrenlänge auch die Hinterlüftung stärker werden. Des Weiteren ist es wichtig, dass gerade der Bereich des Firstes ausreichend luftdurchlässig bzw. der Luftraum hier frei für die Durchströmung ist. Dieser Bereich bildet bei einem Steildach von 45° die größten Druck- bzw. Sogbereiche aus und ein Ausbau sollte auf jeden Fall vermieden werden.
Aufgrund der vielfältigen Faktoren, die bei der Planung eines Reetdaches zu berücksichtigen sind, ist bei anspruchsvollen Objekten neben Architekten und Dachdeckern die Beteiligung von Spezialisten ratsam.

1. Konstruktive Maßnahmen

Folgende Maßnahmen und Faktoren sind von besonderer Bedeutung:

- *Ruhige Dachflächen ohne Störungen planen und errichten, Zahl von Einbauten wie Gauben und Dachflächenfenster beschränken*
- *Wasserablauf darf durch Einbauten nicht übermäßig behindert werden*
- *Bereiche mit stärkerer Beanspruchung durch Wasser (Kehlen) durch Einbau von Rinnen verbessern*
- *Dachneigung in allen Bereichen beachten*
- *Unterkonstruktionen und Dachaufbau für optimale Halmneigung erstellen*
- *Einbau von guten sorptionsfähigen Wärmedämmungen*
- *Vermeidung des Eintrags von nutzungsbedingter Feuchte ins Dach durch feuchtevariable Dampfbremsen oder bei ungünstigen Lüftungsbedingungen Einbau einer Lüftungsanlage*
- *Ausreichende Hinterlüftung berücksichtigen, Belüftung besonders im Bereich des Firstes verbessern*
- *Keine Abdichtung des Firstes mit Folien oder Dachbahnen*
- *Dachdecker in Planung mit einbeziehen*
- *Vorgaben für Auswahl der Reetlänge und Durchmesser bereits in der Planung festlegen*

- *Grundsatz: Wasserablaufverhalten und Durchströmung für alle Dachflächen optimal planen und herstellen*

Konstruktiv ungünstiger Dachablauf durch zu viele Gauben

2. Umweltbedingte Einflüsse

- *Standort für die Neuerrichtung eines Reetdaches auf seine Eignung hinsichtlich umgebender Bebauung und Bewuchs prüfen*
- *Bäume, die zu einer dauerhaften Verschattung von Dachflächen führen, regelmäßig zurückschneiden oder fällen*
- *Dichte Vegetation wie Bäume und Büsche in Dachnähe vermeiden bzw. regelmäßig zurückschneiden*
- *auf dem Dach liegende Blätter, Pollen und Fruchtkörper regelmäßig entfernen*
- *Windhindernisse, die die freie Anströmung behindern, wenn möglich entfernen oder reduzieren*
- *Dachbereiche und ganze Flächen, die durch Umgebungsbedingungen und Feuchtigkeit zu stark beansprucht werden, nicht mit Reet eindecken*
- *Günstigen Zeitraum für Eindeckung wählen, nicht während der feuchten Jahreszeiten*

- *Grundsatz: Vermeidung von Verschattung und Feuchteeinträgen durch umliegende Vegetation*

Busch in Dachnähe

3. Handwerkliche Maßnahmen

- *Schutz des lagernden Reet vor aufsteigender Feuchte (Bodenkontakt) und Niederschlägen*
- *Auswahl des einzudeckenden Materials nach den Anforderungen der jeweiligen Dachfläche bzw. des jeweiligen Bereichs (Halmneigung)*
- *Bindung in der Mitte der Eindeckung und nicht zu fest*
- *Qualität der ausgeführten Eindeckung überprüfen*
- *Kompetenz und Fachkunde des ausführenden Dachdeckers prüfen (Referenzobjekte und frühere Kunden erfragen)*
- *Regelmäßige Pflege und Wartung des Daches durchführen*
- *Unabhängige Überprüfung der lückenlosen Ausführung der Dampfbremse*

- *Grundsatz: Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser*

4. Materialanforderungen

- *Prüfung der Materialfeuchte bei Anlieferung und über den gesamten Zeitraum der Eindeckung*
- *Qualität der Reetbunde auf Länge und Beimengungen kontrollieren*
- *Nachweise zur Herkunft und zum Schnitt des gelieferten Reet vorlegen lassen*
- *Besser grobes und langes Reet auswählen als kurzes und dünnes*
- *Regelmäßige Kontrolle der Eindeckung auf Feuchte und Aussehen*
- *Keine Verwendung von Imprägnierungen aus Gründen des Brandschutzes oder der Schimmelbeseitigung bzw. -vorbeugung*

- *Grundsatz: Eingesetztes Material auf Feuchte und Aussehen prüfen*

Alternative zu natürlichem Reet (Kunstreet)

Dünnhalmiges Reet mit vielen Beimengungen

Partner des Verbundprojektes KLIMZUG-NORD

Sponsoren

STEICO natürlich bauen & wohnen
SIEGENIA AUBI SOLUTIONS INSIDE
re natur Ein Stück Natur zurückgeholt
RAICO
HOOG & SOHN
KLATT
Aktiv-Dach-UG
HISS REET
getzner the good vibrations company
INNUNG DES BAUGEWERBES LÜBECK
company of SCHRAMM group
LANTZ 88 Das neue Energiesparfenster
pro clima
Sven Ove Siewertsen Dämmtechnik Bauberatung
BBV

Hochschulen

TUHH Technische Universität Hamburg-Harburg
UHH Universität Hamburg DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG
HCU HafenCity Universität Hamburg
LEUPHANA UNIVERSITÄT LÜNEBURG
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg Hamburg University of Applied Sciences
FACH HOCHSCHULE LÜBECK University of Applied Sciences
KlimaCampus
Fachhochschule Eberswalde

Beteiligte Firmen

WEM WANDHEIZUNG
GAP solution
LIGNO TREND Für eine nachhaltige Holzbaukultur.
MERK
Klausmartin Kretschmer
AHLBORN
WARO MSR-Technik

Einrichtungen

DWD
Helmholtz-Zentrum Geesthacht Zentrum für Material- und Küstenforschung
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Hamburg Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt

Der Forschungsverbund KLIMZUG-NORD

- ist Gewinner der Ausschreibung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten. Regionen gewinnen im Wettbewerb - die Welt gewinnt mit!“
- möchte die Metropolregion Hamburg auf die langfristigen Folgen des Klimawandels vorbereiten.
- ist am 01.04.2009 gestartet und läuft bis zum 31.03.2014.
- wird gestaltet durch Mitarbeiter/innen aus Hochschulen, Forschungseinrichtungen, Behörden, behördennahen Einrichtungen und Unternehmen.
- ist mit seinen Untersuchungen besonders in den Bereichen Klimawandel, Hochwasserschutz, Wasserhaushalt, Landwirtschaft, Stadt- und Regionalplanung, Naturschutz, Ökonomie und Bildung aktiv.
- fördert als Leitprojekt der Metropolregion Hamburg die Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen und sucht den Austausch mit Betroffenen und der interessierten Öffentlichkeit.
- bietet aktuelle und ausführliche Informationen auf www.klimzug-nord.de.