Schlussbericht

zum Vorhaben

Thema:

Strohbau 2012 - 2013 Erweiterte Zulassung, Qualitätssicherung und Strohbaurichtlinie

Zuwendungsempfänger:

Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.

Förderkennzeichen:

11NR155 bzw. **22015511**

Laufzeit:

01.07.2012 bis 31.08.2014

Datum der Veröffentlichung:

21.12.2015

Gefördert durch:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) als Projektträger des BMEL für das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe unterstützt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

INHALTSVERZEICHNIS

1. Ziele 2
1.1. Aufgabenstellung 2
1.2. Stand der Technik 2
1.3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen 3
2. Ergebnisse 3
2.1. Erzielte Ergebnisse 3
2.1.1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens 4
2.1.1.1. Erweiterung der bestehenden Zulassung für Baustroh 4
2.1.1.2. Verbesserung der Qualitätssicherung 6
2.1.1.3. Erarbeitung der Strohbaurichtlinie SBR 2014 6
2.1.2. Nebenergebnisse 8
2.1.2.1. Erprobung nicht-ballenorientierter Einbauverfahren 8
2.1.2.2. Umstellung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auf eine Europäische Technische Bewertung (ETB) 8
2.1.2.3. Zwei Brandtests und ein neues allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis F30 für lehm- oder kalkverputzte strohgedämmte Wände 8
2.1.2.4. Erstellung einer Umweltproduktdeklaration (EPD) für Baustroh 9
2.1.2.5. Erstellung einer vergleichenden Nachhaltigkeits-Bewertung Massivbau - Holzbau am Beispiel der "Graubner-Studie" 9
2.1.2.6. Konstruktionsentwicklung für eine Strohbandsäge zur Herstellung optimal ebener Strohoberflächen 9
2.1.3. Gesammelte wesentliche Erfahrungen 9
2.2. Verwertung 10
2.2.1. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten 10
2.2.2. Technische Erfolgsaussichten 10
2.3. Erkenntnisse von Dritten 10
2.4. Veröffentlichungen 10
3. Anhänge 12
3.1. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 für Baustroh 12
3.2. Merkblatt Verarbeitung von Baustroh 12
3.3. Stellungnahme: Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Wand- und Dachkonstruktionen mit Strohballendämmung inkl. Ergänzungen 12
3.4. Hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen einer Wand- und Dachkonstruktion aus Strohballendämmung. IBP-Bericht RKB-025/2013 12
3.5. Bericht „Entwicklung und Vergleich von Testverfahren zur Rohdichtebestimmung von in Wandelementen als Wärmedämmstoff eingebautem Baustroh“ 12
3.6. Strohbaurichtlinie 2014 12
3.7. Prüfbericht 3798/999/1 3 einer 360 mm dicken, tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion in Holzständerbauweise mit einer Strohballendämmung und einem beidseitig angeordneten Kalk-Putz zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer bei einseitiger Brandbeanspruchung 12
3.8. Umweltproduktdeklaration (EPD) für Baustroh 12
3.9. 3-D-Ansichten einer Konstruktionsentwicklung für eine Strohbandsäge zur Herstellung optimal ebener Strohoberflächen 12

1. Ziele

1.1. Aufgabenstellung

Mit dem Projekt „Strohballenbau 2012 – 2013. Erweiterte Zulassung, Qualitätssicherung, Strohbaurichtlinie“ wurde für die Strohbauweise in Deutschland ein klarer Bezugsrahmen für Anwender erarbeitet. Das Bauen mit Stroh ist damit eine attraktive, wählbare und technisch sichere Alternative zu herkömmlichen Bauweisen geworden.
Das Vorhaben war in zwei Arbeitspakete untergliedert. Zum einen sollte die bestehende allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erweitert werden und damit auch der Anwendungsbereich dieser Bauweise mit nachwachsenden Rohstoffen. Die Optimierung des Herstellungsprozesses und die Qualitätssicherung sollten als Voraussetzung die Erweiterung der Zulassung flankieren. Zum anderen sollte die Ausarbeitung einer Strohbaurichtlinie die fachgerechte Umsetzung in der Fläche ermöglichen und die Grundlage von fachgerechten Schulungen bilden. Insgesamt sollte durch das Projektergebnis die Vermarktbarkeit dieser Bauweise erheblich verbessert werden und sämtliche Akteure im Strohbau stärken.

Die wissenschaftlichen und technischen Arbeitsziele dieses Projektes erfassten das gesamte Spektrum, für das eine Einführung und Weiterentwicklung dieses Baustoffs aus nachwachsenden Rohstoffen notwendig ist:

- Neubewertung der Resistenz von Stroh gegen mikrobiellen Einwirkungen nach dem aktuellen Stand des Wissens
- Bewertung der Bauteilbekleidungen innen und außen zur Optimierung der bauphysikalischen Eigenschaften, bei besonderer Berücksichtigung der direkt verputzten Ausführungsart
- Neudefinition des Tauglichkeitsbereichs von Strohbauteilen gemäß den neuen Bewertungen
- Erweiterung der bauaufsichtlichen Zulassung
- Optimierung des Herstellungsprozesses von baustoffgeeigneten Strohballen in der Landwirtschaft
- Schaffung eines abgesicherten Anwendungsrahmens (Strohbaurichtlinie)

1.2. Stand der Technik

Das Projekt knüpfte an Ergebnisse aus vorangegangenen Forschungsprojekten an. Insbesondere ist hier das Forschungs- und Entwicklungsprojekt "Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden Konstruktionsart und Optimierung der bauphysikalischen Performance", gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU), Az. 22430, zu nennen, in dem 2006 die erste allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Baustrohballen erteilt wurde, sowie die seitdem gemachten Erfahrungen mit dieser Zulassung und die Erfahrungen aus dem kooperativen Forschungs- und Entwicklungsprojekt “Direktverputzte Strohballenbauteile für mehrgeschossige Gebäude der Gebäudeklasse 4“, 2011-13, gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/ZIM Impulse für Wachstum, Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (KF2798001KI0). Darüber hinaus boten die französischen Strohbauregeln (*règles professionelles*) des RFCP (*Réseau Français de la Construction en Paille*) dem französischen Fachverband

für Strohballenbau und die Lehmbauregeln des DVL (Dachverband Lehm), von denen einige seit 2014 in Lehmbaunormen festgesetzt wurden, als grundlegende Orientierungspunkte.

1.3. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Arbeitsfeld	Zusammenarbeit mit anderen Stellen bzw. Personen
Erweiterung der Zulassung	Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer, Südergellersen Ingenieurbüro für Bauphysik Dr. Otto und Klatecki GmbH, Wolfhagen Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart Norbert König (IBP), Leinfelden-Echterdingen
Umstellung von abZ auf ETB	Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer, Südergellersen
Qualitätssicherung	Serkon GmbH, Kirchlinteln Dipl.-Ing. Dirk Großmann, Poppau
Strohbaurichtlinie	Fachleute aus der Mitgliedschaft des FASBA
Brandschutznachweise	Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Braunschweig
Erstellung der EPD	Bau-EPD GmbH, Wien IBO - Österreichisches Institut für Baubiologie und –ökologie, Wien Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer, Südergellersen
Erprobung neuer Einbauverfahren inkl. Erstabschätzung der statischen Leistungsfähigkeit	Planungsbüro ökologischer Holzbau Dennis Mache, Bremen
Vergleichende Nachhaltigkeits-Bewertung Massivbau - Holzbau am Beispiel der "Graubner-Studie"	Dipl.-Ing. Architekt Dirk Scharmer, Südergellersen
Konstruktionsentwicklung einer Strohbandsäge	Heermann Maschinenbau GmbH, Frickenhausen

2. Ergebnisse

2.1. Erzielte Ergebnisse

Die wissenschaftlich-technischen Ergebnisse sowie die Nebenergebnisse und die gesammelten Erfahrungen erfüllen die Arbeitsziele und gehen darüber hinaus.
Die nun vorliegende Zulassung für Baustroh zeichnet sich aus:

- durch eine vereinfachte Bestimmung der Eigenschaften, nunmehr am eingebauten Stroh anstelle der Rohballen,
- durch einen neu gefassten Anwendungsbereich, der die Direktverputzung innen wie

außen umfasst und anhand bauphysikalischer Rahmenbedingungen umfänglich feuchtetechnisch nachgewiesene Bauteilaufbauten benennt.

Die bestehende Qualitätssicherung des Baustoffes Baustroh wurde überprüft und im Wesentlichen für tauglich befunden. Verbesserungen gab es in Details und durch die Bestimmung der Eigenschaften ausgehend vom eingebauten Zustand (und nicht länger am Rohballen allein).
Mit der Strohbaurichtlinie liegt erstmals ein vereinbarter Standard für fachgerechten Strohbau vor.
Alle drei Arbeitsbereiche zusammen ergeben für Strohbauakteure fortan einen klaren Bezugsrahmen.
Darüber hinaus wurden durch Änderungen des Arbeitsplans und mit der Aufstockung und Verlängerung des Projektes folgende Nebenergebnisse erreicht:

- Umstellung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auf eine Europäische Technische Bewertung (ETB) (Ausstellung voraussichtlich in 2015)
- zwei Brandtests und neues allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis F30 für lehm- oder kalkverputzte strohgedämmte Wände (Ausstellung voraussichtlich Anfang 2015)
- Erstellung einer Umweltproduktdeklaration (EPD) für Baustroh
- Erprobung neuer nicht-ballenorientierter Einbauverfahren inkl. Erstabschätzung ihrer statischen Leistungsfähigkeit
- Erstellung einer vergleichenden Nachhaltigkeits-Bewertung Massivbau - Holzbau am Beispiel der "Graubner-Studie"
- Konstruktionsentwicklung für eine Strohbandsäge zur Herstellung optimal ebener Strohoberflächen

2.1.1. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens

2.1.1.1. Erweiterung der bestehenden Zulassung für Baustroh

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Baustroh konnte erweitert werden. Fortan sind die Eigenschaften von Baustroh einfacher gefasst und werden vom eingebauten Zustand her bestimmt und nicht länger allein am Rohballen. Außerdem ist der Anwendungsbereich neu gefasst. Nun sind Direktverputzungen von Stroh innen wie außen ebenso möglich wie eine Außendämmung mit Stroh. Zahlreiche Bauteilaufbauten sind nun über einzuhaltende bauphysikalische Rahmenbedingungen anerkannt. Damit ist für das Bauen mit Stroh in Deutschland ein Durchbruch geschafft und strohgedämmte Gebäude sind fortan genehmigungsfähig wie jedes andere Gebäude.

Die 2006 erteilte allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 war zunächst ein Teilerfolg. Erreicht war die bauaufsichtliche Anerkennung von Stroh als Baustoff, genauer als ausfachendem Wärmedämmstoff. Damit verbunden war die Klassifizierung als normalentflammbar und die Angabe eines Rechenwertes für die Wärmeleitfähigkeit. Allerdings blieb der Anwendungsbereich praktisch eingeschränkt, insbesondere eine direkte Verputzung von Stroh war nicht möglich. Zudem zeigten die Erfahrungen aus der praktischen Arbeit mit dieser Zulassung, dass die Eigenschaften von Baustroh einfacher zu fassen wären und deren Nachweis nicht allein am Strohballen vor dem Einbau vorzunehmen wäre.
Die Erweiterung der bestehenden allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung wurde beim Deutschen Institut für Bautechnik beantragt. Dipl.-Arch. Dirk Scharmer hat dies umfänglich fachlich

begleitet. Für die Neufassung der Eigenschaften konnte an die Zusammenarbeit seit 2006 mit dem Forschungsinstitut für Wärmeschutz e. V., Gräfelfing, als Fremdüberwachungsinstitut für die Herstellung des zugelassenen Bauprodukts Baustroh angeknüpft werden. Für die Erweiterung des Anwendungsbereiches wurde an Arbeiten zur biohygrothermischen Bewertung strohgedämmter Bauteile des Ingenieurbüro für Bauphysik in Wolfhagen unter Federführung von Dipl.-Ing. Marc Klatecki angeknüpft. Die dort neu erbrachten Berechnungen wurden vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik geprüft. Der neue Text der Zulassung wurde ausformuliert mit Unterstützung von Dipl.-Phys. Norbert König vom Institut für Bauphysik, Stuttgart.

Die Neufassung der Eigenschaften von Baustroh und deren Nachweis wird fortan vom eingebauten Zustand her bestimmt. Fortan ist die Rohdichte von Baustroh bei Bezugsklima nicht mehr am Strohballen vor Einbau nachzuweisen, sondern im Gefach. Der Nachweis erfolgt dabei konkret durch Einbringen von Rückstellproben in ein Prüfgefach mit einem dem bauseitigen Einbau entsprechenden Verdichtungsgrad. Durch den Nachweis der Eigenschaften am Prüfgefach entfallen die Eigenschaften Zugfestigkeit der Schnürung, Dimensionsstabilität und die Abmessungen der Rohballen. Dieses Vorgehen bewirkt zusammengefasst folgende Verbesserungen: Die Betrachtung des eingebauten Zustandes anstelle des Rohballens entspricht der baulichen Realität; die Messungen im Rahmen der Fremdüberwachung sind am Prüfgefach technisch einfacher zu bewerkstelligen als an Rückstellproben; durch Nachweis der Eigenschaften am Prüfgefach können Eigenschaften von Baustroh vereinfacht werden oder entfallen.

Für die Neufassung des Anwendungsbereichs der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Baustroh wurde zunächst ein Vorgespräch beim DIBt anberaumt. Für das grundsätzliche Vorgehen, eine Neufassung des Anwendungsbereichs auf biohygrothermische Bewertungen von WUFI-Berechnungen zu stützen, wurde Einvernehmen hergestellt. Daraufhin wurde das Ingenieurbüro für Bauphysik in Wolfhagen beauftragt, einen Katalog von Bauteilaufbauten zu berechnen. Dies wurde dann beim DIBt eingereicht und anschließend vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik geprüft und dem Vorgehen nach bestätigt. Auf der Grundlage dieser Arbeiten wurde dann ein Entwurf des Anwendungsbereiches neu gefasst, der auf Grundlage des untersuchten Bauteilkataloges bauphysikalische Rahmenbedingungen für feuchtetechnisch unkritische Bausteilaufbauten formulierte. Nach abschließender Abstimmung mit dem Sachverständigenausschuss des DIBt konnte die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung deutlich erweitert ausgestellt werden.

Zu den oben bereits benannten Neuerungen kommt hinzu: Das Bauprodukt heißt nicht mehr Baustrohballen, sondern Baustroh, da die baulich relevanten Eigenschaften nicht von der Bereitstellung als Strohballen abhängen, sondern vom Material Stroh (mit einer bestimmten Rohdichte). Außerdem wird die Verarbeitung durch Fachpersonal vorgegeben und der Verarbeiter hat den Einbau zu dokumentieren. (Letzteres ergibt sich logisch aus der Bestimmung der Eigenschaften im eingebauten Zustand.)

Diese neu gefasste allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung vom Juni 2014 bedeutet für das Bauen mit Stroh in Deutschland eine weitestgehende bauaufsichtliche Anerkennung. Neben dem grundlegenden Nachweis der Normalentflammbarkeit und eines Rechenwertes für die Wärmeleitfähigkeit existiert nun ein nachgewiesener Anwendungsbereich, der zahlreiche Bauteilaufbauten abdeckt. Nachgewiesen sind Außenwände und belüftete Dächer (inkl. oberster Geschossdecken), direkt verputzte oder anderweitig bekleidete Bauteile sowie

wandstarke wie außenseitige Strohdämmungen. Die zugelassenen Bauteilaufbauten werden allein durch einzuhaltende bauphysikalische Rahmenbedingungen definiert und sind insofern sowohl materialunabhängig als auch herstellerunabhängig.

Mit dieser Zulassung liegt ein weitestgehender Nachweis strohgedämmter Konstruktionen vor, der zukünftig zahlreiche Bauvorhaben mit Stroh möglich macht. Die Entwicklungsarbeit der letzten zehn Jahre des Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. konnte damit zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden.

2.1.1.2. Verbesserung der Qualitätssicherung

Die bestehende Qualitätssicherung des Baustoffes Baustroh wurde überprüft und im Wesentlichen für tauglich befunden. Verbesserungen gab es in Details der Datenaufnahme und der Berechnung der Rohdichte sowie durch die Bestimmung der Eigenschaften vom eingebauten Zustand her. Außerdem konnten verbesserte Messinstrumente für die Feuchte- und Temperaturmessung und für die Messung der Ausdehnung von Strohballen beschafft werden. Mit einer Testreihe zur Dichtebestimmung von Stroh in Probegefachen konnte ein verbessertes Verständnis für die Verdichtung von Stroh beim Einbau gewonnen werden. Eine zunächst verfolgte Entwicklung eines Messverfahrens der Rohdichte strohgedämmter Gefache per Kernbohrung scheiterte am hohen Lochlaibungswiderstand. Für den Nachweis der Eigenschaften von Baustroh wurde ein solches Verfahren schließlich mit der Entwicklung eines Prüfgefaches verzichtbar.

2.1.1.3. Erarbeitung der Strohbaurichtlinie SBR 2014

Mit der Strohbaurichtlinie liegt erstmals ein Standard für fachgerechten Strohbau vor. Die Strohbaurichtlinie bezieht sich weitestgehend auf Konstruktionen, bei denen Stroh als ausfachender nicht druckbelasteter Wärmedämmstoff verwendet wird. Sie fasst die Erfahrungen und das Wissen der Strohbauakteure in Deutschland aus den letzten 15 Jahren zusammen. Sie wurde unter Beteiligung erfahrener und im FASBA organisierter Strohbauakteure entwickelt. In mehreren Abstimmungsrunden konnte ein Text formuliert werden, der für Anwender fortan als Maßgabe dienen wird. Ihr Ziel ist es, den Anwendern ein klares, abgesichertes Regelwerk an die Hand zu geben und damit für das Bauen mit Stroh einen Qualitätsstandard zu setzen.

Auf Grundlage der Kontakte und des Austausches mit den französischen Strohballenbau-Fachverband *Réseau Français de la Construction en Paille* (*RFCP*) und dem Dachverband Lehm (DVL) wurden die Verfahrensweisen und Auswirkungen der jeweils entwickelten Richtlinien in der ersten Phase des Projektes untersucht und bewertet.

In der Recherchephase wurden die *règles professionelles* des *RFCP* und deren Qualitätssystem untersucht und auf ihre Anwendbarkeit im deutschen Rahmen geprüft. Als vergleichbare Richtlinie wurden die Lehmbauregeln des DVL untersucht. Mit beiden Verbänden wurde Kontakt aufgenommen und die Vorgehensweise und deren Anwendung diskutiert.

In einem eigens zusammen gestellten Kreis von Fachleuten aus der Mitgliedschaft des Fachverband Strohballenbau wurde die geeignete Vorgehensweise für die Ausarbeitung einer Strohbaurichtlinie diskutiert und festgelegt. Es wurde entschieden, sich an die inhaltliche

Struktur der Lehmbauregeln anzulehnen. Sie beschreiben die zu erreichenden Qualitäten und wurden durch technische Merkblätter ergänzt.

Ein erster detaillierter Entwurf der SBR wurde im Dezember 2012 in einem kleinen Rahmen diskutiert und bewertet. Ein überarbeiteter Entwurf wurde im Februar 2013 in einem ausgewählten erweiterten Fachkreis veröffentlicht und erneut überarbeitet. Einzelne Kapitel wurden von spezialisierten Fachleuten verantwortlich betreut. Diese wurden bis Mitte Mai in einer gemeinsam überarbeiteten Fassung zur weiteren Diskussion in einem erweiterten Fachkreis vorgestellt und diskutiert. Insbesondere noch strittige Punkte wurden hier diskutiert und geklärt. In kleineren Arbeitsgruppen wurden alle Kapitel anhand der Einwände und Vorschläge überarbeitet und erneut gemeinsam abgestimmt. Im Februar 2014 lag dann die soweit fertige Fassung der SBR 2014 vor. Wenig später, nach Vorliegen der erweiterten Zulassung wurden deren wesentlichen Merkmale hier im Anwendungsbereich noch eingearbeitet und fachlich erläutert.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt bei der Erarbeitung der Richtlinie bildeten die Unterscheidungen zwischen Bestimmungen, die grundsätzlichen eingehalten werden müssen und solchen, die eingehalten werden sollen, falls es keine Begründung für eine Abweichung gibt. Außerdem benennt sie Handlungsmöglichkeiten.

Die Strohbaurichtlinie SBR 2014 gliedert sich in 6 Kapitel sowie ein Literaturverzeichnis, ein Stichwortverzeichnis und die Anlagen „Merkblatt Verarbeitung von Baustroh“ und „Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung“. Im Kapitel „Allgemeines“ werden Begriffsdefinitionen, der Geltungsbereich und die Allgemeinen Anforderungen behandelt. Im zweiten Kapitel wird der Baustoff in seinen wesentlichen Merkmalen beschrieben. Das dritte Kapitel „Bauphysikalische Eigenschaften“ definiert die Parameter für Brandschutz, Wärmeschutz, Schallschutz und Feuchteschutz. Im vierten Kapitel „Bauen mit Stroh“ werden die Anforderungen an die Planung und Ausführung behandelt sowie der Anwendungsbereich gemäß der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ausführlich erläutert. Anderweitige Anwendungen werden ebenfalls behandelt. Im Fünften Kapitel „Stroheinbau“ werden die Voraussetzungen für den Einbau von Stroh und die Anforderungen an eingebautes Stroh behandelt und der Schutz strohgedämmter Bauteile während der Bauzeit. Im sechsten Kapitel „Bekleidungen von Stroh“ werden die Aufgaben und Anforderungen an die Bekleidungen im Allgemeinen und im Besonderen für Putze und Plattenwerkstoffen definiert.

Die SBR 2014 wurde als PDF auf der Homepage des FASBA zum kostenfreien Download zur Verfügung gestellt. Eine gedruckte 54-seitige Broschüre ist gegen eine Gebühr von 12 € beim FASBA erhältlich.

Die Ergebnisse aus allen drei Arbeitsbereichen zusammen ergeben für Strohbauakteure in Deutschland einen klaren Bezugsrahmen. Fortan ist das Bauen mit Stroh eine praktisch wählbare Alternative zu anderen Bauweisen

2.1.2. Nebenergebnisse

Darüber hinaus wurden mit Aufstockung und Verlängerung des Projektes folgende Nebenergebnisse erreicht:

2.1.2.1. Erprobung nicht-ballenorientierter Einbauverfahren

Die Auseinandersetzung mit der bestehenden Qualitätssicherung führte zu der Erkenntnis, dass die bislang ausschließlich praktizierte Verwendung quaderförmiger Strohballen verschiedener Formate dem Bauen mit Stroh Vorgaben macht. Der Baustoff Stroh steht in der aus baulicher Sicht willkürlich bestimmten Formgebung aus Strohballenpressen zur Verfügung, wobei besonders eine Variabilität in den Dämmstärken wünschenswert wäre. Dazu konnten erste Probegefache erfolgreich erstellt werden, und eine Erstabschätzung der statischen Leistungsfähigkeit der tragenden Bauteile kommt zu positiven Ergebnissen. Eine Entwicklung einer StrohBauStation zur Herstellung von Holz-Stroh-Elementen variabler Dämmstärke für Neubau und Bestandsdämmungen erscheint damit vielversprechend.

2.1.2.2. Umstellung der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung auf eine Europäische Technische Bewertung (ETB)

Im Projekt wurde zunächst fachlich an der Erweiterung der bestehenden Zulassung und dabei das Format der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nach Abstimmung mit dem Deutschen Institut für Bautechnik beibehalten. Nach Ausstellung der erweiterten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung im Juni 2014 wurde die Umstellung auf eine Europäische Technische Bewertung (ETB) beantragt. Dabei sollen die fachlichen Inhalte vollständig und ohne Änderung übernommen werden. Die Ausstellung erfolgt voraussichtlich in 2015.

2.1.2.3. Zwei Brandtests und ein neues allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis F30 für lehm- oder kalkverputzte strohgedämmte Wände

Bei der Materialprüfanstalt Braunschweig wurden zwei Brandtests als Grundlage der Neufassung eines allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses für strohgedämmte Bauteile mit Feuerwiderstandsklasse F30B durchgeführt. Der erste Test ohne Bekleidungen scheiterte. Im Erfolgsfall wäre F30B unabhängig von jeglicher Bekleidung nachgewiesen. Anschließend wurde ein erfolgreicher Brandtest mit einer beidseitigen, dünnen Kalkputzschicht durchgeführt. Damit kann ein neues allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis für strohgedämmte Bauteile ausgestellt werden, das sowohl Lehm als auch Kalk als Putz zulässt. Die Ausstellung erfolgt voraussichtlich Anfang 2015.

2.1.2.4. Erstellung einer Umweltproduktdeklaration (EPD) für Baustroh

Für das zugelassene Bauprodukt Baustroh wurde eine EPD erstellt. Dafür konnte auf vorhandenes Datenmaterial zurückgegriffen werden. Mit der EPD können die ökobilanziellen Vorzüge strohgedämmter Bauteile nach den anerkannten Verfahren dargestellt werden.

2.1.2.5. Erstellung einer vergleichenden Nachhaltigkeits-Bewertung Massivbau - Holzbau am Beispiel der "Graubner-Studie"

Anlässlich der in von Prof. Graubner verfassten Studie „Nachhaltigkeit von Ein- und Zweifamilienhäusern in Massivbauweise“ getätigten Aussagen sollte mit Hilfe von vergleichenden ökologischen Gebäudebewertungen untersucht werden, inwieweit diese sich von anderen Bauweisen unterscheiden und welche Rolle hierbei auch die Berechnungs- und Bewertungsregeln der beiden Bewertungssysteme BNB und DGNB spielen.

Zwei Sachverhalte konnten aufgezeigt werden:

1. Von den Effekten aus betrachtet gehen von beiden Bewertungssystemen kaum Anreize für mehr Klima- und Umweltschutz bei der Baustoff- und Gebäudeerstellung aus. Jegliche Optimierung der Herstellphase geht durch die besonderen Ausgestaltungen der Berechnungs- und Bewertungsregeln unter.
2. Andererseits zeigen sich bei den konkreten Ergebnissen der Ökobilanzkriterien sehr wohl erhebliche Unterschiede zwischen den Bauweisen, insbesondere in den beiden wichtigen Bereichen des Primärenergiebedarfs, nicht erneuerbar sowie im Treibhauspotenzial.

Aus Sicht des Projektnehmers besteht hier kurzfristig weiterer, dringender Handlungsbedarf, solange innerhalb von beiden Systemen jegliche Optimierung der Herstellphase, also auch die Vorteilhaftigkeit von nachwachsenden Rohstoffen keine Berücksichtigung findet bleibt ein großes Anreizpotenzial ungenutzt.

2.1.2.6. Konstruktionsentwicklung für eine Strohbandsäge zur Herstellung optimal ebener Strohoberflächen

Um die Ebenheit von Strohoberflächen zu verbessern, wurde eine Strohbandsäge projektiert, mit der strohgedämmte Elemente in der Waagerechten flächig eben geschnitten werden können. Die Pläne sind ausführungsreif.

2.1.3. Gesammelte wesentliche Erfahrungen

Als der FASBA den Weg zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohbauweise beschritt, konnte mit der Entwicklung einer ersten Zulassung für Stroh als zugelassenes Bauprodukt 2006 zunächst nur ein Teilerfolg erzielt werden. Mit dem nun abgeschlossenen Projekt erweist sich der damals eingeschlagene Weg als langfristig zielführend. Mit der erweiterten Zulassung und der Strohbaurichtlinie liegt nun ein klarer Bezugsrahmen für Strohbauakteure in Deutschland vor.

2.2. Verwertung

2.2.1. Wissenschaftliche Erfolgsaussichten

Mit dem Nachweis der feuchtetechnischen Eignung per Computersimulation sind im Anwendungsbereich umfänglich mögliche Bauteilaufbauten beschrieben. Damit sind hier die Grundlagen zum Bauen mit Stroh in Deutschland erreicht. Mit demselben Ansatz können zukünftig auch für Klimate anderer Länder und auch für die wenigen, noch nicht erfassten Bauteilaufbauten entsprechende Aussagen getroffen werden.

2.2.2. Technische Erfolgsaussichten

Die verbesserte Qualitätssicherung bei der Herstellung von Baustroh wird dem Strohbau in Deutschland allgemein zugute kommen. Darüber hinaus wurde im Laufe des Projektes erkannt, dass die Verwendung der landwirtschaftlich verfügbaren Ballenformate zukünftig durch nicht-ballenorientierte Einbauverfahren zu ergänzen ist. Nur so können variable Dämmstärken und eine marktfähige Bautechnik für Bestandsdämmungen mit Stroh erreicht werden.

Mit dem nun vorliegenden klaren Bezugsrahmen für Anwender der Strohbauweise ist eine deutliche und langfristige Steigerung der Strohbauaktivität möglich. Für einen auch wirtschaftlichen Durchbruch bedarf es jedoch weiterer Schritte: Qualifizierung von Akteuren (Planer, Handwerker), Nachfragesteigerung, flächendeckende Lieferfähigkeit von Baustroh.

2.3. Erkenntnisse von Dritten

Der Kontakt mit der Firma Ecococon in Litauen zeigte, dass dort bereits ein nicht-ballenorientiertes Strohbauverfahren entwickelt ist, mit dem zumindest eingeschossig strohgedämmte Gebäude errichtet werden können. Da dort ein Know-how-Transfer nicht beabsichtigt ist, bleibt die Inspiration, hierzulande nicht-ballenorientierte Strohbauverfahren zu entwickeln, die mehr als eingeschossige Neubauten und auch die Bestandsdämmung, jeweils in variabler Dämmstärke, ermöglichen.
Die Strohbaupraxis in Frankreich kennt bereits einen Standard für fachgerechtes Bauen mit Stroh (*régles professionelles*). Aufgrund des dort anders angelegten baurechtlichen Rahmens erschien dieses Regelwerk nur bedingt für deutsche Verhältnisse geeignet. Interessant ist darüber hinaus, dass in Frankreich bereits tausende Strohballenhäuser gebaut wurden, während deren Zahl hierzulande mit ca. 300 angegeben wird.

2.4. Veröffentlichungen

Folgende Projektergebnisse sind veröffentlicht bzw. werden mit Ausstellung veröffentlicht:

- allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für Baustroh bzw. voraussichtlich 2015 Europäische Technische Bewertung für Baustroh,
- Strohbaurichtlinie,
- Umweltproduktdeklaration für Baustroh,

- allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis F30B für strohgedämmte Wandkonstruktionen,

Die Ergebnisse des Projektes, vorrangig die erweiterte Zulassung und die Strohbaurichtlinie, werden von folgenden Akteuren in der Öffentlichkeitsarbeit verwendet:
FASBA e. V.,
BauStroh GmbH,
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. inkl. BAUnatour,
Norddeutsches Zentrum für Nachhaltiges Bauen GmbH (NZNB),
Bildungs-Werkstatt Nachhaltigkeit e.V. (BiWeNa).

3. Anhänge

3.1. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 für Baustroh

3.2. Merkblatt Verarbeitung von Baustroh

3.3. Stellungnahme: Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Wand- und Dachkonstruktionen mit Strohballendämmung inkl. Ergänzungen

3.4. Hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen einer Wand- und Dachkonstruktion aus Strohballendämmung. IBP-Bericht RKB-025/2013

3.5. Bericht „Entwicklung und Vergleich von Testverfahren zur Rohdichtebestimmung von in Wandelementen als Wärmedämmstoff eingebautem Baustroh“

3.6. Strohbaurichtlinie 2014

3.7. Prüfbericht 3798/999/1 3 einer 360 mm dicken, tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion in Holzständerbauweise mit einer Strohballendämmung und einem beidseitig angeordneten Kalk-Putz zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer bei einseitiger Brandbeanspruchung

3.8. Umweltproduktdeklaration (EPD) für Baustroh

3.9. 3-D-Ansichten einer Konstruktionsentwicklung für eine Strohbandsäge zur Herstellung optimal ebener Strohoberflächen

Deutsches Institut für Bautechnik

Zulassungsstelle für Bauprodukte und Bauarten
Bautechnisches Prüfamt
Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam getragene Anstalt des öffentlichen Rechts
Mitglied der EOTA, der UEAtc und der WFTAO

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Datum: 03.06.2014

Geschäftszeichen: II 51-1.23.11-588/12

Zulassungsnummer:
Z-23.11-1595

Geltungsdauer
vom: **3. Juni 2014**
bis: **1. Februar 2019**

Antragsteller:
Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V. (FASBA)
Artilleriestraße 6
27283 Verden

Zulassungsgegenstand:
Wärmedämmstoff aus Strohballen "Baustroh"

Der oben genannte Zulassungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen.
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung umfasst acht Seiten und eine Anlage.
Diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Nr. Z-23.11-1595 vom 22. Januar 2014.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

1 Mit der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Zulassungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.

2 Sofern in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Anforderungen an die besondere Sachkunde und Erfahrung der mit der Herstellung von Bauprodukten und Bauarten betrauten Personen nach den § 17 Abs. 5 Musterbauordnung entsprechenden Länderregelungen gestellt werden, ist zu beachten, dass diese Sachkunde und Erfahrung auch durch gleichwertige Nachweise anderer Mitgliedstaaten der Europäischen Union belegt werden kann. Dies gilt ggf. auch für im Rahmen des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) oder anderer bilateraler Abkommen vorgelegte gleichwertige Nachweise.

3 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.

4 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.

5 Hersteller und Vertreiber des Zulassungsgegenstandes haben, unbeschadet weiter gehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", dem Verwender bzw. Anwender des Zulassungsgegenstandes Kopien der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zur Verfügung zu stellen und darauf hinzuweisen, dass die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung an der Verwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden Kopien der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung zur Verfügung zu stellen.

6 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung nicht widersprechen. Übersetzungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.

7 Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

II BESONDERE BESTIMMUNGEN

1 Zulassungsgegenstand und Anwendungsbereich

1.1 Zulassungsgegenstand

Die allgemeine bauaufsichtliche Zulassung gilt für die Herstellung und Verwendung des Wärmedämmstoffes aus gepresstem Getreidestroh mit ausgerichteten Halmen.

Die Herstellung des Wärmedämmstoffes als Rohballen erfolgt zunächst durch landwirtschaftliche Ballenpressen direkt bei der Getreideernte auf dem Acker und anschließende Verarbeitung der Rohballen an der Anwendungsstelle durch geschultes Fachpersonal.

Die Rohballen haben folgende ca. Abmessungen:

Lieferdicke/Lieferhöhe:	200 bis 700 mm
Lieferbreite:	300 bis 900 mm
Lieferlänge:	500 bis 3000 mm

Das Bauprodukt enthält keine im Rahmen des Herstellungsprozesses beigefügten Zusätze.

1.2 Anwendungsbereich

Der Wärmedämmstoff ist in eine tragende oder nichttragende Außenwand-Konstruktion oder zwischen Dachsparren mit einem Unterstützungsabstand im lichten Zwischenmaß von weniger als einem Meter einzubauen und übernimmt die Funktion der Wärmedämmung.

Der Wärmedämmstoff ist nicht druckbelastbar und darf nicht für die Standsicherheit einer baulichen Anlage oder deren Teile dienen.

Hinsichtlich des Brandverhaltens darf der Wärmedämmstoff als normalentflammbarer Baustoff gemäß den Landesbauordnungen verwendet werden.

2 Bestimmungen für das Bauprodukt

2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung

2.1.1 Zusammensetzung und Herstellungsverfahren

Der Wärmedämmstoff muss nach der Zusammensetzung und dem Herstellungsverfahren dem entsprechen, der den Zulassungsversuchen zugrunde lag.

Zusammensetzung und Herstellungsverfahren sind beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt. Änderungen dürfen nur mit Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik erfolgen.

2.1.2 Rohdichte

Die Rohdichte ist an Prüfgefachen[1] zu bestimmen, die mit dem Wärmedämmstoff gemäß der vom Antragsteller herauszugebenden Verarbeitungsrichtlinie befüllt sind.

Jeder Einzelwert der Rohdichte (nach Konditionierung, Lagerung unter Normalklima 23 °C/50 %) des Wärmedämmstoffes muss bei Prüfung nach DIN EN 1602[2] zwischen 85 kg/m³ und 115 kg/m³ liegen.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

[1] Der Konstruktionsaufbau des Prüfgefaches muss den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben entsprechen und ist den am Übereinstimmungsnachweisverfahren Beteiligten einschließlich der fremdüberwachenden Stelle zur Verfügung zu stellen.

[2] DIN EN 1602:2013-05 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen; Bestimmung der Rohdichte; Deutsche Fassung EN 1602:2013

2.1.3 Feuchteaufnahme

Der Wärmedämmstoff darf bei 23 °C und 80 % relativer Luftfeuchte, geprüft nach DIN EN ISO 12571[3], nicht mehr als 18 Masse-% Feuchte aufnehmen.

2.1.4 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit des Wärmedämmstoffes ist an Probekörpern aus dem Prüfgefach[1] quer zur Halmrichtung (in Dickenrichtung) bei 10 °C Mitteltemperatur nach DIN EN 12667[4] zu bestimmen. Der Messwert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{10,tr}$ darf den Grenzwert λ_{grenz} = 0,044 W/(m· K) nicht überschreiten:

2.1.5 Brandverhalten

Der Wärmedämmstoff muss die Anforderungen an Bauprodukte der Klasse E nach DIN EN 13501-1[5] erfüllen.

Die Prüfungen sind nach DIN EN ISO 11925-2[6] an Probekörpern aus dem Prüfgefach[1] durchzuführen.

2.2 Herstellung und Kennzeichnung

2.2.1 Herstellung

Bei der Herstellung des Wärmedämmstoffes sind die Bestimmungen von Abschnitt 2.1 einzuhalten.

2.2.2 Kennzeichnung

Das Bauprodukt muss vom Hersteller auf dem Lieferschein bzw. auf den Begleitpapieren mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung darf nur erfolgen, wenn die Voraussetzungen nach Abschnitt 2.3 erfüllt sind.

Weiterhin sind folgende Angaben anzubringen:

- "Baustroh" als Wärmedämmstoff nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z-23.11-1595
- Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit
  λ = 0,052 W/(m· K) quer zur Halmrichtung
- Lieferdicke, Lieferbreite, Lieferlänge in mm
- normalentflammbar (Klasse E nach DIN EN 13501-1)
- Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Artilleriestraße 6, 27283 Verden
- Herstellwerk[7] und Herstelldatum[7]

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

3	DIN EN ISO 12571:2013-12	Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten; Bestimmung der hygroskopischen Sorptionseigenschaften (ISO 12571:2013); Deutsche Fassung EN ISO 12571:2013
4	DIN EN 12667:2001-05	Wärmetechnisches Verhalten von Baustoffen und Bauprodukten; Bestimmung des Wärmedurchlasswiderstandes nach dem Verfahren mit dem Plattengerät und dem Wärmestrommessplatten-Gerät; Produkte mit hohem und mittlerem Wärmedurchlasswidertand; Deutsche Fassung EN 12667:2001
5	DIN EN 13501-1:2010-01	Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten; Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten; Deutsche Fassung EN 13501-1:2007+A1:2009
6	DIN EN ISO 11925-2:2011-02	Prüfungen zum Brandverhalten; Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung; Teil 2: Einzelflammentest (ISO 11925-2:2010); Deutsche Fassung EN ISO 11925-2:2010
7	Darf auch verschlüsselt angegeben werden.	

2.3 Übereinstimmungsnachweis

2.3.1 Allgemeines

Die Bestätigung der Übereinstimmung des Bauprodukts mit den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung muss für jedes Herstellwerk mit einem Übereinstimmungszertifikat auf der Grundlage einer werkseigenen Produktionskontrolle und einer regelmäßigen Fremdüberwachung einschließlich einer Erstprüfung des Bauprodukts nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen erfolgen.

Für die Erteilung des Übereinstimmungszertifikats und die Fremdüberwachung hat der Hersteller des Bauprodukts eine hierfür anerkannte Zertifizierungsstelle sowie eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle einzuschalten.

Die Erklärung, dass ein Übereinstimmungszertifikat erteilt ist, hat der Hersteller durch Kennzeichnung der Bauprodukte mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) unter Hinweis auf den Verwendungszweck abzugeben.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist von der Zertifizierungsstelle eine Kopie des von ihr erteilten Übereinstimmungszertifikats zur Kenntnis zu geben.

2.3.2 Werkseigene Produktionskontrolle

In jedem Herstellwerk ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen. Unter werkseigener Produktionskontrolle wird die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion verstanden, mit der dieser sicherstellt, dass die von ihm hergestellten Bauprodukte den Bestimmungen dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen.

Bei jeder Lieferung sind die Anforderungen an die Rohballen durch Sichtkontrolle zu überprüfen und zu dokumentieren. Dabei dürfen keine wesentlichen Anteile von Ackerunkraut vorhanden sein. Schimmelpilzbefall ist durch Inaugenscheinnahme und Geruchsprobe auszuschließen.

Die werkseigene Produktionskontrolle soll mindestens die in Tabelle 1 aufgeführten Maßnahmen einschließen.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials und der Bestandteile
- Art der Kontrolle oder Prüfung
- Datum der Herstellung und der Prüfung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials oder der Bestandteile
- Ergebnis der Kontrollen und Prüfungen und, soweit zutreffend, Vergleich mit den Anforderungen
- Unterschrift des für die werkseigene Produktionskontrolle Verantwortlichen

Die Aufzeichnungen sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren und der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen. Sie sind dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

Bei ungenügendem Prüfergebnis sind vom Hersteller unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Abstellung des Mangels zu treffen. Bauprodukte, die den Anforderungen nicht entsprechen, sind so zu handhaben, dass Verwechslungen mit übereinstimmenden ausgeschlossen werden. Nach Abstellung des Mangels ist - soweit technisch möglich und zum Nachweis der Mängelbeseitigung erforderlich - die betreffende Prüfung unverzüglich zu wiederholen.

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

2.3.3 Fremdüberwachung

In jedem Herstellwerk ist die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig zu überprüfen, mindestens jedoch zweimal jährlich.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung des Bauprodukts durchzuführen, sind Proben nach dem festgelegten Prüfplan zu entnehmen und zu prüfen und können auch Proben für Stichprobenprüfungen entnommen werden. Die Probenahme und Prüfungen obliegen jeweils der anerkannten Überwachungsstelle.

Es sind mindestens die Prüfungen nach Tabelle 1 sowie die Kontrolle der Kennzeichnung durchzuführen.

Die Ergebnisse der Zertifizierung und Fremdüberwachung sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren. Sie sind von der Zertifizierungsstelle oder der Überwachungsstelle dem Deutschen Institut für Bautechnik und auf Verlangen der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde vorzulegen.

Tabelle 1: Art und Umfang der Prüfungen im Rahmen des Übereinstimmungsnachweises

Eigenschaft	Prüfung nach Abschnitt	Mindesthäufigkeit	
		Werkseigene Produktionskontrolle*	Fremdüberwachung**
Rohdichte	2.1.2	täglich	zweimal jährlich
Feuchteaufnahme	2.1.3	einmal monatlich	zweimal jährlich
Wärmeleitfähigkeit	2.1.4	-	zweimal jährlich
Brandverhalten	2.1.5	einmal wöchentlich	zweimal jährlich

* an drei Proben; diese Prüfungen sind in der Verantwortung des Antragstellers durchzuführen
** an zwei Dicken

3 Bestimmungen für Entwurf und Bemessung

3.1 Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit

Beim rechnerischen Nachweis des Wärmedurchlasswiderstandes der Bauteile gilt für den Wärmedämmstoff quer zur Halmrichtung folgender Bemessungswert λ der Wärmeleitfähigkeit:

$$\lambda = 0{,}052 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

3.2 Nenndicke (Planungsdicke)

Bei der Berechnung des Wärmedurchlasswiderstandes ist für den Wärmedämmstoff die Nenndicke (Planungsdicke) anzusetzen.

3.3 Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl

Der rechnerische Nachweis eines möglichen Tauwasserausfalls infolge Dampfdiffusion nach DIN 4108-3[8] ist für den Wärmedämmstoff mit der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl $\mu = 2$ zu führen.

3.4 Brandverhalten

Der Wärmedämmstoff ist normalentflammbar (Klasse E nach DIN EN 13501-1[5]).

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

[8] DIN 4108-3:2001-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung

4 Bestimmungen für die Ausführung

4.1 Anforderungen an die konstruktive Ausführung

Der Wärmedämmstoff darf nur in Konstruktionen eingebaut werden, die vor Niederschlag, Bewitterung und Feuchtigkeit geschützt sind.

Der Wärmedämmstoff darf verwendet werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

1) Der Wärmedämmstoff wird trocken eingebaut (Feuchtegehalt $u \leq 18$ M.-%).
2) Die Einbaufeuchte des Konstruktionsholzes beträgt zum Zeitpunkt des raumseitigen Schließens der Bauteile $u \leq 20$ M.-%.
3) Bei den Konstruktionsaufbauten ist die innere raumseitige Bekleidung dauerhaft fugendicht auszubilden, so dass keine strömende Luft von innen nach außen in die Konstruktion gelangen kann.
4) Der Wärmedämmstoff wird so eingebaut, dass die Halme senkrecht zum Wärmestrom (quer zur Dickenrichtung) ausgerichtet sind.
5) Sämtliche Bauteile sind so zu planen und auszuführen, dass kein Schimmelpilzwachstum im Dämmstoff auftreten kann.

   Geeignete Konstruktionen sind:
   a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz
   b) frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen
   c) Dachkonstruktionen mit belüfteter Dachdeckung

   Die dabei einzuhaltenden Bauteileigenschaften für die innere und äußere Bekleidung, die Dacheindeckung oder die Beschichtung auf dem Außenputz sind in Anlage 1 dargestellt.

4.2 Anforderungen an die Wärmedämmschicht

4.2.1 Rohdichte nach dem Einbau

Die Wärmedämmschicht muss im eingebauten Zustand eine Rohdichte von 85 kg/m³ bis 115 kg/m³ aufweisen.

Die Rohdichte der eingebauten Wärmedämmschicht ist vom Verarbeiter zu ermitteln und in einer Bescheinigung nach Abschnitt 4.3 anzugeben.

4.2.2 Dicke nach dem Einbau

Die Dicke der Wärmedämmschicht nach dem Einbau darf die geforderte Nenndicke (Planungsdicke) nicht unterschreiten.

Die Dicke der eingebauten Wärmedämmschicht ist vom Verarbeiter zu ermitteln und in einer Bescheinigung nach Abschnitt 4.3 anzugeben.

4.3 Erklärung des Verarbeiters

Für jede Anwendungsstelle hat der Verarbeiter, der die Verantwortung für den Einbau des Wärmedämmstoffes trägt, eine Bescheinigung auszustellen, die unter Bezug auf diese allgemeine bauaufsichtliche Zulassung mindestens folgende Angaben enthalten muss:

- "Baustroh" als Wärmedämmstoff nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung Nr. Z-23.11-1595
- Ort und Datum des Einbaus
- Einbaudicke
- Einbau-Rohdichte
- Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit
- normalentflammbar, Klasse E

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

Die Bescheinigung ist dem Bauherrn auszuhändigen und von diesem zu den Bauakten einzureichen.

Frank Iffländer
Referatsleiter

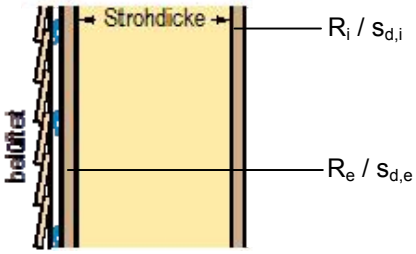
Beglaubigt

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

Feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung

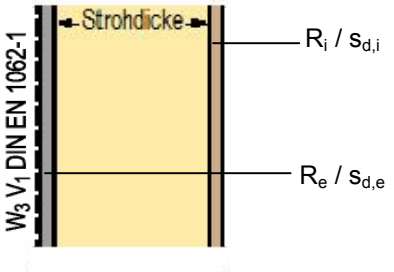
a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 1,00	**≥ 0,10**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**-**
2	≤ 0,48	**≥ 0,76**	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,00	**≥ 1,00**
4	≤ 0,48	**≥ 2,00**	≤ 0,35	≤ 1,50	**≥ 0,70**
5	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 1,50	**≥ 1,43**
6	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	≤ 2,00	**≥ 1,90**



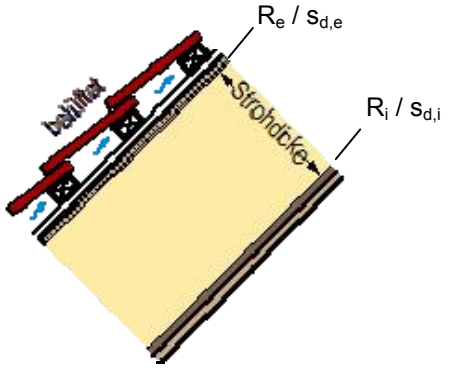
b) Frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen
Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W_3 und V_1

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 0,70	**≥ 0,10**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**-**
2	≤ 0,48	**≥ 0,76**	≤ 3,14	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	**≥ 3,00**	≤ 0,35	≤ 1,50	**≥ 0,30**



c) Dachkonstruktionen mit belüfteter Dachdeckung

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 0,48	**≥ 2,00**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**≥ 0,14**
2	**≤ 0,36**	**≥ $s_{d,e}$**	≤ 0,35	≤ 3,00	≥ 0,14



Hinweis:
Zeile 1 charakterisiert die jeweils zulässige Grundvariante.
Weitere Zeilen: mögliche Varianten mit geänderten Bauteileigenschaften (grau hinterlegt), die in der Folge zu ändernde Schichteigenschaften erfordern (fett gedruckte Werte).

Symbole, Indizes:
$s_{d,e}$ diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die äußeren Schichten / Bekleidungen
$s_{d,i}$ diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die inneren Schichten / Bekleidungen
R_i Wärmedurchlasswiderstandes für die inneren Schichten / Bekleidungen
R_e Wärmedurchlasswiderstandes für die äußeren Schichten / Bekleidungen
W_3 Wasserdurchlässigkeit der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $W_{24} \leq 0{,}1$ kg/(m²·√h); Index 24 = Prüfdauer 24 h
V_1 Wasserdampf-Diffusionsstromdichte der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $V_1 > 150$ g/(m²·d) mit $s_d < 0{,}14$ m

Elektronische Kopie der abZ des DIBt: Z-23.11-1595

Wärmedämmstoff aus Strohballen "Baustroh"	Anlage 1
Zulässige Baukonstruktionen	

Merkblatt Verarbeitung von Baustroh
- Stand: 20. März 2014 –

Herausgeber: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Artilleriestr. 6, 27283 Verden

Inhalt

1 Allgemeines 1
1.1 Der Baustoff 1
1.2 Eigenschaften von Baustroh 2
1.3 Einsatzbereich 2
2 Voraussetzungen für den Einbau von Baustroh 3
2.1 Ballenabmessungen und Gefachabmessungen 3
2.2 Ermittlung der geeigneten lichten Gefachbreite 3
2.3 Bestellung, Lieferung und Lagerung 3
3 Ausfachung mit Baustroh 4
3.1 Stroheinbau 4
3.2 Herstellung von ebenen Strohoberflächen für spätere Bekleidungen 5

1 Allgemeines

Dieses Merkblatt beschreibt die Verarbeitung des Wärmedämmstoffs Baustroh. Die Eigenschaften und der Anwendungsbereich sind in der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 definiert.

1.1 Der Baustoff

Baustroh ist ein Wärmedämmstoff aus reinem Getreidestroh. Baustroh bleibt nach der Ernte unbehandelt und erhält keinerlei Zusätze.

Baustroh ist goldgelb bis blassgelb und wird trocken mit maximal 18 M-% geliefert.

Baustroh ist kompakt. Die Ballen sind quaderförmig, ihre Rohdichte liegt im Bereich von 80-115 kg/m³. Fachgerecht verbaut bilden sie gleichmäßig verdichtete, lückenlose und setzungssichere Gefache.

1.2 Eigenschaften von Baustroh

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Halmrichtung nach DIN EN 12667	0,052 W/(m·K)
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit in Halmrichtung	-
Rohdichte bei Bezugsklima 23°C/50% rel. Luftfeuchte nach DIN EN 1602	85-115 kg/m^3
Dampfdiffusionswiderstandszahl μ	2
Feuchteaufnahme bei 23°C und 80% rel. Luftfeuchte nach DIN EN ISO 12571	max. 18 Masse-%
Brandverhalten nach DIN EN 13501-1	E (normalentflammbar)

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit gilt ausschließlich senkrecht zur überwiegenden Ausrichtung der Halme, also in Wänden nur für aufrecht stehende und aufrecht liegende Strohballen. Strohballen mit Ausrichtung der Halme in Wärmestromrichtung (in Wänden flach liegend) entsprechen nicht der DIBt-Zulassung.

1.3 Einsatzbereich

Baustroh wird als ausfachender Wärmedämmstoff innerhalb tragender oder nichttragender Konstruktionen bei Außenwänden, Dächern sowie obersten Geschossdecken verwendet.

Es darf nicht druckbelastet sein und keine Aufgaben der Standsicherheit der baulichen Anlage oder deren Teile übernehmen.

Der lichte Unterstützungsabstand der Ausfachungen mit Baustroh beträgt maximal 1,0 m (nach Bauregelliste C, 1.3).

Baustrohoberflächen können direkt verputzt werden.

Baustroh kann sowohl im Neubau als auch in der Bestandssanierung verwendet werden. Zulässige

Bauteilaufbauten mit Baustroh gemäß DIBt-Zulassung sind in Kap. 5 Zulässige Baukonstruktionen der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 mit deren Anwendungsbereichen genannt.

2 Voraussetzungen für den Einbau von Baustroh

2.1 Ballenabmessungen und Gefachabmessungen

Unterstützungsabstand und Wanddicken müssen zu den Abmessungen der Strohballen passen. Deshalb muss das Ballenformat rechtzeitig bekannt sein und die Planung auf ein entsprechendes Rastermaß abgestimmt werden.

2.2 Ermittlung der geeigneten lichten Gefachbreite

Bei hochkant stehendem Einbau in Wände wird die Gefachbreite durch die Breite des Ballens bestimmt. Werden Strohballen hochkant liegend eingebaut, können die produktionsbedingt um etwa +/-5cm unterschiedlichen Längen der Ballen nicht einer bestimmten Gefachbreite entsprechen.

Hochkant stehend können Ballen einzeln oder je zwei nebeneinander eingebaut werden. Die lichte Gefachbreite ergibt sich dann aus der einfachen Ballenbreite oder der doppelten Ballenbreite. Bei Dopplung von sogenannten Kleinballen wird die geforderte maximale lichte Gefachbreite von 1,00 m eingehalten.

Für strohgedämmte Decken und Dächer gelten die oben angeführten Hinweise analog.

Als Faustregel für die Ermittlung der geeigneten Gefachbreite darf angesehen werden:

- einfach: Lichte Gefachbreite = Strohballenbreite – 1 cm
- bei Dopplung: lichte Gefachbreite = 2 Strohballenbreiten – 2 cm

2.3 Bestellung, Lieferung und Lagerung

Die erforderliche Menge Baustroh ergibt sich exakt aus der Gesamtfläche aller Gefache ohne die Holzanteile des Rahmens zuzüglich der Verdichtung und einem Verschnittzuschlag von 5%. Bei zahlreichen Abweichungen vom Strohballenraster soll dieser Zuschlag erhöht werden.

Vereinfachend kann auch angesetzt werden: Gesamtfläche aller Gefache einschließlich Holzanteile des Rahmens + 5%.

Baustroh ist stets trocken zu halten. Dies gilt für den Transport, die Lagerung und auch in der Bauphase. Unmittelbar nach dem Einbau durch Schlagregen gefährdete Strohoberflächen müssen mit Planen abgegedeckt werden.

3 Ausfachung mit Baustroh

3.1 Stroheinbau

Strohballen müssen so eingesetzt werden, dass die Schnürung auf den Längsseiten der Ballen auf der Strohoberfläche sichtbar ist. Nur dann sind die Halme überwiegend senkrecht zum Wärmestrom ausgerichtet, und nur dann gilt der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,052 W/(m·K).

Um eine gleichmäßige Ausfachung gewährleisten, werden Strohballen beim Einbau verdichtet,

Angesetzt werden kann bei Rohdichten

bis 90 kg/m^3: 15 % Verdichtung.

bis 100 kg/m^3: 10 % Verdichtung.

bis 105 kg/m^3: 5 % Verdichtung.

Alternative Ansätze sind möglich. Im Ergebnis muss bei Befüllung des Prüfgefaches mit der gewählten Verdichtung der geforderte Rohdichtebereich eingehalten werden.

Entspricht die Gefachbreite zwei Strohballenbreiten, werden die Ballen in Paaren schräg gegeneinander verkantet auf die Gefachkanten gestellt und anschließend vollständig in das Gefach eingedrückt.

Sowohl paarweise als auch einfach erfolgt der Einbau mit Körpereinsatz, mit Einführhilfen (flachen Platten aus Blech oder Holzwerkstoff) sowie mit einem Strohhammer (mit langem Stiel und größerem Kopf aus Holz).

Die erforderliche Höhe der letzten Strohballenlage ergibt sich aus der Gefachhöhe zuzüglich Verdichtung abzüglich der Höhe aller anderen Strohballenlagen. Diese Lage muss meist gesondert in der Länge hergestellt werden. Dazu können Strohballen mit Ballennadeln verkürzt werden. Sie werden entsprechend der gewünschten Länge neben den Schnürungen durch den Strohballen gestoßen, das Garn jeweils hindurchgezogen und um den Ballen herum festgezurrt. Anschließend wird das ursprüngliche Garn gelöst, loses Stroh fällt ab und der verkürzte Ballen bleibt übrig.

Bevor die letzte Lage Stroh eingesetzt wird, wird das bereits ins Gefach eingesetzte Stroh komprimiert. Dies kann mit Spanngurten oder Kettenzügen erfolgen. Dabei werden die Zugbänder entweder um den Holzrahmen herum geführt oder daran innen und außen befestigt. Sobald durch das Zusammenziehen ausreichend Platz für das Einsetzen der letzten Ballenlage geschaffen wurde, wird diese Lage eingesetzt. Anschließend wird die Spannung gelöst, und die letzte Lage Ballen legt sich an den Fugen dicht an.

Dieses Verfahren ist für den Stroheinbau in der Senkrechten, in der Waagerechten und in Dachschrägen geeignet sowie in der Vorfertigung als auch beim Einbau auf der Baustelle.

Andere Komprimierungstechniken sind möglich.

Alternativ zur Verdichtung kann eine gleichmäßige Ausfachung auch durch Dekomprimierung erreicht werden. Dies ist möglich bei Strohballen hoher Rohdichte. Die Ballen werden so eng wie praktisch möglich eingebaut. Auch hier wird die letzte Strohballenlage wie oben beschrieben in der Länge angepasst. Anschließend wird die Schnürung gelöst. Die dann erfolgende Ausdehnung der Strohballen bewirkt eine lückenlose und gleichmäßige Ausfachung. Erfahrungsgemäß lassen sich die besseren Einbauqualitäten mittels Verdichtung herstellen.

Bei beiden Einbauverfahren müssen etwaige Hohlstellen nach dem Komprimieren mit losem Stroh verstopft werden, und zwar so, dass bei einem späteren Verputzen durch das Gewicht des Putzes kein Stroh herausgezogen wird.

Nach dem Einbau muss das Stroh stramm, lückenlos und setzungssicher im Gefach sitzen.

Die erforderliche Rohdichte kann bauseits mit Hilfe eines Prüfgefaches nachgewiesen werden. Dieses Prüfgefach wird mit demselben Verdichtungsgrad befüllt wie das strohgedämmte Bauteil. Daraufhin wird die Rohdichte des Strohs im Prüfgefach bestimmt. Nach der Messung von Temperatur und Luftfeuchte im Prüfgefach wird die Rohdichte auf Bezugsklima 23°C/50% relative Luftfeuchte umgerechnet. Sie muss 85-115 kg/m³ betragen.

3.2 Herstellung von ebenen Strohoberflächen für spätere Bekleidungen

Nach dem Einbau müssen die entstandenen Strohoberflächen egalisiert werden, damit anschließend die Bekleidungen aufgebracht werden können. Grobe Unebenheiten müssen ausgeglichen werden, z. B. mit dem Strohhammer oder durch Körpereinsatz. Anschließend werden die Strohoberflächen eben rasiert. Dafür geeignet sind in jeder Einbausituation Kettensäge oder Heckenschere, im Liegen und evtl. in Dachschrägen auch Motorsense. Nach dem Rasieren ist die Strohoberfläche von losen Strohteilen z. B. mittels Druckluft oder mit einem Besen zu säubern.

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH

Stellungnahme

Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Wand- und Dachkonstruktionen mit Strohballendämmung

Auftraggeber:

Fachverband für Strohballenbau Deutschland e.V.

Artilleriestraße 6

27283 Verden

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Projekt: ibb 073/12

Wolfhagen, den 09. April 2013

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH
Drosselweg 5
34466 Wolfhagen

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Frank Otto
Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Kontakt:
(05692) 33 88 6-0
info@ib-bauphysik.de

Inhalt

1 Aufgabenstellung ... 3
2 Untersuchungsgegenstand ... 3
3 Bearbeitungsgrundlage ... 5
4 Untersuchungsmethode ... 8
5 Ergebnisse ... 8
5.1 Wandkonstruktionen ohne konstruktiven Wetterschutz ... 8
5.2 Wandkonstruktionen mit konstruktiven Wetterschutz ... 9
5.3 Dachkonstruktionen ... 9
6 Bewertung der Simulationsergebnisse ... 9
7 Zusammenfassung ... 10
8 Literatur ... 12

Wolfhagen, den 09. April 2013

Geschäftsführer

(Dipl.-Ing. Marc Klatecki)

1 Aufgabenstellung

Für Wand- und Dachkonstruktionen mit einer Dämmung aus Strohballen soll anhand von rechnerischen Untersuchungen das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten beurteilt werden.

Auf Grundlage von eindimensionalen Simulationsrechnungen wird die Bewertung des Schimmelpilzrisikos an kritischen Positionen innerhalb der zu prüfenden Konstruktionen anhand eines biohygrothermischen Modells abgeschätzt.

2 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchungen sind Wand- und Dachkonstruktionen mit einer Dämmung aus Stroh.

Der Regelquerschnitt der Wandkonstruktion 1 besteht aus 3 cm direktverputzten außenseitigen Kalkputz mit einer hydrophobierten Beschichtung auf einer 36 cm bzw. 48 cm dicken Strohballendämmung mit raumseitigen 3 cm dicken Lehmputz. Wandkonstruktion 1.1 weist im Gegensatz zu Wandkonstruktion 1 raumseitig eine OSB-Platte mit aufliegender 1,25 cm dicken Gipskartonplatte auf.

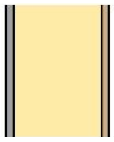
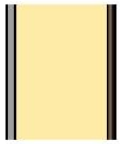
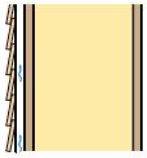
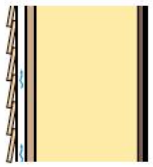
Wandkonstruktion 2 besteht außenseitig aus einer hinterlüfteten Wetterschale mit Lehmputz und aufliegender Fassadenspannbahn auf einer 36 cm bzw. 48 cm dicken Strohballendämmung mit raumseitigen 3 cm dicken Lehmputz. Wandkonstruktion 2.1 weist im Gegensatz zur Wandkonstruktion 2 raumseitig eine OSB-Platte mit aufliegender 1,25 cm dicken Gipskartonplatte auf.

Alle Dachkonstruktionen haben eine hinterlüftete Dacheindeckung. Dachkonstruktion 3 besteht aus einer raumseitigen 1,25 cm dicken Gipskartonplatte auf einer OSB-Platte. Außenseitig findet eine Holzfaserdämmplatte mit aufliegender Unterspannbahn Verwendung. Die Dachkonstruktion ist mit einer 36 cm bzw. 48 cm dicken Strohballendämmung versehen.

Dachkonstruktion 3.1 weist im Gegensatz zu Wandkonstruktion 1 außenseitig eine OSB-Platte anstelle einer Holzfaserdämmplatte und Dachkonstruktion 3.2 anstelle der raumseitigen OSB-Platte und der außenseitigen Holzfaserdämmplatte jeweils eine Holzschalung aus Fichte auf.

Die untersuchten Konstruktionen sind in Tabelle 2.1 und im Anhang beschrieben.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der untersuchten Konstruktionen

Konstruktion	Konstruktionsaufbau		
	Nr.	**Material**	**Dicke [m]**
Wand 1 – Fall 1			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}26$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,03
	3	Stroh	0,36
	4	Lehmputz	0,03
Wand 1 – Fall 2			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}22$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,03
	3	Stroh	0,48
	4	Lehmputz	0,03
Wand 1.1 – Fall 1			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}28$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,03
	3	Stroh	0,36
	4	OSB-Platte	0,018
	5	Gipskartonplatte	0,0125
Wand 2 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Lehmputz	0,03
	4	Stroh	0,36
	5	Lehmputz	0,03
Wand 2 – Fall 2			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Lehmputz	0,03
	4	Stroh	0,48
	5	Lehmputz	0,03
Wand 2.1 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Lehmputz	0,03
	4	Stroh	0,36
	5	OSB-Platte	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125

Fortsetzung Tabelle 2.1

Konstruktion	Konstruktionsaufbau		
	Nr.	Material	Dicke [m]
Dach 3 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Dachdeckung	-
	2	Unterdachspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Holzfaserdämmplatte	0,022
	4	Stroh	0,36
	5	OSB-Platte	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125
Dach 3 – Fall 2			
	1	hinterlüftete Dachdeckung	-
	2	Unterdachspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Holzfaserdämmplatte	0,022
	4	Stroh	0,48
	5	OSB-Platte	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125
Dach 3.1 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Dachdeckung	-
	2	Unterdachspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	OSB-Platte	0,018
	4	Stroh	0,36
	5	OSB-Platte	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125
Dach 3.2 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Dachdeckung	-
	2	Unterdachspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Fichte radial	0,018
	4	Stroh	0,36
	5	Fichte radial	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125

3 Bearbeitungsgrundlage

Für die Bewertung des Feuchteschutzes von Außenbauteilen stellt das Institut für Bauphysik der Fraunhofergesellschaft den Klimadatensatz "ibp 1991" zur Verfügung. Innen herrschen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast, dies entspricht einem sinusförmigen Verlauf der Temperatur zwischen 22 °C im Juni und 20 °C im Dezember sowie einer relativen Raumluftfeuchte zwischen 60 % im August und 40 % im Februar. Der außenseitige Wärmeübergangswiderstand der Wandkonstruktionen wird gemäß [1], [2], [3] und [4] mit 0,0588 m^2·K/W und der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche entsprechend [1], [2] und [4] mit 0,125 m^2·K/W angesetzt. Die Ausrichtung der Dachkonstruktionen ist Nord mit einer Neigung von 30° und die der bewitterten Wandkonstruktion aufgrund der erhöhten Schlagregenbelastung West. Die Wandkonstruktionen mit konstruktivem Wetterschutz sind nordorientiert aufgrund der geringen Strahlung.

Der Strahlungsabsorptionsgrad α_s der frei bewitterten Wandkonstruktionen beträgt 0,4 für normal hellen Putz. Die klimatischen Bedingungen im Bereich der hinterlüfteten Wetterschale und Dacheindeckung werden in Anlehnung [5] mit einem Strahlungsabsorptionsgrad α_s = 0,4 für die Wetter-

schale und α_s = 0,6 für die Dacheindeckung und ohne Einfluss des Regens mit den gleichen klimatischen Verhältnissen wie die Außenluft in Ansatz gebracht. Die Unterspannbahn bzw. die Fassadenspannbahn wird aufgrund von unterschiedlichen Effekten, beispielsweise mögliche Verschmutzungen oder Vereisungen, mit einem s_d-Wert von 0,1 in Anlehnung an [6] in Ansatz gebracht.

In [7] wird ein biohygrothermisches Bewertungsverfahren beschrieben, das eine Vorhersage von Schimmelpilzwachstum auf Basis der drei wesentlichen Wachstumsfaktoren (Feuchte, Temperatur, und Substrat) unter instationären Randbedingungen ermöglicht. Die wesentlichen Merkmale werden in [8] erläutert. Die Bewertung eines möglichen Schimmelpilzwachstums unter instationären Umgebungsbedingungen erfolgt hierbei durch den Vergleich des instationär ermittelten Wassergehalts in einer Modellpilzspore mit einem Grenzwassergehalt, ab dem die Spore auszukeimen und zu wachsen beginnt. Falls eine Auskeimung stattfindet, kann durch Vergleich mit experimentell ermittelten Wachstumskurven eine Abschätzung des möglichen Wachstums erfolgen. Das Verfahren beruht darauf, dass die Modellspore ein osmotisches Potenzial besitzt. Hierdurch hat die Spore die Möglichkeit aus der Umgebung Wasser aufzunehmen. Dies wird rechnerisch mit einer Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Der Feuchtetransport mittels Diffusion durch die Modellsporenwand wird hierbei anhand eines feuchteabhängigen Diffusionswiderstandes dargestellt. Je nach Umgebungsbedingung ändert sich so der Wassergehalt innerhalb der Spore. Überschreitet der Wassergehalt in der Spore einen kritischen Grenzwassergehalt, setzt rechnerisch eine biologische Aktivität der Spore ein. Hierbei wird angenommen, dass die Spore sofort auskeimt und das Wachstum sofort beginnt. Zur Abschätzung des Wachstums wird ein Isoplethensystem für unterschiedliche Substratklassen herangezogen. Hierbei wird für verschiedene Pilzarten eine gemeinsame Grenzisoplethe (Lowest Isopleth for Mould, LIM) herangezogen. Unterhalb dieser LIM kommt es generell zu keiner biologischen Aktivität.

Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrunds oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen herangezogen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Hierzu erfolgte in [8] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

Substratgruppe 0:

Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten relativen Luftfeuchten für die Auskeimung und das Wachstum von Schimmelpilzsporen. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilzarten die unterste Wachstumsgrenze.

Substratgruppe I:

Biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskartonbauplatten, Dichtungsmassen.

Substratgruppe II:

Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, einige Holzarten sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Das hier vorliegende Stroh ist der Substratgruppe I zuzuordnen.

Das biohygrothermische Verfahren vergleicht den Wassergehalt innerhalb der Spore mit dem temperaturabhängigen Grenzwassergehalt. Im Falle einer Keimung wird nur das zu erwartende Schimmelwachstum rechnerisch abgeschätzt. Unterschreitet der Wassergehalt innerhalb der Spo-

re den Grenzwassergehalt, stagniert das Wachstum bis der Wassergehalt innerhalb der Spore den Grenzwassergehalt wieder überschreitet. Bei geringen und kurzfristigen prognostizierten Schimmelpilzwachstum muss es bei Konstruktionen noch zu keinem Schimmelpilzwachstum kommen, da Sicherheitsfaktoren im Programm berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse werden zusätzlich in Millimeter angegeben. Im skandinavischen Bereich hat sich jedoch eine Bewertung etabliert, welche von einer prozentualen Flächenbelegung ausgeht. Anhand von Vergleichssimulationen wurde in einer Untersuchung vom Fraunhofer-Institut eine Übertragung des Wachstums in Millimeter auf das so genannte Viitanenschen Mould-Index-Verfahren durchgeführt [9]. Diese Übertragung erlaubt aus dem physikalischen Modell nach [8] Flächenbelegung und verbale Beschreibungen abzuleiten. Hierdurch erhält man ein anschauliches Bewertungsmaß für mögliches Schimmelpilzwachstum.

Die Übertragung der Ergebnisse nach [8] auf eine prozentuale Flächenbelegung erfolgt wie folgt:

- 0 mm bis 50 mm: kein Schimmelpilzwachstum
- 50 mm bis 200 mm: wenig Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar
- über 200 mm: mäßiges Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar

Bei der Bewertung der Eignung von Strohballenkonstruktionen wird nunmehr davon ausgegangen, dass wenig Schimmelpilzwachstum keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion hat, da in die Bewertung nicht nur zerstörend wirkende Pilze mit einfließen, sondern sämtliche Pilzarten. Zusätzlich handelt es sich bei Wand oder Dachkonstruktion um konvektiv geschlossene Systeme, bei denen Schimmelpilze aus der Konstruktion nicht in den Wohnraum gelangen können.

Sicherheitshalber wird, entgegen der Annahme in [10], von einem maximal zulässigen Schimmelpilzwachstum von 50 mm ausgegangen. Für die Ermittlung des rechnerischen Schimmelpilzrisikos wird der zeitliche Verlauf der Temperatur und der Luftfeuchte benötigt. Die Bewertung des Schimmelpilzwachstums wird analog zu dem Nachweis des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP-Bericht RKB-13/2005 [11] und IBP-Bericht RKB-09/2005 [12] nahe der äußeren Putzschicht, in 5 cm Tiefe, durchgeführt. Für die Ermittlung des biohygrothermischen Verhaltens wird Stroh der Substratgruppe I, biologisch verwertbares Substrat, zugeordnet.

Bei den Simulationen wird davon ausgegangen, dass die Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 [13] zur Hydrophobierung die kapillare Wasseraufnahme unterbindet und die Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzes um nicht mehr als 20% verringert wird. Die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels liegt zwischen 3 mm und 5 mm und ist auch bei der Ausführung zur Sicherstellung eines langfristigen Schutzes der Fassade vor eindringendem Wasser zu gewährleisten. Zur Vermeidung von Frostschäden sind die Poren des nicht hydrophobierten Bereiches des außenseitigen Putzes nicht durch das Hydrophobierungsmittel zu verschließen. Frostschäden und Durchfeuchtung aufgrund von fehlenden kapillaren Feuchtetransportmöglichkeiten wären die Folge. Jegliche Schäden (z.B. Risse) sind nach der Winterperiode zu lokalisieren und instand zusetzen. Die Beschichtungsmittel sind nach [13] klassifiziert und in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Klassifizierung für die Durchlässigkeit für Wasser (W) für Beschichtungsstoffe und –systeme gemäß DIN EN 1062-1 [13]

Klasse		Anforderung [kg/(m²·h^{0,5})]
W_0		keine Anforderung
W_1	hoch	> 0,5
W_2	mittel	≤ 0,5
		> 0,1
W_3	niedrig	≤ 0,1

4 Untersuchungsmethode

Die Untersuchung des Wärme- und Feuchteverhaltens der in Kapitel 3 dargestellten Konstruktionen erfolgt unter Ansatz natürlicher Klimabedingungen mit dem experimentell verifizierten Programm WUFI 5.1 [1]. Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit erfolgt anhand des rechnerischen Schimmelpilzrisikos mit dem in [7] und [8] beschriebenen Verfahren mit den Jahresverläufen der relativen Luftfeuchte und Temperatur an kritischer Stelle nahe der äußeren Putzschicht bzw. Beplankung. Die Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung erfolgt nach [9].

Die Kennwerte für die angesetzte Strohballendämmung wie Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl stammen aus [14], [10] und [15] und die für die verwendeten Putze vom Hersteller bzw. aus [12] und aus der WUFI-Datenbank.

5 Ergebnisse

5.1 Wandkonstruktionen ohne konstruktiven Wetterschutz

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wand 1 mit einer 36 cm dicken Strohschicht und außenseitiger Hydrophobierung zwischen 85,3 % im Juni und 64,3 % im Juli. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 33,7 °C im Juli und -9,4 °C im Januar. Durch die Hydrophobierung des außenseitigen Putzes wird die Wasseraufnahme bei Regen deutlich reduziert. Ab März bis September kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, dass ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Bei Wand 1 mit einer 48 cm dicken Strohschicht und Hydrophobierung schwankt die relative Feuchte im Jahresverlauf zwischen 87,1 % im Februar und 62,8 % im Juli und die Temperatur zwischen 33,9 °C im Juli und -10,6 °C im Januar. Ab März bis Juni kommt es ebenfalls zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was wiederum ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Auch bei dieser Konstruktion ist durch Übertragung mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Wand 1.1 mit einer 36 cm dicken Strohschicht, außenseitiger Hydrophobierung und raumseitigen erhöhten Diffusionswiderstand in Form einer OSB-Platte weist im Jahresverlauf relative Feuchte zwischen 86,3 % im September und 64,9 % im Juli und die Temperatur zwischen 33,7 °C im Juli und -9,6 °C im Januar auf. Auch bei dieser Wandkonstruktion kommt es zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ebenfalls zu einem rechnerisches Schimmelpilzrisiko zwischen April und November führt. Jedoch liegt dieses in der Grenze, welches [9] kein Wachstum zur Folge hat.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.2 Wandkonstruktionen mit konstruktiven Wetterschutz

Die Wandkonstruktionen 2 mit einer 36 cm bzw. 48 cm dicken Strohschicht weisen im Jahresverlauf relative Feuchten zwischen 86,6 % im März und 62,9 % im Juli, bzw. 88,7 % und 65,5 % auf. Die Temperaturen schwanken zwischen 29,4 °C im Juli und -10,1 °C im Januar, bzw. 29,5 °C und -11,1 °C. Das rechnerische Schimmelpilzrisiko liegt bei beiden Konstruktionen unter 50 mm, was nach [9] kein Schimmelpilzwachstum zur Folge hat.

Wand 2.1 mit einer 36 cm dicken Strohschicht und raumseitigen erhöhten Diffusionswiderstand in Form einer OSB-Platte weist im Jahresverlauf relative Feuchte zwischen 81,7 % im September und 54,8 % im Juni und die Temperatur zwischen 29,4 °C im Juli und -10,3 °C im Januar auf. Auch bei dieser Wandkonstruktion kommt es zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was zu einem rechnerisches Schimmelpilzrisiko zwischen April und November führt. Jedoch liegt dieses Risiko nach [9] in der Grenze zu keinem Wachstum.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.3 Dachkonstruktionen

Die Dachkonstruktionen weisen im Jahresverlauf geringere relative Feuchten auf, als die Wandkonstruktionen. So schwankt die relative Feuchte bei Dachkonstruktion 3 mit einer 36 cm bzw. 48 cm dicken Strohschicht zwischen 75,1 % im Januar und 35,8 % im Juni, bzw. 77,5 % und 37,4 %. Die Temperatur schwankt zwischen 34,7 °C im Juli und -7,9 °C im Januar, bzw. 34,7 °C und -8,8 °C. Bei beiden Konstruktionen liegt kein rechnerisches Schimmelpilzrisiko vor und somit kein Wachstum.

Die relative Feuchte der Dachkonstruktion 3.1 mit einer 36 cm dicken Strohschicht schwankt im Jahresverlauf zwischen 80,7 % im Februar im Januar und 50,3 % im Juli und die Temperatur zwischen 37,0 °C im Juli und -10,0 °C im Januar. Auch bei dieser Konstruktion liegt kein rechnerisches Schimmelpilzrisiko vor.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

6 Bewertung der Simulationsergebnisse

Bei Einsatz von Strohballendämmung ist davon auszugehen, dass - sofern die Strohballen vor dem Einbau nicht gereinigt und sterilisiert werden - keimungsfähige Sporen vorhanden sind. Bei üblichen Konstruktionen ist dies in Bezug auf das Schimmelpilzrisiko unerheblich, da es sich um konvektiv geschlossene Systeme handelt und somit ein Sporeneintrag ausgeschlossen ist.

Bei den untersuchten hydrophobierten Wandkonstruktionen (Wandkonstruktionen ohne konstruktiven Wetterschutz) kommt es im Jahresverlauf zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko auf Grundlage des Modells nach [7], welches jedoch bei Übertragung auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung gemäß [9] keine Schimmelpilzbildung hervorruft.

Zur Vermeidung einer Schimmelpilzbildung müssen bei den direkt bewitterten Wandkonstruktionen die hydrophobierend wirkenden Anstriche die kapillare Wasseraufnahme der porösen Oberflächenstruktur der Außenputze gegen eindringende Feuchtigkeit schützen. So muss die Wandkonstruktion 1 mit einer 36 cm dicken Strohschicht ein Beschichtungssystem W_2 für den Widerstand gegen eindringendes Wasser erhalten. Die Hydrophobierung muss in diesem Fall einen Wasserdurchlässigkeitswert von $w_{24} \leq 0{,}26$ kg/($m^2 \cdot h^{1/2}$) aufweisen, damit innerhalb der Konstruktion kein Schimmelpilzwachstum unter den klimatischen Bedingungen der Bundesrepublik Deutschland auf-

tritt. Bei einer 48 cm dicken Strohschicht darf der Wasserdurchlässigkeitswert w_{24} aufgrund der geringeren Temperaturen und dem somit verbundenen Anstieg der relativen Feuchten innerhalb der Konstruktion 0,22 kg/($m^2 \cdot h^{1/2}$) nicht überschreiten.

Durch den Einsatz einer raumseitigen OSB-Platte (Wand 1.1) sinkt die raumseitige Feuchtelast für die Konstruktion. Mit einem hydrophobierenden Beschichtungssystem W_2 mit einem Wasserdurchlässigkeitswert w_{24} von maximal 0,28 kg/($m^2 \cdot h^{1/2}$) kommt es innerhalb der Konstruktion zu keiner Schimmelpilzbildung.
Durch Aufbringung einer höheren außenseitigen Putzschicht lassen sich die Temperaturen im kritischen Punkt anheben. Somit sinkt das Schimmelpilzrisiko bei gleichem Wasserdurchlässigkeitswert.

Die Wandkonstruktionen mit konstruktivem Wetterschutz weisen kein Schimmelpilzwachstum auf. Es kommt zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko, jedoch bei Übertragung auf das Viitansche-Model zu keinem Wachstum. Alle betrachteten Konstruktionen, auch Wandkonstruktion 2.1 mit einer 48 cm dicken Strohschicht und großen Putzstärken, erweisen sich als tauglich.

Alle Dachkonstruktionen weisen im Jahresverlauf kein Schimmelpilzwachstum auf. Die Konstruktionen, auch mit einer 48 cm dicken Strohschicht, erweisen sich als tauglich.

7 Zusammenfassung

Mit einer rechnerischen Untersuchung wird das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten von Wand- und Dachkonstruktionen mit einer Strohballendämmung beurteilt.

Mit dem Programm Wufi 5.1 und Wufi Bio wird an anerkannten Referenzpunkten der Konstruktion das Schimmelpilzrisiko abgeschätzt.

Bei den Wandkonstruktionen ohne Wetterschutz mit Hydrophobierung kommt es im Jahresverlauf zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko, welches sich bei Übertragung auf das Viitanschen-Model aber als kein Wachstum herausstellt. Wandkonstruktionen mit Wetterschutz weisen teilweise ebenfalls ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko, welches sich bei Übertragung auf das Viitanschen-Model jedoch ebenso als kein Wachstum herausstellt. Die betrachteten Dachkonstruktionen weisen kein Risiko von Schimmelpilzen auf.

Alle betrachteten Wandkonstruktionen und die Dachkonstruktionen bleiben bei Strohschichtdicken von 36 cm bis 48 cm und außenseitigen Putzen mit Stärken von mindestens 3 cm unter den klimatischen Bedingungen der Bundesrepublik Deutschland schimmelpilzfrei.

Zur besseren Übersicht sind in der nachfolgenden Tabelle alle rechnerisch nachgewiesenen und übertragbaren Konstruktionen, die sich als tauglich erweisen dargestellt.

Tabelle 7.1: Darstellung der tauglichen Konstruktionen

Nr.	Material	Dicke [m]
1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}26$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
2	Kalkputz	≥ 0,03
3	Stroh	0,36
4	Lehmputz	0,03
1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}22$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
2	Kalkputz	≥ 0,03
3	Stroh	0,48
4	Lehmputz	0,03
1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}28$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
2	Kalkputz	≥ 0,03
3	Stroh	0,36
4	OSB-Platte	0,018 – 0,030
5	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}23$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
2	Kalkputz	≥ 0,03
3	Stroh	0,48
4	OSB-Platte	0,018 – 0,030
5	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Wetterschale	-
2	Fassadenspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Lehmputz	≥ 0,03
4	Stroh	0,36
5	Lehmputz	0,03
1	hinterlüftete Wetterschale	-
2	Fassadenspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Lehmputz	≥ 0,03
4	Stroh	0,48
5	Lehmputz	0,03
1	hinterlüftete Wetterschale	-
2	Fassadenspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Lehmputz	≥ 0,03
4	Stroh	0,36
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Wetterschale	-
2	Fassadenspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Lehmputz	≥ 0,03
4	Stroh	0,48
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Holzfaserdämmplatte	≥ 0,022
4	Stroh	0,36
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Holzfaserdämmplatte	≥ 0,022
4	Stroh	0,48
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125

Tabelle 7.1 Fortsetzung

Nr.	Material	Dicke [m]
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	OSB-Platte	0,018 – 0,030
4	Stroh	0,36
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	OSB-Platte	0,018 – 0,030
4	Stroh	0,48
5	OSB-Platte	0,018 – 0,030
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Holzschalung, Fichte	~ 0,018
4	Stroh	0,36
5	Holzschalung, Fichte	~ 0,018
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125
1	hinterlüftete Dachdeckung	-
2	Unterdachspannbahn, diffusionsoffen	$s_d \leq 0{,}1$ m
3	Holzschalung, Fichte	~ 0,018
4	Stroh	0,36
5	Holzschalung, Fichte	~ 0,018
6	Gipskarton-/Gipsfaserplatte	0,0125

8 Literatur

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

[2] Künzel, H.M.: Raumluftverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung (1997) Nr. 314.

[3] Schaube, H. und Werner, H.: Wärmeübergangskoeffizient unter natürlichen Klimabedingungen. IBP-Mitteilung (1986) Nr. 109.

[4] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. WTA Publications (2002).

[5] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? - Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 8/98, S. 36-41.

[6] Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?. IBP-Mitteilung (1999) Nr. 355.

[7] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Bauphysik 24 (2002), H. 3, S. 167 – 176.

[8] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).

[9] Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K.: Übertragung des Mould-Indexes auf das biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. IBP-Mitteilung 513.

[10] Danielewicz, I.; Fitz, C.; Hofbauer, W.; Klatecki, M.; Krick, B.; Krueger, N.; Krus, M.; Minke, G.; Otto, F.; Scharmer, D.; Teuber, W.: Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der

Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden und Optimierung der bauphysikalischen Performance. DBU Abschlußbericht (2008).

[11] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-13/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen Oktober 2005.

[12] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-09/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen August 2005.

[13] DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung.

[14] Untersuchungsbericht L1-20/2004 des FIW München: Prüfungen an „Baustrohballen“, Gräfeling 2004.

[15] Allgemein bauaufsichtliche Zulassung: Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“ (Z-23.11-1595). Deutsches Institut für Bautechnik (2009).

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH

Stellungnahme

Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von

Wandkonstruktionen

Auftraggeber:

Fachverband für Strohballenbau Deutschland e.V.

Artilleriestraße 6

27283 Verden

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Projekt: ibb 073/12

Wolfhagen, den 1. August 2013

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH
Am Gasterfelderholz 20
34466 Wolfhagen

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Frank Otto
Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Kontakt:
(05692) 33 88 6-0
info@ib-bauphysik.de

Inhalt

1 Aufgabenstellung 3
2 Untersuchungsgegenstand 3
3 Bearbeitungsgrundlage 5
4 Untersuchungsmethode 7
5 Ergebnisse 7
5.1 Wandkonstruktionen 1 7
5.2 Wandkonstruktionen 2 8
5.3 Wandkonstruktionen 3 8
5.4 Wandkonstruktionen 4 8
6 Bewertung der Simulationsergebnisse 8
7 Zusammenfassung 9
8 Literatur 9

Wolfhagen, den 1. August 2013

Geschäftsführer

(Dipl.-Ing. Marc Klatecki)

1 Aufgabenstellung

Für vier Wandkonstruktionen mit einer Dämmung aus Stroh soll anhand von rechnerischen Untersuchungen das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten beurteilt werden.

Auf Grundlage von eindimensionalen Simulationsrechnungen wird die Bewertung des Schimmelpilzrisikos an kritischen Positionen innerhalb der zu prüfenden Konstruktionen anhand eines biohygrothermischen Modells abgeschätzt.

2 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchungen sind zwei Bestandswandkonstruktionen mit einer vorgesetzten Dämmung aus Stroh und zwei direktverputzte Strohwände, eine mit Wetterschale und eine mit außenseitiger Hydrophobierung.

Der Regelquerschnitt der Wandkonstruktion 1 besteht aus 3 cm direktverputzten außenseitigen Kalkputz mit einer hydrophobierten Beschichtung auf einer 48 cm dicken Strohballendämmung vor einer Bestandswand mit einen Gesamtwärmedurchlasswiderstand R = 3,14 ($m^2 \cdot K/W$). Der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ des Bestandsmauerwerks variiert zwischen 1 und 17.

Die Wandkonstruktion 2 weist im Gegensatz zu Wandkonstruktion 1 eine hinterlüftete Wetterschale anstelle einer außenseitigen Hydrophobierung auf. Auch bei dieser Wandkonstruktion wird der Wasserdampfdiffusionswiderstand μ des Bestandsmauerwerks zwischen 1 und 17 variiert.

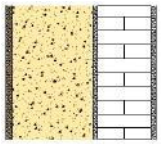
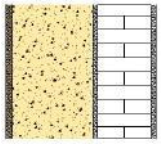
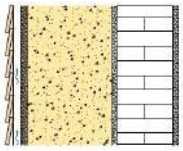
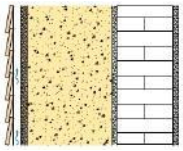
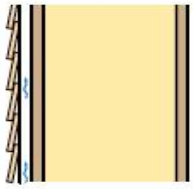
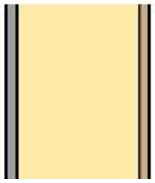
Die in Ansatz gebrachten Bestandwände weisen bei den Untersuchungen einen s_d-Wert zwischen 0,76 m und 6,6 m auf.

Der Regelquerschnitt der Wandkonstruktion 3 besteht aus einer hinterlüfteten Wetterschale mit Fassadenspannbahn und einem direktverputzten Lehm auf einer 100 cm dicken Strohdämmung mit raumseitigen 3 cm dicken Lehmputz.

Wandkonstruktion 4 besteht aus einem 3 cm dicken hydrophobierten Kalkputz auf einer 70 cm dicken Strohdämmung. Den raumseitigen Abschluß bildet ebenfalls ein 3 cm dicker Lehmputz.

Die untersuchten Konstruktionen sind in Tabelle 2.1 beschrieben.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der untersuchten Konstruktionen

Konstruktion	Konstruktionsaufbau		
	Nr.	Material	Dicke [m]
Wandkonstruktion 1			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}24$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,030
	3	Stroh	0,480
	4	Kalkzementputz	0,015
	5	Poroton (λ = 0,12 W/(m·K), μ = 17)	0,365
	6	Gipsputz	0,015
Wandkonstruktion 1.1			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}22$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,030
	3	Stroh	0,480
	4	Kalkzementputz	0,015
	5	Poroton (λ = 0,12 W/(m·K), μ = 1)	0,365
	6	Gipsputz	0,015
Wandkonstruktion 2			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1
	3	Lehmputz	0,030
	4	Stroh	0,480
	5	Kalkzementputz	0,015
	6	Poroton (λ = 0,12 W/(m·K), μ = 17)	0,365
	7	Gipsputz	0,015
Wandkonstruktion 2.1			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1
	3	Lehmputz	0,030
	4	Stroh	0,480
	5	Kalkzementputz	0,015
	6	Poroton (λ = 0,12 W/(m·K), μ = 1)	0,365
	7	Gipsputz	0,015
Wandkonstruktion 3			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1
	3	Lehmputz	0,030
	4	Stroh	1,000
	5	Lehmputz	0,030
Wandkonstruktion 4			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}21$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,030
	3	Stroh	0,700
	4	Lehmputz	0,030

3 Bearbeitungsgrundlage

Für die Bewertung des Feuchteschutzes von Außenbauteilen stellt das Institut für Bauphysik der Fraunhofergesellschaft den Klimadatensatz "ibp 1991" zur Verfügung. Innen herrschen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast, dies entspricht einem sinusförmigen Verlauf der Temperatur zwischen 22 °C im Juni und 20 °C im Dezember sowie einer relativen Raumluftfeuchte zwischen 60 % im August und 40 % im Februar. Der außenseitige Wärmeübergangswiderstand der Wandkonstruktionen wird gemäß [1], [2], [3] und [4] mit 0,0588 m^2·K/W und der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche entsprechend [1], [2] und [4] mit 0,125 m^2·K/W angesetzt. Die Ausrichtung der bewitterten Wandkonstruktion ist aufgrund der erhöhten Schlagregenbelastung West und die der Wandkonstruktionen mit konstruktivem Wetterschutz aufgrund der geringen Strahlung Nord.

Der Strahlungsabsorptionsgrad α_s der frei bewitterten Wandkonstruktionen beträgt 0,4 für normal hellen Putz. Die klimatischen Bedingungen im Bereich der hinterlüfteten Wetterschale werden in Anlehnung an [5] mit einem Strahlungsabsorptionsgrad α_s = 0,4 für die Wetterschale und ohne Einfluss des Regens mit den gleichen klimatischen Verhältnissen wie die Außenluft in Ansatz gebracht. Die Fassadenspannbahn wird aufgrund von unterschiedlichen Effekten, beispielsweise mögliche Verschmutzungen oder Vereisungen, mit einem s_d-Wert von 0,1 in Anlehnung an [6] in Ansatz gebracht.

In [7] wird ein biohygrothermisches Bewertungsverfahren beschrieben, das eine Vorhersage von Schimmelpilzwachstum auf Basis der drei wesentlichen Wachstumsfaktoren (Feuchte, Temperatur, und Substrat) unter instationären Randbedingungen ermöglicht. Die wesentlichen Merkmale werden in [8] erläutert. Die Bewertung eines möglichen Schimmelpilzwachstums unter instationären Umgebungsbedingungen erfolgt hierbei durch den Vergleich des instationär ermittelten Wassergehalts in einer Modellpilzspore mit einem Grenzwassergehalt, ab dem die Spore auszukeimen und zu wachsen beginnt. Falls eine Auskeimung stattfindet, kann durch Vergleich mit experimentell ermittelten Wachstumskurven eine Abschätzung des möglichen Wachstums erfolgen. Das Verfahren beruht darauf, dass die Modellspore ein osmotisches Potenzial besitzt. Hierdurch hat die Spore die Möglichkeit aus der Umgebung Wasser aufzunehmen. Dies wird rechnerisch mit einer Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Der Feuchtetransport mittels Diffusion durch die Modellsporenwand wird hierbei anhand eines feuchteabhängigen Diffusionswiderstandes dargestellt. Je nach Umgebungsbedingung ändert sich so der Wassergehalt innerhalb der Spore. Überschreitet der Wassergehalt in der Spore einen kritischen Grenzwassergehalt, setzt rechnerisch eine biologische Aktivität der Spore ein. Hierbei wird angenommen, dass die Spore sofort auskeimt und das Wachstum sofort beginnt. Zur Abschätzung des Wachstums wird ein Isoplethensystem für unterschiedliche Substratklassen herangezogen. Hierbei wird für verschiedene Pilzarten eine gemeinsame Grenzisoplethe (Lowest Isopleth for Mould, LIM) herangezogen. Unterhalb dieser LIM kommt es generell zu keiner biologischen Aktivität.

Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrunds oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen herangezogen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Hierzu erfolgte in [8] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

Substratgruppe 0:

Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten relativen Luftfeuchten für die Auskeimung und das Wachstum von Schimmelpilzsporen. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilzarten die unterste Wachstumsgrenze.

Substratgruppe I:

Biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskartonbauplatten, Dichtungsmassen.

Substratgruppe II:

Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, einige Holzarten sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Das hier vorliegende Stroh ist der Substratgruppe I zuzuordnen.

Das biohygrothermische Verfahren vergleicht den Wassergehalt innerhalb der Spore mit dem temperaturabhängigen Grenzwassergehalt. Im Falle einer Keimung wird nur das zu erwartende Schimmelwachstum rechnerisch abgeschätzt. Unterschreitet der Wassergehalt innerhalb der Spore den Grenzwassergehalt, stagniert das Wachstum bis der Wassergehalt innerhalb der Spore den Grenzwassergehalt wieder überschreitet. Bei geringer und kurzfristiger prognostizierter Schimmelpilzbildung muss es innerhalb der Konstruktionen noch zu keinem Schimmelpilzwachstum kommen, da Sicherheitsfaktoren im Programm berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse werden zusätzlich in Millimeter angegeben. Im skandinavischen Bereich hat sich jedoch eine Bewertung etabliert, welche von einer prozentualen Flächenbelegung ausgeht. Anhand von Vergleichssimulationen wurde in einer Untersuchung am Fraunhofer-Institut eine Übertragung des Wachstums in Millimeter auf das so genannte Viitanenschen Mould-Index-Verfahren durchgeführt [9]. Diese Übertragung erlaubt aus dem physikalischen Modell nach [8] Flächenbelegung und verbale Beschreibungen abzuleiten. Hierdurch erhält man ein anschauliches Bewertungsmaß für mögliches Schimmelpilzwachstum.

Die Übertragung der Ergebnisse nach [8] auf eine prozentuale Flächenbelegung erfolgt wie folgt:

- 0 mm bis 50 mm: kein Schimmelpilzwachstum
- 50 mm bis 200 mm: wenig Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar
- über 200 mm: mäßiges Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar

Bei der Bewertung der Eignung von Strohballenkonstruktionen wird nunmehr davon ausgegangen, dass wenig Schimmelpilzwachstum keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion hat, da in die Bewertung nicht nur zerstörend wirkende Pilze mit einfließen, sondern sämtliche Pilzarten. Zusätzlich handelt es sich bei Wand- oder Dachkonstruktion um konvektiv geschlossene Systeme, bei denen Schimmelpilze aus der Konstruktion nicht in den Wohnraum gelangen können.

Sicherheitshalber wird, entgegen der Annahme in [10], von einem maximal zulässigen Schimmelpilzwachstum von 50 mm ausgegangen. Für die Ermittlung des rechnerischen Schimmelpilzrisikos wird der zeitliche Verlauf der Temperatur und der Luftfeuchte benötigt. Die Bewertung des Schimmelpilzwachstums wird analog zu dem Nachweis des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP-Bericht RKB-13/2005 [11] und IBP-Bericht RKB-09/2005 [12] nahe der äußeren Putzschicht, in 5 cm Tiefe, durchgeführt. Für die Ermittlung des biohygrothermischen Verhaltens wird Stroh der Substratgruppe I, biologisch verwertbares Substrat, zugeordnet.

Bei den Simulationen wird davon ausgegangen, dass die Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 [13] zur Hydrophobierung die kapillare Wasseraufnahme unterbindet und die Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzes um nicht mehr als 20% verringert wird. Die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels liegt zwischen 3 mm und 5 mm und ist auch bei der Ausführung zur Sicherstellung eines langfristigen Schutzes der Fassade vor eindringendem Wasser zu gewährleisten. Zur Vermeidung von Frostschäden sind die Poren des nicht hydrophobierten Bereiches des außenseitigen Putzes nicht durch das Hydrophobierungsmittel zu verschließen. Frostschäden und Durchfeuchtung aufgrund von fehlenden kapillaren Feuchtetransportmöglichkeiten wären die Folge. Jegliche Schäden (z.B. Risse) sind nach der Winterperiode zu lokalisieren und instand zusetzen. Die Beschichtungsmittel sind nach [13] klassifiziert und in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Klassifizierung für die Durchlässigkeit für Wasser (W) für Beschichtungsstoffe und –systeme gemäß DIN EN 1062-1 [13]

Klasse		**Anforderung** $[kg/(m^2 \cdot h^{0,5})]$
W_0		keine Anforderung
W_1	hoch	> 0,5
W_2	mittel	≤ 0,5
		> 0,1
W_3	niedrig	≤ 0,1

4 Untersuchungsmethode

Die Untersuchung des Wärme- und Feuchteverhaltens der in Kapitel 3 dargestellten Konstruktionen erfolgt unter Ansatz natürlicher Klimabedingungen mit dem experimentell verifizierten Programm WUFI 5.1 [1]. Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit erfolgt anhand des rechnerischen Schimmelpilzrisikos mit dem in [7] und [8] beschriebenen Verfahren mit den Jahresverläufen der relativen Luftfeuchte und Temperatur an kritischer Stelle nahe der äußeren Putzschicht bzw. Beplankung. Die Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung erfolgt nach [9].

Die Kennwerte für die angesetzte Strohballendämmung wie Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl stammen aus [14], [10] und [15] und die für die verwendeten Putze vom Hersteller bzw. aus [12] und aus der WUFI-Datenbank.

5 Ergebnisse

5.1 Wandkonstruktionen 1

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 1 (s_d-Wert der Bestandswand = 6,6 m) mit einer 48 cm dicken Strohschicht und außenseitiger Hydrophobierung zwischen 86,1 % im Februar und 63,0 % im Juli. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 33,6 °C im Juli und -11,1 °C im Januar. Durch die Hydrophobierung des außenseitigen Putzes wird die Wasseraufnahme bei Regen deutlich reduziert.

Ab März bis Juni kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, dass ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Bei der Wandkonstruktion 1.1 mit einem s_d-Wert der Bestandswand von 0,76 m schwankt die relative Feuchte im Jahresverlauf zwischen 87,1 % im Februar und 64,6 % im Juli. Die Temperaturen

schwanken im Jahresverlauf zwischen 33,5 °C im Juli und –11,0 °C im Januar. Durch die außenseitige Hydrophobierung kommt es wie bei Wandkonstruktion 1 zu keinem schädlichen Schimmelpilzwachstum innerhalb der Konstruktion.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.2 Wandkonstruktionen 2

Die Wandkonstruktionen 2 mit einem s_d-Wert der Bestandswand von 6,6 m und einer 48 cm dicken Strohschicht weist im Jahresverlauf eine relative Feuchte zwischen 80,7 % im Februar und 50,9 % im Juni auf. Die Temperatur schwankt zwischen 30,5 °C im Juli und -11,5 °C im Januar. Bei der Wandkonstruktion kommt es zu keinem rechnerischen Schimmelpilzrisiko.

Bei Wandkonstruktionen 2.1 mit einem s_d-Wert der Bestandswand von 0,76 m schwankt die relative Feuchte im Jahresverlauf zwischen 83,9 % im Februar und 53,7 % im Juli. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 30,4 °C im Juli und –11,4 °C im Januar. Bei der Wandkonstruktion kommt es zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko, was jedoch für bei Übertragung auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] keine Schimmelpilzbildung innerhalb der Konstruktion hervor ruft.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.3 Wandkonstruktionen 3

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 3 mit einer 100 cm dicken Dämmung aus Stroh und außenseitiger Hydrophobierung zwischen 83,5 % im Februar und 59,4 % im Juli. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 29,0 °C im Juli und -12,5 °C im Januar. Bei der Wandkonstruktion kommt es zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko, was jedoch für bei Übertragung auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] keine Schimmelpilzbildung innerhalb der Konstruktion hervor ruft.

5.4 Wandkonstruktionen 4

Bei Wandkonstruktionen 4 schwankt die relative Feuchte im Jahresverlauf zwischen 87,5% im Februar und 65,1 % im Juli. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 33,5 °C im Juli und –11,3 °C im Januar. Ab März bis Juni kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, dass ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

6 Bewertung der Simulationsergebnisse

Bei Einsatz von Strohballendämmung ist davon auszugehen, dass - sofern die Strohballen vor dem Einbau nicht gereinigt und sterilisiert werden - keimungsfähige Sporen vorhanden sind. Bei üblichen Konstruktionen ist dies in Bezug auf das Schimmelpilzrisiko unerheblich, da es sich um konvektiv geschlossene Systeme handelt und somit ein Sporeneintrag ausgeschlossen ist.

Bei den untersuchten hydrophobierten Wandkonstruktion mit einem s_d-Wert der Bestandswand zwischen 0,76 m und 6,6 m kommt es im Jahresverlauf zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko auf Grundlage des Modells nach [7], welches jedoch bei Übertragung auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung gemäß [9] keine Schimmelpilzbildung hervorruft.

Zur Vermeidung einer Schimmelpilzbildung müssen bei der direkt bewitterten Wandkonstruktion der hydrophobierend wirkende Anstrich die kapillare Wasseraufnahme der porösen Oberflächenstruktur des Außenputzes gegen eindringende Feuchtigkeit schützen. So müssen die Wandkonstruktionen mit einer 48 cm dicken Strohschicht ein Beschichtungssystem W_2 für den Widerstand gegen eindringendes Wasser erhalten. Die Hydrophobierung muss bei diffusionsoffenen Bestandskonstruktionen einen Wasserdurchlässigkeitswert $w_{24} \leq 0{,}22$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) und bei diffusionsdichteren Bestandskonstruktionen einen Wasserdurchlässigkeitswert $w_{24} \leq 0{,}24$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) aufweisen. Bei den untersuchten Bestandswänden mit vorgesetzter Dämmung aus Stroh und hinterlüfteter Wetterschale kommt es im Jahresverlauf zu keinem Wachstum von Schimmelpilzen.

Bei direktverputzten Konstruktionen mit Dämmstoffdicke von 70 cm muss außenseitige die Hydrophobierung zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung einen Wasserdurchlässigkeitswert von $w_{24} \leq 0{,}21$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) aufweisen.

Bei Konstruktionen mit einer hinterlüfteten Wetterschale und einer 100 cm dicken Dämmung aus Stroh kommt es ebenfalls zu keiner Schimmelpilzbildung innerhalb der Konstruktion.

7 Zusammenfassung

Mit einer rechnerischen Untersuchung wird das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten von Bestandswandkonstruktionen mit einer vorgesetzten Strohballendämmung beurteilt.

Mit dem Programm Wufi 5.1 und Wufi Bio wird an anerkannten Referenzpunkten der Konstruktion das Schimmelpilzrisiko abgeschätzt.

Bei den Bestandswänden mit vorgesetzter Dämmung aus Stroh ohne Wetterschale jedoch mit einer Hydrophobierung ($w_{24} \leq 0{,}24$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) bzw. $w_{24} \leq 0{,}22$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)) kommt es im Jahresverlauf zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko, welches sich bei Übertragung auf das Viitanschen-Model aber als kein Wachstum herausstellt. Konstruktionen mit einer Wetterschale bleiben Schimmelpilzfrei.

Bei direktverputzten Konstruktionen mit Dämmstoffdicke von 70 cm muss außenseitige die Hydrophobierung zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung einen Wasserdurchlässigkeitswert von $w_{24} \leq 0{,}21$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) aufweisen.

Bei Konstruktionen mit einer hinterlüfteten Wetterschale und einer 100 cm dicken Dämmung aus Stroh, kommt es zu keiner Schimmelpilzbildung innerhalb der Konstruktion.

8 Literatur

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

[2] Künzel, H.M.: Raumluftverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung (1997) Nr. 314.

[3] Schaube, H. und Werner, H.: Wärmeübergangskoeffizient unter natürlichen Klimabedingungen. IBP-Mitteilung (1986) Nr. 109.

[4] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. WTA Publications (2002).

[5] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? - Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 8/98, S. 36-41.

[6] Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?. IBP-Mitteilung (1999) Nr. 355.

[7] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Bauphysik 24 (2002), H. 3, S. 167 – 176.

[8] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).

[9] Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K.: Übertragung des Mould-Indexes auf das biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. IBP-Mitteilung 513.

[10] Danielewicz, I.; Fitz, C.; Hofbauer, W.; Klatecki, M.; Krick, B.; Krueger, N.; Krus, M.; Minke, G.; Otto, F.; Scharmer, D.; Teuber, W.: Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden und Optimierung der bauphysikalischen Performance. DBU Abschlußbericht (2008).

[11] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-13/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen Oktober 2005.

[12] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-09/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen August 2005.

[13] DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung.

[14] Untersuchungsbericht L1-20/2004 des FIW München: Prüfungen an „Baustrohballen“, Gräfeling 2004.

[15] Allgemein bauaufsichtliche Zulassung: Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“ (Z-23.11-1595). Deutsches Institut für Bautechnik (2009).

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH

Stellungnahme

Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Wandkonstruktionen

Auftraggeber:

Fachverband für Strohballenbau Deutschland e.V.

Artilleriestraße 6

27283 Verden

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Projekt: ibb 073/12

Wolfhagen, den 11. März 2014

Ingenieurbüro für Bauphysik
Dr. Otto und Klatecki GmbH
Am Gasterfelderholz 20
34466 Wolfhagen

Geschäftsführer:
Dr.-Ing. Frank Otto
Dipl.-Ing. Marc Klatecki

Kontakt:
(05692) 33 88 6-0
info@ib-bauphysik.de

Inhalt

1 Aufgabenstellung 3
2 Untersuchungsgegenstand 3
3 Bearbeitungsgrundlage 4
4 Untersuchungsmethode 7
5 Ergebnisse 7
5.1 Wandkonstruktionen 1 7
5.2 Wandkonstruktionen 2 7
5.3 Wandkonstruktionen 3 8
5.4 Wandkonstruktionen 4 8
5.5 Wandkonstruktionen 5 8
6 Bewertung der Simulationsergebnisse 8
7 Zusammenfassung 9
8 Literatur 9

Wolfhagen, den 11. März 2014

Geschäftsführer

(Dipl.-Ing. Marc Klatecki)

1 Aufgabenstellung

Für Wandkonstruktionen mit einer Dämmung aus Stroh soll anhand von rechnerischen Untersuchungen das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten beurteilt werden.

Auf Grundlage von eindimensionalen Simulationsrechnungen wird die Bewertung des Schimmelpilzrisikos an kritischen Positionen innerhalb der zu prüfenden Konstruktionen anhand eines biohygrothermischen Modells abgeschätzt.

2 Untersuchungsgegenstand

Gegenstand der Untersuchungen sind vier Wände mit einer Dämmung aus Stroh, einer außenseitigen Wetterschale und eine mit außenseitig hydrophobiertem Putz.

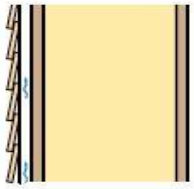
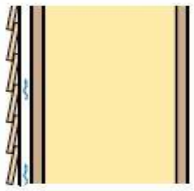
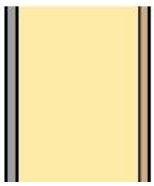
Der Regelquerschnitt der Wandkonstruktionen 1 bis 3 besteht aus 3 cm direktverputztem außenseitigen Kalkputz mit einer Beschichtung und Wetterschale auf einer Holzfaserdämmplatte. Die Dicke der Strohdämmung beträgt 48 cm. Raumseitig wird ein 3 cm dicker Lehmputz aufgebracht. Der außenseitige Wärmedurchlasswiderstand R beträgt bei Konstruktion 1 1,9 m^2·K/W und die außenseitige Beschichtung weist eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von 2 m auf. Bei Konstruktion 2 beträgt der Wärmedurchlasswiderstand R 1,43 m^2·K/W und die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke 1,5 m und bei Konstruktion 3 0,95 m^2·K/W und 1,0 m.

Der Regelquerschnitt der Wandkonstruktionen 4 besteht aus einer außenseitigen Wetterschale und einem 2 cm dicken Kalkputz auf einer Holzschalung. Die Schalung weist eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von 1,37 m und einen Wärmedurchlasswiderstand R von 0,7 m^2·K/W auf. Die Dicke der Strohdämmung beträgt 48 cm. Raumseitig wird eine Dampfbremse mit einer diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d-Wert = 2 m aufgebracht.

Wandkonstruktion 5 besteht im Gegensatz zu Wandkonstruktion 4 auf der Außenseite aus einem hydrophobierten Kalkputz. Die Schalung weist eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von 1,37 m und einen Wärmedurchlasswiderstand R von 0,3 m^2·K/W auf. Raumseitig wird eine Dampfbremse mit einer diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d-Wert = 3 m aufgebracht.

Die untersuchten Konstruktionen sind in Tabelle 2.1 beschrieben.

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der untersuchten Konstruktionen

Konstruktion	Konstruktionsaufbau		
	Nr.	Material	Dicke [m]
Wandkonstruktion 1			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1 m
	3	beschichteter Kalkputz (s_d = 2 m)	0,030
	4	Holzfaserdämmplatte	0,08
	5	Stroh	0,48
	6	Lehmputz	0,030
Wandkonstruktion 2			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1 m
	3	beschichteter Kalkputz (s_d = 1,5 m)	0,030
	4	Holzfaserdämmplatte	0,06
	5	Stroh	0,48
	6	Lehmputz	0,030
Wandkonstruktion 3			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1 m
	3	beschichteter Kalkputz (s_d = 1 m)	0,030
	4	Holzfaserdämmplatte	0,04
	5	Stroh	0,48
	6	Lehmputz	0,030
Wandkonstruktion 4			
	1	hinterlüftete Wetterschale	-
	2	Fassadenspannbahn	s_d = 0,1 m
	3	Kalkputz	0,030
	4	Schalung	0,0105
	5	Stroh	0,48
	6	Dampfbremse	s_d = 2 m
Wandkonstruktion 5			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}12$ kg/($m^2 \cdot h^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,030
	3	Schalung	0,0105
	4	Stroh	0,48
	5	Dampfbremse	s_d = 3 m

3 Bearbeitungsgrundlage

Für die Bewertung des Feuchteschutzes von Außenbauteilen stellt das Institut für Bauphysik der Fraunhofergesellschaft den Klimadatensatz "ibp 1991" zur Verfügung. Innen herrschen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast, dies entspricht einem sinusförmigen Verlauf der Temperatur zwischen 22 °C im Juni und 20 °C im Dezember sowie einer relativen Raumluftfeuchte zwischen 60 % im August und 40 % im Februar. Der außenseitige Wärmeübergangswiderstand der Wandkonstruktionen wird gemäß [1], [2], [3] und [4] mit 0,0588 $m^2 \cdot K/W$ und der Wärmeübergangswiderstand der Innenoberfläche entsprechend [1], [2] und [4] mit 0,125 $m^2 \cdot K/W$ angesetzt.

Die Ausrichtung der bewitterten Wandkonstruktion ist aufgrund der erhöhten Schlagregenbelastung West und die der Wandkonstruktionen mit konstruktivem Wetterschutz aufgrund der geringen Strahlung Nord.

Der Strahlungsabsorptionsgrad α_s der frei bewitterten Wandkonstruktionen beträgt 0,4 für normal hellen Putz. Die klimatischen Bedingungen im Bereich der hinterlüfteten Wetterschale werden in Anlehnung an [5] mit einem Strahlungsabsorptionsgrad α_s = 0,4 für die Wetterschale und ohne Einfluss des Regens mit den gleichen klimatischen Verhältnissen wie die Außenluft in Ansatz gebracht. Die Fassadenspannbahn wird aufgrund von unterschiedlichen Effekten, beispielsweise mögliche Verschmutzungen oder Vereisungen, mit einem s_d-Wert von 0,1 in Anlehnung an [6] in Ansatz gebracht.

In [7] wird ein biohygrothermisches Bewertungsverfahren beschrieben, das eine Vorhersage von Schimmelpilzwachstum auf Basis der drei wesentlichen Wachstumsfaktoren (Feuchte, Temperatur und Substrat) unter instationären Randbedingungen ermöglicht. Die wesentlichen Merkmale werden in [8] erläutert. Die Bewertung eines möglichen Schimmelpilzwachstums unter instationären Umgebungsbedingungen erfolgt hierbei durch den Vergleich des instationär ermittelten Wassergehalts in einer Modellpilzspore mit einem Grenzwassergehalt, ab dem die Spore auszukeimen und zu wachsen beginnt. Falls eine Auskeimung stattfindet, kann durch Vergleich mit experimentell ermittelten Wachstumskurven eine Abschätzung des möglichen Wachstums erfolgen. Das Verfahren beruht darauf, dass die Modellspore ein osmotisches Potenzial besitzt. Hierdurch hat die Spore die Möglichkeit aus der Umgebung Wasser aufzunehmen. Dies wird rechnerisch mit einer Feuchtespeicherfunktion beschrieben. Der Feuchtetransport mittels Diffusion durch die Modellsporenwand wird hierbei anhand eines feuchteabhängigen Diffusionswiderstandes dargestellt. Je nach Umgebungsbedingung ändert sich so der Wassergehalt innerhalb der Spore. Überschreitet der Wassergehalt in der Spore einen kritischen Grenzwassergehalt, setzt rechnerisch eine biologische Aktivität der Spore ein. Hierbei wird angenommen, dass die Spore sofort auskeimt und das Wachstum sofort beginnt. Zur Abschätzung des Wachstums wird ein Isoplethensystem für unterschiedliche Substratklassen herangezogen. Hierbei wird für verschiedene Pilzarten eine gemeinsame Grenzisoplethe (Lowest Isopleth for Mould, LIM) herangezogen. Unterhalb dieser LIM kommt es generell zu keiner biologischen Aktivität.

Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrunds oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen herangezogen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Hierzu erfolgte in [8] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

Substratgruppe 0:

Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten relativen Luftfeuchten für die Auskeimung und das Wachstum von Schimmelpilzsporen. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilzarten die unterste Wachstumsgrenze.

Substratgruppe I:

Biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskartonbauplatten, Dichtungsmassen.

Substratgruppe II:

Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, einige Holzarten sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Das hier vorliegende Stroh ist der Substratgruppe I zuzuordnen.

Das biohygrothermische Verfahren vergleicht den Wassergehalt innerhalb der Spore mit dem temperaturabhängigen Grenzwassergehalt. Im Falle einer Keimung wird nur das zu erwartende Schimmelwachstum rechnerisch abgeschätzt. Unterschreitet der Wassergehalt innerhalb der Spore den Grenzwassergehalt, stagniert das Wachstum bis der Wassergehalt innerhalb der Spore den Grenzwassergehalt wieder überschreitet. Bei geringer und kurzfristiger prognostizierter Schimmelpilzbildung muss es innerhalb der Konstruktionen noch zu keinem Schimmelpilzwachstum kommen, da Sicherheitsfaktoren im Programm berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse werden zusätzlich in Millimeter angegeben. Im skandinavischen Bereich hat sich jedoch eine Bewertung etabliert, welche von einer prozentualen Flächenbelegung ausgeht. Anhand von Vergleichssimulationen wurde in einer Untersuchung am Fraunhofer-Institut eine Übertragung des Wachstums in Millimeter auf das so genannte Viitanenschen Mould-Index-Verfahren durchgeführt [9]. Diese Übertragung ermöglicht es aus dem physikalischen Modell nach [8] Flächenbelegung und verbale Beschreibungen abzuleiten. Hierdurch erhält man ein anschauliches Bewertungsmaß für mögliches Schimmelpilzwachstum.

Die Übertragung der Ergebnisse nach [8] auf eine prozentuale Flächenbelegung erfolgt wie folgt:

- 0 mm bis 50 mm: kein Schimmelpilzwachstum
- 50 mm bis 200 mm: wenig Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar
- über 200 mm: mäßiges Schimmelpilzwachstum, nur unter Mikroskop erkennbar

Bei der Bewertung der Eignung von Strohballenkonstruktionen wird nunmehr davon ausgegangen, dass wenig Schimmelpilzwachstum keinen Einfluss auf die Dauerhaftigkeit der Konstruktion hat, da in die Bewertung nicht nur zerstörend wirkende Pilze mit einfließen, sondern sämtliche Pilzarten. Zusätzlich handelt es sich bei Wand- oder Dachkonstruktion um konvektiv geschlossene Systeme, bei denen Schimmelpilze aus der Konstruktion nicht in den Wohnraum gelangen können.

Sicherheitshalber wird, entgegen der Annahme in [10], von einem maximal zulässigen Schimmelpilzwachstum von 50 mm ausgegangen. Für die Ermittlung des rechnerischen Schimmelpilzrisikos wird der zeitliche Verlauf der Temperatur und der Luftfeuchte benötigt. Die Bewertung des Schimmelpilzwachstums wird analog zu dem Nachweis des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP-Bericht RKB-13/2005 [11] und IBP-Bericht RKB-09/2005 [12] nahe der äußeren Putzschicht, in 5 cm Tiefe, durchgeführt. Für die Ermittlung des biohygrothermischen Verhaltens wird Stroh der Substratgruppe I, biologisch verwertbares Substrat, zugeordnet.

Bei den Simulationen wird davon ausgegangen, dass die Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 [13] zur Hydrophobierung die kapillare Wasseraufnahme unterbindet und die Wasserdampfdurchlässigkeit des Putzes um nicht mehr als 20% verringert wird. Die Eindringtiefe des Hydrophobierungsmittels liegt zwischen 3 mm und 5 mm und ist auch bei der Ausführung zur Sicherstellung eines langfristigen Schutzes der Fassade vor eindringendem Wasser zu gewährleisten. Zur Vermeidung von Frostschäden, sind die Poren von nicht hydrophobierten Bereichen des außenseitigen Putzes nicht durch das Hydrophobierungsmittel zu verschließen. Frostschäden und Durchfeuchtung aufgrund von fehlenden kapillaren Feuchtetransportmöglichkeiten wären die Folge. Jegliche

Schäden (z.B. Risse) sind nach der Winterperiode zu lokalisieren und instand zusetzen. Die Beschichtungsmittel sind nach [13] klassifiziert und in Tabelle 3.1 dargestellt.

Tabelle 3.1: Klassifizierung für die Durchlässigkeit für Wasser (W) für Beschichtungsstoffe und –systeme gemäß DIN EN 1062-1 [13]

Klasse		**Anforderung** $[kg/(m^2 \cdot h^{0,5})]$
W_0		keine Anforderung
W_1	hoch	> 0,5
W_2	mittel	≤ 0,5
		> 0,1
W_3	niedrig	≤ 0,1

4 Untersuchungsmethode

Die Untersuchung des Wärme- und Feuchteverhaltens der in Kapitel 3 dargestellten Konstruktionen erfolgt unter Ansatz natürlicher Klimabedingungen mit dem experimentell verifizierten Programm WUFI 5.1 [1]. Die Bewertung der Gebrauchstauglichkeit erfolgt anhand des rechnerischen Schimmelpilzrisikos mit dem in [7] und [8] beschriebenen Verfahren mit den Jahresverläufen der relativen Luftfeuchte und Temperatur an kritischer Stelle nahe der äußeren Putzschicht bzw. Beplankung. Die Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung erfolgt nach [9].

Die Kennwerte für die angesetzte Strohballendämmung wie Rohdichte, Wärmeleitfähigkeit und Wasserdampfdiffusionswiderstandzahl stammen aus [14], [10] und [15] und die für die verwendeten Putze vom Hersteller bzw. aus [12] und aus der WUFI-Datenbank.

5 Ergebnisse

5.1 Wandkonstruktionen 1

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 1 zwischen 81,6 % im Februar und 76,2 % im September. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 25,8 °C im Juli und -4,2 °C im Januar.

Ab April bis August kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.2 Wandkonstruktionen 2

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 2 zwischen 82,2 % im Februar und 74,4 % im September. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 26,2 °C im Juli und -5,6 °C im Januar.

Ab April bis Juli kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.3 Wandkonstruktionen 3

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 3 zwischen 83,6 % im Februar und 72,2 % im September. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 27,7 °C im Juli und -7,9 °C im Januar.

Ab April bis Juli kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.4 Wandkonstruktionen 4

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 4 zwischen 87,6 % im Februar und 71,1 % im September. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 27,4 °C im Juli und -7,9 °C im Januar.

Ab März bis Juni kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

5.5 Wandkonstruktionen 5

Im Jahresverlauf schwankt die relative Feuchte bei Wandkonstruktion 5 zwischen 83,6 % im Februar und 72,2 % im September. Die Temperaturen schwanken im Jahresverlauf zwischen 27,7 °C im Juli und -7,9 °C im Januar.

Ab März bis Juni kommt es teilweise zu einer Überschreitung des Grenzwassergehalts der Modellspore, was ein rechnerisches Schimmelpilzrisiko nach [7] zur Folge hat. Bei Übertragung des ermittelten rechnerischen Risikos auf eine prozentuale Flächenbelegung nach [9] ist jedoch mit keinem Schimmelpilzwachstum zu rechnen.

Eine Übersicht der Ergebnisse findet sich im Anhang.

6 Bewertung der Simulationsergebnisse

Bei Einsatz von Strohballendämmung ist davon auszugehen, dass - sofern die Strohballen vor dem Einbau nicht gereinigt und sterilisiert werden - keimungsfähige Sporen vorhanden sind. Bei üblichen Konstruktionen ist dies in Bezug auf das Schimmelpilzrisiko unerheblich, da es sich um konvektiv geschlossene Systeme handelt und somit ein Sporeneintrag ausgeschlossen ist.

Bei den untersuchten Wandkonstruktionen kommt es im Jahresverlauf zwar zu einem rechnerischen Schimmelpilzrisiko auf Grundlage des Modells nach [7], welches jedoch bei Übertragung auf eine prozentuale Flächenbelegung und verbale Beschreibung gemäß [9] keine Schimmelpilzbildung hervorruft.

Zur Vermeidung einer Schimmelpilzbildung muss bei der direkt bewitterten Wandkonstruktion der hydrophobierend wirkende Anstrich die kapillare Wasseraufnahme der porösen Oberflächenstruktur des Außenputzes gegen eindringende Feuchtigkeit schützen. So muss die Wandkonstruktion

mit einer 48 cm dicken Strohschicht ein Beschichtungssystem W_2 für den Widerstand gegen eindringendes Wasser erhalten. Die Hydrophobierung muss einen Wasserdurchlässigkeitswert $w_{24} \leq 0{,}12$ kg/(m^2·h$^{1/2}$) aufweisen.

Bei Konstruktionen mit einer hinterlüfteten Wetterschale und beschichteten Putzsystemen kommt es bei Verwendung einer außenseitigen Überdämmung der Strohschicht ebenfalls zu keiner Schimmelpilzbildung innerhalb der Konstruktion.

7 Zusammenfassung

Mit einer rechnerischen Untersuchung wird das hygrothermische und biohygrothermische Verhalten von Bestandswandkonstruktionen mit einer vorgesetzten Strohballendämmung beurteilt.

Mit dem Programm Wufi 5.1 und Wufi Bio wird an anerkannten Referenzpunkten der Konstruktion das Schimmelpilzrisiko abgeschätzt.

Bei beschichteten Außenputzen muss zur Sicherstellung des Feuchteschutzes die Strohschicht eine zusätzliche Überdämmung aufweisen. Je höher der s_d-Wert der außenseitigen Beschichtung ist, desto größer muss der außenseitige Wärmedurchlasswiderstand R sein. Bei einer außenseitigen Beschichtung mit $s_{d,a} \leq 1{,}00$ m errechnet sich die notwendige Überdämmung zu $R_a \geq 1{,}00$ m²·K/W, bei $s_{d,a} \leq 1{,}5$ m zu $R_a \geq 1{,}43$ m²·K/W und bei $s_{d,a} \leq 2{,}0$ m zu $R_a \geq 1{,}9$ m²·K/W.

Weisen Wandkonstruktionen mit Wetterschutz einen außenseitigen s_d-Wert ≤ 1,5 m in Form einer Schalung und raumseitig eine Dampfbremse mit s_d-Wert ≥ 2,0 m auf, ist außenseitig ein Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 0{,}7$ m^2·K/W einzuhalten.

Direkt bewitterte Konstruktionen mit einem außenseitigen s_d-Wert ≤ 1,5 m in Form einer Schalung und einer raumseitigen Dampfbremse mit s_d-Wert ≥ 3,0 m benötigen eine Hydrophobierung des Außenputzes mit $w_{24} \leq 0{,}12$ kg/(m^2·h$^{1/2}$). Der außenseitige Wärmedurchlasswiderstand R muss mindestens 0,3 m^2·K/W betragen.

8 Literatur

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

[2] Künzel, H.M.: Raumluftverhältnisse in Wohnräumen. IBP-Mitteilung (1997) Nr. 314.

[3] Schaube, H. und Werner, H.: Wärmeübergangskoeffizient unter natürlichen Klimabedingungen. IBP-Mitteilung (1986) Nr. 109.

[4] WTA Merkblatt 6-2-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. WTA Publications (2002).

[5] Künzel, H.M.: Außen dampfdicht, vollgedämmt? - Die rechnerische Simulation gibt Hinweise zu dem Feuchteverhalten außen dampfdichter Steildächer. bauen mit holz 8/98, S. 36-41.

[6] Künzel, H.M.: Dampfdiffusionsberechnung nach Glaser – quo vadis?. IBP-Mitteilung (1999) Nr. 355.

[7] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Bauphysik 24 (2002), H. 3, S. 167 – 176.

[8] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).

[9] Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K.: Übertragung des Mould-Indexes auf das biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. IBP-Mitteilung 513.

[10] Danielewicz, I.; Fitz, C.; Hofbauer, W.; Klatecki, M.; Krick, B.; Krueger, N.; Krus, M.; Minke, G.; Otto, F.; Scharmer, D.; Teuber, W.: Grundlagen zur bauaufsichtlichen Anerkennung der Strohballenbauweise - Weiterentwicklung der lasttragenden und Optimierung der bauphysikalischen Performance. DBU Abschlußbericht (2008).

[11] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-13/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen Oktober 2005.

[12] Untersuchungsbericht IBP-Bericht RKB-09/2005: Feuchtetechnische Untersuchung an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung, Holzkirchen August 2005.

[13] DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 1: Einteilung.

[14] Untersuchungsbericht L1-20/2004 des FIW München: Prüfungen an „Baustrohballen“, Gräfeling 2004.

[15] Allgemein bauaufsichtliche Zulassung: Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen“ (Z-23.11-1595). Deutsches Institut für Bautechnik (2009).

Fraunhofer
IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht RKB-025/2013

Hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen einer Wand- und Dachkonstruktion aus Strohballendämmung

Durchgeführt im Auftrag
Fachverband für Strohballenbau Deutschland e.V.
Herr Kaesberg
Artilleriestr. 6
27283 Verden

Der Bericht umfasst
14 Seiten Text
2 Tabellen
11 Bilder

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Dipl.-Ing. (FH) Kristin Lengsfeld
Dr.-Ing. Martin Krus

Valley, 4. Juli 2013

Gruppenleiter
Dr.-Ing. M. Krus

Bearbeiter
Dipl.-Ing. K. Lengsfeld

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12 · D-70569 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711/970-00
Telefax +49 (0) 711/970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Institutsteil Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 · D-83626 Valley
Telefon +49 (0) 8024/643-0
Telefax +49 (0) 8024/643-366

Projektgruppe Kassel
Gottschalkstr. 28a · D-34127 Kassel
Telefon +49 (0) 561/804-1870
Telefax +49 (0) 561/804-3187

Inhalt

1	**Einleitung**	**3**
2	**Hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen**	**3**
2.1	Konstruktionsaufbau und Materialkennwerte	3
2.2	Randbedingungen	4
1.1.1	Biohygrothermische Berechnungen	5
3	**Ergebnisse der hygrothermischen und biohygrothermischen Berechnungen**	**7**
3.1	Ergebnisse Wand 1 – Fall 1	7
3.2	Ergebnisse Dach 3 – Fall 1	10
4	**Zusammenfassung**	**13**

1 Einleitung

Für eine Erweiterung der Zulassung Z23.11-1595 einer Strohballendämmung werden eine Wand- und eine Dachkonstruktion mit Hilfe von hygrothermischen Berechnungen in Hinsicht auf den Feuchtehaushalt und das Schimmelpilzrisiko überprüft. Aufbauend auf hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen, die das Ingenieurbüro für Bauphysik – Dr. Otto und Klatecki GmbH [1] erstellt hat, wird die Wand 1 – Fall 1 und das Dach 3 – Fall 1 von Seiten des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik in Holzkirchen in Hinblick auf den Feuchtehaushalt und das Schimmelpilzrisiko untersucht. Die Berechnungen werden mit Hilfe der hygrothermischen Bauteilsimulationssoftware WUFI® Pro und dem biohygrothermischen Berechnungsprogramm WUFI® Bio durchgeführt.

2 Hygrothermische und biohygrothermische Berechnungen

Mithilfe der durchgeführten Berechnungen wird der Einfluss einer Hydrophobierung auf der Wandoberfläche auf den Feuchtehaushalt und das Schimmelpilzrisiko bewertet. Des Weiteren werden die hygrothermischen Verhältnisse in der ausgewählten Dachkonstruktion analysiert. Die Grundlage der durchgeführten hygrothermischen Berechnungen basiert auf Untersuchungen [2-4], die vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik in den Jahren 2005 und 2008 durchgeführt wurden. Die darin eingesetzten Materialdaten der Strohballendämmung und des Lehmputzes werden im Rahmen dieses Gutachten übernommen. Alle weiteren Materialdaten werden aus dem Gutachten des Ingenieurbüros für Bauphysik [1] bzw. der Materiadatenbank von WUFI® entnommen.

Die rechnerischen Untersuchungen von gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportvorgängen werden mit dem am Fraunhofer IBP entwickelten und mehrfach verifizierten eindimensionalen Simulationsprogramm WUFI® Pro [5] durchgeführt. Des Weiteren wird das Schimmelpilzwachstum mit dem Vorhersagemodell WUFI® Bio [6] bewertet, das auf Basis von drei Wachstumsvoraussetzungen (Feuchte, Temperatur und Substrat) entwickelt wurde und instationäre Randbedingungen berücksichtigt.

2.1 Konstruktionsaufbau und Materialkennwerte

Der Aufbau der Wand- und der Dachkonstruktion wird aus dem bestehenden Gutachten [1] übernommen. Der Aufbau der Konstruktionen ist nachfolgend in Tabelle 1 beschrieben. Die angesetzten Materialkennwerte der Strohballendämmung und des Lehmputzes stammen aus den bestehenden Gutachten [2, 3] des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. Alle weiteren Materiakennwerte werden aus der WUFI®-Materialdatenbank übernommen. Die aufgebrachte Hydrophobierung auf den Kalkputz wird durch Anpassung des Wasseraufnahmekoeffizienten der äußeren Materialschicht berücksichtigt. In Tabelle 2 sind die wichtigsten Kennwerte nochmals aufgelistet.

Tabelle 1:
Konstruktionsaufbau der Wand und des Daches für die Berechnungen.

Konstruktion	Konstruktionsaufbau Nr.	Material	Dicke [m]
Wand 1 – Fall 1			
	1	Hydrophobierung	W2; $w_{24} \leq 0{,}26$ kg/(m^2·h$^{1/2}$)
	2	Kalkputz	0,03
	3	Stroh	0,36
	4	Lehmputz	0,03
Dach 3 – Fall 1			
	1	hinterlüftete Dachdeckung	-
	2	Unterdachspannbahn, diffus.-offen	s_d = 0,1 m
	3	Holzfaserdämmplatte	0,022
	4	Stroh	0,36
	5	OSB-Platte	0,018
	6	Gipskartonplatte	0,0125

Quelle: Stellungnahme – Ingenieurbüro für Bauphysik [1].

Tabelle 2: Auflistung der wichtigsten Materialkennwerte.

Material	**Materialdicke[m]**	**Wärmeleitfähigkeit [W/m*K]**	**Diffusionswiderstandszahl μ [-]**	**Wasseraufnahmekoeffizient [kg/m²*h$^{-0,5}$]**
Kalkputz hydrophobiert	0,003	0,7	7	0,26
Kalkputz	0,027	0,7	7	3
Holzfaserdämmplatte	0,022	0,04	2,9	-
Strohballendämmung	0,36	0,044 (quer zur Faser) 0,067 (längs zur Faser)	2	-
Lehmputz	0,03	0,65	11,3	-
OSB	0,018	0,13	165	-
Gipskarton	0,0125	0,2	8,3	-

2.2 Randbedingungen

Um eine Vergleichbarkeit zu den existierenden Ergebnissen aus den Gutachten [2, 3] zu erhalten, werden die gleichen Randbedingungen angesetzt. Als außen anliegendes Klima wird das Holzkirchner Klima von 1991 angesetzt. Innen herrschen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast, dies entspricht einem sinusförmigen Verlauf der Temperatur zwischen 22 °C im Juni und 20 °C im Dezember, sowie einer relativen Feuchte zwischen 60 % im August und 40 % im Februar. Die angesetzten Wärmeübergangswiderstände sind für die Wand außenseitig mit 0,0588 [m²*K/W] und für das Dach mit 0,0526 [m²*K/W] und innenseitig jeweils mit 0,125 [m²*K/W] berücksichtigt.

In der Berechnung wird die Wand mit einer Orientierung nach Westen angesetzt. Das Dach ist nach Norden mit 30° Neigung ausgerichtet. Für die Wand werden eine kurzwellige Absorptionszahl von 0,4 und eine langwellige Emissionszahl von 0,9 angesetzt. Die Dachkonstruktion wird mit einer kurzwelligen Absorptionszahl von 0,6 und einer langwelligen Emissionszahl von 0,9 angegeben. Des Weiteren werden die Berechnungen mit einem vereinfachten Strahlungsmodell berechnet, da nicht ausreichend genug Strahlungsdaten in dem verwendeten Klimadatensatz vorhanden sind.

Der Anfangswassergehalt der einzelnen Materialien wird entsprechend der Ausgleichsfeuchte bei 80 % relativer Luftfeuchte angenommen. Die Berechnungen werden beginnend im Januar für einen Zeitraum von fünf Jahren durchgeführt.

1.1.1 Biohygrothermische Berechnungen

Das Schimmelpilzrisiko der beiden Konstruktionen wird mit Hilfe von WUFI® Bio berechnet. Ausgewertet werden zwei Monitorpositionen in den Konstruktionen. Die Lage der Monitorpositionen ist nachfolgend in Bild 1 für die Wand und in Bild 2 für das Dach dargestellt. Die Stellen sind jeweils die außenliegende Oberfläche der Strohballendämmung und von außen in 5 cm Tiefe der Strohballen angesetzt Für die Bewertung des Schimmelpilzwachstums an den ausgewählten Monitorpositionen in der Wand und im Dach wird jeweils die Substratgruppe I nach [6] berücksichtigt.

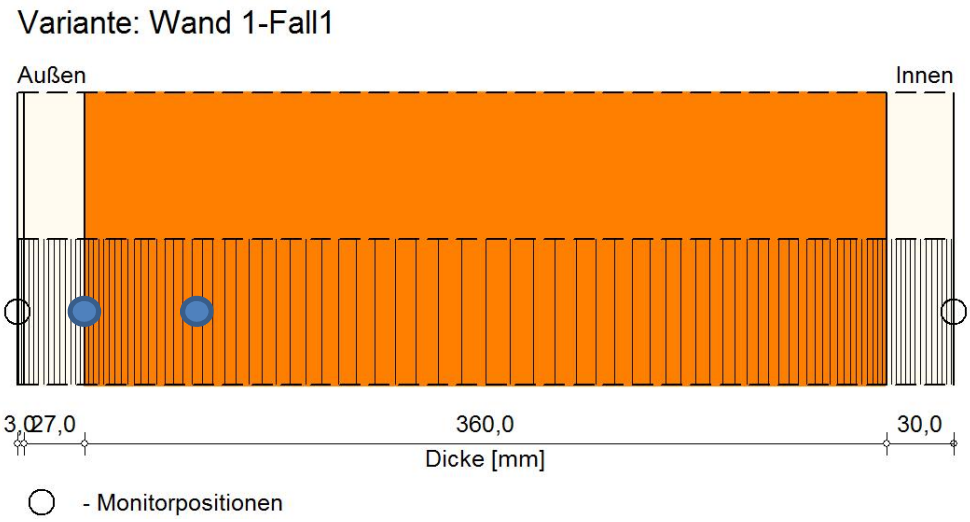


Bild 1:
Schematische Darstellung des Wandaufbaus in WUFI® Pro mit Kennzeichnung der Monitorpositionen (blaue Punkte), die für die biohygrothermischen Berechnungen verwendet werden.

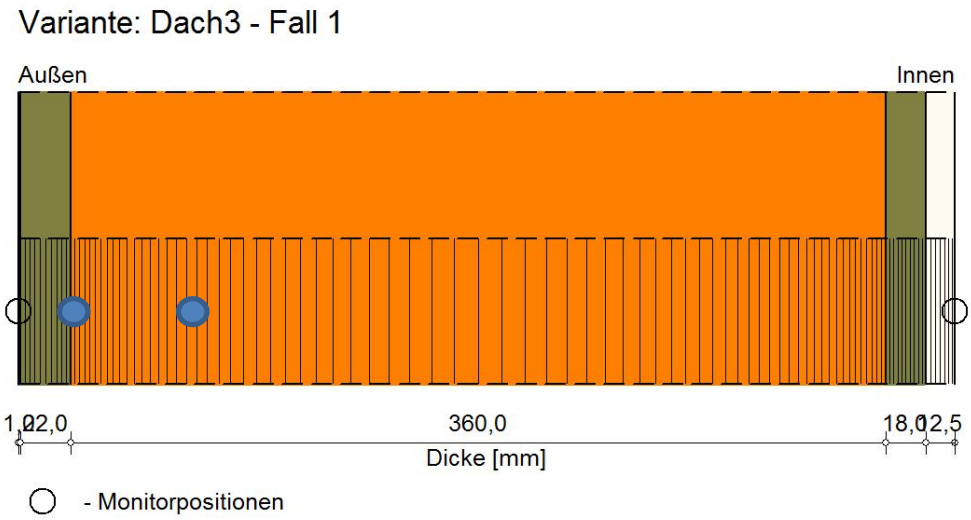


Bild 2:
Schematische Darstellung des Dachaufbaus in WUFI® Pro mit Kennzeichnung der Monitorpositionen (blaue Punkte), die für die biohygrothermischen Berechnungen verwendet werden.

Durch die Verknüpfung der Ergebnisse des Biohygrothermisches Modells mit dem Mould-Index des Viitanen-Modells [7] wird erreicht, dass ein inzwischen anerkanntes und vor allem anschauliches Bewertungsmaß auch bei WUFI®-Bio genutzt werden kann [8]. Der Mould-Index ist dabei folgendermaßen definiert:

0 = kein Wachstum

1 = ein wenig Wachstum (mikroskopisch)

2 = mäßiges Wachstum (mikroskopisch) Bedeckung > 10%

3 = ein wenig sichtbares Wachstum (dünne Hyphen sind zusätzlich mikroskopisch erkennbar)

4 = sichtbares Wachstum (Wachstum ebenfalls mikroskopisch erkennbar)

5 = Bedeckung > 50%

6 = dichte Bedeckung 100%

Erst ab einem Mould-Index von 2 ist unter dem Mikroskop ein mäßiges Schimmelpilzwachstum zu erkennen und erst ab einem Mould-Index von 3 wird das Schimmelpilzwachstum sichtbar. Aus diesem Grund wird bei einem Mould-Index von unter 1 von keiner Gefährdung ausgegangen und erst bei über 3 sind unbedingt Maßnahmen erforderlich. Dazwischen hängt die Entscheidung über die Notwendigkeit von den Randbedingungen ab.

3 Ergebnisse der hygrothermischen und biohygrothermischen Berechnungen

3.1 Ergebnisse Wand 1 – Fall 1

Nachfolgend sind die Ergebnisse der hygrothermischen und biohygrothermischen Berechnungen der Wandkonstruktion Wand 1 – Fall 1 dargestellt.

Da in der Produktzulassung Z23.11-1595 die Wärmeleitfähigkeit der Strohballendämmung quer zur Faser und längs der Faser unterschieden wird, sind in Bild 3 die Gesamtwassergehalte der Wandkonstruktion zum Vergleich für beide angesetzte Wärmeleitfähigkeiten der Strohballendämmung dargestellt. Die Gesamtwassergehalte bei einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,044 W/m*K oder λ = 0,067 W/m*K unterscheiden sich nicht wesentlich. Da die Wärmeleitfähigkeit keinen Einfluss auf den Gesamtwassergehalt der Konstruktion hat und die Strohballen so in der Wand eingebaut sind, dass die Wärmeleitung in der eindimensionalen Berechnung quer zur Faser ausschlaggebend ist, wird weiterführend in den Berechnungen von einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,044 W/m*K ausgegangen.

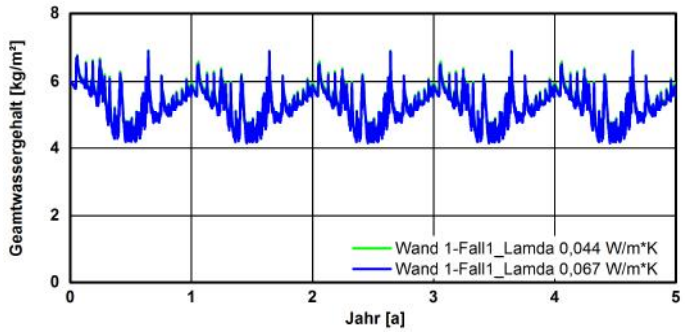


Bild 3:
Verlauf des Gesamtwassergehaltes in der Wand im Zeitraum von fünf Jahren.

In Bild 4 sind die Verläufe der Wassergehalte in der außenliegenden hydrophobierten Kalkputzschicht, sowie dem dahinterliegenden Kalkputz im Verlauf der berechneten fünf Jahre abgebildet. Der Wassergehalt in der außenliegenden Kalkputzschicht mit Hydrophobierung schwank jahreszeitlich bedingt zwischen ca. 7 – 196 kg/m³. Die kurzfristig auftretenden hohen Wassergehalte in der 3 mm dicken hydrophobierten Putzschicht treten durch Regen auf. Die dahinterliegende Putzschicht zeigt im Vergleich nur geringe Schwankungen des Wassergehaltes zwischen ca. 15 – 88 kg/m³ auf. Des Weiteren sind in Bild 5 die Wassergehalte in der Strohballendämmung und des innenseitig aufgebrachten Lehmputzes dargestellt. Hier zeigen sich in beiden Materialien eine sehr geringe Schwankungsbreite und kein langfristiger Anstieg der Wassergehalte. Der Lehmputz erreicht kurzfristig einen maximalen Wassergehalt von 12 kg/m³ und die Strohballendämmung von maximal 11 kg/m³.

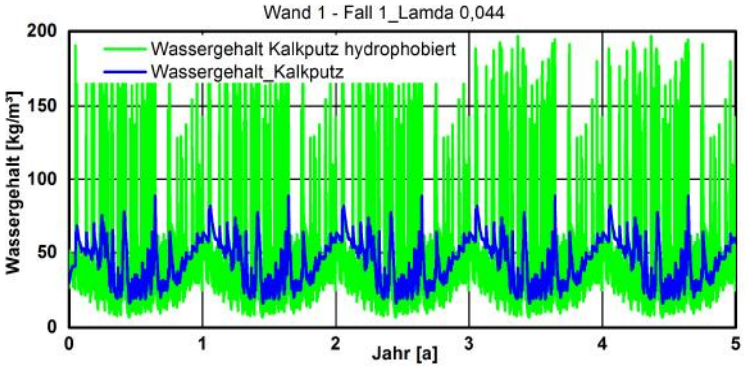


Bild 4:
Verlauf der Wassergehalte in der hydrophobierten Kalkputzschicht und dem dahinterliegenden Kalkputz im Verlauf von fünf Jahren.

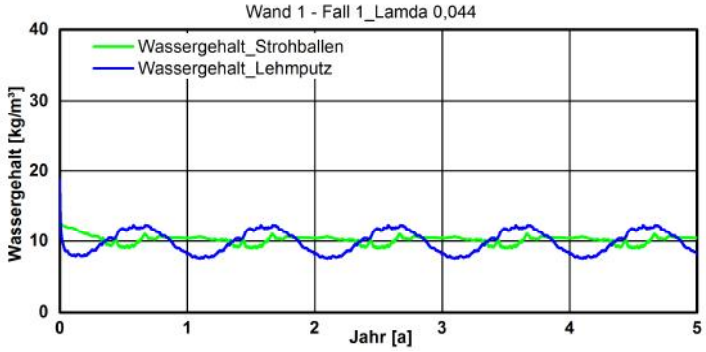


Bild 5:
Verlauf der Wassergehalte in der Strohballendämmung und dem innenseitigen Lehmputz im Verlauf von fünf Jahren.

Da für das Schimmelpilzrisiko in der Konstruktion die klimatischen Bedingungen an einzelnen Stellen ausschlaggebend sind, werden zwei kritische Punkte in der Strohballendämmung zur Bewertung des Schimmelpilzrisikos ausgewählt In Bild 6 sind die Verläufe der Temperaturen und relativen Feuchten an den gewählten Monitorpositionen abgebildet (siehe Bild 1 und Bild 2). Es zeigt sich, dass die Schwankungsbreite der Temperatur und der relativen Feuchte erwartungsgemäß an der Strohballenoberfläche größer ist, als in 5 cm Tiefe. Die relative Feuchte liegt an der Strohoberfläche zwischen 50 – 94 % und in 5 cm Tiefe bei ca. 61 – 88 %. In Bild 7 oben ist das Schimmelpilzwachstum in Millimeter innerhalb der betrachteten fünf Jahre abgebildet. Hier zeigt sich, dass es in 5 cm Tiefe anfänglich rechnerisch zu einem jährlichen Wachstum von ca. 100 mm kommt, welches sich dann auf etwa 50 mm jährlich reduziert. An der Oberfläche des Strohballens kommt es im Laufe der betrachteten fünf Jahre zu einem Wachstum von jährlich ca. 180 mm. Vergleichend ist in Bild 7 unten das Schimmelpilzrisiko nach den Kriterien des Mould Indexes abgebildet. An der Außenoberfläche des Strohballens liegt der Mould Index bei ca. 1,6, dies entspricht einer Schimmelpilzbedeckung von < 10% und ist somit zwischen „ein wenig" bis „mäßiges Wachstum" [7] einzuordnen und nur unter dem Mikroskop sicht-

bar. Da im vorliegenden Fall das prognostizierte (geringe) Schimmelpilzwachstum relativ weit außen ohne Kontakt zum Innenraum stattfinden wird, ist weder eine Gefährdung der Konstruktion noch eine Gesundheitsrisiko gegeben. Das Schimmelpilzwachstum in 5 cm Tiefe des Strohballens entspricht nach den Kriterien des Mould Indexes „keinem“ bis „ein wenig Wachstum“ und ist somit unkritisch.

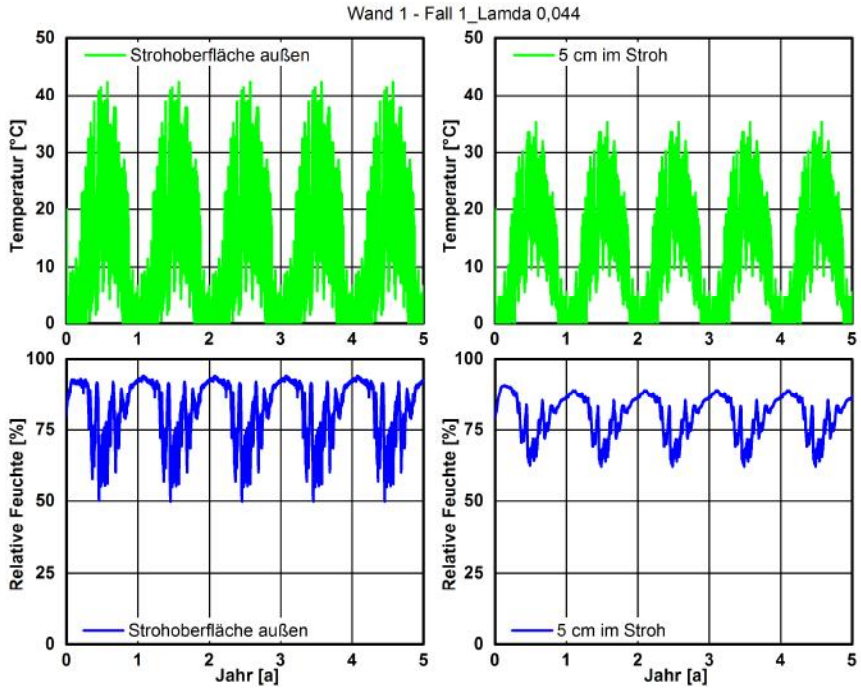


Bild 6:
Zeitlicher Verlauf der Temperaturen (oben) und relativen Feuchten (unten) an den zwei ausgewählten Monitorpositionen in der Wandkonstruktion.
links: Monitorposition an der Außenoberfläche der Strohballendämmung.
rechts: Monitorposition in 5 cm Tiefe, von außen, der Strohballendämmung.

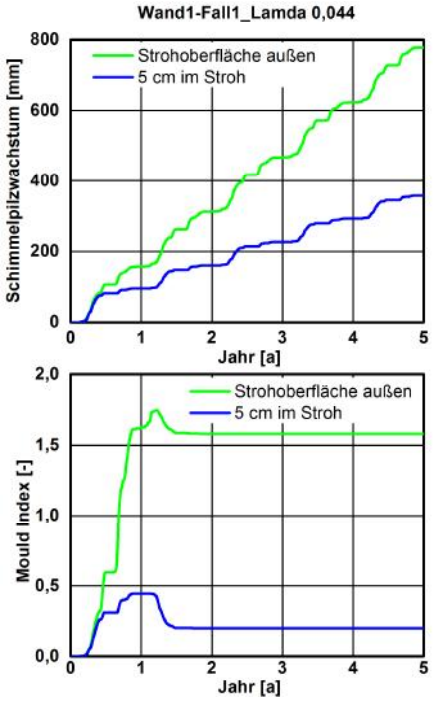


Bild 7:
Vergleich der berechneten Wachstumskurven an zwei Stellen in der Strohdämmung zwischen Schimmelpilzwachstum in mm und nach dem Mould Index in der Wand.
oben: Verlauf des Schimmelpilzwachstums in mm innerhalb von fünf Jahren.
unten: Verlauf des Schimmelpilzwachstums anhand des Mould Index.

3.2 Ergebnisse Dach 3 – Fall 1

Bei der zweiten betrachteten Konstruktion handelt es sich um die Variante Dach 3 – Fall 1 aus [1]. Die Ergebnisse der Berechnungen sind nachfolgend jeweils für fünf Jahre dargestellt.

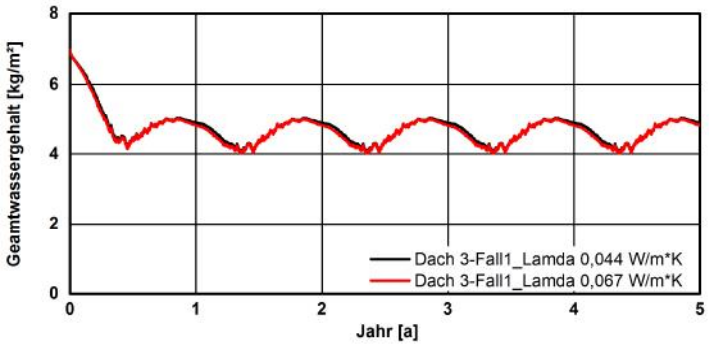


Bild 8:
Verlauf des Gesamtwassergehaltes im Dach im Zeitraum von fünf Jahren.

In Bild 8 sind die Gesamtwassergehalte in der Dachkonstruktion zum Vergleich für beide angesetzten Wärmeleitfähigkeiten der Strohballendämmung dargestellt. Hier zeigt sich ebenfalls, wie auch bei der Wand, kein wesentlicher Unterschied im Gesamtwassergehalt. Deshalb werden nachfolgend wieder die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt, bei denen die Wärmeleitfähigkeit des Strohs mit 1=0,044 W/m*K angesetzt sind. In Bild 9 sind die Wassergehalte in den einzelnen Schichten abgebildet. Hier zeigt sich, dass es in keinem der Materialien zu einem langfristigen Anstieg des Wassergehaltes im Laufe der fünf Jahre kommt. Die jahreszeitlich bedingten Schwankungen liegen bei der Holzfaserdämmung zwischen 14 – 33 kg/m³, im Strohballen zwischen 6 – 9 kg/m³ und in der OSB-Platte bei 63 – 75 kg/m³.

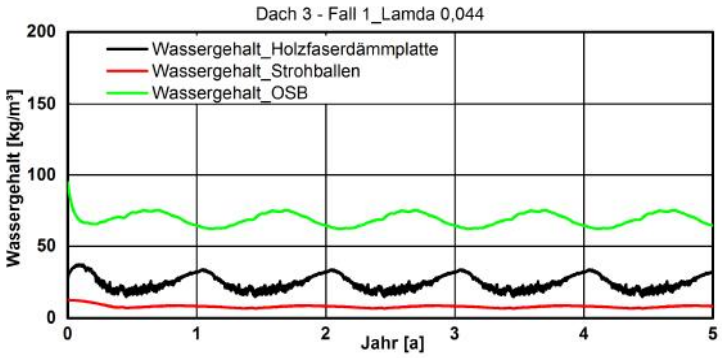


Bild 9:
Verlauf der Wassergehalte in der Holzfaserdämmung, der Strohballendämmung und der innenseitigen OSB-Platte im Verlauf von fünf Jahren.

Die Monitorpositionen in den Dachkonstruktionen sind analog zu denen in der Wand gesetzt. Somit ergeben sich an der Strohballenoberfläche und in 5 cm Tiefe die abgebildeten Temperatur- und Feuchteverläufe aus Bild 10. Hier zeigt sich ebenfalls, dass die Schwankung der Temperatur und der relativen Feuchte an der Strohoberfläche ausgeprägter ist als in 5 cm Tiefe. An beiden Stellen kommt es nicht zu einem Anstieg der Feuchte im Laufe der Jahre. Die relativen Feuchten schwanken an der Strohoberfläche zwischen 25 – 85 % und in 5 cm Tiefe zwischen 35 – 75 %. Die dazugehörigen Verläufe der Berechnung des Schimmelpilzwachstums an den beiden ausgewählten Stellen sind in Bild 11 dargestellt. Dabei zeigt sich, dass es in der Dachkonstruktion an der Strohballenoberfläche zu einem minimalen und in 5 cm Tiefe zu keinem Wachstum kommt, nachdem sich die Temperatur- und Feuchte nach dem Rechnungsbeginn eingeschwungen haben. Der ausgewertete Verlauf des Mould Indexes zeigt einen Wert von 0 auf, dies entspricht „kein Wachstum“ an beiden Monitorpositionen.

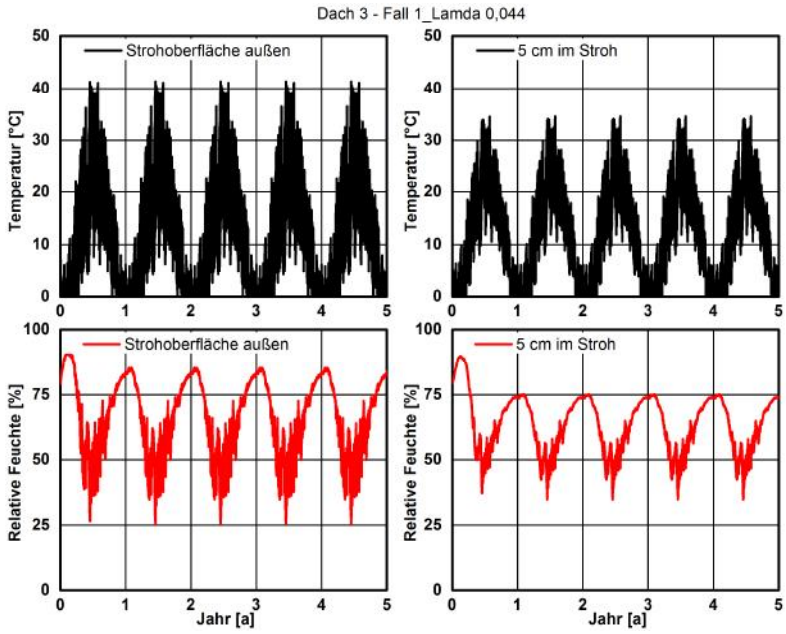


Bild 10:
Zeitlicher Verlauf der Temperaturen (oben) und relativen Feuchten (unten) an den zwei ausgewählten Monitorpositionen in der Dachkonstruktion.
links: Monitorposition an der Außenoberfläche der Strohballendämmung.
rechts: Monitorposition in 5 cm Tiefe, von außen, der Strohballendämmung.

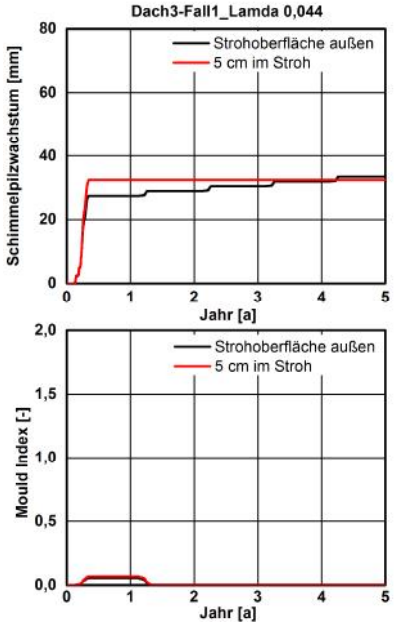


Bild 11:
Vergleich der berechneten Wachstumskurven an zwei Stellen in der Strohdämmung zwischen Schimmelpilzwachstum in mm und nach dem Mould Index im Dach.
oben: Verlauf des Schimmelpilzwachstums in mm innerhalb von fünf Jahren.
unten: Verlauf des Schimmelpilzwachstums anhand des Mould Index.

4 Zusammenfassung

Aufgrund einer geplanten Erweiterung der bestehenden Zulassung Z23.11-1595 einer Strohballendämmung werden eine Wand- und eine Dachkonstruktion in Hinblick auf den Temperatur- und Feuchtehaushalt, sowie das Schimmelpilzwachstum, berechnet und bewertet. Die gewählten Konstruktionsaufbauten basieren auf zwei Varianten aus dem bereits bestehenden Gutachten des Ingenieurbüros für Bauphysik [1]. Hierbei handelt es sich um eine Wand mit außenseitiger Hydrophobierung und einer Dachkonstruktion. Die eingesetzten Materialkennwerte stammen aus den bestehenden Gutachten des Fraunhofer-Institutes für Bauphysik aus dem Jahr 2005 [2-3] und der WUFI®-Materialdatenbank.

In der betrachteten Wandkonstruktion zeigt sich, dass es zu keinerlei Auffeuchtung der Dämmung in den betrachteten fünf Jahren kommt. Allerdings wird an den beiden ausgewählten Stellen der Strohballendämmung etwas Schimmelpilzwachstum prognostiziert, das weder eine Gefährdung der Gesundheit noch der Konstruktion darstellt.

Bei der betrachteten Dachkonstruktion zeigen die Berechnungsergebnisse, dass es in dieser Konstruktion an keiner Stelle zu einer Auffeuchtung und keinem bzw. nur unkritischen Schimmelpilzwachstum kommt. Durch den Aufbau der Dachkonstruktion wird einerseits ein zusätzlicher Feuchteeintrag durch Regen verhindert und der innenseitige Diffusionswiderstand wird durch die OSB- und Gipskartonplatte erhöht. Des Weiteren führt die außenliegende Holzfaserdämmplatte dazu, dass das Temperatur- und Feuchteniveau in der Strohballendämmung zusätzlich etwas verbessert wird.

Zusammenfassend zeigt sich, dass durch einen sinnvollen und wasserabweisenden Wetterschutz ein mögliches Schimmelpilzwachstum in der Wand- wie auch in der Dachkonstruktion reduziert bzw. verhindert werden kann. Bei einem Wetterschutz mittels Hydrophobierungsmittel im Putz besteht allerdings bei einer Rissbildung die Gefahr, dass es zu einer erhöhten Feuchteaufnahme im Putz kommen und somit das Schimmelpilzrisiko ansteigen kann.

Literaturverzeichnis

[1] Katecki, M.: Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermsichen Verhaltens von Wand- und Dachkonstruktionen mit Strohballendämmung. Ingenieurbüro für Bauphysik – Dr. Otto und Klatecki GmbH. Stellungnahme 09. April 2013.

[2] Krus, M.; Saur, A.: Feuchtetechnische Untersuchungen an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung. Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen. Untersuchungsbericht RKB-09/2005.

[3] Krus, M.; Saur, A.: Feuchtetechnische Untersuchungen an einer Wandkonstruktion aus Holzständerwerk mit Strohballenausfachung. Fraunhofer-Institut für Bauphysik Holzkirchen. Untersuchungsbericht RKB-13/2005.

[4] Fitz, C.; Krus, M.; Hofbauer, W.; Krueger, N.: B2 Untersuchungen des Fraunhofer-Institut für Bauphysik in Holzkirchen (AZ 22430). DBU-Abschlussbericht HTB-10/2008.

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

[6] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart 2001.

[7] Viitanen H., Ritschkoff A. (1991): Mould growth in pine and spruce sapwood in relation to air humidity and temperature. Uppsala : Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forrest Products.

[8] Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K.: Übertragung des Mould-Indexes auf das Biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. Gesundheits-Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 132 (2011) H. 1, S. 32-36.

Bericht

„Entwicklung und Vergleich von Testverfahren zur Rohdichtebestimmung von in Wandelementen als Wärmedämmstoff eingebautem Baustroh“

Verfasser: Dirk Großmann
Dipl. Ing. und Fachberater Ökologie und Umweltschutz
– Bau-Dienst-Leistung –
Poppau 24, 38489 Beetzendorf OT Poppau

Poppau, den 15. August 2014

Beauftragt durch:

Fachverband Strohballenbau Deutschland eV (FASBA), Artilleriestr. 6, 27283 Verden/Aller, 04231 - 960 25 45, www.fasba.de

Inhaltsverzeichnis

Vorbemerkungen	3
Definitionen	3
Aufgabenstellung	4
Verfahren zur Rohdichtebestimmung	4
Allgemeiner Versuchsaufbau	4
Testverfahren 1: Rohdichtebestimmung über direktes Messen von Volumen und Gewicht des Strohs im verbauten Zustand	7
Testverfahren 2: Rohdichtebestimmung über definierte Entnahme von Stoffproben mittels Hohlkernbohrung	10
Erfahrungen und Diskussion der gescheiterten Anwendung zum Testverfahren 2	18
Empfehlungen für die Baupraxis	20
Werkzeuge und Hilfsmittel	21
Quellennachweis	21

Vorbemerkungen

Bauen mit Stroh ist ein eine sowohl ökologisch, ökonomisch als auch sozial – eben nachhaltig hervorragende und zukunftsträchtige Bauweise. Mit Strohballen lassen sich Gebäude besonders umweltfreundlich, sicher und wohngesund errichten. Trotz einer Zunahme von Gebäuden aus Stroh gibt es in der breiten Anwendung noch Hemmnisse auch hinsichtlich einschränkender Richtlinien, Vorschriften und fehlender Verfahren zur Qualitätssicherung bzw. zum Qualitätsnachweis.

Strohballen weisen einige Besonderheit auf, so dass sie als Naturstoff z.T. sehr inhomogen beispielsweise hinsichtlich der Rohdichte sind und sich nicht normiert und unter wissenschaftlicher Sichtweise reproduzieren lassen.

In der bisherigen Praxis wurde der Strohballen hinsichtlich der Rohdichtebestimmung als einzelnes Bauteil betrachtet und die Rohdichte bestimmt. Ein Rohdichtenachweiss oder eine –bestimmung des Bauteils „Wandelement mit als Wärmedämmstoff eingebautem Baustroh“ war bislang nicht gefordert und üblich.
Mit der überarbeiteten Zulassung mit Datum vom 03.06.2014 für den Einsatz von Baustroh als Wärmedämmstoff ist festgelegt: „Die Rohdichte ist an Prüfgefachen zu bestimmen, die mit dem Wärmedämmstoff gemäss der vom Antragsteller herausgegebenen Verarbeitungsrichtlinie [2] befüllt ist“ [1].
Dafür gibt es bislang kein baustellenpraxistauglich erprobtes Messverfahren.

Durch eine Nachkompression der Ballen in der Länge beim Einbau, welche schon aufgrund eines geforderten lückenlosem und setzungssicherem Einbau notwendig und erprobte Praxis ist, resultiert als Nebeneffekt eine, oftmals erwünschte, Rohdichteerhöhung der Ballen. Es wird davon ausgegangen, dass eine Nachkompression in der Länge sich linear auf die Erhöhung der Rohdichte auswirkt. Dass heisst, dass eine Kompression in der Länge um z.B. 10% eine Erhöhung der Rohdichte um 10% nach sich zieht.

In Anlehnung an vorhandene Testverfahren zur Rohdichtebestimmung anderer Baustoffe sollen Testverfahren zur Rohdichtebestimmung von in Wandelementen eingebautem Baustroh als Wärmedämmstoff zur Qualitätssicherung entwickelt werden. Mit diesem Bericht sollen Messverfahren vorgestellt und hinsichtlich ihrer praxistauglichkeit bewertet werden.

Definition

Rohdichte
Die Rohdichte (Formelzeichen ρ [Rho]) bezeichnet die Dichte eines porösen Festkörpers einschliesslich Poren, Hohlräumen, Zellhohlräumen und dergleichen. Unter Rohdichte versteht man das Verhältnis des Gewichts zum Volumen gemessen in kg/m^3. Die Rohdichte wird auch scheinbare, geometrische Dichte oder Raumgewicht genannt. [3]

Relative Luftfeuchtigkeit
Die relative Luftfeuchtigkeit (Formelzeichen: φ, f, U, RH, H oder rF; nicht verbindlich festgelegt) ist das prozentuale Verhältnis zwischen dem momentanen Dampfdruck des Wassers und dem Sättigungsdampfdruck desselben (bei Lufttemperatur) über einer reinen und ebenen Wasseroberfläche. Bei einer nichtprozentualen Angabe, also im Wertebereich 0 bis 1, spricht man auch vom Sättigungsverhältnis. Die relative Luftfeuchtigkeit gibt für die aktuelle Temperatur und den aktuellen Druck das Verhältnis des momentanen Wasserdampfgehalts

zum maximal möglichen Wasserdampfgehalt an. [3]
Hier wird als Formelzeichen [rF] und die übliche Einheit [%] verwendet.

Aufgabenstellung

Es sollen bekannte Verfahren zur Rohdichtebestimmung von Baustoffen ,die entweder das Bauteil selbst darstellen oder in Bauteilen eingebaut sind, recherchiert, untersucht, erprobt und dahin gehend bewertet werden, ob diese für die Rohdichtebestimmung von Bautroh im eingebauten Zustand oder ggf. modifiziert eingesetzt werden können. Weiterhin soll ein praxistaugliches und auf Baustellen anwendbares Verfahren entwickelt und bereitgestellt werden.

Verfahren zur Rohdichtebestimmung

Bei den Verfahren ist zu unterscheiden zwischen zerstörungsfreien und nicht-zerstörungsfreien Verfahren.
Zerstörungsfreie Verfahren sind z.B. Ultraschall oder das direkte Messen von Gewicht und Volumen.
Nicht-zerstörungsfreie Verfahren basieren auf einer definierten Entnahme vom Stoffproben z.B. mittels einer Hohlkernbohrung.

Der Einsatz von Ultraschallverfahren scheint unter den gegebenen Rahmenbedingungen, vor allem aber aus ökonomischer Sicht, untauglich.

Die Rohdichtebestimmung über direktes Messen von Volumen und Gewicht im verbauten Zustand scheint bedingt, z.B. bei der Vorfertigung von Wandelementen, tauglich.

Am erfolgversprechendsten, vor allem hinsichtlich der Praxistauglichkeit, für den Nachweis der Rohdichte im eingebauten Zustand des Baustrohs erscheint die definierte Entnahme von Stoffproben. Hier bietet sich aus der Bautechnik der Einsatz von Hohlkernbohrern/Lochsägen an.
Hohlkernbohrungen finden zur Baustoffprobeentnahme eine breite und vielfältige Anwendung. Bei der Baustoffprüfung mit Hohlkernbohrern/Lochsägen geht es nicht um das erzeugte Loch, sondern um den Erhalt des Bohrkerns mit einem definierten Volumen, welcher die messtechnische Auswertung der Bohrung, also der Stoffprobe, erlaubt.

Beide letztgenannten Verfahren werden im Folgenden weiter verfolgt.

Sowohl beim Versuchsaufbau als auch bei der Durchführung wurde Wert darauf gelegt, möglichst direkt die eingesetzten Verfahren in die Baustellenabläufe übertragen zu können.

Allgemeiner Versuchsaufbau

Messinstrumente und Hilfsmittel

- Rollmass, 3 m, Massgenauigkeit +/- 1mm
- Kranwaage PCE-CS 300, max. 300 kg, Anzeigebereich 50 g, Messgenauigkeit 0,1 kg
- Waage PAKWA 120, max. 120 kg, Anzeigebereich 50 g, Messgenauigkeit 50 g
- Feuchtigkeits-und Temperaturmessgerät PCE-313A, Anzeigebereich Temperatur

- 0 °C … 50°C, Anzeigebereich 5 … 95% rel. Feuchte, Messgenauigkeit Temperatur 0,1 °C, Messgenauigkeit rel. Feuchte 0,1% r.F., mit Messlanze
- Excel-Datei , die automatisch Volumen [cbm] und Rohdichte [kg/cbm] sowie Feuchtegehalt in Masseprozent [M-%] und Rohdichte [kg/cbm] bei Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Feuchte berechnet

Datenerhebung und Messwerte der Strohballen

Die zur Versuchsdurchführung benötigten 40 Strohballen sind durch die Fa. BauStroh GmbH nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (abZ) Z-23.11-1595 als zugelassener Wärmedämmstoff „Baustroh“ geliefert. Die Herstellung der Strohballen erfolgte in 2012 und diese stammen aus konventioneller Landwirtschaft aus dem Umkreis von Uelzen. Die Ballen lagern seit ca. einem Monat (September 2013) in der Halle, in der die Versuche durchgeführt werden sollen.

Die Messdatenerhebung wurde wie folgt vorgenommen:

1. Zuordnung der Strohballen nach Länge dem Augenschein nach in Paare
2. Bestimmung der Länge, Breite und Höhe der Strohballen in Anlehnung an DIN EN 822.1994-11 [4] bzw. DIN EN 823:1994-11 [5] wie im Kapitel „2.12. Maße“ der abZ Z-23.11-1595 des DIBt angegeben
3. Bestimmung des Gewichts der Strohballen mittels einer Kranwaage
4. Bestimmung der relativen Feuchte und Temperatur mittig im Strohballen mittels eines Feuchtigkeits-und Temperaturmessgeräts PCE-313A

Alle erhobenen Daten wurden in einer Excel-Datei erfasst, die automatisch Volumen [cbm] und Rohdichte [kg/cbm] sowie Feuchtegehalt in Masseprozent [M-%] und Rohdichte [kg/cbm] bei Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Feuchte nach abZ Z-23.11-1595 des DiBt berechnet (siehe Tabelle „Daten und Werte“ Punkt 3 „Daten und Werte Strohballen“).

Bild 1: Bestimmung der Länge, Breite und Höhe der Strohballen

Bild 2: Bestimmung des Gewichts mittels Kranwaage

Bild 3: Bestimmung der relativen Feuchte und Temperatur mittig im Strohballen

Probeelemente

In acht Stück vorhandene Probeelemente mit je zwei Gefachen werden die Strohballen eingebaut. Die lichte Breite der Gefache beträgt 94 cm. Die Tiefe beträgt 36 cm.

Einbau der Strohballen in die Probeelemente

Alle Ballen wurden aufrecht stehend eingebaut. Die Strohballen in den Elementen 8 bis 5 wurden im stehenden Element und in den Elementen 4 bis 1 im liegenden Element eingebaut. In den Elementen wurde eine angestrebte Nachverdichtung beim Einbau von 5, 10, 15 und 20% der Länge angesetzt. Daraus ergibt sich eine lichte Gefachhöhe für den Einbau des Baustrohs . Anschliessend wird die Nachverdichtung durch den Einbau bezogen auf die Länge in [cm] und in Relation zur Ausgangslänge in [%] ermittelt (siehe Tabelle „Daten und Werte“ Punkt 4 „Daten und Werte zur Rohdichteermittlung“).

Die Strohballen sind mit Hilfe vom LKW-Spanngurten beim Einbau nachverdichtet.

Bild 4: Nachverdichtung der Strohballen beim Einbau mittels LKW-Spanngurten

Betrachtung der Daten und Werte

Wie in Tabelle „Daten und Werte“ Punkt 4 „Daten und Werte zur Rohdichtebestimmung“ zu sehen, wurde die angestrebte Nachverdichtung beim Einbau in Längenprozent auf die Gefache betrachtet wie zu erwarten durchgängig erreicht. Abweichungen gibt es innerhalb der Gefache aufgrund der unterschiedlichen Ausgangslängen der Ballen. Es macht, wie an den Werten zu sehen, keinen Unterschied, ob die Ballen im stehenden oder liegenden Gefach eingebaut wurden.

Testverfahren 1: Rohdichtebestimmung über direktes Messen von Volumen und Gewicht des Strohs im verbauten Zustand

Bei diesem Verfahren wird das Gewicht des gesamten Bauteils (Element und eingebautes Baustroh) ermittelt sowie die Werte, die zur Volumenberechnung nach der Nachkompression durch den Einbau der Ballen benötigt werden. Damit wird die vorhandene reale Rohdichte berechnet. Im Vergleich dazu wird die Rohdichte bei Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Feuchte berechnet und ausgewiesen.

Versuchsablauf

1. Ermittlung des Leergewichts des Elements kurz vor dem Stroheinbau
2. Einbau der Strohballen in das erste Gefach des Elements wie obig beschrieben
3. Ermittlung des Gewichts des Elements mit strohbefülltem ersten Gefach
4. Einbau der Strohballen in das zweite Gefach des Elements wie obig beschrieben
5. Ermittlung des Gewichts des Elements mit strohbefülltem ersten und zweiten Gefach
6. Ermittlung der gemittelten lichten Breite eines jeden Gefachs

Alle erhobenen Daten wurden in einer Excel-Datei erfasst, die Folgendes berechnet:

- Gewicht des eingebauten Strohs im jeweiligen Gefach [kg]
- Rohdichte Stroh im jeweiligen Gefach gemittelt [kg/cbm]
- Rohdichte Strohballen errechnet [kg/cbm]
- Rohdichte Strohballen im jeweiligen Gefach gemittelt [kg/cbm]
- Berechnete Rohdichte bei Normalklima (23 °C und 50% r.F). der Strohballen im Gefach gemittelt [kg/cbm]
- erreichte Rohdichteerhöhung durch Nachverdichtung des Strohballen [kg/cbm]
- erreichte Rohdichteerhöhung durch Nachverdichtung des Strohballen [%]

(siehe Tabelle “Daten und Werte“ Punkt 5 „Rohdichtebestimmung Testverfahren1“)

Bild 5 : Ermittlung des Leergewichts des Elements mittels Kranwaage

Bild 6: Ermittlung des Gewichts des Elements mit strohbefülltem ersten Gefach mittels Kranwaage

Bild 7: Element komplett strohbefüllt in beiden Gefachen

Auswertung der Versuchsreihe

Die Ballen wurden aufrecht stehend in die Gefache eingebaut. Die Nachverdichtung erfolgt durch Krafteinwirkung in Längsrichtung. Es wird davon ausgegangen, dass eine Nachverdichtung in der Länge sich linear auf die Erhöhung der Rohdichte auswirkt. Dass heisst, dass eine Kompression in der Länge um z.B. 10% eine Erhöhung der Rohdichte um 10% nach sich zieht.

Die Ballen bauchen nach der Nachverdichtung sowohl in der Breite (49 cm) als auch in der Tiefe (36 cm) aus und treten so in der Tiefe (36 cm) ggf. aus der Holzkonstruktion (entweder sowohl beidseitig als auch nur einseitig) hervor. Die Ausbauchung in der Breite kann nur in die Richtung des benachbarten Ballens auftreten und wird für die weitere Betrachtung als nicht relevant eingestuft.
Das beschriebene Verhalten der Ballen zeigt sich sowohl beim bzw. nach dem Einbau der Ballen in die Probeelemente zur Versuchsdurchführungen und deckt sich mit den Erfahrungen des Autors in der Baupraxis.

Das Mass der Ausbauchung hängt sowohl von der vorhandenen Rohdichte der Ballen (vorm Einbau) als auch vom Mass der erfolgten Nachverdichtung ab und lässt sich praxistauglich an der Anwendungsstelle nicht quantifizieren. Die beschriebene Ausbauchung der Ballen fällt z.B. bei Ballen mit geringer Ausgangsrohdichte im unteren Bereich der allg. bauaufsichtlichen Zulassung und bei einer Nachverdichtung von 5 – 10 % deutlich geringer aus, als bei Ballen mit höherer Ausgangsrohdichte und gleicher Nachverdichtung. Tendenziell zeigt sich, dass mit zunehmender Nachverdichtung die Ausbauchung über ein lineares Mass hinaus ansteigt.

Nach den Erfahrungen des Autors werden in der praktischen Anwendung bzw. in der bauseitigen Ausführung die ggf. vorhandenen Ausbauchungen der Ballen in der Tiefe (36 cm) der Holzkonstruktion (entweder sowohl beidseitig als auch nur einseitig) zurückgeschnitten, so dass ein Gewichts- und Volumenverlust entsteht. Dieses führt zwangsläufig zur Rohdichteverringerung. Dieses ist ebenfalls in der praktischen Anwendung bzw. in der bauseitigen Ausführung nicht zu quantifizieren und wird vernachlässigt.

Für die Durchführung der Versuche sollte die Ausbauchung vernachlässigt und die Ballen nicht zurückgeschnitten und.

Wie der Tabelle „Daten und Werte“ Punkt 5 „Rohdichtebestimmung Testverfahren 1“ zu entnehmen, liegt die prozentual erreichte Rohdichteerhöhung durch Nachverdichtung durchgängig über der prozentual angestrebten Nachverdichtung um im Durchschnitt um 40 – 50 %. Dies ist nach Einschätzung des Autors haupt- und ursächlich dem Umstand geschuldet, dass die Ballen nach erfolgter Nachverdichtung im eingebauten Zustand nicht um die Ausbauchung in der Tiefe (36 cm) zurückgeschnitten wurden.

Eine These ist, dass durch den Volumen- und Gewichtsverlust beim Rückschnitt der Ballenausbauchung ca. 40 – 50 % der über Nachverdichtung über die Länge des Ballens erreichte Rohdichterhöhung „verloren“ geht. Wenn dem so ist, dann bestätigt sich die Annahme, dass eine Nachverdichtung in der Länge sich linear auf die Erhöhung der Rohdichte auswirkt. Diese Annahme wird durch die Erfahrungen in der Baupraxis bestätigt

Fazit

Das hier beschriebene Verfahren zeichnet sich aufgrund der Einfachheit hinsichtlich des Einsatzes von Hilfsmitteln und des Ablaufs aus. Weiterhin führt das Verfahren zu keiner Zerstörung des Wärmedämmstoffs Baustroh. Das Verfahren lässt sich bei Bedarf vertretbar in den Betriebsablauf bei der Vorfertigung von Wandelementen bzw. -systemen einsetzen. Wohingegen der Einsatz dieses Verfahrens bei einer nachträglichen Befüllung einer bereits aufgestellten Konstruktion mit Baustroh nicht möglich ist. Bei diesem Verfahren wird das mit Baustroh befüllte Gefach als Ganzes betrachtet. Die ermittelten Werte sind über das gesamte Gefach gemittelte und Durchschnittswerte. Einzelne, punktuelle Messungen bzw. Betrachtungen können hierbei nicht vorgenommen werden.

Testverfahren 2: Rohdichtebestimmung über definierte Entnahme von Stoffproben mittels Hohlkernbohrung

Bei diesem Verfahren wird über eine in ihrem Volumen definierte stoffliche Probeentnahme des Baustroh mittels einer Hohlkernbohrung und die Ermittlung des Gewichts der definierten Stoffprobe die Rohdichte der Probe bestimmt und die Werte für das gesamte „Baustroh“ im Bauteil übertragen.

Vorbemerkung
Stroh ist ein elastisches, zähes, weiches und flexibeles Material. Im Ballen sind fertigungstechnisch bedingt durch die Aufnahme des Materials vom Feld nicht unerhebliche Bestandteile von Staub, Mineralien, feinen Sand- und Erdpartikeln vorhanden. Deshalb werden Werkzeuge bei der Strohbearbeitung hochbeansprucht. Das führt aus der Erfahrung zu schnellem und starkem Werkzeugverschleiß, zumal es bislang kein speziell für Stroh gefertigtes Werkzeug mit z.B. einer erprobten Schneidengeometrie gibt.
Von daher wurden an Strohballen Schneidversuche mit verschiedenen Standard-Werkzeugen hinsichtlich Standzeit, Schneidengeometrie und Schneidenwerkstoff vorgenommen.

Schneidversuche mit Standardwerkzeugen
Es wurden Schneidversuche hinsichtlich der Standzeit, der Schneidengeometrie und des Schnittverhaltens mit folgenden Werkzeugen durchgeführt, betrachtet, ausgewertet und dokumentiert:

- Hohlkernbohrer mit Hartmetallschneiden (HM) bestückt für Mauerwerk
- Hohlkernbohrer aus Edelstahl für Holzweichfaserplatten, Gipsplatten und Zellulose
- Lochsäge mit Schneiden aus Diamantkörnung für Trockenbaustoffe wie Holz und Gipsplatten
- Lochsäge mit geschränkten Schneiden aus Schnellarbeitsstahl (High Speed Steel = HSS) für Trockenbaustoffe wie Holz und Gipsplatten
- Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) bestückt für universellen Einsatz

Für den **Hohlkernbohrer mit Hartmetallschneiden (HM)** für Mauerwerk wurde ersichtlich, dass die Schneidengeometrie und die Breite der Schneidflächen dazu führte, dass die dazugehörige leistungsstarke Antriebsmaschine nicht genügend Kraft besitzt, um das Werkzeug durch das Werkstück zu schneiden. Außerdem führte die Reibung an der Lochwand zur Erhitzung sowohl des Werkzeugs als auch des Werkstücks.

Bild 8: Hohlkernbohrer mit Hartmetallschneiden (HM)

Bild 9: Schneidversuch

Der **Hohlkernbohrer aus Edelstahl** wurde nicht zu Schneidversuchen eingesetzt, da Edelstahl schnell verschleißt, eine geringe Standzeit aufweist und deshalb als Schneidenwerkstoff für Stroh untauglich erscheint. Interessant hingegen erscheint die Schneidengeometrie.

Bild 10: Hohlkernbohrer aus Edelstahl

Die als interessant beurteilte Schneidengeometrie in Form eines Wellenschliffs konnte in der Praxis nicht weiter verfolgt werden. Einerseits fand sich kein Werkzeughersteller, ein Einzelwerkzeug in den geforderten Maßen mit Hartmetallschneide dieser Schneidengeometrie herzustellen und andererseits war der Hersteller des Hohlkernbohrers aus Edelstahl an einer Zusammenarbeit nicht interessiert. Es ist zu erwarten, dass Edelstahl nicht die erforderliche Standzeit aufweist.

Bei der **Lochsäge mit Schneiden aus Diamantpulver** wurde festgestellt, dass diese die ersten wenigen Zentimeter sehr gut in das Material Stroh schneidet und dann die Schneidwirkung auf fast Null zurückgeht. Die Hohlräume zwischen den sehr feinen Schneidzähnen verkleben mit Stroh und somit ist keine Schneidwirkung mehr vorhanden.

Bild 11: Lochsäge mit Schneiden aus Diamantkörnung

Bild 12: Lochsäge mit Schneiden aus Diamantkörnung beim Schneidversuch

Die **Lochsäge mit geschränkten Schneiden aus Schnellarbeitsstahl (HSS)** mit ihrer Schneidengeometrie führte für die ersten ca. 20 Schneidvorgänge zu guten Ergebnissen. Dann war ein deutlicher Verschleiss der Schneiden festzustellen. Für einen langfristigen Einsatz des Schneidenwerkstoffs HSS besitzt dieser eine zu geringe Standzeit.

Bild 13: Lochsäge aus HSS

Bild 14: Lochsäge aus HSS beim Schneidversuch

Mit der **Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM)** wurden sowohl hinsichtlich der Schnittleistung, der Schnittqualität als auch von der Standzeit die besten Ergebnisse erzielt.

Bild 15: Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM)

Bild 16: Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) im Schneidversuch

Fazit

Aufgrund der besten Ergebnisse mit der Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) wurde dieses Werkzeug hinsichtlich der Schneidenanzahl, Schneidenanordnung sowie der Schneid- bzw. Spanauswurfzwischenräumen durch Versuche modifiziert. Als Zwischenschritt stellte der Hersteller als Muster eine Lochsäge mit einer Schnitttiefe von 300 mm und 127 mm Durchmesser zur Verfügung.

Mit diesem Muster der Sonderanfertigung einer **Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM), optimierter Schneidenanzahl und –anordnung sowie Spanauswurf** mit einer Schnitttiefe von 300 mm und 127 mm Durchmesser wurden sowohl hinsichtlich der Schnittleistung, der Schnittqualität als auch von der Standzeit die im Vergleich aller eingesetzten Werkzeuge besten Ergebnisse erzielt.

Bild 17: Sonderanfertigung Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) mit einer Schnitttiefe von 300 mm und einem Durchmesser von 127 mm

Die Schneidversuche mit diesem Werkzeug sind als gut bis sehr gut zu bewerten. Daraufhin wurde eine Sonderanfertigung dieser Lochsäge mit einer Länge bzw. Schnitttiefe von ca. 600 mm und 200 mm Durchmesser angefertigt und für die nachfolgend geplanteVersuchsreihe eingesetzt.

Rohdichtebestimmung über definierte Entnahme von Stoffproben mittels Hohlkernbohrung

Bei diesem Verfahren wird über eine in ihrem Volumen definierte stoffliche Probeentnahme des Baustroh mittels einer Hohlkernbohrung und die Ermittlung des Gewichts der definierten Stoffprobe die Rohdichte der Probe bestimmt und die Werte für das gesamte Baustroh im Bauteil übertragen.

Vorbemerkung zum Versuchsablauf
Es wurde bewusst eine Zeitspanne von z.T. weit über 12 Wochen zwischen dem Einbau der Strohballen und den Versuchen zur Rohdichtermittlung mittels dieses Testverfahrens gewählt.

Die durch die Nachkompression auf das Bauteil (Strohballen) aufgebrachte Kraft pro Fläche ist der Druck, der Spannungen im Bauteil hervorruft. Unter zunehmender Krafteinwirkung und damit zunehmender Spannung im Bauteil kommt es zu Stauchungen [6].
Wird diese Stauchung konstant gehalten, stellt sich im Bauteil ein Spannungsabbau, auch Relaxation genannt, ein [7].

Es wird davon ausgegangen, dass sich die Relaxation auch die Rohdichte in dem Sinne auswirkt, als dass sich die Rohdichte an verschiedenen Punkten des Bauteils ausgleicht bzw. annähert.

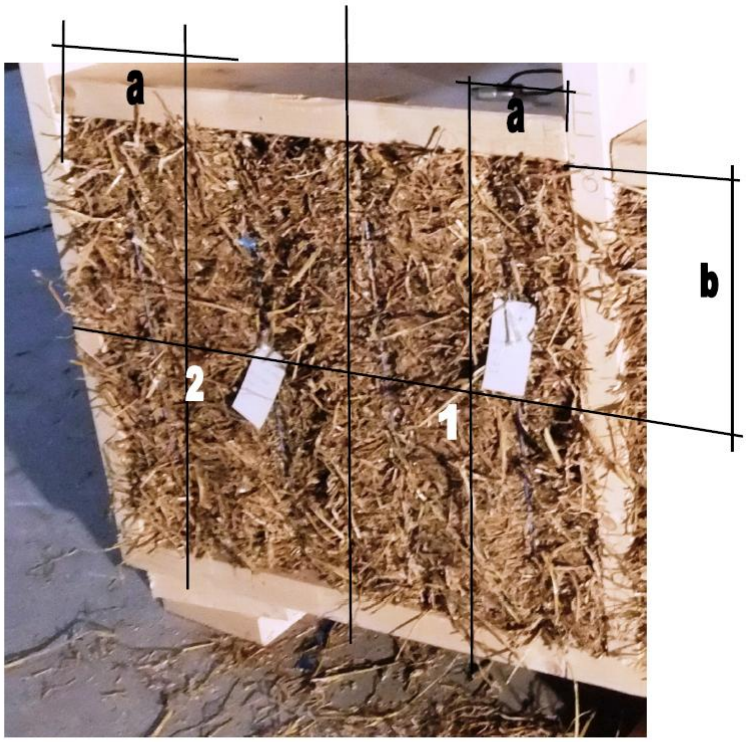
Diese Annahme hiesse ggf., dass eine zumindest teilweise Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit der Werte aus dem Testverfahren 2 mit den Werten aus dem Testverfahren 1 gegeben ist, zeigt aber anderseits unter Berücksichtigung der Relaxation die Rohdichteveränderung mit zunehmender Verweildauer des eingebauten Strohs.

Versuchsablauf

1. Bestimmung der relativen Feuchte und Temperatur mittig im eingebauten Strohballen (siehe Tabelle 1 Punkt 6.1: Daten und Werte der eingebauten Strohballen)
2. Entnahme von je 2 Stck. Proben je Gefach wie in nachfolgender Skizze gezeigten Anordnung (Seite 14 Skizze 1: Anordnung der Proben im Gefach). Dabei wird in jede Fehlstelle der Probebohrung ein Abwasserrohr Durchmesser 200 mm verbracht, um den Druck im Ballen bzw. Gefach halten zu können. Zur Führung des Hohlkernbohrers und zur Vermeidung des Ausreissens der Strohballen beim An- und Durchschnitt wurde mit einer Führungsschablone gearbeitet (siehe Bild 19).
3. Bestimmung des Gewichts der Stoffprobe mittels Waage
4. Rohdichtebestimmung (siehe Tabelle 1 Punkt 6.1: Daten und Werte der eingebauten Strohballen)

Alle erhobenen Daten werden in einer Excel-Datei erfasst, die automatisch Volumen [cbm] und Rohdichte [kg/cbm] sowie Feuchtegehalt in Masseprozent [M-%] und Rohdichte [kg/cbm] bei Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Feuchte nach abZ Z-23.11-1595 des DiBt berechnet (siehe Tabelle 1 Punkt 6.1: Daten und Werte der eingebauten Strohballen).

Skizze 1: Anordnung der Proben im Gefach



a = ¼ Gefachbreite (entspricht Ballenmitte)
b = ½ Gefachhöhe (entspricht Ballenmitte)
1 und 2 Messpunkte

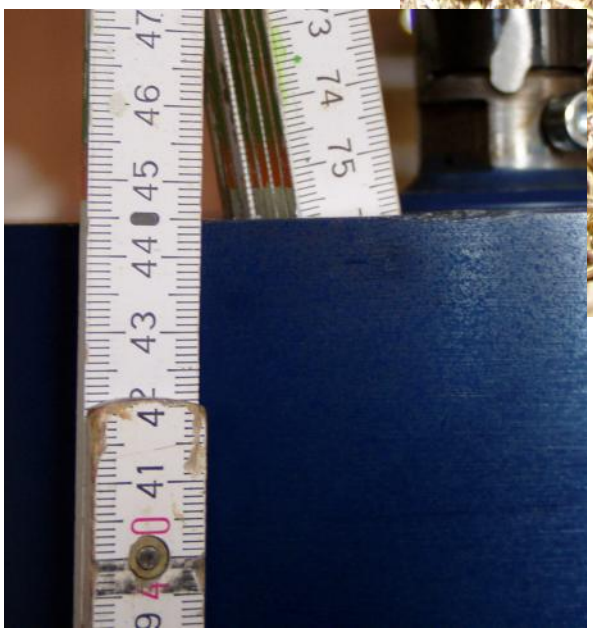
Bild 18: Sonderanfertigung Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) mit einer Schnitttiefe von ca. 600 mm und einem Durchmesser von 200 mm

Bild 19: Führungsschablone

Bild 20: Sonderanfertigung Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) mit einer Schnitttiefe von ca. 600 mm und einem Durchmesser von 200 mm in der Anwendung

Das Ergebnis der Anwendung

Alle eingesetzten Maschinen (siehe Tabelle „Maschinen, Werkzeuge und Hersteller“ Tabellenblatt eingesetzte Maschinen und Werkzeuge) versagen bei der Anforderung, die Lochsäge mit einem Durchmesser von 200 mm durch das Stroh zu schneiden.



Bilder 21 und 22:
Versagen aller eingesetzten Antriebsmaschinen bei einer max. Schnitttiefe von ca. 15 – 16 cm

An diesem Punkt wurden in Absprache mit dem Auftraggeber die Arbeiten eingestellt.

Erfahrungen und Diskussion der gescheiterten Anwendung zum Testverfahren 2

Es zeigte sich, dass sämtlich eingesetzten Maschinen (siehe Tabelle „Maschinen, Werkzeuge und Hersteller“ Tabellenblatt eingesetzte Maschinen und Werkzeuge) bei der Anforderung, die Lochsäge mit einem Durchmesser von 200 mm durchs Stroh zu schneiden, versagen. Bei den hochpreisigen Maschinen mit angegebenen maximalen Drehmomenten bis nahe 100 Nm und einer Drehzahl von ca. 400 – 4000 $^{1}/_{min}$ traten die Sicherheitseinrichtungen in Form von Rutschkupplungen oder elektronischer Abschaltung infolge von Überschreitung der max. zulässigen Drehmomente in Kraft. Im niedrigeren Preissegment liegende Maschinen „frassen“ sich fest und blieben stehen.

Die besten Ergebnisse wurden mit dem Einhell Rührgerät BT-MX 1100 E erzielt. Mit diesem Gerät wurden sowohl die erfolgreichen Schnittversuche mit der Lochsäge mit einer Schnitttiefe von 300 mm und einem Durchmesser von 127 mm durchgeführt als auch mit der Lochsäge mit einer Schnitttiefe von ca. 600 mm und einem Durchmesser von 200 mm die maximalen Schnitttiefen von ca. 15 – 16 cm erreicht.

In der Praxis der Versuche zeigte sich, dass die Antriebmaschinen sowohl über eine Drehzahl von ca. 500 – 1000 $^{1}/_{min}$ als auch über ein hohes Drehmoment von ca. 60 – 100 Nm verfügen müssen, um der Anforderung gerecht zu werden.

Besonderheiten des Materials Stroh

Stroh ist kein abrasives Material. Abrasiv wird ein Material bezeichnet, das sich beispielsweise durch Schleifen oder Schneiden abtragen läßt. Abrasive Materialien sind Kalksandstein, Estrich, weiche Schamotte, Putz, Gasbeton, weiche Klinker und Asphalt[8].

Stroh ist ein elastisches, zähes, weiches und flexibeles Material. Das Trennen von Stroh ist eine Mischung aus zumeist spanlosem Schneiden, Reissen und Quetschen. Im Stroh hinterlassen Schnittwerkzeuge (Kettensäge, Kreissägen etc.) kaum wahrnehmbare bis keine Schnittfugen. Das Material verhält sich fast „quasiliquid“ und „strömt“ in die Schnittfuge aufgrund der hohen Drücke im Material/Baustoff „Baustroh“ zurück. Dass Stroh sich so verhält, ist in der Bau-Praxis bekannt und zum Teil von Vorteil.

Aufgrund des „zurückströmen“ des Materials treten grosse Reibungen sowohl an der inneren als auch an der äusseren Mantelfläche der Lochsäge auf. Daraus resultiert der notwendige hohe Kraftaufwand für die Antriebsmaschinen, bei gleichzeitigem Erfordernis von höheren Drehzahlen. Gegenüber der zu überwindenden Reibung an der Lochsäge durch die Antriebsmaschine scheinen die erforderlichen Schnittkräfte eher geringer.

Nach Ansicht des Autors stellt die Erhöhung des Durchmessers der Lochsäge von 127 mm auf 200 mm den Grund dar, weshalb auch die Antriebsmaschine, mit der die erfolgreiche Bohrung mit der Lochsäge mit einer Schnitttiefe von 300 mm und einem Durchmesser von 127 mm durchgeführt wurde, versagt.

Leider ist die Versuchsfortführung mit einer Lochsäge mit einer Schnitttiefe von ca. 600 mm und einem Durchmesser von 127 mm nicht möglich, da der Hersteller der Lochsäge des Durchmessers 200 mm nach jetzigem Stand aufgrund einer nicht wirtschaftlichen Herstellung solcher Sonderwerkzeuge, gerade hinsichtlich der zu erwartenden geringen Absatzmenge, eine Herstellung ablehnt.

Anfragen an weitere relevante Unternehmen (siehe Tabelle „Maschinen, Werkzeuge und Hersteller“ Tabellenblatt angefragte Hersteller) ergab ein gleiches Ergebnis bzw. die Absage kam mit der Begründung, dass die Unternehmen fertigungstechnisch keine Werkzeuge dieser Art in der geforderten Länge von ca. 600 mm herstellen können.

Mögliche Veränderungen des Schittwerkzeugs

Die Schränkung der Schneiden an der vorhandenen Lochsäge scheint keinerlei Einfluss auf das Schittverhalten bzw. Ergebnis wie dargestellt (siehe: Besonderheiten des Materials Stroh, Seite 17) zu haben.

Mögliche Veränderungen könnten sein:

- einen „Gewindegang“ aussen auf der Manteloberfläche anzubringen
- die vorhandene Schneidengeometrie durch Nebenschneiden zu ergänzen
- die Lochsäge in ihrer fast gesamten Schnitttiefe/Länge mehrfach zu schlitzen und die Schlitze mit ca. 550 mm langen Schneiden zu versehen
- mittels einer in einem Gestell geführten Kettensäge eien Probe zu entnehmen
- die komplette. Mantelfläche innen und aussen als Schneide mit Diamantschneidwerkstoff auszuführen

Diese Varianten wurden mit verschiedenen Herstellern diskutiert und durch diese als technisch schwierig bis unmöglich realisierbar und sehr kostenintensiv dargestellt.

Fazit

Auch wenn die Anwendung der Lochsäge mit geschränkten Hartmetallschneiden (HM) mit einer Schnitttiefe von ca. 600 mm und einem Durchmesser von 200 mm und damit das Testverfahren 2 gescheitert ist, so konnten doch bestehende Erkenntnisse bzw. Annahmen bestätigt werden und neue gewonnen werden.

Dieses Testverfahren erscheint nach wie vor als ein praxistaugliches und auf Baustellen anwendbares Verfahren. Bei einer Realisierbarkeit zeichnet es sich nach Auffassung des Autors aufgrund der Einsetzbarkeit sowohl bei der Vorfertigung als auch bei einer nachträglichen Befüllung einer bereits aufgestellten Konstruktion mit Baustroh sowie für eine Bestimmung der Rohdichte an der fertigen, eventuell bereits länger stehenden Wand zur nachträglichen Qualitätssicherung aus.

Bei diesem Verfahren wird von punktuell ermittelten Werten auf das gesamte Gefach zurückgeschlossen.
Da die Strohballen bereits über eine „eigene“, von anderen Strohballen abweichende, Rohdichte und unterschiedlichen Längen verfügen, erfolgt beim üblichen und notwendigen Einbau mit Nachkompression eine unterschiedliche Nachverdichtung in den Ballen. Weiterhin ist anzunehmen, dass im Bereich zum Anschluss zur Holzkonstruktion eine geringere Dichte vorliegt als z.B. in der Gefach- oder Ballenmitte sowohl in der Länge, Tiefe und Breite betrachtet vorliegt. Dieses zeigen die Erfahrungen der Baupraxis.All das ist auch bei diesem Verfahren nicht sicher erfassbar.

Dieses Verfahren führt zu einer partiellen Zerstörung des eingebauten Dämmstoffs Stroh. Das Verfüllen der Hohlkernbohrung kann zu einer Wärmebrücke führen.

Auch in Betrachtung dieser Nachteile erscheint in Abwägung aller Aspekte dennoch eine vertretbare Aussage mittel dieses Verfahrens möglich und eine praxistaugliche Anwendung gegeben.

Empfehlungen für die Baupraxis

Testverfahren 1: Rohdichtebestimmung über direktes Messen von Volumen und Gewicht des Strohs im verbauten Zustand

Das beschriebene Verfahren zeichnet sich aufgrund der Einfachheit hinsichtlich des Einsatzes von Hilfsmitteln und des Ablaufs aus. Weiterhin führt das Verfahren zu keiner Zerstörung des Wärmedämmstoffs Baustroh. Das Verfahren lässt sich bei Bedarf vertretbar in den Betriebsablauf bei der Vorfertigung von Wandelementen bzw. -systemen einsetzen. Wohingegen der Einsatz dieses Verfahrens bei einer nachträglichen Befüllung einer bereits aufgestellten Konstruktion mit Baustroh nicht möglich ist. Bei diesem Verfahren wird das mit Baustroh befüllte Gefach als Ganzes betrachtet. Die ermittelten Werte sind über das gesamte Gefach gemittelte und Durchschnittswerte. Einzelne, punktuelle Messungen bzw. Betrachtungen können hierbei nicht vorgenommen werden.

Insgesamt ist nicht zu erwarten, dass sich dieses Verfahren, auch aufgrund der eingeschränkten Anwendbarkeit in der Vorfertigung, in der Baupraxis durchsetzen wird.

Testverfahren 2: Rohdichtebestimmung über definierte Entnahme von Stoffproben mittels Hohlkernbohrung

Aufgrund des Scheiterns der Durchführung der Versuchsreihe können keine Aussage getroffen werden.

Werkzeuge und Hilfsmittel

Verschiedene Antriebsmaschinen wie Handbohrmaschinen und Rührwerke (siehe: Tabelle „Maschinen, Werkzeuge und Herstelle“r Tabellenblatt eingesetzte Maschinen und Werkzeuge)

Lochsäge 200 mm Durchmesser, 600 mm Länge, incl. Werkzeugaufnahme
Lochsäge 125 mm Durchmesser, 300 mm Länge, incl. Werkzeugaufnahme
GEMAX Handelshaus GmbH & Co. KG, Nordallee 12, D-54292 Trier,
Herr Wunderlich, Tel. 0651/98126 666, m.wunderlich@saegeblatt-shop.de,
www.saegeblatt-shop.de

Kranwaage PCE-CS 300, www.pce-instruments.com

Waage PAKWA 120, max. 120 kg, Anzeigebereich 50 g,
Messgenauigkeit 50 g

Feuchtigkeits-und Temperaturmessgerät PCE-313A, www.pce-instruments.com,
mit Messlanze 40 cm, Behrens & Krause, ralf@behrens-krause.com , www.behrens-krause.com

Excel-Datei , die automatisch Volumen [cbm] und Rohdichte [kg/cbm] sowie Feuchtegehalt in Masseprozent [M-%] und Rohdichte [kg/cbm] bei Normalklima von 23 °C und 50 % relativer Feuchte berechnet, BauStroh GmbH, info@baustroh.de

Quellennachweis

[1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-23.11-1595 des DIBt, Fassung vom 03. Juni 2014, Punkt 2.1.2 Rohdichte

[2] Merkblatt Verarbeitung von Baustroh , Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Stand vom 20. 03.2014

[3] WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie, 2013

[4] DIN EN 822:1994-11 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen; Bestimmung der Länge und Breite; Deutsche Fassung EN 822

[5] DIN EN 823:1994-11 Wärmedämmstoffe für das Bauwesen; Bestimmung der Dicke; Deutsche Fassung EN 823

[6] Benjamin Krick: Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise, 2008, Seite 57ff.

[7] Gernot Minke, Benjamin Krick: Handbuch Strohballenbau – Grundlagen, Konstruktionen, Beispiele, 2009, Seite 33ff.

[8] Das Baulexikon, www.das-baulexikon.de

Alle Fotos: Dirk Großmann, 2013 und 2014

iBMB MPA TU BRAUNSCHWEIG
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz | Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Prüfbericht

Dokumentennummer:	(3798/999/13) – NB vom 18.02.2014
Auftraggeber:	Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. Artilleriestraße 6 27283 Verden
Auftrag vom:	13.11.2013
Auftragszeichen:	Herr Kaesberg
Auftragseingang:	13.11.2013
Inhalt des Auftrags:	Prüfung einer 360 mm dicken, tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion in Holzständerbauweise mit einer Strohballendämmung und einem beidseitig angeordneten Kalk-Putz zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer bei einseitiger Brandbeanspruchung.
Prüfungsgrundlage:	DIN EN 1365-1 : 1999-10 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 : 1999-10
Probeneingang:	49. KW 2013
Probennahme:	Angaben über eine amtliche Entnahme liegen der Prüfanstalt nicht vor.
Probenkennzeichnung:	keine
Prüftermin:	08.01.2014

Dieser Prüfbericht umfasst 8 Seiten inkl. Deckblatt und 24 Anlagen.

Dieser Prüfbericht darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Kürzungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung der MPA Braunschweig. Von der MPA nicht veranlasste Übersetzungen dieses Dokuments müssen den Hinweis „Von der Materialprüfanstalt für das Bauwesen, Braunschweig, nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten. Das Deckblatt und die Unterschriftenseite dieses Dokuments sind mit dem Stempel der MPA Braunschweig versehen. Dokumente ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit. Das Probenmaterial ist verbraucht. Die Akkreditierungen gelten für die in den aktuellen Urkunden aufgeführten Prüfverfahren. Die Liste der akkreditierten Bereiche ist auf Anforderung erhältlich.

Materialprüfanstalt (MPA)
für das Bauwesen
Beethovenstraße 52
D-38106 Braunschweig

Fon +49 (0)531-391-5400
Fax +49 (0)531-391-5900
info@mpa.tu-bs.de
www.mpa.tu-bs.de

Norddeutsche LB Hannover
106 020 050 BLZ 250 500 00
Swift-Code: NOLADE 2H
USt.-ID-Nr. DE183500654
Steuer-Nr.: 14/201/22859
IBAN: DE58250500000106020050

Notified body (0761-CPD)
Die MPA Braunschweig ist für Prüfung, Überwachung, Inspektion und Zertifizierung bauaufsichtlich anerkannt und notifiziert. Die MPA Braunschweig ist als Prüf- und Kalibrierlaboratorium nach ISO/IEC 17025 und als Inspektionsstelle nach ISO/IEC 17020 akkreditiert.

1 Allgemeines

Auftragsgemäß sollte eine Prüfung einer 360 mm dicken, tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion in Holzständerbauweise mit einer Strohballendämmung und einem beidseitig angeordneten Kalk-Putz zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer nach DIN EN 1365-1 : 1999-10 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 : 1999-10 bei einseitiger Brandbeanspruchung geprüft werden.

Dieser Prüfbericht beschreibt ausführlich das Montageverfahren, die Prüfbedingungen und die Ergebnisse, die mit dem hier beschriebenen spezifischen Bauteil erzielt wurden, nachdem dieses nach DIN EN 1363-1 : 1999-10 geprüft wurde. Jede wesentliche Abweichung hinsichtlich Größe, konstruktiver Einzelheiten, Belastungen, Spannungszustände, Randbedingungen außer den Abweichungen, die im betreffenden Prüfverfahren für den direkten Anwendungsbereich zulässig sind, ist nicht durch diesen Prüfbericht abgedeckt.

Auf Grund der Eigenart der Prüfungen der Feuerwiderstandsdauer und den daraus folgenden Schwierigkeiten bei der Quantifizierung der Unsicherheit bei der Messung der Feuerwiderstandsdauer ist es nicht möglich, einen festgelegten Genauigkeitsgrad des Ergebnisses anzugeben.

Die Materialprüfanstalt Braunschweig war an der Auswahl des Probekörpers nicht beteiligt.

2 Beschreibung der geprüften Konstruktion

2.1 Allgemeines

Die 360 mm dicke, tragende Wandkonstruktion wurde in einem Prüfrahmen der Prüfanstalt als zweiseitig gehaltene Wand durch Fachkräfte des Auftraggebers als vertikaler Raumabschluss errichtet und hatte die Abmessungen Breite x Höhe = 3000 mm x 3040 mm.

Weitere Einzelheiten zu dem konstruktiven Aufbau des Probekörpers sind den nachfolgenden Abschnitten sowie den Anlagen zu entnehmen.

2.2 Zusammenstellung der brandschutztechnisch relevanten Konstruktionsdetails

Holzständerwerk	Ständer sowie Schwelle und Rähm	Kantholz aus Nadelholz + Brettschichtholz (Sortierklasse S 10): Querschnittsabmessungen: Ständer, b x h x l = 60 mm x 360 mm x 2920 mm Rähm+ Schwelle, b x h x l = 60 mm x 360 mm x 2940 mm Achsabstand „äußere Felder", a ≤ 1000 mm Achsabstand „inneres Feld", a ≤ 880 mm Befestigung der Ständer mit je 3 Spax-Schrauben, Ø 6 mm x 140 mm an Schwelle bzw. am Rähm.
Dämmung	Strohballendämmung	Gefache mit Strohballen, d = 360 mm ausgefüllt, Lagesicherung mit Dreiecksleisten aus NH, a x b = 38 mm x 58 mm, Befestigung der Dreiecksleisten mit Spax-Schrauben 4,5 mm x 70 mm im Abstand a ≤ 600 mm
Putzträger (nur auf Holzständerwerk)	Linke Wandhälfte	Hiss Reet Schilfrohrgewebe, mit verzinktem Draht gebunden, zugeschnitten auf Ständerbreite + Dreiecksleisten, befestigt mit Spax-Schrauben Ø 4 mm x 40 mm und U-Scheibe, Ø = 4,3 mm x 20 mm im Abstand, a = 200 mm.
	Rechte Wandhälfte	Holzweichfaserplatte: d = 9,5 mm zugeschnitten auf Ständerbreite+ Dreiecksleisten, befestigt mit Spax-Schrauben Ø 4 mm x 40 mm im Abstand, a ≤ 150 mm
Putz		Beidseitiger einlagig aufgebrachter mineralischer Grundputz „gräfix 73 Pajalith", d = 10 mm (siehe Anlage 1.5)
Fugen		Stumpfgestoßene Fugen wurden mit losem Stroh nachverdichtet.
Einbauten	Steckdose	Beidseitig angebrachte Hohlwanddose, 47 mm tief, 17 mm ins Stroh eingelassen, im 10 mm dicken Putzbett.

3 Probekörper- und Baustoffkennwerte

Zum Zeitpunkt der Prüfung entsprachen die Festigkeit und der Feuchtegehalt des Probekörpers annähernd dem Zustand, der bei der üblichen Verwendung zu erwarten ist.

Für die geprüfte Konstruktion und die bei ihr verwendeten Bauprodukte gelten die in den Anlagen zusammengestellten Angaben hinsichtlich der Dicken, der Flächengewichte, der Rohdichten, der Feuchtigkeitsgehalte und der Klassifizierung des Brandverhaltens.

4 Prüfanordnung und -durchführung

Fachkräfte des Auftraggebers bauten den in Abschnitt 2 beschriebenen Probekörper als zweiseitig gehaltene Wand vor die lichte Öffnung eines Wandbrandhauses als vertikalen Raumabschluß ein.

Der ca. 30 mm breite Spalt zwischen Prüfrahmen und Probekörper der beiden freien vertikalen Ränder war mit Mineralwolle (nichtbrennbar, Schmelzpunkt ≥ 1000 °C) verschlossen.

Der Probekörper wurde 15 Minuten vor Beginn der Brandprüfung mit einer Streckenlast von q = 37,88 kN/m (gemäß Vorgaben des Auftraggebers) zentrisch belastet.

Die Brandprüfung bei einseitiger Brandbeanspruchung wurde nach DIN EN 1365-1 : 1999-10 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 : 1999-10 durchgeführt.

Die Brandkammer wurde nach der Einheits-Temperaturzeitkurve (ETK) gemäß DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt 5.1.1, beflammt. Zur Messung der Brandraumtemperaturen dienten 6 Stück Platten-Thermometer („Plates“) entsprechend DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt 4.5.1.1.

Bei der Brandprüfung wurde der Ofendruck entsprechend DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt 5.2, eingestellt.

Zur Messung der Temperaturen auf der unbeflammten Seite des Probekörpers dienten Thermoelemente gemäß DIN EN 1363-1, Abschnitt 4.5.1.2. Am Probekörper waren in Abstimmung mit dem Auftraggeber zusätzliche Temperaturmessstellen angeordnet. Die Messwerte dieser Messstellen dienen nur zur Information und fließen nicht in die Beurteilung nach den Kriterien der o.g. Norm ein.

Die vertikale Stauchung des Probekörpers wurde entsprechend DIN EN 1365-1 : 1999-10, Abschnitt 9.3.1, gemessen. Die horizontale Durchbiegung des Probekörpers wurde entsprechend DIN EN 1365-1 : 1999-10, Abschnitt 9.3.2, in der Mitte der Prüfwand und an den freien Ränder der Wandkonstruktion gemessen und ist in den Anlagen zu diesem Prüfbericht dargestellt.

Die Lage der Messstellen zeigen die Anlagen zu diesem Prüfbericht.

5 Prüfergebnisse und Beobachtungen

Die während der Brandprüfung ermittelten Temperaturen in der Brandkammer, die Temperaturerhöhungen über die Anfangstemperatur auf der unbeflammten Seite des Probekörpers, die Durchbiegung des Probekörpers, die Umgebungstemperatur, das Fehlerintegral, der Differenzdruck in der Brandkammer sowie die Beobachtungen während der Brandprüfung sind aus den Anlagen zu ersehen.

6 Zusammenfassung der Prüfergebnisse

Am 08.01.2014 wurde eine Prüfung einer 360 mm dicken, tragenden, raumabschließenden Wandkonstruktion in Holzständerbauweise mit einer Strohballendämmung und einem beidseitig angeordneten Kalk-Putz nach DIN EN 1365-1 : 1999-10 in Verbindung mit DIN EN 1363-1 : 1999-10 zur Ermittlung der Feuerwiderstandsdauer bei einseitiger Brandbeanspruchung durchgeführt.

Tabelle 1: Zusammenstellung der Prüfergebnisse

Zeile	Norm-bezug Angaben nach DIN EN 1363-1: 1999-10 Abschnitt	Anforderungen		Kriterium	Prüfergebnisse			
1	11.1	Tragfähigkeit	Grenzwert der vertikalen Stauchung	Der Grenzwert wurde überschritten nach	-[2]			
2			Grenzwert der vertikalen Stauchungsgeschwindigkeit	Der Grenzwert wurde überschritten nach	-[2]			
3	11.2	Raumabschluss; d.h. Vermeidung von:	Entzündung des Wattebausches	Entzündung des Wattebausches erfolgte nach:	- min.[1]			
4			Auftreten von Spalten	Das Durchdringen einer Spaltlehre erfolgte nach:	- min.[1]			
5			Flammen auf der unbeflammten Seite	Anhaltende Flammenbildung trat auf nach:	92 min.			
6	11.3	Wärmedämmung; d.h. Temperaturerhöhungen auf der unbeflammten Seite über die Anfangstemperatur:		Prüfdauer in Minuten:	60			92
7		max. zul. Mittelwert ΔT= 140 K		max. festgestellte Temperaturerhöhung: Mittelwert in K:	35			41
8		max. zul. Einzelwert ΔT = 180 K		max. festgestellte Temperaturerhöhung: Einzelwert in K:	57 [Mst. 2]			56 [Mst. 2]
	10.4.4	Durchbiegung		Durchbiegung in Wandmitte in mm	1,7			4
				Durchbiegung am freien Rand in mm	1,6			4,2

[1] Bestand kein Anlass zur Prüfung und wurde daher nicht durchgeführt.

7 Schlussfolgerungen

In der nachfolgenden Tabelle sind die wichtigsten Prüfergebnisse unter Berücksichtigung der Leistungskriterien zusammengefasst.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Leistungskriterien.

	Leistungskriterien nach DIN EN 1363-1 : 1999-10	Eingehalten bis [Minuten]:
R	Tragfähigkeit	92
E	Raumabschluss	92
I	Wärmedämmung	92
M	Mechanische Beanspruchung	- [3]

[1] Gemäß DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt 11.4.1 müssen die Leistungskriterien „Wärmedämmung" und „Raumabschluss" automatisch als nicht erfüllt gelten, wenn das Kriterium „Tragfähigkeit" nicht erfüllt wird.

[2] Gemäß DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt 11.4.2 muss das Leistungskriterium „Wärmedämmung" automatisch als nicht erfüllt gelten, wenn das Kriterium „Raumabschluss" nicht erfüllt wird.

[3] War nicht Gegenstand der Prüfung.

Aufgrund des erzielten Prüfergebnisses (siehe Tabelle 1) und der erfüllten Leistungskriterien (siehe Tabelle 2) kann für den geprüften Probekörper bei einer zentrischen Belastung von q = 37,88 kN/m und einer einseitigen Brandbeanspruchung empfohlen werden, diesen gemäß der Klassifizierungsnorm DIN EN 13 501-2 : 2010-02 in die Feuerwiderstandsklasse **REI 90** einzustufen.

8 Direkter Anwendungsbereich nach DIN EN 1365-1 : 1999-10, Abschnitt 13

Die Ergebnisse der Brandprüfung sind direkt auf ähnliche Ausführungen anwendbar, bei denen eine oder mehrere der nachstehend aufgeführten Veränderungen vorgenommen wurden und bei denen die Ausführung hinsichtlich ihrer Steifigkeit und Festigkeit weiterhin die Anforderungen der entsprechenden Bemessungsnorm erfüllt.

Direkter Anwendungsbereich nach Norm	**Bewertung**
a) Reduzierung der Höhe der Wand	zulässig
b) Vergrößerung der Wanddicke	zulässig
c) Vergrößerung der Dicke von zugehörigen Materialien	zulässig
d) Reduzierung der Längenmaße von Platten oder Paneelen, jedoch nicht der Dicke	zulässig
e) Reduzierung der Ständerabstände	zulässig
f) Reduzierung der Abstände von Befestigungen	zulässig

Direkter Anwendungsbereich nach Norm	Bewertung
g) Vergrößerung der Anzahl horizontaler Fugen, wenn mit mindestens einer Fuge im Abstand von höchstens 500 mm zur Oberkante geprüft wurde	nicht zulässig
h) Reduzierung der aufgebrachten Last	zulässig
i) Verbreiterung, vorausgesetzt, der Probekörper wurde mit Originalbreite oder einer Breite von 3 m geprüft, wobei die größere Abmessung maßgebend ist	zulässig

ORR Dr.-Ing. Rohling
Leiterin der Prüfstelle

i. A.
Dipl. Ing. Bollmohr
Sachbearbeiter

Braunschweig, den 18.02.2014

Verzeichnis der Anlagen siehe nächste Seite

Verzeichnis der Anlagen

Anlagen	1.1 bis 1.6	: Konstruktiver Aufbau des Probekörpers, Lage der Messstellen sowie Kennwerte der verwendeten Bauprodukte
Anlagen	2.1 bis 2.14	: Aufzeichnungen während der Brandprüfung
Anlagen	3.1 bis 3.4	: Fotodokumentation

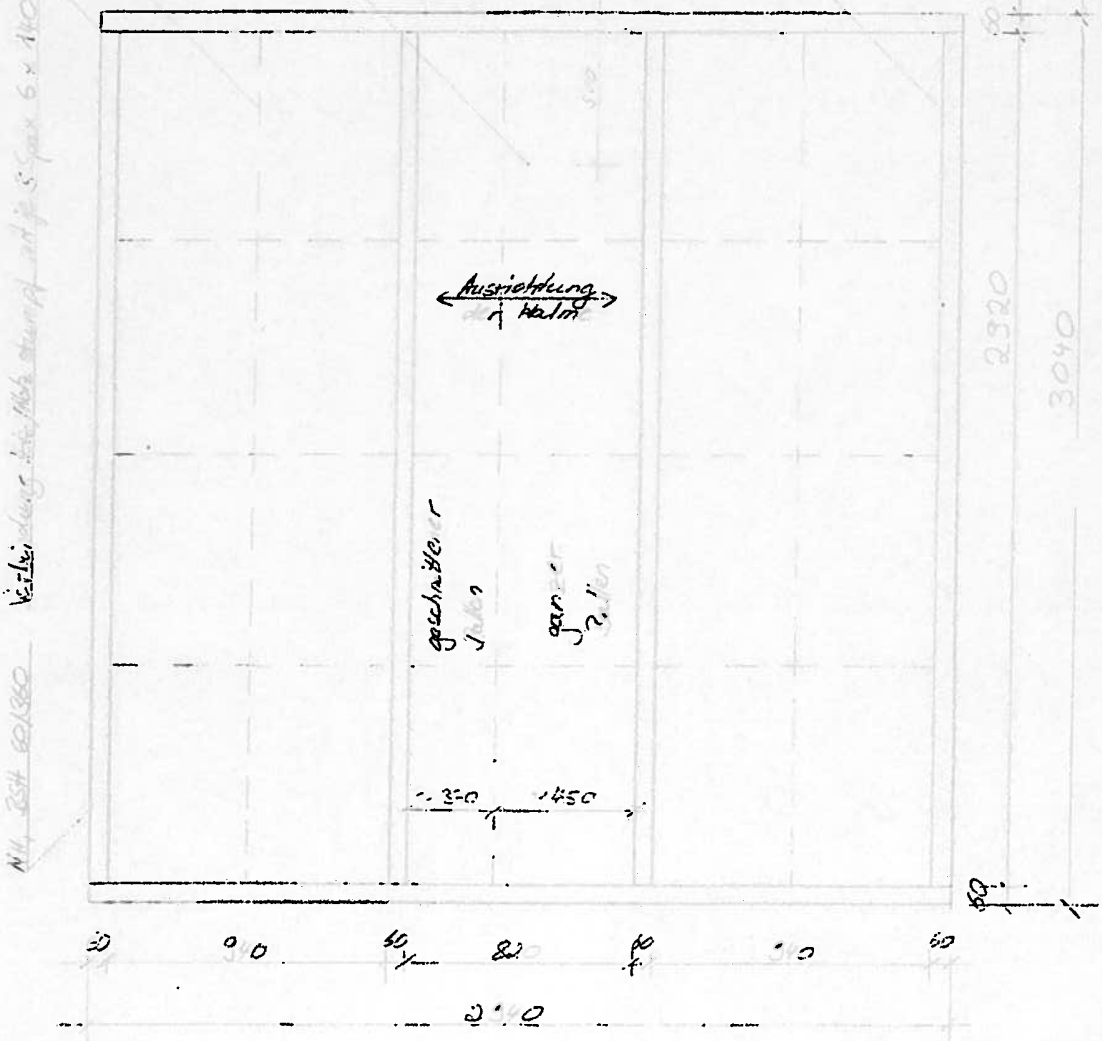
Bohlenständerwand mit Strohausfachung

M 1:20 bk, 9.1.2014

Dreiecksleisten nicht eingezeichnet (s. Schnitt)

Stoß Strohballen/Strohballen

Hohlwanddose, 17 mm tief, 17 mm in Strohbeinglassem in Putzbett



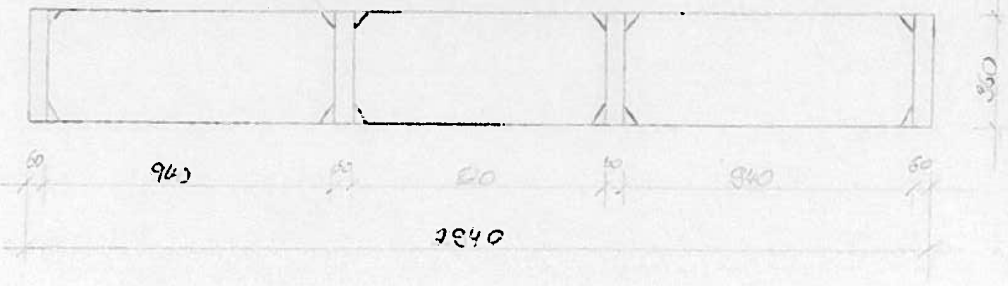
Putz, beidseitig, Pajalith (Fabrikat), Gräfix (Hersteller), 8 mm

Holzflächen mit Putzträger überspannt, rechte Seite Schilfrohr,

Linke Seite Holzweichfaser, 10 mm, Befestigung Spax 4x40, e=20 cm

Konstruktiver Aufbau des Probekörpers Ansicht	Anlage 1.1 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	

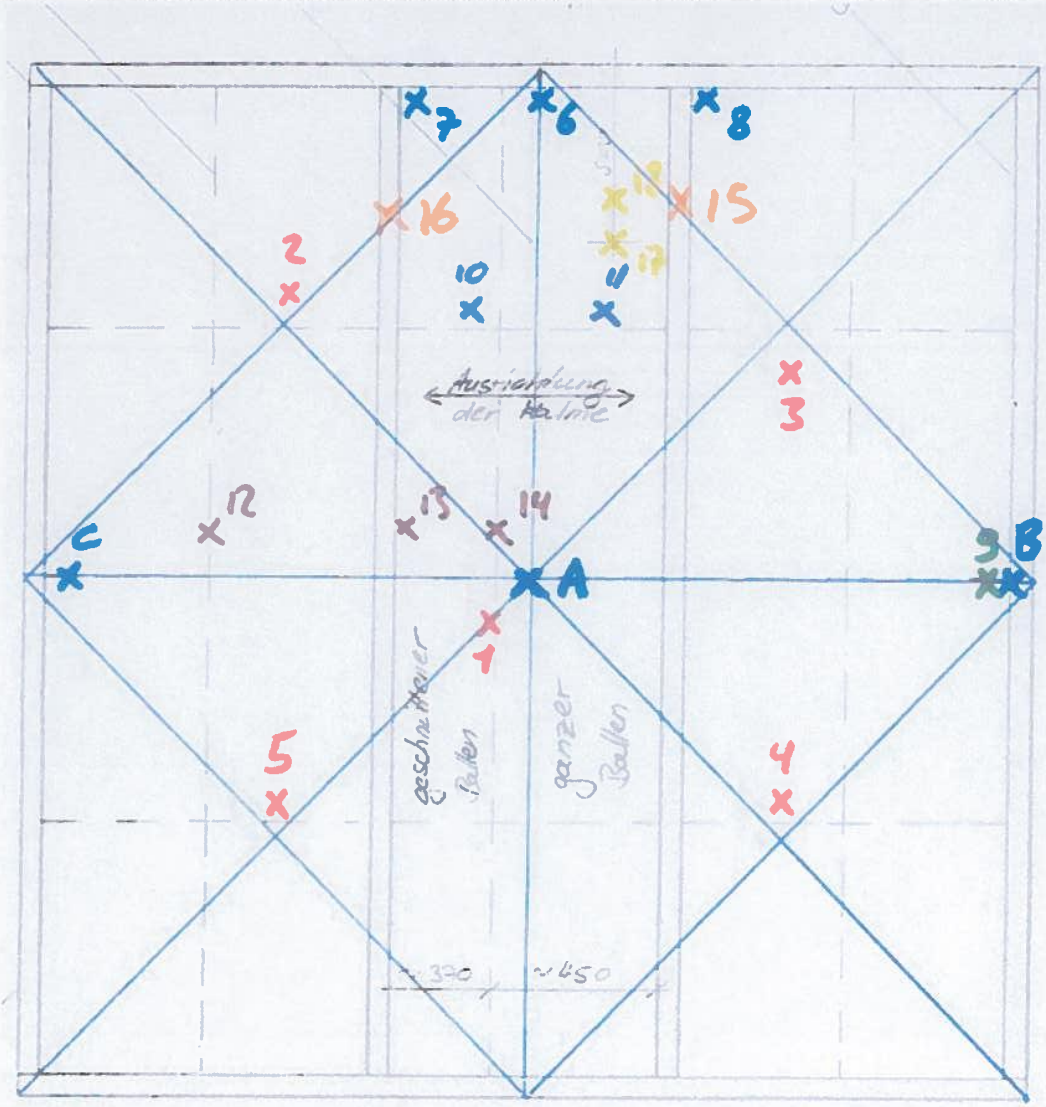
Schnitt



Befestigung Dreiecksleisten mit Spax 4,5x70, e = 50 cm
(nicht eingezeichnet)

Alle Maße in mm.

Konstruktiver Aufbau des Probekörpers Schnitt	Anlage 1.2 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	



1-5	MW auf der Wand	15	auf den Schilfmatten
6-8	oberer Rand	16	auf der Holzweichfasermatte
9	seitlicher Rand	17	auf Steckdose
10-11	horizontale Fuge	18	über Steckdose
12-14	vertikale Fuge	19	Umgebungstemperatur
A-C	Verformung		

Alle Maße in mm.

Konstruktiver Aufbau des Probekörpers
Messstellenplan

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

Anlage 1.3 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Beschreibung des Einbaus von Baustrohballen in eine Bohlenständerwand

Die Baustrohballen werden hochkant stehend eingebaut. (Dadurch liegen die Halme in den Ballen in Wandrichtung und als Lambda-wert kann 0,052 W/(m*K) angesetzt werden. (Vgl. abZ.))
Aus der Breite der Strohballen ergibt sich die Breite der Gefache. Es werden jeweils zwei Strohballen gegeneinander in ein Gefach geklappt. Die passende lichte Gefachbreite liegt dann bei ungefähr 94 cm. Sollten durch vorgegebene Wandbreiten Gefache entstehen, die nicht ins Ballenraster passen, werden Strohballen z.B. mit einer Kettensäge passend schmaler gesägt.
Im Gefach müssen die Strohballen verdichtet werden. Erst dadurch entsteht eine lückenlose, setzungssichere und möglichst gleichmäßige Verdichtung. Mit geeigneten Werkzeugen wie Spanngurt und Kettenzug werden Ballen gegen den Holzrahmen verdichtet. Auf diese Weise wird ein Gefach Lage für Lage mit Strohballen ausgefüllt. Die letzte Lücke wird dann mit in der Länge passend konfektionierten Ballen geschlossen. Anschließend wird die Spannung im Gefach gelöst. Dabei verteilt sich der Druck im Gefach, so dass alles Stroh in etwa gleichmäßig verdichtet wird. Die Längen der einzelnen Strohballen wurden so ausgewählt, dass im Gefach eine Verdichtung von ca. 10 % erreicht wird.
Durch die Verdichtung wird die Schnürung der Ballen lose und kann herausgenommen werden. Im Gefach verbleibt nur das Stroh.
Zur Lagesicherung werden die Strohballen seitlich mit Dreiecksleisten eingefasst. Diese sind diagonal mit den Bohlenständern verschraubt.
Stellenweise überstehendes Stroh wird mit dem Holzrahmen bündig geschnitten (z.B. mit der Kettensäge); loses Stroh wird abgefegt.

Putzauftrag

Putzstärke: Zunächst wurde das Stroh nach dem Einbau mit einer Kettensäge auf die Holzebene bündig rasiert. Dann wurden die Putzträger aufgebracht. Der Putzauftrag ist einlagig erfolgt. Der Putz wurde über die Strohfläche in Stärke der Putzträger abgezogen (Stärke Weichfaser: 10 mm, Stärke Schilfrohrgewebe: ca. 10 mm). Über die Putzträger, also im Bereich des Holzrahmens wurde anschließend nochmals eine Lage Putz ca. 10 mm stark aufgebracht. Diese Streifen wurden dann auf die Strohflächen hin ausgezogen. Dadurch wurde eine geschlossene, luftdichte Fläche auch im Bereich der Putzträger hergestellt. Deshalb sind die Randbereiche der Strohfläche zu den Holzständern durchgängig an der Kante ca. 18 mm stark. Die Fläche ist deutlich dünner verputzt, 10 mm über die gesamte Strohoberfläche, und zwar ohne deren Kontur zu verfolgen.

gräfix® 73 Pajalith

Ultraleichter, mineralischer Grundputz

zum Verputzen von Wand- und Deckenelementen aus Stroh

gräfix 73 Pajalith: Der faserverstärkte, atmungsaktive Leichtputz auf Kalk-Zement-Basis, enthält Zusätze, die ihn hinsichtlich seiner Haftungs- und Verarbeitungseigenschaften optimieren.
Die Verwendung von Leichtzuschlägen wie Perlite und Blähglas, begründen den mineralischen Charakter dieses naturweißen, besonders ergiebigen und wasserabweisenden Putzes, der sich außerdem durch einen niedrigen E-Modul auszeichnet.

Verwendung: **gräfix 73 Pajalith** ist speziell für die Anwendung auf Stroh als Putzuntergrund konzipiert. Er kommt überall dort zum Einsatz, wo Stroh, z.B. in Form von Baustrohballen in Verbindung mit einer Holzständerbauweise, als Wandbaustoff, verwendet wird.

Verarbeitung: Der Putzuntergrund muss für den direkten Putzauftrag geeignet sein. D.h. die Strohoberfläche muss gleichmäßig und ebenflächig sein. Die Strohballen müssen ausreichend stark verdichtet sein. Bei Bedarf muss die Oberfläche nachbearbeitet werden. Spezielle und wechselnde Untergründe, z.B. Holzbalken oder Einbauten innerhalb der zu verputzenden Flächen, benötigen möglicherweise eine gesonderte Vorbereitung, die im Einzelfall abzuklären ist. Die so vorbereitete Fläche wird direkt mit einer ersten dünnen Lage **gräfix 73 Pajalith** beschichtet.
Der Maschinenputz wird mit einer Putzmaschine mit Nachmischer, oder per Hand, nach intensivem Aufquirlen, angetragen. Diese erste sogenannte Sauberkeitsschicht wird möglichst intensiv in das Stroh eingearbeitet.
Nach einer ausreichenden Trocknungs- und Abbindephase (ca. 1 Tag/mm Putzschichtdicke), wird eine erste Putzlage aufgebracht, in die eine Lage **gräfix 623** Panzergewebe eingearbeitet wird. Diese ca. 2 cm dicke Schicht lässt man wie oben angegeben trocknen und abbinden.
Auf diese gut aufgeraute Lage wird eine zweite, ebenfalls ca. 2 cm dicke Putzschicht, mit einer im oberen Drittel befindlichen Lage **gräfix 620** Außenputzgewebe, aufge-bracht. Diese letzte Putzschicht kann anschließend strukturiert oder gefilzt werden und wird nach dessen Trocknung (siehe oben) mit einem Schutzanstrich mit **Rabolin 614** Silikat-Fassadenfarbe oder **Rabolin 670** Silikonharz-Fassadenfarbe versehen.

Anmerkung: Eine Vermischung mit anderen Materialien ist nicht gestattet.
Verarbeitungszeit: 2 bis 3 Stunden
Verarbeitungstemperatur: 5 bis 25 °C Untergrundtemperatur

Lieferung:
- in feuchtigkeitgeschützten 20 kg-Papiersäcken; bei Palettenbezug auch mit Folienüberzug ;

Technische Daten:

Festmörtelrohdichte:	ca. 800 g/l
Druckfestigkeit:	CS I
Ergiebigkeit:	20 kg mit ca. 8 – 8,5 l Wasser ≙ ca. 27 l Frischmörtel eine Tonne mit ca. 400 – 425 l Wasser ≙ ca. 1350 l Frischmörtel

– bei einer Putzstärke von 10 mm reicht eine Tonne für ca. 135 m²

Rohstoffe und Fertigprodukt unterliegen im Rahmen der Eigenüberwachung fortlaufend strengen Kontrollen

WOLFGANG ENDRESS
Kalk- und Schotterwerk
91322 Gräfenberg

Telefon: 09126 2596-0 (Büro)
09192 9955-0 (Werk)
Telefax: 09126 2596-17

Technisches Merkblatt 73 Pajalith
Stand: März 2014

Konstruktiver Aufbau des Probekörpers
Datenblatt „gräfix 73 Pajalith"

Anlage 1.5 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

Bezeichnung der Bauprodukte	Herstellerfirma	Dicke[1]	Flächengewicht im Einbauzustand[1]	Rohdichte im Einbauzustand[1]	Feuchtigkeitsgehalt[2]	Klassifizierung des Brandverhaltens
		mm	kg/m²	kg/m³	Gew.-%	
Wärmedämmstoff aus Strohballen „Baustrohballen" abZ: Z-23.11-1595	Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Verden	350	10,84	180,59	0,62	**B2:** gem. DIN 4102-1
Holzständer, aus Nadelholz + Brettschichtholz Sortierklasse S10 Festigkeitsklasse C 24 nach DIN 4074-1 bzw. EN 338	-	60/360	-[4]	-[4]	10-12	
Mineralischer Grundputz „gräfix 73 Pajalith"	Wolfgang Endress Kalk- und Schotterwerk, Gräfenberg	ca. 10	-[4]	-[4]	-[4]	**A1:** gem. DIN 4102-1
Putzträger „Schilfrohrgewebe"	Hiss Reet Schilfrohrhandel GmbH, Bad Oldesloe	10	-[4]	-[4]	-[4]	-[3]
Putzträger „ Holzweichfaserplatten"	Firma Fibrs S.A. Przemyśl (Polen)	9,5	-[4]	-[4]	-[4]	**B2:** gem. DIN 4102-1

1) Mittelwert aus drei Probekörpern

2) Ermittlung gemäß DIN EN 1363-1 : 1999-10, Abschnitt F.3.2, „Trocknungsverfahren im Ofen"

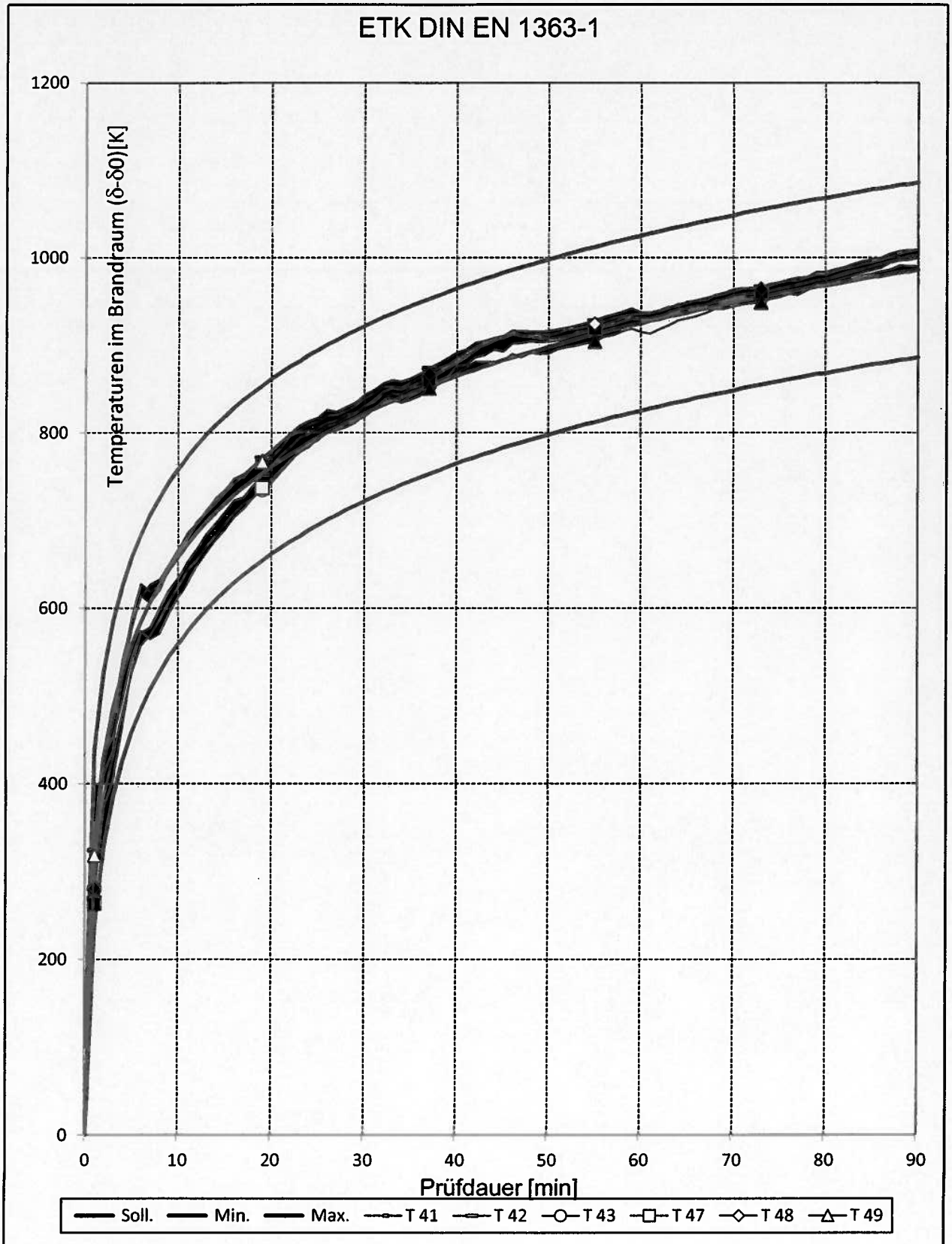
3) Es liegen keine Herstellerangaben vor.

4) Es wurden keine Werte ermittelt.

Kennwerte der Bauprodukte

Anlage 1.6 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

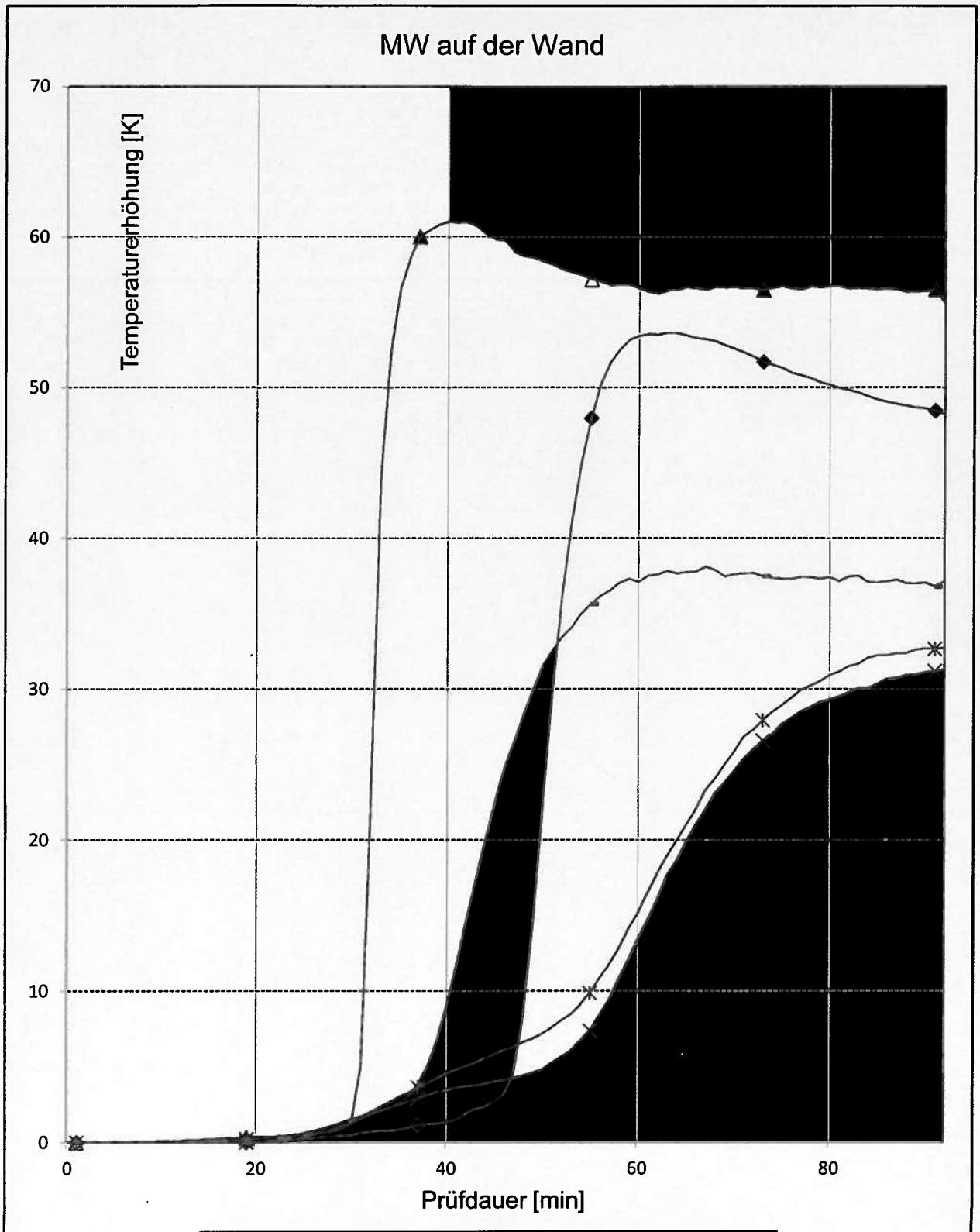
Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



δ_0 = 17 °C

Prüfdatum: 08.01.14

Temperaturen im Brandraum	Anlage 2.1 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	



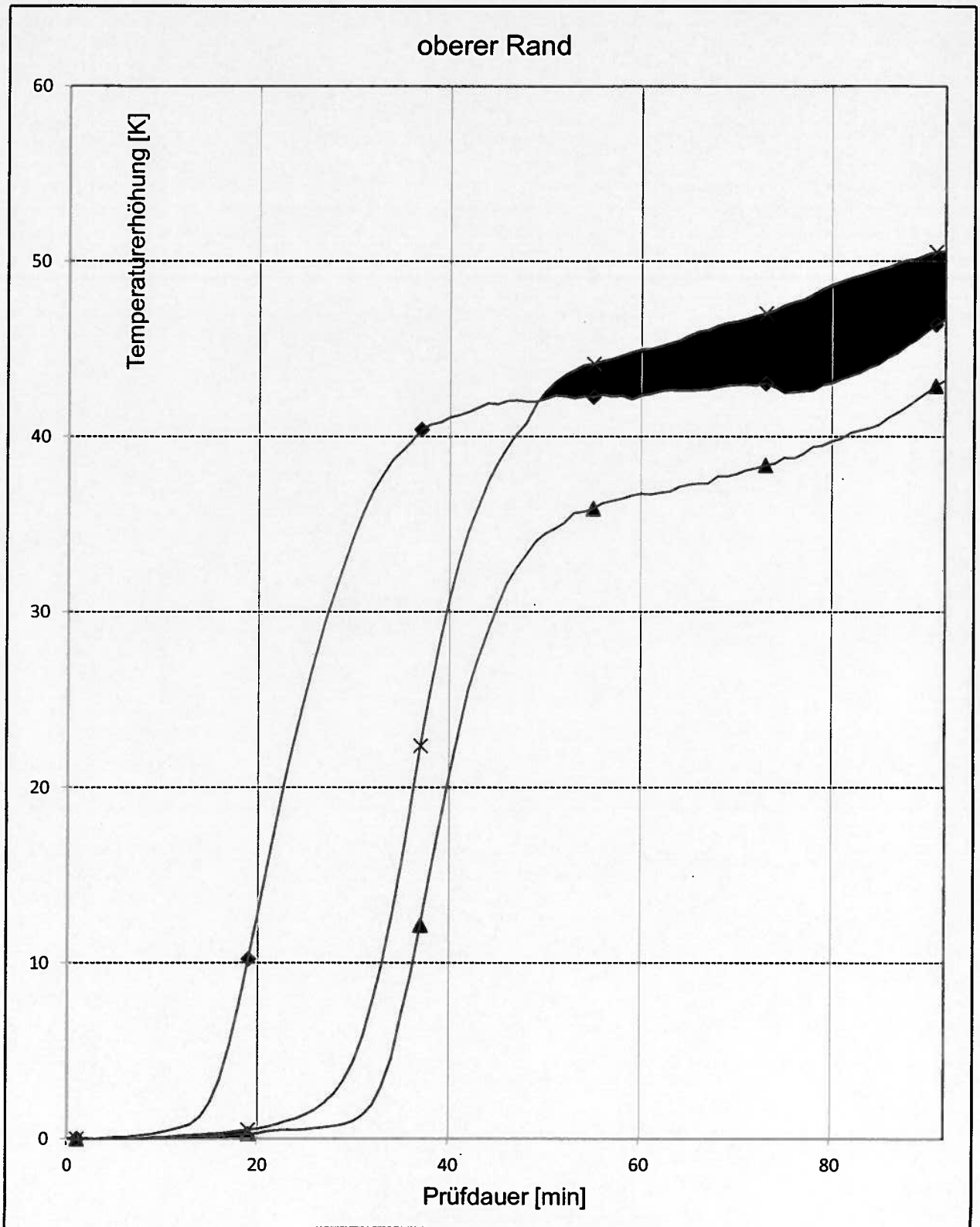
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-	-
Mittelwert	< 1K	< 1K	< 1K	1 K	19 K	35 K	41 K	41 K		140 K
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	2 K	60 K	57 K	56 K	56 K	180 K	
Messstelle	2	2	2	5	2	2	2	2	-	

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.2 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



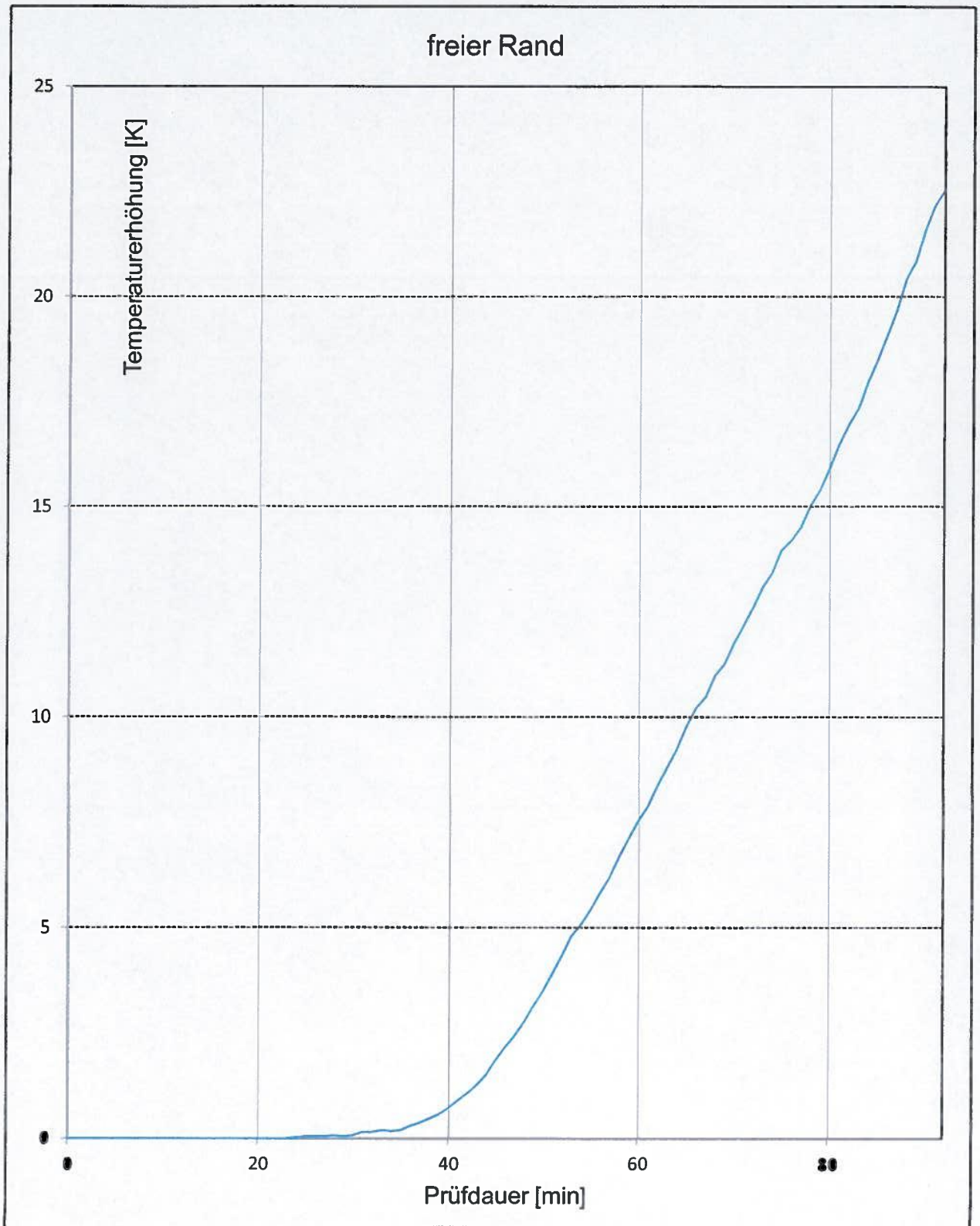
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	2 K	13 K	34 K	42 K	45 K	50 K	51 K	180 K
Messstelle	6	6	6	6	6	8	8	8	-

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.3 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



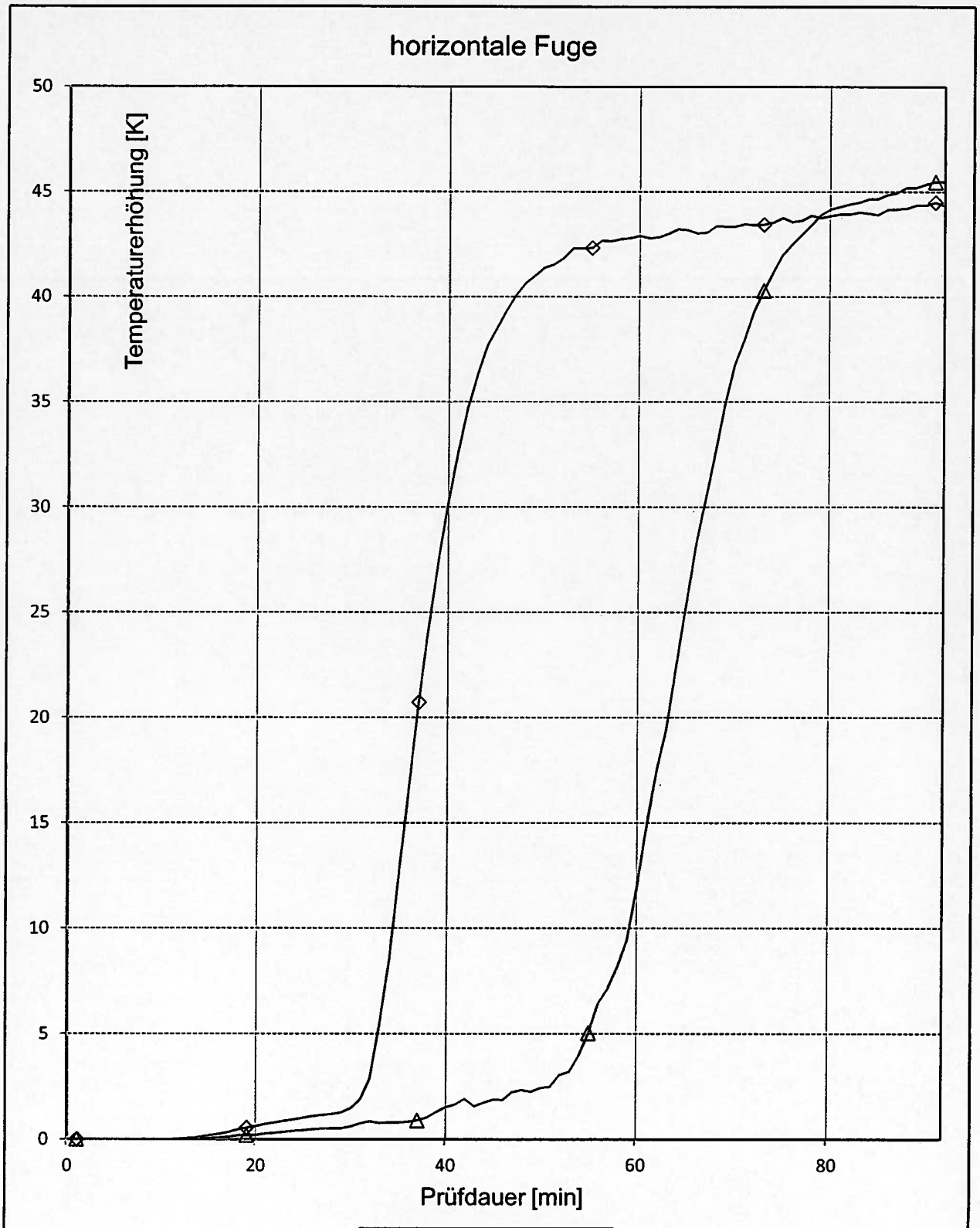
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	< 1K	2 K	8 K	22 K	23 K	180 K
Messstelle	9	9	9	9	9	9	9	9	-

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.4 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



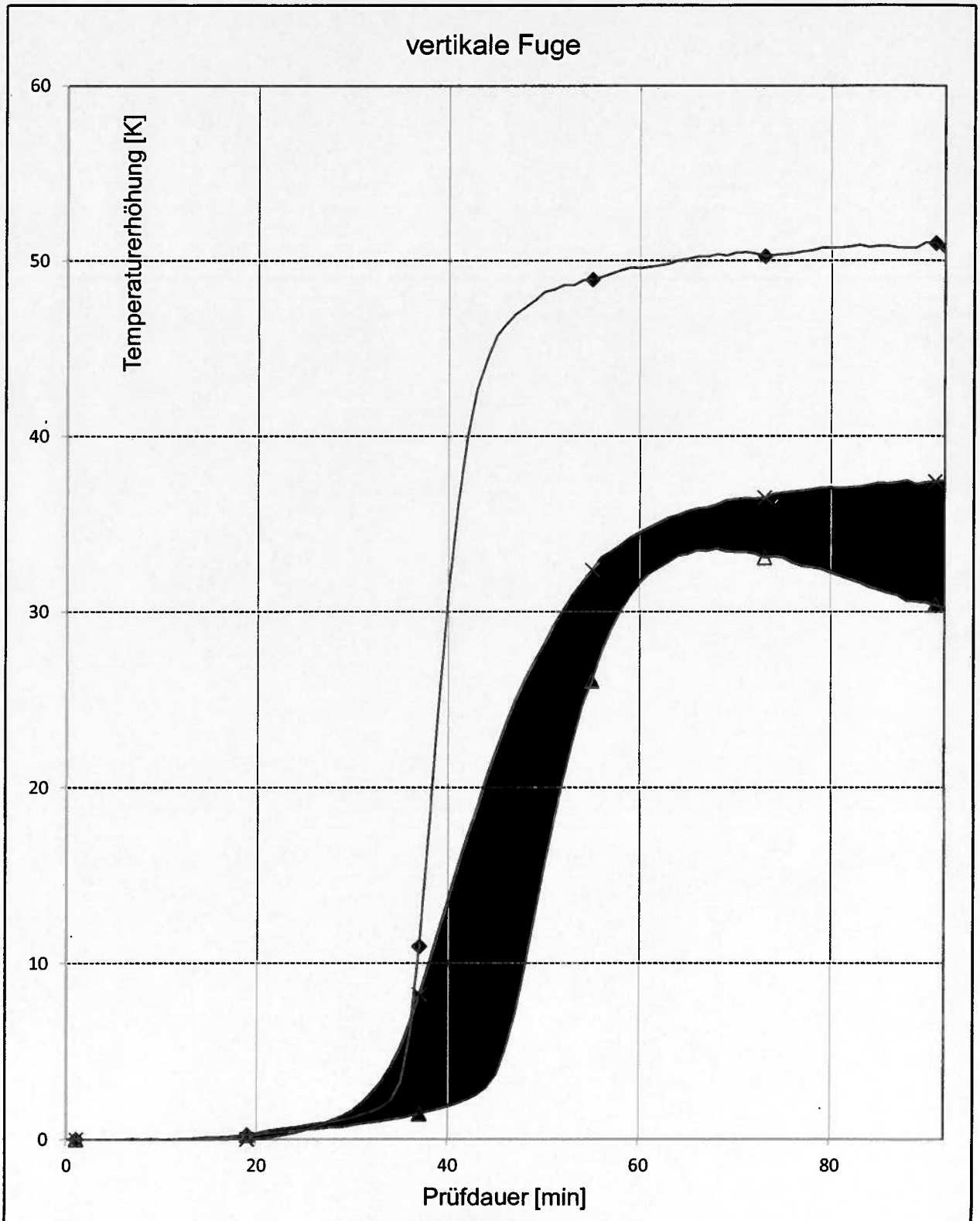
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	1 K	1 K	38 K	43 K	45 K	45 K	180 K
Messstelle	11	10	10	10	10	10	11	11	-

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.5 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	2 K	46 K	50 K	51 K	50 K	180 K
Messstelle	14	13	12	14	12	12	12	12	-

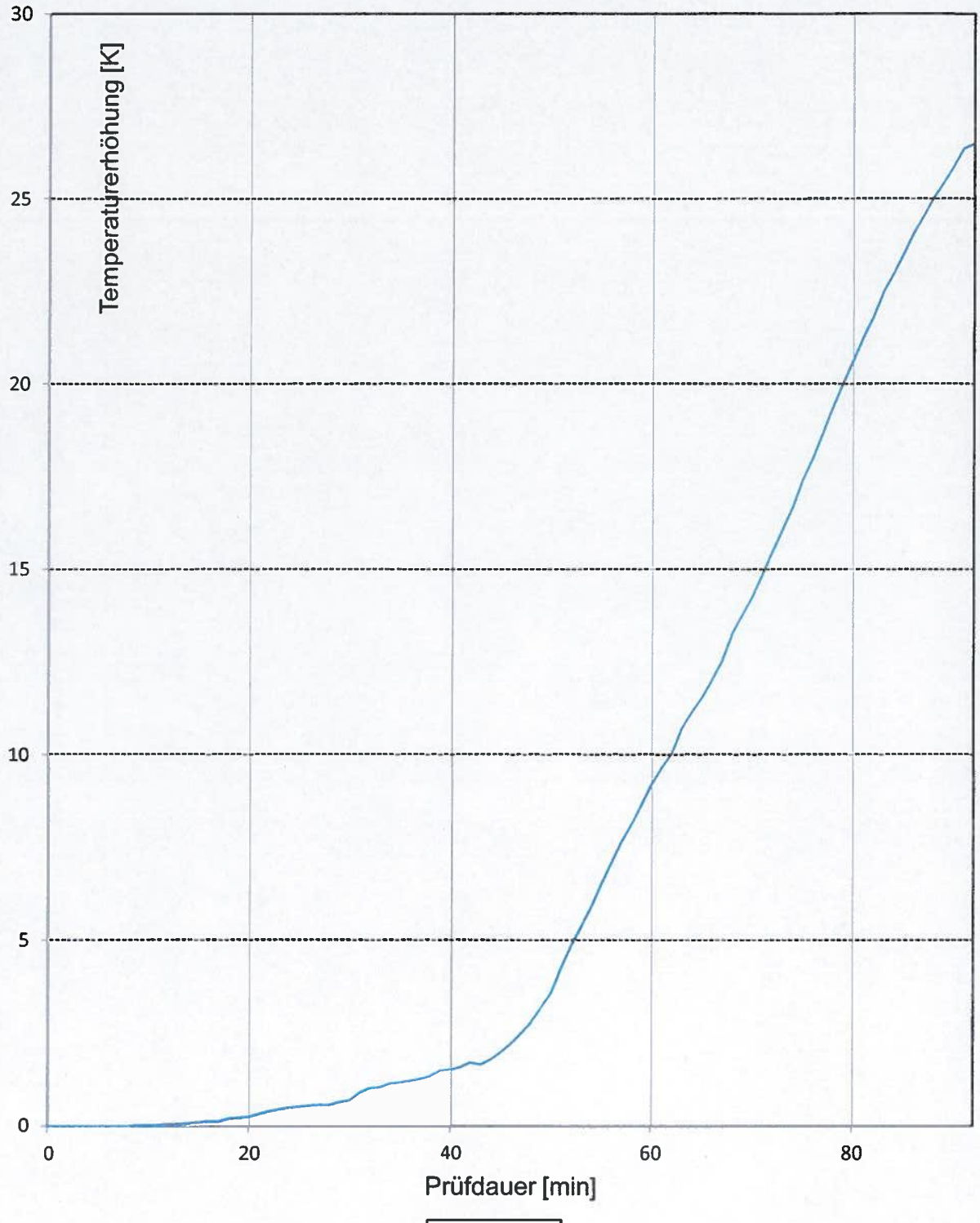
Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.6 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

auf dem Schilfrohrgewebe



Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	1 K	2 K	9 K	26 K	26 K	190 K
Messstelle	15	15	15	15	15	15	15	15	-

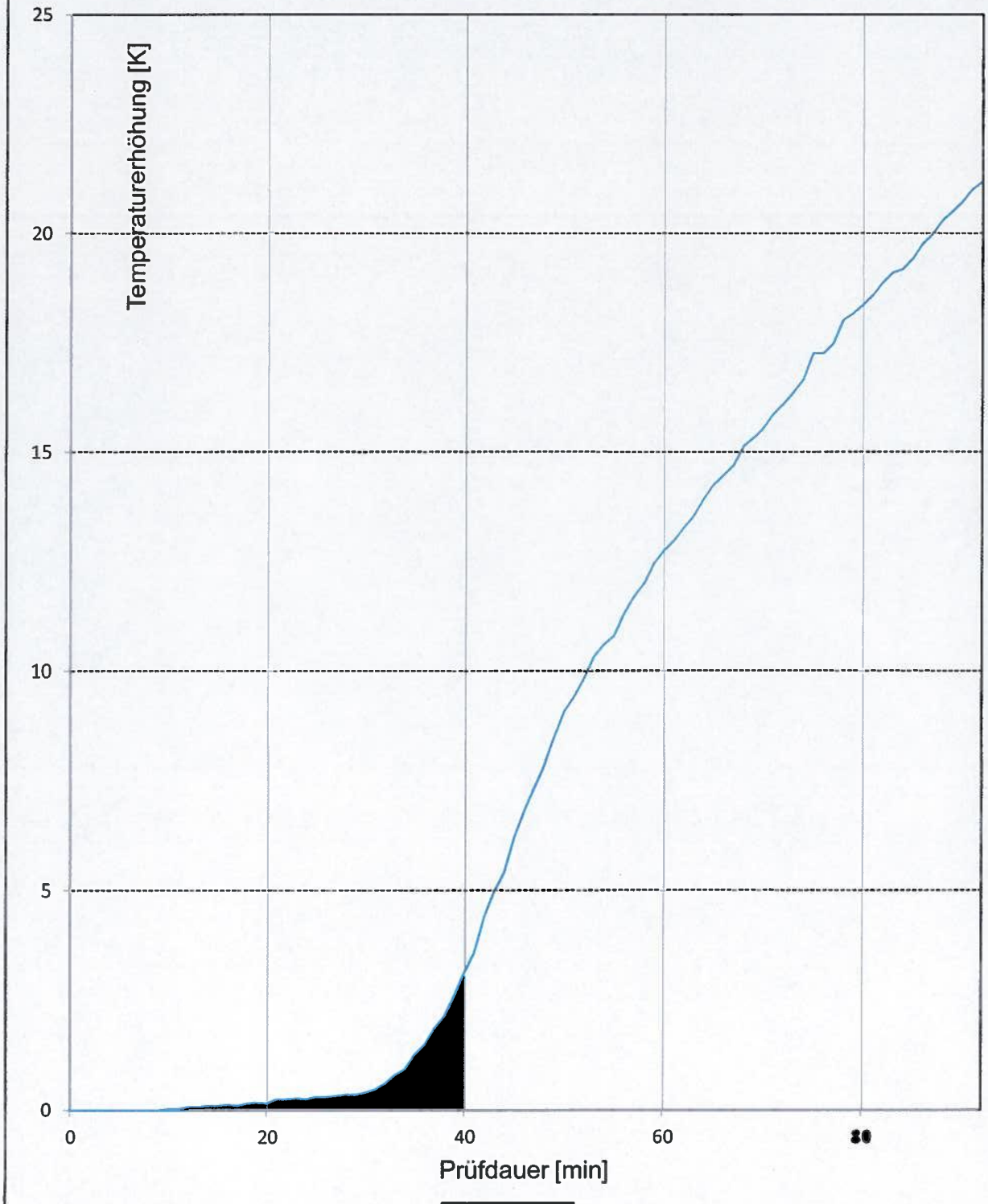
Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Anlage 2.7 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

auf der Holzweichfasermatte



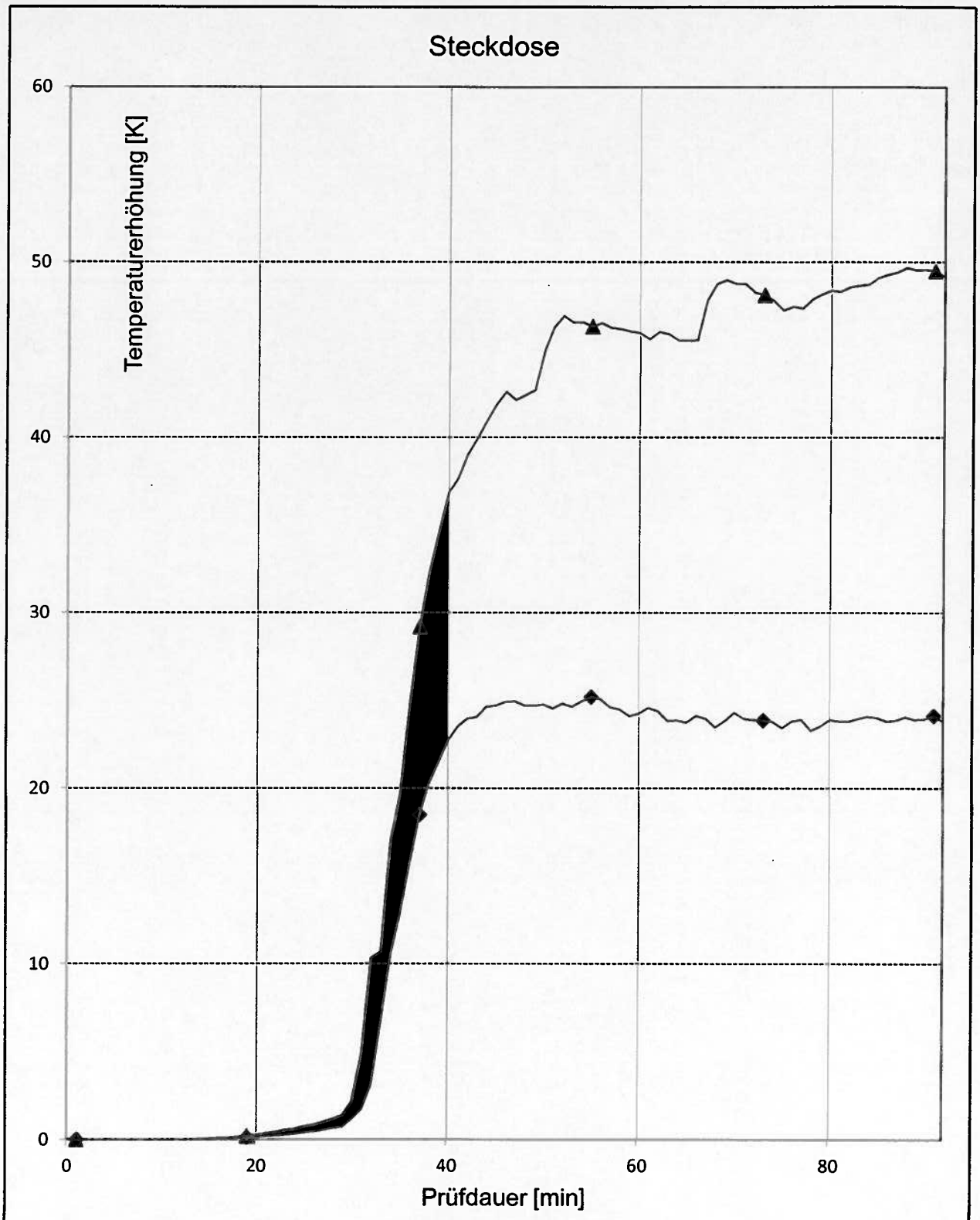
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	< 1K	5 K	13 K	21 K	21 K	180 K
Messstelle	16	16	16	16	16	16	16	16	-

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig

Anlage 2.8 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13



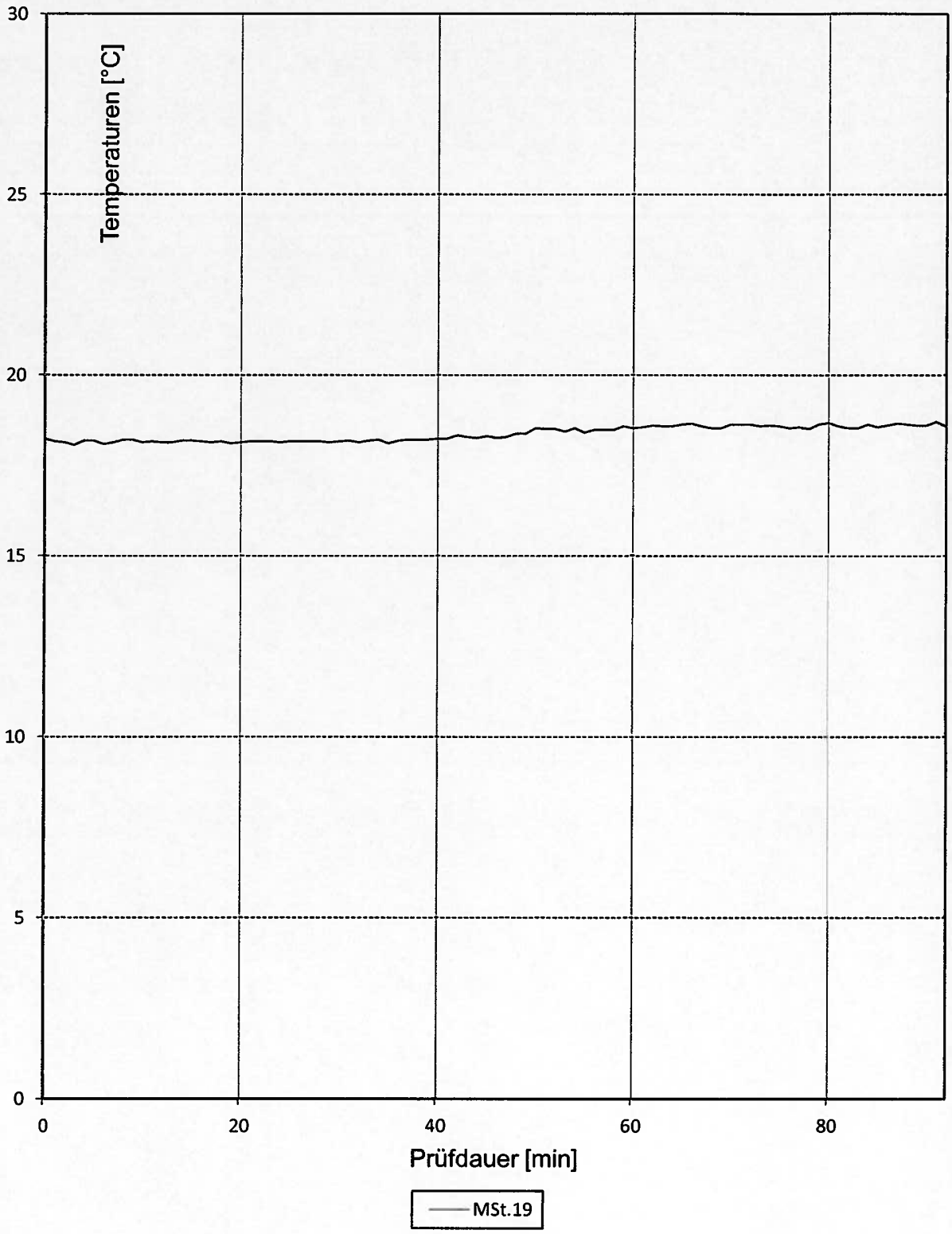
Zeit [min]	10	15	20	30	45	60	90	92	-
Maximum	< 1K	< 1K	< 1K	2 K	42 K	46 K	50 K	49 K	180 K
Messstelle	18	18	18	18	18	18	18	18	-

Ende der Beflammung nach 92 min!

Temperaturen am Probekörper

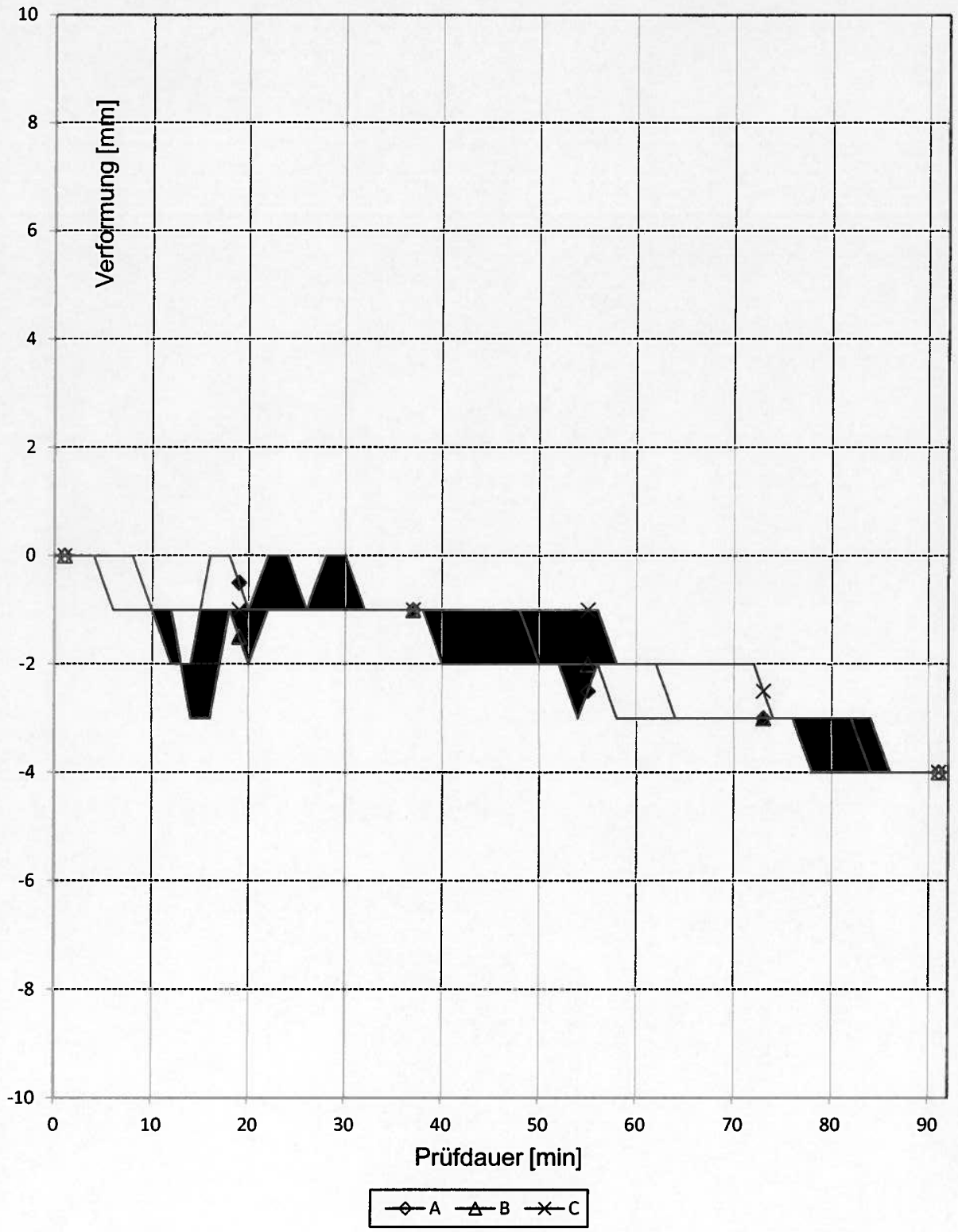
Anlage 2.9 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Materialprüfanstalt für das Bauwesen
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig



Ende der Beflammung
nach 92 min!

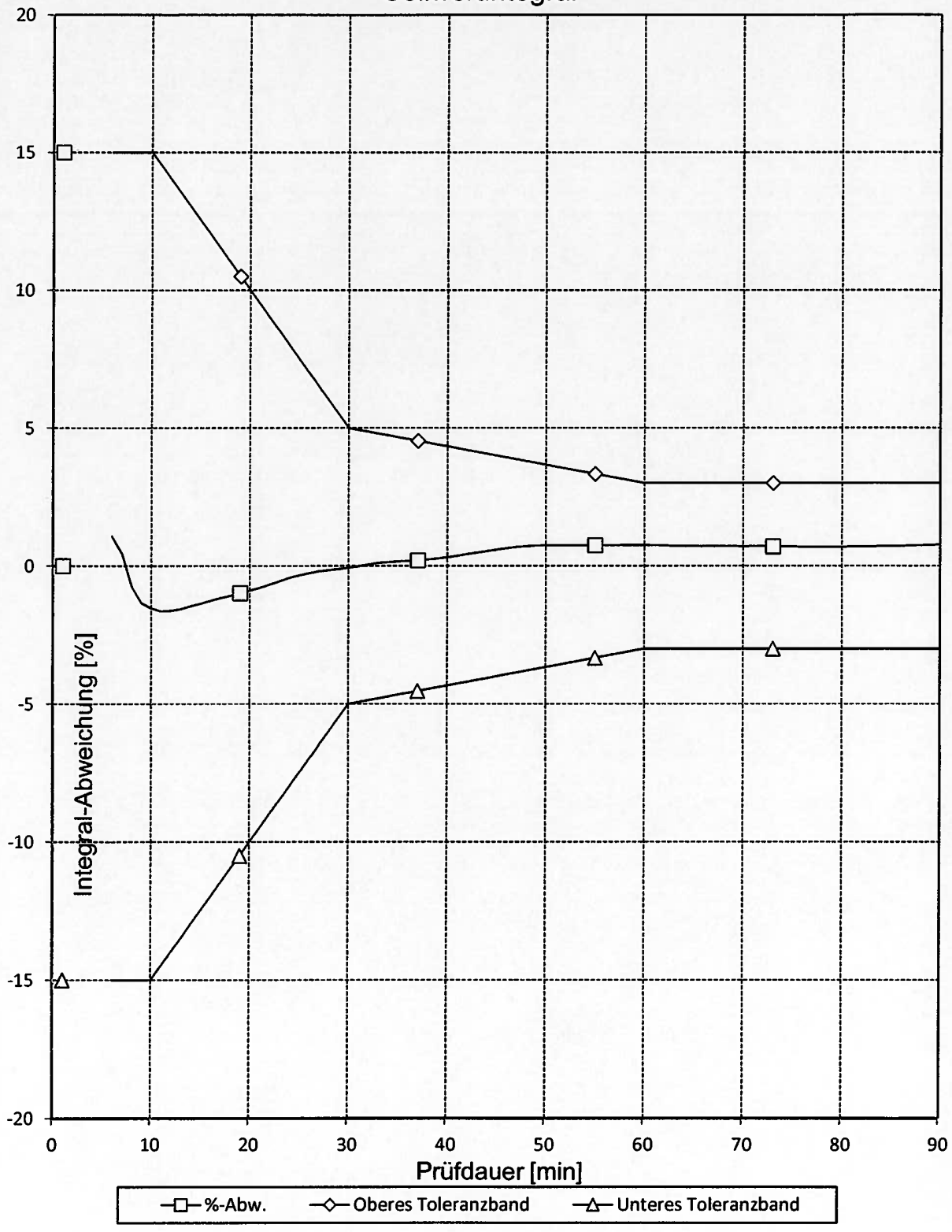
Umgebungstemperatur	Anlage 2.10 zum
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	Prüfbericht Nr. 3798/999/13



Ende der Beflammung
nach 92 min!

Verformung am Probekörper	Anlage 2.11 zum
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	Prüfbericht Nr. 3798/999/13

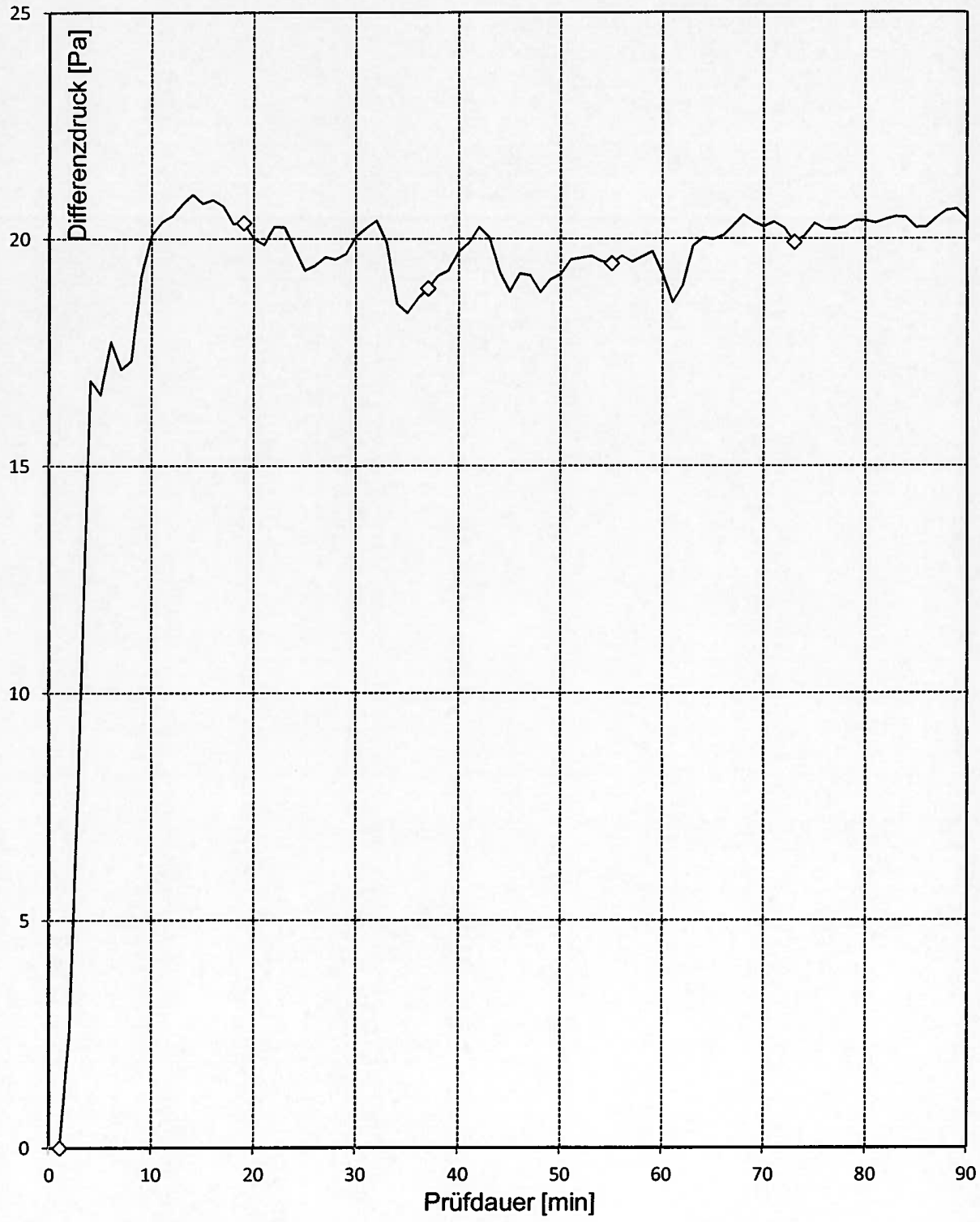
Abweichung des Integrals der Brandraumtemperaturen vom Sollwertintegral



δ_0 = 17 °C

Prüfdatum: 08.01.14

Auswertung des Fehlerintegrals	Anlage 2.12 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	



δ_0 = 17 °C

Prüfdatum: 08.01.14

Differenzdruck im Brandraum	Anlage 2.13 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13
Materialprüfanstalt für das Bauwesen Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig	

Prüfdauer (min)	Seite *)	Beobachtungen während der Brandprüfung am 08.01.2014
3	F	Am linken Mittelständer hat sich das Rohrgeflecht schwarz gefärbt.
3	A	Leichter Rauchaustritt am oberen Rand.
4	F	Die Holzweichfaserplatte zeichnet sich schwarz ab. Die Steckdose brennt weg.
6	A	Leichte Rauchentwicklung aus den Fugen zum Ofen beginnt.
11	A	Rauchentwicklung ist immer noch vorhanden.
15	F	Die überstehenden Rohrhalme an den Ständern beginnen zu brennen.
16	F	Die Putzoberfläche im Brandraum wird gleichmäßig hell.
17	F	Der freie Rand öffnet sich, es entsteht Funkenflug.
21	F	Rauchentwicklung und Schwarzfärbung am Putzträger Holzweichfaserplatte.
25	F	Holzweichfaserplatte und Stroh brennen, die Holzweichfaserplatten beginnen sich zu lösen.
35	F	Randständer auf beiden Seiten brennen, an den mittleren Ständern ist der Putz noch vorhanden.
58	A	Aus dem vertikalen Riss am rechten Ständer entsteht leichte Rauchentwicklung.
76	F	Im Mittelfeld der Putzoberfläche entstehen Risse.
77	F	Es ist ein vertikaler Riss am linken Ständer entstanden.
85	F	Die Risse im Mittelfeld vergrößern sich, der Putz bleibt aber haften.
92	-	BV Ende, Prüfziel erreicht.

*) F: Feuerseite

A: Außenseite

Abbildung 1: Putzträger, Schilfrohgewebe am Ständer.

Abbildung 2: Putzträger, Holzweichfaserplatte am Ständer.

Fotodokumentation

Anlage 3.1 zum Prüfbericht Nr. 3798/999/13

Abbildung 3: Putzträger während des Verputzens, Feuerseite.

Abbildung 4: Putzträger während des Verputzens, Feuerabgewandte Seite

Abbildung 5: Verputzte Wand, FA-Seite.

Abbildung 6: Ansicht vor BV, Feuerseite.

Abbildung 7: Während BV, ca. 60. min.

Abbildung 8: Ansicht nach BV

EPD - ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

UMWELT-PRODUKTDEKLARATION nach ISO 14025 und EN 15804

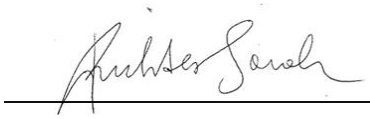
HERAUSGEBER	Bau EPD GmbH, A-1070 Wien, Seidengasse 13/3, www.bau-epd.at
PROGRAMMBETREIBER	Bau EPD GmbH, A-1070 Wien, Seidengasse 13/3, www.bau-epd.at
DEKLARATIONSINHABER	Fachverband Strohballenbau Deutschland (FASBA) e.V.
DEKLARATIONSNUMMER	EPD-FASBA-2014-1-GABI
DEKLARATIONSNUMMER ECOPLATFORM	ECO EPD Ref. No. 00000085
AUSSTELLUNGSDATUM	10.10.2014
GÜLTIG BIS	10.10.2019

Baustroh

Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.

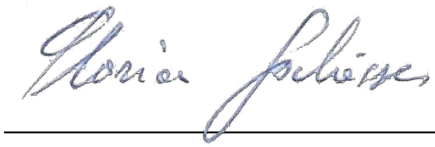
Allgemeine Angaben zur Deklaration

Produktbezeichnung Baustroh	**Deklariertes Bauprodukt / Deklarierte Einheit** Die vorliegende EPD wurde im Auftrag des Fachverbands Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) durchgeführt. Die Herstellung der Strohballen erfolgt durch die Baustroh GmbH in Verden vorwiegend aus Weizen- und Roggenstroh ohne Verwendung von zusätzlichen Einsatzstoffen. Im Jahr 2013 wurden etwa 1000 m³ Baustroh hergestellt. Die Rohdichte der Produkte liegt zwischen 85 und 115 kg/m³. Als funktionale Einheit wurde ein Kubikmeter Dämmstoff (m³) festgelegt. Dieser EPD Bericht beruht auf den Angaben des verifizierten LCA-Hintergrundberichts für Baustroh (IBO 2014). **Gültigkeitsbereich** Die hier publizierten Produktdaten sind repräsentativ für alle Baustrohballen des Fachverbands Baustrohballen Deutschland e.V. Zielmarkt der Produkte ist Deutschland. Der Inhaber der Deklaration haftet für die zugrundeliegenden Angaben und Nachweise; eine Haftung der Bau EPD GmbH in Bezug auf Herstellerinformationen, Ökobilanzdaten und Nachweise ist ausgeschlossen.
Deklarationsnummer EPD-FASBA-2014-1-GABI	
Deklarationsdaten ☒ Spezifische Daten ☐ Durchschnittsdaten	
Deklarationsbasis Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen PKR-Code: 2.22.5 Version 1.0 – 25.06.2014 (PKR geprüft u. zugelassen durch das unabhängige PKR-Gremium)	
Deklarationsart lt. ÖNORM EN 15804 Von der Wiege bis zur Bahre	**Datenbank, Software, Version** GaBi (2013), Umberto NXT Universal Version 7.1
Ersteller der Ökobilanz DI Philipp Boogman IBO Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH Alserbachstraße 5, 1090 Wien Österreich	**Die Europäische Norm EN 15804 dient als Kern-PKR.** **Unabhängige Verifizierung der Deklaration nach EN ISO 14025:2010** ☐ intern ☒ extern **Verifizierer 1:** DI Dr. sc ETHZ Florian Gschösser, UIBK Innsbruck **Verifizierer 2:** DI Dr. techn. Ilse Hollerer, MA 39, Wien
Deklarationsinhaber Fachverband Strohballenbau Deutschland (FASBA) e.V. Artilleriestraße 6 27283 Verden Deutschland	**Herausgeber und Programmbetreiber** Bau EPD GmbH Seidengasse 13/3 1070 Wien Österreich http://www.bau-epd.at



DI (FH) DI DI Sarah Richter
Geschäftsführung Bau EPD GmbH

Mag. Hildegund Mötzl
Stellvertretung Leitung PKR-Gremium



DI Dr. sc ETHZ Florian Gschösser
Universität Innsbruck

DI Dr. techn. Ilse Hollerer
MA 39, Prüf-, Überwachungs- u. Zertifizierungsstelle d. Stadt Wien

Information:
EPD der gleichen Produktgruppe aus verschiedenen Programmen müssen nicht zwingend vergleichbar sein.

Inhaltsverzeichnis

Allgemeine Angaben zur Deklaration 2

1 Produkt- / Systembeschreibung 4

1.1 Allgemeine Produktbeschreibung 4

1.2 Inverkehrbringen und Bereitstellung auf dem Markt 4

1.3 Anwendungsbereiche 4

1.4 Technische Daten 4

1.5 Lieferbedingungen 5

2 Lebenszyklusbeschreibung 5

2.1 Grundstoffe (Hauptkomponenten und Hilfsstoffe) 5

2.2 Herstellung 5

2.3 Verpackung 5

2.4 Transporte 5

2.5 Produktverarbeitung und Installation 5

2.6 Nutzungsphase 6

2.7 Nachnutzungsphase 6

2.8 Gutschriften und Lasten 6

3 Ökobilanz 7

3.1 Methodische Annahmen 7

3.2 Angaben zum Lebenszyklus für die Ökobilanz 8

3.3 Deklaration der Umweltindikatoren 12

3.4 Interpretation der LCA-Ergebnisse 15

4 Gefährliche Stoffe und Emissionen in Raumluft und Umwelt 18

4.1 Deklaration besonders besorgniserregender Stoffe 18

5 Literaturhinweise 19

1 Produkt- / Systembeschreibung

1.1 Allgemeine Produktbeschreibung

In der vorliegenden EPD wurde Baustroh des Fachverbands für Strohballenbau Deutschland e.V. betrachtet. Die Strohballen bestehen aus Getreidestroh und werden mit Polypropylenschnüren gebunden.

1.2 Inverkehrbringen und Bereitstellung auf dem Markt

Da für Dämmstoffe aus Stroh derzeit keine harmonisierten europäischen Normen vorliegen und für die Produkte des Fachverbands für Strohballenbau Deutschland e.V. zum Zeitpunkt der Ausstellung dieser EPD keine europäische technische Bewertung vorliegt, ist eine CE-Kennzeichnung nicht erforderlich. Eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Zulassungsnummer Z-23.11-1595) des Deutschen Instituts für Bautechnik liegt vor.

1.3 Anwendungsbereiche

Die Strohballen des FASBA e.V. werden als dämmende Ausfachung in einer Holzkonstruktion eingesetzt. Für die Anwendung als lasttragende Bauteile fehlt in Deutschland noch ein entsprechender bauaufsichtlicher Nachweis.

1.4 Technische Daten

Tabelle 1: Technische Daten des deklarierten Bauproduktes gemäß Z-23.11-1595-DIBt

Bezeichnung	Wert	Einheit
Nenndichte	100	kg/m³
Dichtebereich	85 - 115	kg/m³
Grenzwert der Wärmeleitfähigkeit λ 10,tr quer zur Halmrichtung/Dickenrichtung	0,044	W/(mK)
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit quer zur Halmrichtung	0,052	W/(mK)
Klassifizierung des Brandverhaltens	E	-
Strömungswiderstand nach EN 29053	1,7	(kPa s)/m²

Brandschutz, Wassereinwirkung, mechanische Zerstörung

Brandschutz: Siehe Tabelle 1, Klassifizierung des Brandverhaltens

Wassereinwirkung: Das Baustroh ist stets trocken zu halten. Das gilt für den Transport, die Lagerung und für den Einbau. Unmittelbar nach dem Einbau durch Schlagregen gefährdete Strohoberflächen müssen mit Planen geschützt werden.

Mechanische Zerstörung: Nicht relevant, da das Produkt im eingebauten Zustand unter der Fassade bzw. Putzschicht liegt.

1.5 Lieferbedingungen

Baustroh ist in Ballenform in den Abmessungen H x B x L 200-700 mm x 300 bis 900 mm x 500 bis 3000 mm erhältlich. Die Produkte sind stets trocken zu halten.

2 Lebenszyklusbeschreibung

2.1 Grundstoffe (Hauptkomponenten und Hilfsstoffe)

Tabelle 2: Grundstoffe

Bestandteile	Funktion	Massenprozent
Weizenstroh konventionell	Dämmmaterial	25
Weizenstroh biologisch	Dämmmaterial	25
Roggenstroh konventionell	Dämmmaterial	25
Roggenstroh biologisch	Dämmmaterial	25
Polypropylen-Schnur	Schnürung	0,09

Die Produkte enthalten keine besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC) gemäß REACH / CLP-Verordnung (EG-Verordnung 1272/2008.

2.2 Herstellung

Die Herstellung der Strohballen inkludiert sämtliche landwirtschaftliche Prozesse von der Bodenbearbeitung und der Aussaat des Korns über die Kultivierung der Pflanzen bis hin zur Ernte des Getreides. Nach der Ernte wird das Stroh auf dem Acker zu Ballen gepresst und verschnürt.

2.3 Verpackung

Die Produkte werden mit Polypropylen-Schnüren gebunden und in dezentralen Lagern in Deutschland unter Dach gelagert.

2.4 Transporte

Als durchschnittliche Auslieferungsdistanz der Strohballen wurden 100 km angegeben.

2.5 Produktverarbeitung und Installation

Das Entladen der Ballen sowie der Einbau auf der Baustelle erfolgt manuell ohne relevanten Energie- und Rohstoffeinsatz.

2.6 Nutzungsphase

In der Nutzungsphase finden keine für die Ökobilanz relevanten Stoff- und Energieflüsse statt: Die Stadien B1 Nutzung, B2 Instandhaltung und B3 Reparatur sind für die vorliegende Produktgruppe nicht relevant. Das Stadium B4 Ersatz ist gleichbedeutend mit dem Produktlebensende. Es fallen keine Stoff- und Energieflüsse bei der Entnahme des Produkts an. Die Stadien B5 Umbau/Erneuerung, B6 Energieeinsatz und B7 Wassereinsatz sind auf Dämmstoffebene nicht anwendbar. Die Referenznutzungsdauer beträgt 50 Jahre.

2.7 Nachnutzungsphase

2.7.1 Wiederverwendung und Recycling

Eine Wiederverwendung oder stoffliche Verwertung findet unter den aktuellen wirtschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen nicht statt.

2.7.2 Thermische Verwertung

Grundsätzlich ist die Verbrennung in einer Abfall- bzw. Mitverbrennungsanlage oder die Verwertung in Biogasanlagen möglich.

2.7.3 Entsorgung

Eine Deponierung der Baustrohballen ist in Deutschland und Österreich nicht zulässig. Die Abfallschlüsselnummer gemäß Abfallverzeichnisverordnung (BGBl. II Nr. 570/2003) lautet 92106.

2.8 Gutschriften und Lasten

2.8.1 Wiederverwendungs-, Rückgewinnungs-, und Recyclingpotential (D)

Das Produkt wird am Ende der Nutzungsdauer einer thermischen Verwertung zugeführt und entsprechend als Gutschrift im Informationsmodul D deklariert. Zusätzlich werden 5 % Materialverlust im Modul A5 und die beim Einbau entfernte Kunststoffschnürung Modul D zugeordnet.

3 Ökobilanz

3.1 Methodische Annahmen

3.1.1 Typ der EPD, Systemgrenze

Von der Wiege bis zur Bahre:
Herstellungsphase (A1-A3), Errichtungsphase (A4-A5), Nutzungsphase (B1-B7), Entsorgungsphase (C1-C4) und Gutschriften und Lasten (D).

3.1.2 Deklarierte Einheit

Die deklarierte Einheit ist 1 Kubikmeter Dämmstoff.

Tabelle 3: Deklarierte Einheit

Bezeichnung	Wert	Einheit
Deklarierte Einheit	1	m^3
Rohdichte für Umrechnung in kg	100	kg/m^3

3.1.3 Durchschnittsbildung

Es wurde keine Durchschnittsbildung durchgeführt, da die Strohballen in ganz Deutschland nur von einem Hersteller bereitgestellt werden.

3.1.4 Abschätzungen und Annahmen

Es wurde angenommen, dass bei der Kultivierung und Ernte von Getreide innerhalb Deutschlands keine standortabhängigen Unterschiede bestehen. Die Transportdistanzen zur Baustelle wurden von einem Betrieb des Fachverbands für Strohballenbau übernommen. Die Entfernung zur Verwertungsanlage am Ende der Nutzungsdauer wurde geschätzt.

3.1.5 Abschneidekriterien

Für die Herstellung der Strohballen wurden alle eingesetzten Rohstoffe berücksichtigt. Die Abschneidekriterien für die Getreide- und Strohproduktion entsprechen den verwendeten „GaBi Professional 2013“- und „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)“-Datensätzen.

3.1.6 Daten

Die Daten erfüllen folgende Qualitätsanforderungen:

- Die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Daten stammen aus den Jahren 2007-2013 und es wurden die generischen Daten der Datenbank „GaBi Professional 2013“ verwendet.
- Die Kriterien der Bau EPD GmbH für Datenerhebung, generische Daten und das Abschneiden von Stoff- und Energieflüssen wurden eingehalten.
- Informationen zum Energie- und Rohstoffbedarf und den Emissionen bei der Kultivierung von Getreide wurden von „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)“ übernommen, Daten zu Transportdistanzen und Verpackung wurden von der Baustroh GmbH zur Verfügung gestellt, der Energiebedarf zum Pressen und Schnüren der Ballen wurde von [Krick 2008] übernommen.
- Die Daten sind plausibel.

Für Hintergrunddaten wurde gemäß PKR-Anleitungstext Teil A, „GaBi Professional 2013“ als Hauptdatenbank verwendet. Für Datensätze, die nicht in der „GaBi Professional 2013“ verfügbar sind, wurde die „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2

integrated (2013)“ herangezogen. Für Prozesse, die hohe Auswirkungen verursachen, wurden die eingesetzten Datensätze der „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)“ durch „GaBi Professional 2013“ ersetzt.

3.1.7 Allokation

Die Strohballen stellen ein Nebenprodukt aus der Landwirtschaft dar. Der Großteil der Belastungen wird entsprechend der zugrunde gelegten ökonomischen Allokation dem Getreide als Hauptprodukt zugewiesen. Die Anteile wurden von „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)“ erhoben und für vorliegende EPD übernommen.

3.1.8 Begründung für das Weglassen nicht deklarierter Module

Es wurden sämtliche Module deklariert.

3.2 Angaben zum Lebenszyklus für die Ökobilanz

Tabelle 4: Deklarierte Lebenszyklusphasen

HERSTELLUNGS-PHASE			ERRICH-TUNGS-PHASE		NUTZUNGSPHASE							ENTSORGUNGS-PHASE				GUT-SCHRIFTEN UND LASTEN
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohstoffbereitstellung	Transport	Herstellung	Transport	Bau / Einbau	Nutzung	Instandhaltung	Reparatur	Ersatz	Umbau, Erneuerung	betrieblicher Energieeinsatz	betrieblicher Wassereinsatz	Abbruch	Transport	Abfallbewirtschaftung	Entsorgung	Wiederverwendungs-Rückgewinnungs-Recyclingpotential
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

X = in Ökobilanz enthalten; MND = Modul nicht deklariert

Tabelle 5: Nutzungsdauer für Strohballendämmstoffe in der Ökobilanz

Bezeichnung	Wert	Einheit
Baustroh als Dämmstoff	50	Jahre

3.2.1 A1 - A3 Herstellungsphase

3.2.1.1 Rohstoffbereitstellung (A1)

Als Rohstoffe werden Saatgut, Dünge- und Schädlingsbekämpfungsmittel benötigt. In den verwendeten generischen Daten sind sämtliche landwirtschaftliche Prozesse von den Bodenbearbeitungsschritten über die Aussaat und Kultivierung bis zur Ernte des Getreides enthalten. Die dafür benötigte Infrastruktur (z.B. Landmaschinen und landwirtschaftliche Gebäude) ist ebenfalls in den generischen Daten inkludiert. Die Urbarmachung der landwirtschaftlichen Fläche bleibt in den betrachteten Wirkungskategorien unberücksichtigt, eine eventuelle spätere Renaturierung liegt außerhalb des betrachteten Systems.

3.2.1.2 Transport der Rohstoffe (A2)

Die Strohballen werden mittels Traktor oder Unimog vom Acker ins Lager gebracht. Sonstige Transporte in den Vorketten (für Düngemittel und Saatgut) sind in den verwendeten Hintergrunddaten inkludiert.

3.2.1.3 Herstellung(A3)

Die Herstellung der Strohballen erfolgt wenige Tage nach der Getreideernte auf dem Acker. Die Ballen werden den Liefermaßen entsprechend gepresst und verschnürt und bis zur Auslieferung gelagert. Als biogener Dünger am Feld zurückbleibendes Stroh wird nicht berücksichtigt.

3.2.2 A4 – A5 Errichtungsphase

3.2.2.1 Transport zur Baustelle (A4)

Die Strohballen werden vom Herstellerwerk je nach Lieferumfang mit einem Traktor, 7,5t LKW oder Sattelschlepper zum Kunden transportiert. Die Transportszenarien entsprechen dem ecoinvent-Datensatz „Transport, tractor and trailer/CH U". Es wird angenommen, dass während des Transports keine Materialverluste stattfinden.

3.2.2.2 Einbau (A5)

Der Einbau erfolgt manuell ohne relevanten Energie- und Rohstoffeinsatz. Die Materialverluste beim Einbau werden einer thermischen Verwertung zugeführt (mit Gutschriften in Modul D). Die Szenarien wurden mit dem verwendeten ecoinvent-Datensatz „Disposal, wood untreated, 20% water, to municipal incineration/CH U" angenähert.

3.2.3 B1 – B7 Nutzungsphase

In der Nutzungsphase (B1) finden keine für die Ökobilanz relevanten Stoff- und Energieflüsse statt. Es finden keine Instandhaltungs- und auch keine Reparaturprozesse statt, die Module B2 und B3 verursachen daher keine Umweltwirkung. Der Ersatz des Dämmstoffs (B4) bzw. die Erneuerung des umgebenden Bauteils (B5) führt unmittelbar zur Entsorgungsphase C des Produkts. Die Module B6 und B7 sind nicht relevant für das Produkt.

3.2.4 C1 – C4 Entsorgungsphase

3.2.4.1 Demontage (C1)

Die Baustrohballen sind nicht mechanisch befestigt und können ohne Energieaufwand und Hilfsstoffeinsatz ausgebaut werden. Da Strohballen vorwiegend im Einfamilienhausbau zum Einsatz kommt, wird davon ausgegangen, dass das ausgebaute Altstroh vom Anfallort händisch oder mit Schubkarren zu Sammelbehältern geführt wird.

3.2.4.2 Transport zur Abfallbehandlung (C2)

Das Produkt wird am Ende der Nutzungsphase mittels LKW zur thermischen Verwertungsanlage transportiert. Als mittlere Transportdistanz wurden 150 km angenommen.

3.2.4.3 Abfallbewirtschaftung (C3)

Das wahrscheinlichste Szenario für die Baustrohballen am Nutzungsende ist die thermische Verwertung in einer Müllverbrennungsanlage, daher wurde dieses in der Ökobilanz berechnet.

3.2.4.4 Abfallbeseitigung (C4)

Die Deponierung der Asche nach der thermischen Verwertung wird im entsprechenden Datensatz „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)" berücksichtigt. Die Auswirkungen auf die ökologischen Kennzahlen sind äußerst gering.

3.2.5 D Informationsmodul

Das Produkt wird am Ende der Nutzungsdauer einer thermischen Verwertung zugeführt und entsprechend als Gutschrift im Informationsmodul D deklariert. Zusätzlich werden 5 % Materialverlust im Modul A5 und die beim Einbau entfernte Kunststoffschnürung Modul D zugeordnet.

Die Energie aus Müllverbrennungsanlagen wird in Deutschland nach [ITAD 2013] zu ca. 1/3 als elektrischer Strom und zu 2/3 als Wärme verkauft. Für die Umwandlung in Strom wurde ein Wirkungsgrad von 17 %, für die Fernwärme ein Kesselwirkungsgrad von 75 % als Worst-Case-Szenario aus dem Statusbericht 2006 "ABFALLVERBRENNUNG IN ÖSTERREICH" des Umweltbundesamtes angenommen (Umweltbundesamt 2007). Für Deutschland wurde im vorliegenden Bericht mit denselben Annahmen gerechnet. Für den substituierten Strom wurde der Datensatz „Electricity grid mix 1kV – 60 kV [AC technology mix] [consumption mix at consumer] [1kV-60 kV] [DE]", für Wärme aus Erdgas wurde „Thermal energy from natural gas (EN15804 B6) [technology mix regarding firing and flue gas cleaning] [production mix, at heat plant] [DE]" verwendet.

In Abbildung 1 ist das Flussdiagramm der Produktlebensphasen der Baustrohdämmballen zu sehen.

Abbildung 1: **Flussdiagramm der Produktlebensphasen der Baustrohballen**

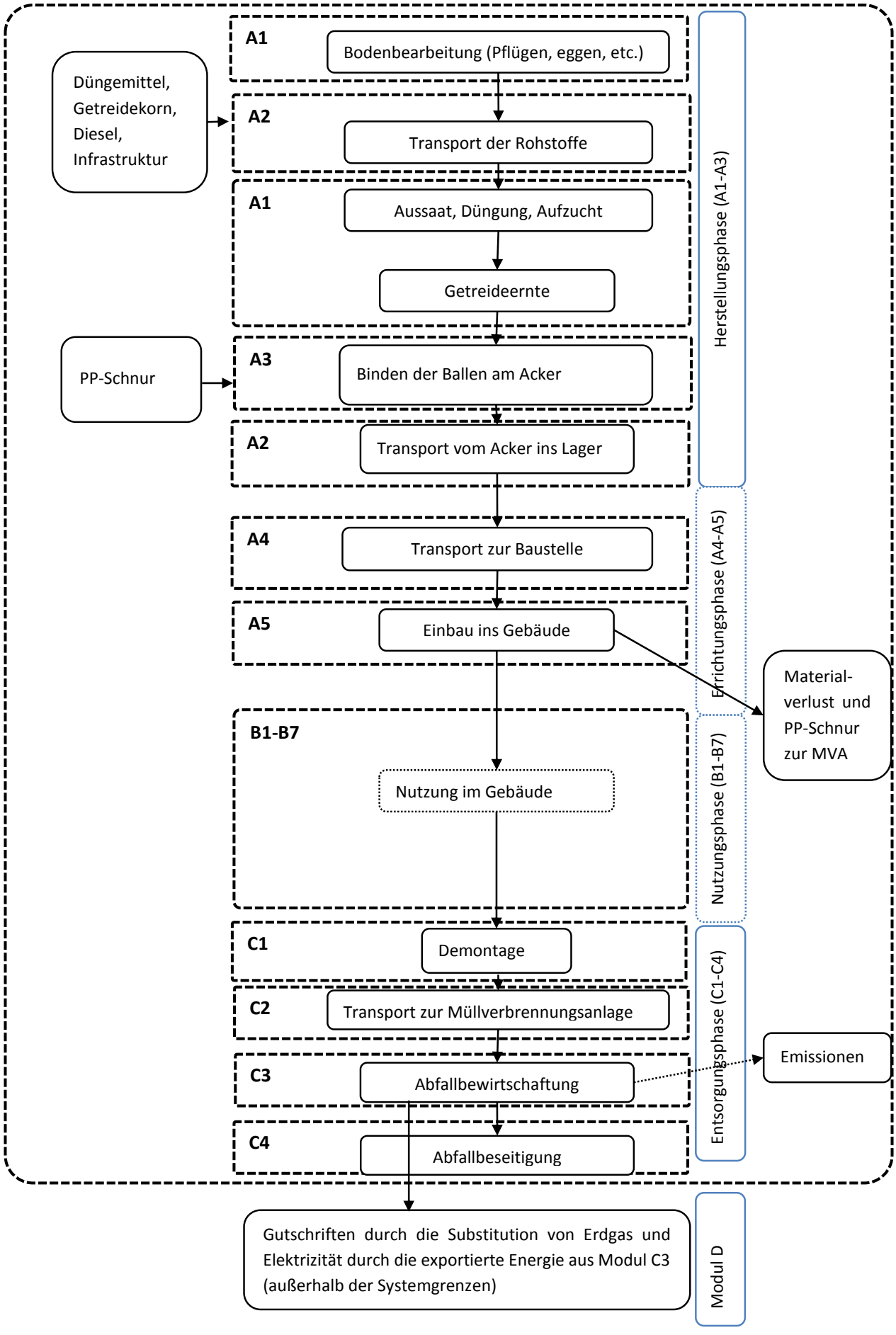


Tabelle 6: Energie- und Wasserbedarf für die Herstellung pro m³ produziertes Produkt

Bezeichnung	Messgröße je m³ Dämmstoff (Rohdichte 100 kg/m³)
Diesel (Traktor und Ballenpresse)	6,73 MJ/m³
Süßwasserverbrauch aus öffentlichem Wassernetz und Regenwasser	0,0044 m³/m³

Es wurden keine herstellerspezifischen Energiedaten deklariert, daher wurde aus [KRICK 2008] das ungünstigste Szenario zur Ballenherstellung verwendet.

3.2.6 C1-C4 Entsorgungsphase

Grundsätzlich können die Strohballen kompostiert, in einer Müll- bzw. Mitverbrennungsanlage oder in einer Biogasanlage verwertet werden. Die Kompostierung von Baustrohabfall aus Bauwerken ist in Deutschland gesetzlich nicht vorgesehen und wird daher nicht in Betracht gezogen. Für die thermische Verwertung wurde eine Transportdistanz von 150 km zur Verwertungsanlage angenommen.

Tabelle 7: Beschreibung des Szenarios für „Entsorgung des Produkts (C1 bis C4)“ (gem. Tabelle 12 der ÖN EN 15804)

Parameter für die Entsorgungsphase (C1-C4)	Wert	Messgröße je m³ Dämmstoff
Sammelverfahren, spezifiziert nach Art	-	kg getrennt
	-	kg gemischt
Rückholverfahren, spezifiziert nach Art	-	kg Wiederverwendung
	-	kg Recycling
	100 kg	kg Energierückgewinnung
Deponierung, spezifiziert nach Art	-	kg Deponierung

3.3 Deklaration der Umweltindikatoren

Tabelle 8: Parameter zur Beschreibung der Wirkungsabschätzung für Baustrohballen pro m³

Parameter	Einheit in Äquiv.	A1	A2	A3	Summe A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohdichte	**kg/m³**	**100**											
GWP-Prozess	kg CO_2	5,463	0,330	0,955	6,749	0,663	0,697	0	0	0,995	136,097	0	-53,662
GWP C-Gehalt[1]	kg CO_2	-134,914	0	-0,013	-134,927	0	0	0	0	0	0	0	0
GWP Summe	kg CO_2	-129,451	0,330	0,942	-128,178	0,663	0,697	0	0	0,995	136,097	0	-53,662
ODP	kg CFC-11	2,83E-07	3,58E-08	2,67E-09	3,22E-07	1,33E-09	6,51E-09	0	0	1,99E-09	1,23E-07	0	-9,52E-10
AP	kg SO_2	8,36E-02	1,83E-03	7,76E-03	9,32E-02	2,99E-03	1,16E-03	0	0	4,48E-03	2,17E-02	0	-0,062
EP	kg PO_4^{3-}	9,93E-02	6,03E-04	1,40E-03	1,01E-01	6,97E-04	2,86E-03	0	0	1,05E-03	5,28E-02	0	-7,28E-03
POCP	kg C_2H_4	1,68E-03	3,04E-04	2,49E-04	2,24E-03	3,42E-04	2,31E-04	0	0	5,13E-04	4,34E-03	0	-7,08E-03
ADPE	kg Sb	1,31E-05	9,00E-07	1,11E-07	1,41E-05	1,41E-08	9,37E-08	0	0	2,12E-08	1,68E-06	0	-4,11E-06
ADPF	MJ H_u	27,683	4,317	16,482	48,482	9,325	0,813	0	0	13,987	14,001	0	-800,535
Legende		GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotential für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe											

Tabelle 9: Parameter zur Beschreibung des Ressourceneinsatzes für Baustrohballen pro m³

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Summe A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohdichte	**kg/m³**	**100**											
PERE	MJ Hu	0,620	0,242	0,518	1,379	0,012	0,015	0	0	1,86E-02	0,271	0	-36,399
PERM	MJ Hu	1268,573	0	0,08	1268,653	0	0	0	0	0	0	0	0
PERT	MJ Hu	1269,193	0,242	0,598	1270,032	0,012	0,015	0	0	0,019	0,271	0	-36,399
PENRE	MJ Hu	30,187	4,946	16,970	52,104	9,403	0,874	0	0	14,104	15,109	0	-851,419
PENRM	MJ Hu	3,78	0	0	3,78	0	0	0	0	0	0	0	0
PENRT	MJ Hu	33,967	4,946	16,970	55,884	9,403	0,874	0	0	14,104	15,109	0	-851,419
SM	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,764	0	0
RSF	MJ Hu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NRSF	MJ Hu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,764	0	0
FW	m3	0,0047	0,0007	0,0013	0,0067	0	0,0055	0	0	0	0,1044	0	-0,049
Legende		PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PERM = Erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PERT = Total erneuerbare Primärenergie; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRM = Nicht-erneuerbare Primärenergie zur stofflichen Nutzung; PENRT = Total nicht erneuerbare Primärenergie; SM = Einsatz von Sekundärstoffen; RSF = Erneuerbare Sekundärbrennstoffe; NRSF = Nicht erneuerbare Sekundärbrennstoffe; FW = Einsatz von Süßwasserressourcen											

[1] In den verwendeten „GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated (2013)"-Datensätzen für Getreidestroh werden durchschnittlich 1,34 kg CO_2 aus der Luft während des Wachstums aufgenommen und gespeichert. Dazu kommen noch geringe Mengen gespeichertes CO_2 im Getreidekorn sowie in regenerativen Materialien in Infrastrukturdatensätzen wie z.B. für den Getreideanbau notwendige landwirtschaftliche Gebäude. Diese Beträge gehen als negatives Treibhauspotenzial in die Berechnung ein. Bei der thermischen Verwertung am Ende der Nutzungsdauer wird die Menge CO_2 im Stroh wieder emittiert und als positives Treibhauspotenzial in der Wirkungskategorie „GWP Prozess" angeführt. „GWP Summe" ergibt sich aus der Summe der Werte „GWP Prozess" und „GWP Gehalt".

Tabelle 10: Parameter zur Beschreibung von Abfallkategorien für Baustrohballen pro m³

Parameter	Einheit	A1	A2	A3	Summe A1-A3	A4	A5	B1 - B7	C 1	C2	C3	C4	D
Rohdichte	**kg/m³**	**100**											
HWD	kg	1,7E-04	1,6E-04	1,6E-04	4,9E-04	0	0	0	0	0	8,92E-05	0	5,3E-02
NHWD	kg	9,3E-04	6,1E-05	1,7E-03	2,7E-03	1,9E-05	1,4E-07	0	0	2,9E-05	3,4707	0	1,5E-01
RWD	kg	7,6E-05	1,8E-05	9,0E-05	1,8E-04	1,7E-05	1,2E-07	0	0	2,5E-05	6,73E-04	0	2,0E-02
Legende		HWD = Gefährlicher Abfall zur Deponie; NHWD = Entsorgter nicht gefährlicher Abfall; RWD = Entsorgter radioaktiver Abfall											

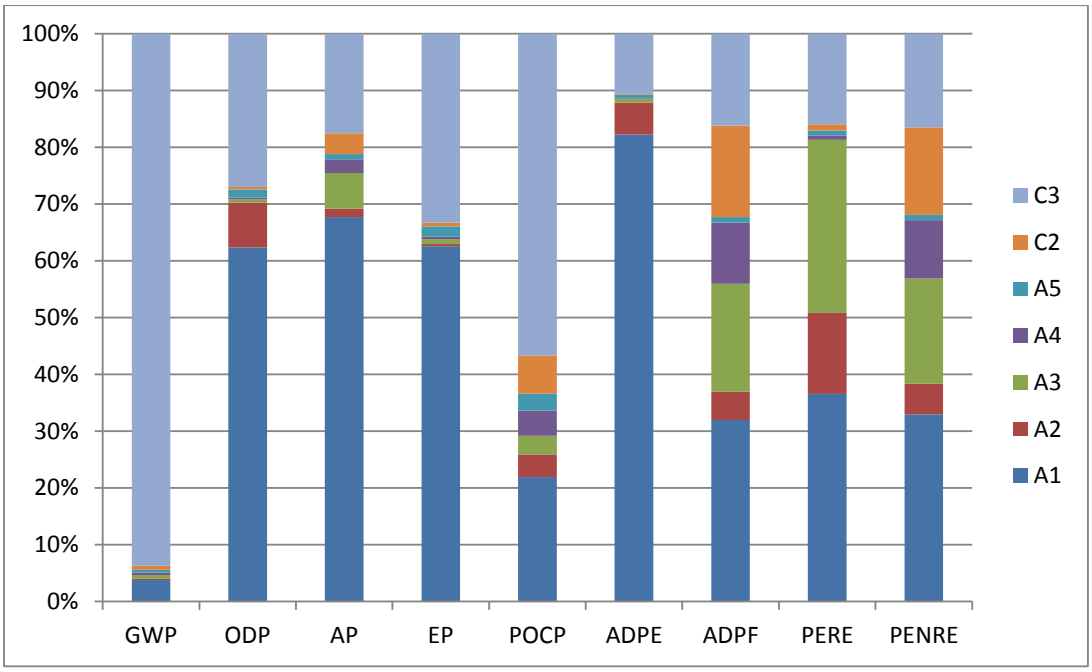
Tabelle 11: Parameter zur Beschreibung des Verwertungspotenzials in der Entsorgungsphase für Baustrohballen pro m³

Parameter	Einheit	A1-A3	A4	A5	B1-B7	C1	C2	C3	C4	D
Rohdichte	**kg/m³**	**100**								
CRU	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MFR	kg	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MER	kg	0	0	0	0	0	0	100	0	0
EEE	MJ	0	0	0	0	0	0	82,2	0	0
EET	MJ	0	0	0	0	0	0	724,9	0	0
Legende		CRU = Komponenten für die Wiederverwendung; MFR = Stoffe zum Recycling; MER = Stoffe für die Energierückgewinnung; EEE = Exportierte Energie elektrisch; EET = Exportierte Energie thermisch								

Die Umwelteinwirkung der Abfallaufbereitung und der Verbrennungsprozesse wird in C3 deklariert. Die bei der Abfallbehandlung produzierte Nutzenergie wird gemäß dem deutschen Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR, 2014) als exportierte Energie in C3 und die mit der erzeugten Energie produzierten Gutschriften in Modul D deklariert.

3.4 Interpretation der LCA-Ergebnisse

Abbildung 2: Anteile der Rohstoffversorgung A1, des Rohstofftransportes A2, der Herstellung A3, des Entsorgungstransportes C2 und der Abfallbehandlung C3 am kompletten Lebenszyklus

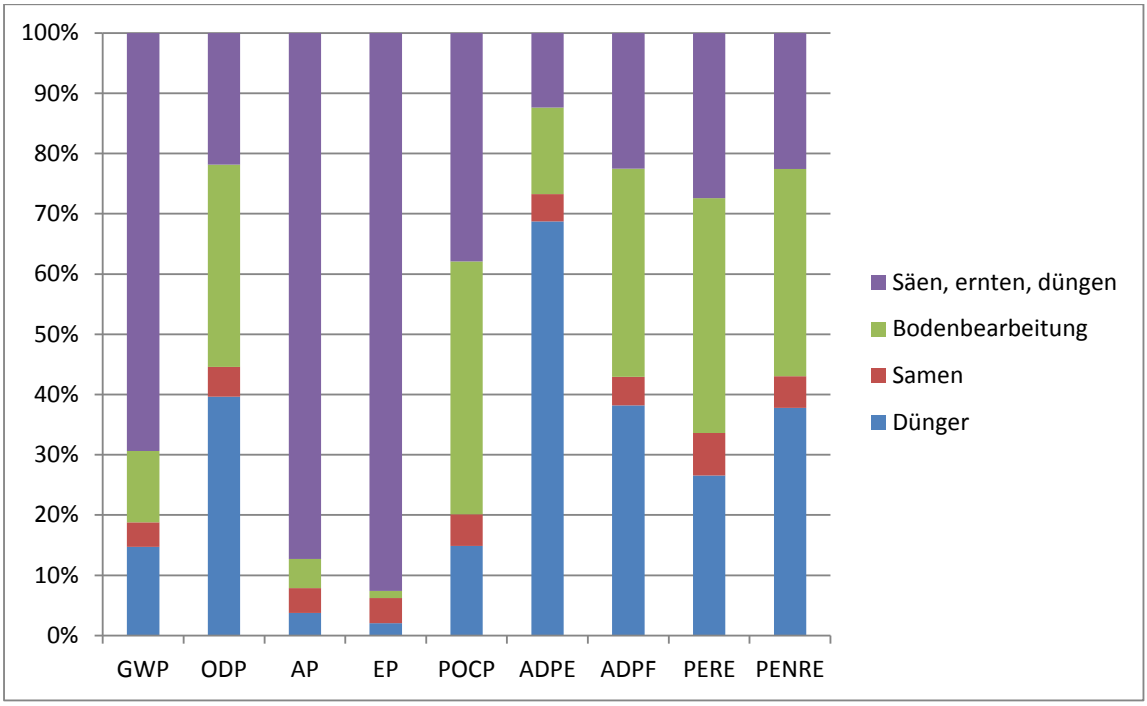


Legende

GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger

Wie in Abbildung 2 ersichtlich, weisen die thermische Verwertung der Strohballen am Ende der Nutzungsphase sowie die Rohstoffbereitstellung inklusive sämtlicher landwirtschaftlicher Prozesse von der Bearbeitung der Ackerfläche bis zur Ernte des Getreides die größten Belastungen auf. Bei den Kategorien ADPF, PERE und PENRE spielt die Herstellungsphase A3 eine große Rolle. Alle anderen Phasen spielen eine untergeordnete Rolle.

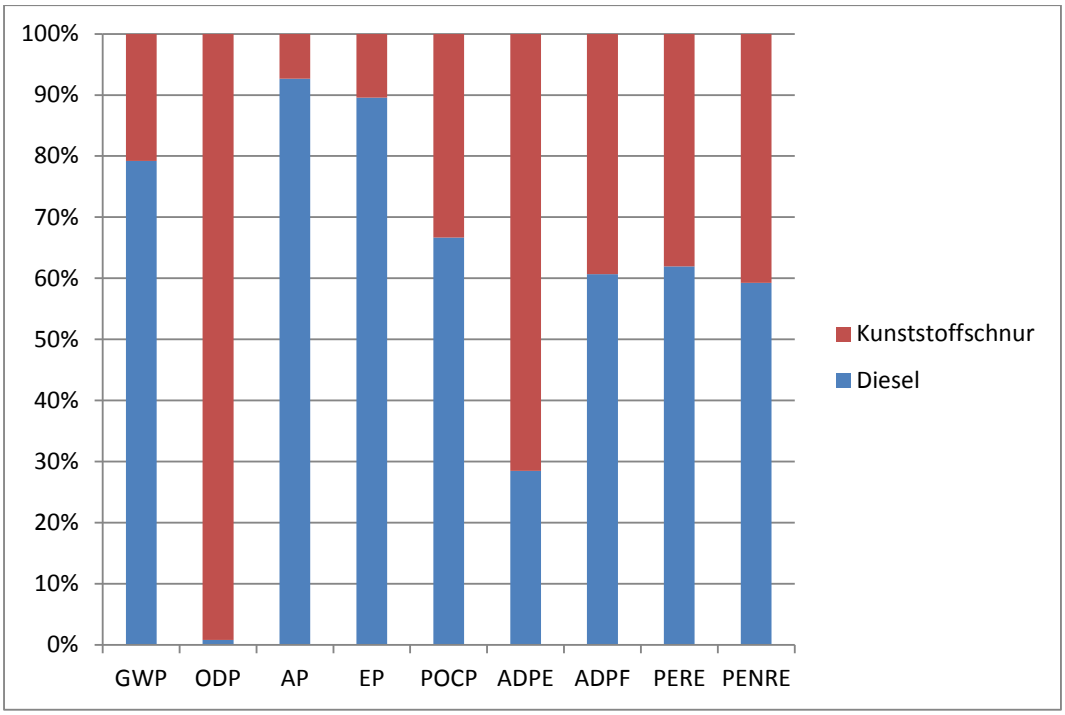
Abbildung 3: Anteile der Rohstoffe und landwirtschaftlichen Prozesse an der Rohstoffbereitstellung (A1)



Legende GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger

Abbildung 3 zeigt die Aufteilung der Belastungen von der Rohstoffbereitstellung A1. Die Herstellung der Düngemittel ist gemeinsam mit den Prozessen der Aussaat, Pflege und Ernte in den meisten Wirkungskategorien für den Großteil der Umweltwirkungen verantwortlich. In den Wirkungskategorien Ozonabbaupotenzial, Photochemisches Oxidationspotenzial, Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe und Primärenergiebedarf spielen auch die der Kultivierung vorgelagerten Bodenbearbeitungsprozesse (wie z.B. Pflügen, Eggen, etc.) eine Rolle.

Abbildung 4: Die Verursacher der Belastungen an der Herstellung (A3)



Legende GWP = Globales Erwärmungspotenzial; ODP = Abbaupotenzial der stratosphärischen Ozonschicht; AP = Versauerungspotenzial von Boden und Wasser; EP = Eutrophierungspotenzial; POCP = Bildungspotenzial für troposphärisches Ozon; ADPE = Potenzial für den abiotischen Abbau nicht fossiler Ressourcen; ADPF = Potenzial für den abiotischen Abbau fossiler Brennstoffe PERE = Erneuerbare Primärenergie als Energieträger; PENRE = Nicht-erneuerbare Primärenergie als Energieträger

Abbildung 4 zeigt die Aufteilung der Belastungen auf die Inputs der Ballenschnürung. Hauptverantwortlich für die Umweltbelastungen ist der Dieselverbrauch für Traktor und Ballenpresse. Die Kunststoffschnur verursacht lediglich in den Kategorien ODP und ADPE höhere Auswirkungen gegenüber dem Diesel.

4 Gefährliche Stoffe und Emissionen in Raumluft und Umwelt

4.1 Deklaration besonders besorgniserregender Stoffe

Die betrachteten Baustrohballen weisen keine in der Tabelle angeführten Gefahrstoffeigenschaften auf und sind nicht eingestuft.

Tabelle 12: Deklaration von Einsatzstoffen mit Gefahrstoffeigenschaften

Gefahrstoffeigenschaft gemäß EG-Verordnung 1272/2008 (CLP-Verordnung)	Chemische Bezeichnung (CAS-Nummer)
Krebserzeugend Kat. 1A oder 1B (H350, H350i):	entfällt
Erbgutverändernd Kat. 1A oder 1B (H340):	entfällt
Fortpflanzungsgefährdend Kat. 1A oder 1B (H360F, H360D, H360FD, H360Fd, H360Df):	entfällt
PBT (persistent, bioakkumulierend und toxisch) (REACH, Anhang XIII):	entfällt
vPvB (stark persistent und stark bioakkumulierend) (REACH, Anhang XIII):	entfällt
Besonders besorgniserregende Stoffe auf Basis anderer Eigenschaften (SVHV):	entfällt

5 Literaturhinweise

CML-IA — LCA-Methode entwickelt vom Center of Environmental Science (CML) der Universität Leiden, Niederlande 2013, siehe: http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html

BBSR 2014 — In persönlicher Kommunikation mit dem deutschen Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR): „Zusatzanforderungen für die Modellierung der Ökobau.dat“, 2014.

DIBt 2014 — Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Z-23.11-1595) des Deutschen Instituts für Bautechnik, Berlin 2014

ecoinvent 2010 — Database ecoinvent data v2.2. The Life Cycle Inventory. Hrsg. v. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen, 2010.

FIW 2004 — Prüfbericht zur Messung der Wärmeleitfähigkeit von Strohballen nach DIN 52612, Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München 2004

IBO 2010 — Richtwerte für Baumaterialien – Wesentliche methodische Annahmen. Boogman Philipp, Mötzl Hildegund. Version 2.2, Stand Juli 2007, mit redaktionellen Überarbeitungen am 9.10.2009 und 24.02.2010, URL: http://www.ibo.at/documents/LCA_Methode_Referenzdaten_kurz.pdf.

GaBi 2013, A — GaBi Professional Database und GaBi Extension database XIII: ecoinvent 2.2 integrated 2013, Hrsg. PE International AG, Leinfelden – Echterdingen, 2013.

GaBi 2013, B — GaBi Water Modelling Principles, Version 1.1 – November 2013, Hrsg. PE International AG, Leinfelden – Echterdingen, 2013.

GaBi 2013, C — GaBi Database & Modelling Principles 2013, Version 1.0, November 2013, Hrsg. PE International AG, Leinfelden – Echterdingen, 2013.

IBO 2014 — Hintergrundbericht für Baustrohballen des FASBA e.V. (IBO GmbH, September 2014)

IBP 2004 — Prüfbericht zur Beständigkeit gegen Schimmelpilze gemäß ÖNORM B 6010 mit Bewertung nach DIN EN ISO 846 entsprechend CUAP, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 14.05.2004

ITAD 2013 — Thermische Abfallbehandlung in Deutschland – Interessengemeinschaft der Thermischen Abfallbehandlungsanlagen Deutschland (ITAD), 2013 (www.itad.de)

FASBA 2014 — Homepage des Fachverbands für Strohballenbau e.V: http://www.fasba.de

KRICK 2008 — Dissertation von Benjamin Krick: Untersuchung von Strohballen und Strohballenkonstruktionen hinsichtlich ihrer Anwendung für ein energiesparendes Bauen unter besonderer Berücksichtigung der lasttragenden Bauweise, Universität Kassel, 2008

UBA 2007 — Herausgeber: Umweltbundesamt; Abfallverbrennung in Österreich, Statusbericht 2006, Wien 2007.

Zugrunde liegende Normenwerke:

ISO 14025 — ÖNORM EN ISO 14025 Umweltkennzeichnung und -deklarationen – Typ III Umweltdeklarationen – Grundsätze und Verfahren.

ISO 14040 — ÖNORM EN ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen.

ISO 14044 — ÖNORM EN ISO 14044 Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

EN 15804 — ÖNORM EN 15804 Nachhaltigkeit von Bauwerken – Umweltdeklarationen für Produkte – Grundregeln für die Produktkategorie Bauprodukte. Ausgabe: 2014-04-15.

EN 16449 — ÖNORM EN 16449 – Holz und Holzprodukte – Berechnung des biogenen Kohlenstoffgehalts im Holz und Umrechnung in Kohlenstoffdioxid

EN 16485 — ÖNORM EN 16485 – Rund- und Schnittholz – Umweltproduktdeklarationen – Produktkategorieregeln für Holz und Holzwerkstoffe im Bauwesen

Allgemeine Ökobilanzregeln
Allgemeine Regeln für Ökobilanzen und Anforderungen an den Hintergrundbericht (Projektbericht). Bau-EPD GmbH, in geltender Fassung.

	Herausgeber		
	Bau EPD GmbH Seidengasse 13/3 1070 Wien Österreich	Tel Mail Web	+43 (0) 1 997 41 11 office@bau-epd.at www.bau-epd.at
	Programmbetreiber		
	Bau EPD GmbH Seidengasse 13/3 1070 Wien Österreich	Tel Mail Web	+43 (0) 1 997 41 11 office@bau-epd.at www.bau-epd.at
	Ersteller der Ökobilanz		
	IBO - Österreichisches Institut für Bauen und Ökologie GmbH Alserbachstraße 5 1090 Wien Österreich	Tel Fax Mail Web	+43 (0) 1 3192005-14 +43 (0) 1 319 20 05-50 philipp.boogman@ibo.at www.ibo.at
	Inhaber der Deklaration		
	Fachverband Strohballenbau Deutschland (FASBA) e.V. Artilleriestraße 6 27283 Verden Deutschland	Tel Fax Mail Web	+49 (0) 4231/960 25 45 +49 (0) 4231/960 25 45 9 info@fasba.de http://www.fasba.de

STROHBAURICHTLINIE

SBR-2014

Verden, 22.11.2014

Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V.

Artilleriestraße 6

27283 Verden (Aller)

www.fasba.de

Danksagung

Diese Strohbaurichtlinie wurde textlich erarbeitet von Sissy Hein, Benedikt Kaesberg und Dirk Scharmer sowie von Burkard Rüger und Sabine Sühlo. Mitgewirkt haben außerdem Heinz Michael Fischer, Friederike Fuchs, Dirk Großmann, Dittmar Hecken, Benjamin Krick, Otto Merz, Alexander Otte und Urs Richter. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Außerdem gilt der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) ein besonderer Dank, durch deren Förderung die Formulierung der Strohbaurichtlinie überhaupt möglich wurde.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft unter dem Förderkennzeichen 22015511 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

VORWORT **5**

1 ALLGEMEINES **6**

1.1 Begriffsdefinition Strohbau **6**
1.2 Geltungsbereich dieser Richtlinie **6**
1.3 Allgemeine Anforderungen **6**

2 BAUSTOFF STROH **7**

2.1 Begriffsdefinition Stroh **7**
2.2 Getreidesorten **7**
2.3 Eigenschaften der Halme **7**
2.4 Strohballenformate **7**
2.5 Lagerung und Transport von Stroh **8**
2.6 Stroh als Bauprodukt **8**

3 BAUPHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN **9**

3.1 Brandschutz **9**
3.1.1 Baustoffklasse 9
3.1.2 Feuerwiderstand 9
3.2 Wärmeschutz **10**
3.2.1 Wärmeleitfähigkeit 10
3.2.2 Wärmedurchgangskoeffizient 10
3.2.3 Spezifische Wärmekapazität 11
3.2.4 Spezifischer Strömungswiderstand 11
3.3 Schallschutz **11**
3.3.1 Bewertetes Luftschalldämmmaß einer strohgedämmten Außenwand 11
3.4 Feuchteschutz **12**
3.4.1 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl 12
3.4.2 Nachweis der feuchtetechnischen Eignung 12

4 BAUEN MIT STROH **13**

4.1 Anforderungen an Planung und Ausführung **13**
4.1.1 Allgemeine Anforderungen 13
4.1.2 Brandschutz 13
4.1.3 Witterungs- und Feuchteschutz 13
4.1.4 Luft- und Winddichtheit 14
4.1.5 Wärmebrückenreduzierung 14
4.1.6 Feuchtetransport 14
4.1.7 Halmausrichtung 14
4.1.8 Tragwerk und Aussteifung 15
4.1.9 Strohballenformat und Gefachgröße 15
4.1.10 Installationen 15
4.2 Anwendungsbereich gemäß DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 ..... **15**
4.2.1 Bauteile 16
4.2.2 Zulässige Schichteigenschaften gemäß Anlage 1 16
4.3 Anderweitige Anwendungen **20**
4.3.1 Verschiedenes 20
4.3.2 Lasttragendes Bauen 20

5 STROHEINBAU **22**

5.1 Voraussetzungen für den Einbau von Stroh **22**
5.1.1 Zum Bauen geeignete Strohballen 22
5.1.2 Einbausituation 22
5.1.3 Jahreszeitliche Bedingungen 22

5.2 Anforderungen an eingebautes Stroh 23
5.2.1 Einbau 23
5.2.2 Ebenheit von Strohoberflächen 23
5.3 Schutz strohgedämmter Bauteile während der Bauzeit 23
5.3.1 Schutz vor Niederschlägen 23
5.3.2 Brandschutz 23

6 BEKLEIDUNGEN VON STROH 25

6.1 Aufgaben und Anforderungen 25
6.1.1 Allgemein 25
6.1.2 Schutz vor Befall durch Kleintiere und Insekten 25
6.1.3 Oberflächen 25
6.1.4 Regulierung des Raumklimas 25
6.2 Bekleidungen aus Putzen 26
6.2.1 Aufgaben 26
6.2.2 Anforderungen 26
6.2.3 Anforderungen an die Ausführung 26
6.2.4 Verarbeitung 27
6.3 Bekleidungen aus Platten, Brettern oder Bahnen 27

7 LITERATURVERZEICHNIS 29

8 STICHWORTVERZEICHNIS 31

9 ANLAGE: MERKBLATT VERARBEITUNG VON BAUSTROH 33

1 Allgemeines 33

1.1 Der Baustoff 33
1.2 Eigenschaften von Baustroh 34
1.3 Einsatzbereich 34

2 Voraussetzungen für den Einbau von Baustroh 35

2.1 Ballenabmessungen und Gefachabmessungen 35
2.2 Ermittlung der geeigneten lichten Gefachbreite 35
2.3 Bestellung, Lieferung und Lagerung 35

3 Ausfachung mit Baustroh 36

3.1 Stroheinbau 36
3.2 Herstellung von ebenen Strohoberflächen für spätere Bekleidungen 37

VORWORT

Diese Strohbaurichtlinie fasst die Erfahrungen und das Wissen der Strohbauakteure in Deutschland aus den letzten fünfzehn Jahren zusammen. Sie ist von Fachleuten und Mitgliedern des Fachverband Strohballenbau Deutschland e. V. (FASBA) für bisherige und zukünftige Beteiligte am Bau strohgedämmter Gebäude formuliert.

Ihr Ziel ist es, diesen ein klares, abgesichertes Regelwerk an die Hand zu geben und damit für das Bauen mit Stroh einen Qualitätsstandard zu setzen.

Die Strohbaurichtlinie bezieht sich weitestgehend auf Konstruktionen, bei denen Stroh als ausfachender, nicht druckbelasteter Wärmedämmstoff verwendet wird. Mit der Neuauflage der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung für Baustroh sind fortan zahlreiche praktisch bewährte strohgedämmte Konstruktionen als nachgewiesen benannt und einfach genehmigungsfähig.

Anderweitige Anwendungen werden daneben kurz angeführt.

Derzeit (2014) sind in Deutschland schätzungsweise 250 strohgedämmte Gebäude errichtet worden. Es gibt gute Gründe, zukünftig deutlich mehr mit Stroh zu bauen, etwa Behaglichkeit & Wohnkomfort, Energieeffizienz & Klimaschutz und auch Wirtschaftlichkeit.

Möge diese Strohbaurichtlinie dazu beitragen und vielfach genutzt werden!

Für den FASBA:

Sissy Hein, Benedikt Kaesberg, Dirk Scharmer

1 ALLGEMEINES

Die Strohbaurichtlinie ist als Ergänzung zu den anerkannten Regeln der Technik zu verstehen.

Die Verwendung folgender Verben erfolgt in dem hier beschriebenen Sinn:

Müssen: Eine Muss-Bestimmung ist grundsätzlich zwingend.

Sollen: Eine Soll-Bestimmung ist zu erfüllen oder es ist zu begründen, warum in diesem spezifischen Fall auf die Einhaltung verzichtet wird.

Können: Bei einer Kann-Formulierung werden (Handlungs-)Möglichkeiten benannt.

1.1 Begriffsdefinition Strohbau

Strohbau bezeichnet allgemein das Bauen mit Stroh. Da üblicherweise mit Strohballen gebaut wird, ist auch der Begriff Strohballenbau gebräuchlich.

1.2 Geltungsbereich dieser Richtlinie

Die Strohbau-Richtlinie gilt für Stroh als Wärmedämmstoff und Bauprodukt im Sinne der Landesbauordnungen, mit einer Verwendung gemäß der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] oder im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall.

1.3 Allgemeine Anforderungen

Die fachgerechte Planung und Ausführung von strohgedämmten Gebäuden erfordert besondere bauphysikalische, bautechnische und handwerkliche Kenntnisse. Dies soll durch entsprechend geschulte oder erfahrene Fachkräfte gewährleistet werden.

2 BAUSTOFF STROH

2.1 Begriffsdefinition Stroh

Als Stroh werden die trockenen Halme von Getreide bezeichnet. Die gedroschenen Ähren verbleiben üblicherweise am Halm und gehören ebenfalls zum Stroh.

2.2 Getreidesorten

Für das Bauen wurde bisher Stroh der heimischen Getreidesorten Weizen, Roggen, Dinkel, Triticale und Gerste verwendet. Nach bisherigen Kenntnissen erscheinen Weizen und Roggen besonders geeignet, während Hafer als ungeeignet angesehen werden muss.

2.3 Eigenschaften der Halme

Die natürliche Beschaffenheit der Halme, insbesondere deren Länge, soll durch Anbau, Ernte und weitere Verarbeitung möglichst wenig verändert bzw. beschädigt werden.

Das Stroh soll goldgelb bis blassgelb sein. Ansatzweise gräuliches Stroh und auch vereinzelte schwärzliche Flecken durch nicht mehr aktiven Schimmel können als unkritisch angesehen werden. Das Stroh darf nicht erdig oder modrig riechen. Der Feuchtegehalt muss unterhalb der Wachstumsgrenze für Schimmelpilze liegen.

Der Beikrautanteil im Stroh ist möglichst gering zu halten.

2.4 Strohballenformate

In der Landwirtschaft wird Stroh zu Rund- oder Quaderballen gepresst, um den Transport, die Lagerung und die weitere Verwendung zu vereinfachen. Beim Strohballenbau wird auf Ballen in Quaderform aus der Landwirtschaft zurückgegriffen. Diese werden entweder bei der Ernte auf dem Feld hergestellt oder zu einem späteren Zeitpunkt umgepresst.

Abmessungen bis zu einem Querschnitt von 40 cm auf 50 cm gelten als Kleinballen, darüber hinausgehende Querschnitte als Großballen. Bislang werden beim Bauen am häufigsten Kleinballen mit einer Breite von ca. 48 cm und einer Höhe von ca. 36 cm je nach Pressentyp verwendet.

Bei Ballenpressen sind Breite und Höhe üblicherweise nicht verstellbar, die Länge in begrenztem Umfang dagegen schon.

Großballen sind rationeller zu verbauen, erfordern jedoch in der Regel Maschineneinsatz und eine materialaufwändigere Konstruktion.

Aus den Abmessungen der Strohballen muss das lichte Maß der Gefache so bestimmt werden, dass ein strammer, lückenloser Einbau der Strohballen erfolgen kann.[1]

2.5 Lagerung und Transport von Stroh

Stroh muss trocken transportiert und gelagert werden. Es darf allenfalls kurzzeitigen Erdkontakt haben und muss vor Regen geschützt sein.

Bei der Lagerung unter Folien müssen diese unter UV-Bestrahlung und jeglicher anderer Beanspruchung dauerhaft regendicht sein. Auf der Unterseite darf kein Kondensat auf das Stroh tropfen.

2.6 Stroh als Bauprodukt

Dämmstoffe müssen, da sie wesentliche Aufgaben eines Bauteils übernehmen, gemäß Landesbauordnungen anerkannte Bauprodukte sein. Im Sinne der Landesbauordnungen ist Stroh ein ungeregeltes Bauprodukt, da keine anerkannten Regeln der Technik (Normen o.ä.) hierfür existieren.

Stroh wird entweder, wie viele andere Wärmedämmstoffe auch, mit bestimmten Eigenschaften nach allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung, hier Z-23.11-1595, 2014 [1] mit Ü- bzw. CE- Zeichen gekennzeichnet und entsprechend dem Anwendungsbereich dieser Zulassung verwendet; oder die Verwendung von Stroh wird mit entsprechenden Begründungen durch eine Zustimmung im Einzelfall genehmigt.[2]

[1] Weiteres siehe Kapitel 5, STROHEINBAU sowie „Merkblatt Verarbeitung von Baustroh“ [2].
[2] Siehe Kapitel 3, Bauphysikalische Eigenschaften sowie DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1].

3 BAUPHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN

Im Folgenden werden bauphysikalische Eigenschaften sowohl von Stroh als auch von strohgedämmten Bauteilen behandelt.

Das Kapitel orientiert sich an den baulichen Schutzzielen, die unter Beachtung dieser Eigenschaften zu erreichen sind.

3.1 Brandschutz

3.1.1 Baustoffklasse

Baustoffe dürfen nur eingesetzt werden, wenn sie mindestens in die Baustoffklasse normal entflammbar DIN 4102 - B2 [3] bzw. Klasse „E“ nach DIN EN ISO 11925-2 [4] eingeordnet werden können oder in Ausnahmefällen dies durch die Art des Einbaus in gleichwertiger Form erreicht wird. Vgl. Musterbauordnung [5].

Baustroh gemäß der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] ist der Baustoffklasse E (normalentflammbar) zuzuordnen. Hierfür darf insbesondere die Mindestrohdichte laut Zulassung von 85 kg/m³ nicht unterschritten werden.

Die Entzündbarkeit an der Oberfläche kann z.B. durch eine Putzbekleidung herabgesetzt werden. Mit Hilfe einer mindestens 8 mm starken Lehmputzschicht kann eine strohgedämmte Wand „B, s1, d0“ gemäß DIN EN 13501-1:2007 [6] erreichen. Auf Grund eines in Deutschland gemäß DIN 4102 zusätzlich erforderlichen Verwendbarkeitsnachweises für diese europäisch geregelte Art der Prüfung gilt Baustroh jedoch auch mit dieser Bekleidung nur als normal entflammbar. Vgl. DIN 4102-1, 1998 [3].

3.1.2 Feuerwiderstand

Die Feuerwiderstandsklasse bezeichnet die Dauer in Minuten, die das klassifizierte Bauteil einer Vollbrandbelastung während einer normierten Prüfung standhält. Wesentliche Kriterien sind die Beibehaltung des Raumabschlusses und der Standsicherheit, sowie der Temperaturschutz.

Eine tragende strohgedämmte Holzständerwand kann in die Feuerwiderstandsklasse feuerhemmend F 30-B DIN 4102-2: 1977-09 [7] eingeordnet werden. Dazu muss sie mindestens 8 mm stark mit Lehm verputzt sein und auch alle anderen Bedingungen des genannten allgemeinen bauaufsichtlichen Prüfzeugnisses erfüllen.

Tragende feuerhemmende Außenwand F 30-B DIN 4102-2 [7] gemäß MPA BS P-3048/817/08, 2008 [8]

Feuerhemmende strohgedämmte Bauteile könnten darüber hinaus auch durch die Bekleidung mit entsprechenden Platten aus Gipskarton oder Gipsfasern erstellt werden, soweit dies die jeweiligen Prüfzeugnisse, Zulassungen und Anwendungsdokumente abdecken.

3.2 Wärmeschutz

3.2.1 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)] eines Stoffes bezeichnet die Wärme (J), die pro Sekunde durch einen Quadratmeter eines 1 m dicken Materials bei einem Temperaturunterschied von einem Grad Kelvin übertragen wird.

Beim zugelassenen Bauprodukt „Baustroh“ gemäß Z-23.11-1595, 2014 [1] beträgt der für Berechnungen zu verwendende Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit:

λ = 0,052 W/(m·K) gemäß Z-23.11-1595, 2014 [1]

Dieser Wert ist für Baustroh gemäß der gültigen Zulassung anwendbar, wenn die Orientierung der Halme innerhalb des Bauteils überwiegend senkrecht zur Wärmestromrichtung erfolgt (anisotroper Baustoff). Der daraus resultierende Einbau der Ballen erfolgt hochkant stehend oder hochkant liegend. Ein anerkannter Bemessungswert für die Orientierung der Halme in Wärmestromrichtung existiert derzeit nicht.

3.2.2 Wärmedurchgangskoeffizient

Der Wärmedurchgangskoeffizient U [W/(m²·K)] bezeichnet den Wärmestrom in Watt bei einem Temperaturunterschied von einem Grad Kelvin durch einen Quadratmeter Bauteilfläche.

Der Wärmedurchgangskoeffizient einer beispielhaften, 36 cm starken strohgedämmten Wand mit 6/36 cm Holzständern, e = 1,02 m, Ballen aufrecht liegend oder aufrecht stehend, ohne weitere Bekleidungen beträgt:

U = 0,153 W/(m²·K)

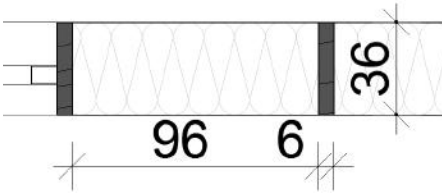


Abbildung 1 Symbolbild strohgedämmte Wand U = 0,153 W/(m²·K)

3.2.3 Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität c [kJ/(kg·K)] eines Stoffes bezeichnet die Energie, die benötigt wird, um ein Kilogramm davon um ein Grad Kelvin zu erwärmen.

Die spezifische Wärmekapazität von typischem Getreidestroh beträgt:

c = 2,0 kJ/(kg·K) TGL 35424/02 Bautechnischer Wärmeschutz, 1981 [12]

3.2.4 Spezifischer Strömungswiderstand

Der spezifische Strömungswiderstand Rs [Pa s/m] bezeichnet das Verhältnis der Druckdifferenz Δp [Pa] vor und hinter einer Materialschicht zur Geschwindigkeit der durchströmenden Luft. Diese Baustoffeigenschaft beeinflusst die Wärmeleitfähigkeit und das Luftschalldämmmaß.

Der spezifische Strömungswiderstand von Baustroh kann angenommen werden mit:

Rs = 181 Pa s/m gemäß IAB Messbericht A 59829/3950, 25.09.2009 [14]

3.3 Schallschutz

3.3.1 Bewertetes Luftschalldämmmaß einer strohgedämmten Außenwand

Das bewertete Luftschalldämmmaß R'_W ist ein logarithmisches Maß und beschreibt das Vermögen eines Bauteils, den Schall zu dämmen. Die in den 16 Terzbändern zwischen 100 Hz und 3150 Hz gemessenen Luftschalldämmwerte einer Konstruktion werden frequenzabhängig in einem Diagramm eingetragen. Für die Bestimmung des bewerteten Luftschalldämmmaßes R'_W wird aus dieser Kurve mit Hilfe einer normierten Bezugskurve ein Einzahlwert ermittelt.

Beispielwand I mit Putz 1 cm, 36 cm Stroh, 6 cm/30 cm Ständer mit beidseitig je 2 cm Holzfaserdämmplatte als Putzträger

$R_{w,R}$ = 43 dB (Rechenwert nach DIN 4109:1989 Tab.11)

IAB Messbericht A 59829/3950, 25.09.2009 [14]

Beispielwand II mit Putz 1 cm auf der einen Seite, 2 cm auf der anderen Seite, 36 cm Stroh, 6 cm/30 cm Ständer mit beidseitig je 2 cm Holzfaserdämmplatte als Putzträger

$R_{w,R}$ = 44 dB (Rechenwert nach DIN 4109:1989 Tab.11)

IAB Messbericht A 59829/3950, 25.09.2009 [14]

Die genannten Werte sind als Beispiele anzusehen. Für die Einhaltung konkreter Schallschutzanforderungen an strohgedämmte Außenwände sind objektbezogene Untersuchungen und Nachweise ratsam.

3.4 Feuchteschutz

3.4.1 Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl

Die dimensionslose Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ gibt an, um welchen Faktor das betreffende Material gegenüber Wasserdampf dichter ist als eine gleich dicke, ruhende Luftschicht.

μ = 2 gemäß DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1]

Die wasserdampfdiffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d [m] ist das Produkt aus Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl μ und Materialdicke d.

s_d = μ x d

3.4.2 Nachweis der feuchtetechnischen Eignung

Ein strohgedämmtes Bauteil kann feuchtetechnisch durch eine biohygrothermische Bewertung des jahreszeitlichen Feuchte- und Temperaturverlaufs in 5 cm Tiefe, gemessen von der außenseitigen Strohkante nachgewiesen werden.

Für die Ermittlung eines sicheren, schimmelfreien Anwendungsbereichs werden nach Sedlbauer [9] als Wachstumsfaktoren Temperatur, Feuchte und Substrat berücksichtigt. Stroh wird in die Substratklasse I eingeordnet. Der Temperatur- und Feuchteverlauf innerhalb der Strohdämmung mit Hilfe einer instationären Berechnung (z.B. mit WUFI ®) bestimmt (alternativ messtechnisch an vorhandenen Bauteilen). Die ermittelten Werte werden anschließend einer Schimmelrisikobewertung mit WUFI-Bio unterzogen.[3]

In der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 ist ein Anwendungsbereich für strohgedämmte Bauteile formuliert, der nach diesem Verfahren bestimmt wurde. Siehe Abschnitt 4.2.

[3] Vgl. [9][10][11] angewendet in [12]

4 BAUEN MIT STROH

4.1 Anforderungen an Planung und Ausführung

4.1.1 Allgemeine Anforderungen

Die allgemein gültigen Anforderungen an die Bauausführung, wie Sicherheit auf der Baustelle, Standsicherheit, Brand-, Feuchte-, Wärme- und Schallschutz sowie Schutz gegen schädliche Einflüsse müssen gewährleistet werden.

Planern und Ausführenden muss die DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] sowie das „Merkblatt Verarbeitung von Baustroh“ [2] bekannt sein.[4]

4.1.2 Brandschutz

Die Anforderungen an die Brandschutzeigenschaften von Baustoffen und Bauteilen ergeben sich aus der jeweiligen Landesbauordnung. Als normalentflammbarer Dämmstoff erfüllt Stroh die Mindestanforderung an Baustoffe. Verkleidet mit geeigneten Bauprodukten können strohgedämmte Bauteile die Feuerwiderstandsklasse F30-B feuerhemmend gemäß DIN 4102-2 [7] erreichen, wenn für die jeweilige Baustoffkombination entsprechende allgemeine bauaufsichtliche Prüfzeugnisse vorliegen und bei der Ausführung beachtet werden. Unter Beachtung des Prüfzeugnisses MPA BS P-3048/817/08, 2008 [8] können beispielsweise direkt mit Lehm oder Kalk verputzte strohgedämmte Bohlenständerwände als feuerhemmende Wände erstellt und anerkannt werden.

4.1.3 Witterungs- und Feuchteschutz

Strohgedämmte Bauteile müssen dauerhaft gegen Witterungseinflüsse von außen geschützt sein. Dies wird bei Außenwänden gewährleistet durch eine hinterlüftete Verkleidung oder einen rissfreien, wetterfesten Kalkputz mit einem diffusionsoffenen, hydrophobierenden Anstrich als Schlagregenschutz.

Außenwände sollten zusätzlich durch Dachüberstände vor der Witterung geschützt werden.

Sockelbereiche von Außenwänden mit Strohdämmung müssen dauerhaft gegen aufsteigende Feuchte abgedichtet sein. Das Stroh sowie die untersten Teile der Holzkonstruktion müssen oberhalb des Spritzwasserbereichs liegen.

Fenster und Fensterbretter müssen so einbaut werden, dass an der Fassade abfließendes Niederschlags- und Spritzwasser nicht in Fugen eindringen kann. Unterseitig des Fensterbretts oder -blechs muss eine Abdichtungslage angeordnet werden, die unter den Fensterrahmen und in den Laibungen aufgekantet wird.

[4] Diese Dokumente sind abrufbar unter www.fasba.de.

Weitere zu beachtende Anforderungen finden sich auch in der DIN 68800 [15] [16].

4.1.4 Luft- und Winddichtheit

Bei allen Außenbauteilen müssen die luftdichte Ebene innen und die winddichte Ebene außen einschließlich aller Bauteilanschlüsse, Unterbrechungen und Durchdringungen (etwa durch Installationen) gemäß DIN 4108-7:2011-01 [19] sorgfältig geplant und dauerhaft sicher hergestellt werden.

Ein Blower-Door-Test mit Leckageortung soll als Nachweis der Ausführungsqualität erbracht werden.

4.1.5 Wärmebrückenreduzierung

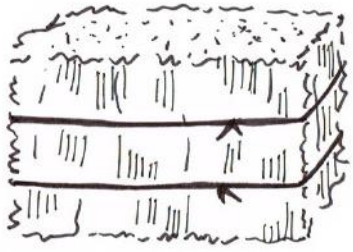
Wärmebrücken sind durch geeignete Maßnahmen zu reduzieren, etwa durch eine ausreichende Überdämmung des betreffenden Bauteils. Dies gilt besonders für Außenwandanschlüsse an Fenster und Türen, aber auch für die Einbindung von Zwischendecken in die Außenwand und sowie für alle anderen Bauteilübergänge.

4.1.6 Feuchtetransport

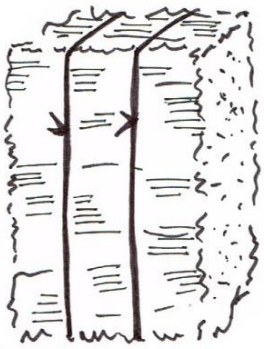
Besonders im äußeren Bereich eines strohgedämmten Bauteils muss zwischen den einzelnen Bauteilschichten der Feuchtetransport gewährleistet sein. Damit sich an der Außenseite der Strohdämmung in bauunspezifischen Hohlräumen kein Tauwasser bildet, muss das Bauteil lückenlos ausgedämmt sein und die Bekleidungen müssen dicht und ohne Hohlräume anliegen. Die außenseitige Strohfläche soll nicht direkt mit einer Folie, sondern mit einem kapillar saugfähigen Baustoff bekleidet werden, z.B. Putz, Holz oder Holzfaserdämmplatten.

4.1.7 Halmausrichtung

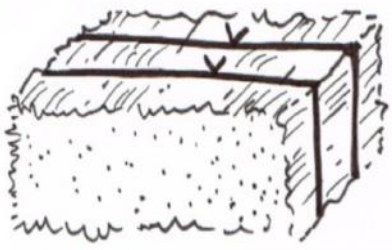
Optimale Wärmedämmung von Stroh wird mit einer überwiegenden Halmausrichtung senkrecht zum Wärmestrom erreicht. Strohballen müssen in vertikalen Bauteilen daher hochkant stehend oder hochkant liegend eingebaut werden, in Decken und Dächern flach liegend.



hochkant liegend



hochkant stehend



flach liegend

Ein Einbau mit einer überwiegenden Halmrichtung in Wärmestromrichtung ist handwerklich möglich; in der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung existiert hierfür derzeit kein Rechenwert für die Wärmeleitfähigkeit.

4.1.8 Tragwerk und Aussteifung

Der Nachweis der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit eines Gebäudes inklusive der Anforderungen an die Aussteifung erfolgt ohne Belastung der Ballen. Bei Holzrahmen- und Holzständerkonstruktionen werden horizontale Kräfte durch geeignete und dafür zugelassene Plattenwerkstoffe, Diagonalschalungen oder durch diagonal eingebaute Druck- und/oder Zugglieder aus Holz (Streben) oder Metall (Stahlflachband) übernommen. Sie können auch über den nachgewiesenen Anschluss an aussteifende Bauteile, etwa Innenwände abgeleitet werden.

4.1.9 Strohballenformat und Gefachgröße

Die Gefachgröße muss nach den Abmessungen der Strohballen bestimmt werden.[5] Die Festlegung der geeigneten Gefachbreite muss frühzeitig, genau und zuverlässig erfolgen. Hier würden Planungsmängel erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand bewirken.

4.1.10 Installationen

Elektroinstallationen sollen nicht direkt im Stroh geführt werden, sondern mit nicht brennbaren Materialien, z.B. Putz, ummantelt werden.

Um Feuchteschäden vorzubeugen, sollen wasserführende Installationen außerhalb strohgedämmter Bauteile verlegt werden.

4.2 Anwendungsbereich gemäß DIBt-Zulassung Z-23.11-1595

Der genaue Wortlaut der Bestimmung für die Ausführung ist dem Abschnitt 4 der Zulassung in ihrer jeweils aktuellen Fassung zu entnehmen. Nachstehend eine Zusammenfassung der wichtigsten Punkte. Baustroh wird als Wärmedämmstoff ausfachend innerhalb tragender oder nichttragender Konstruktionen verwendet.

Es darf nicht druckbelastet sein und keine Aufgaben der Standsicherheit der baulichen Anlage oder deren Teile übernehmen.

Der lichte Unterstützungsabstand von Ausfachungen mit Baustroh beträgt gemäß Bauregelliste C, 1.3 [20] maximal 1,0 m.

Oberflächen von verdichtetem Stroh können direkt verputzt werden.

Stroh kann sowohl im Neubau als auch in der Bestandssanierung verwendet werden.

[5] Weiteres siehe “Merkblatt Verarbeitung von Baustroh“ [2].

4.2.1 Bauteile

Stroh kann in Außenwänden sowie in hinterlüfteten Dächern und obersten Geschossdecken zum Einsatz kommen. Die Ausbildung der Gefache kann durch die tragenden Bauteile erfolgen. Bei Außenwänden haben sich hierfür Bohlenständer im Abstand von ≤1 m bewährt, deren Tiefe in etwa der Dämmstärke entspricht. Bei Dachbauteilen kann sich die Gefachbreite aus dem Sparrenabstand ergeben, wobei die Sparrenhöhe der Dämmstärke entspricht. Bei obersten Geschossdecken kann sich die Gefachbreite aus dem Deckenbalkenabstand ergeben, wobei die Deckenbalkenhöhe die Dämmstärke ergibt.[6]

4.2.2 Zulässige Schichteigenschaften gemäß Anlage 1

Die Tauglichkeit von strohgedämmten Bauteilen ist maßgeblich von deren feuchtetechnischer Eignung abhängig. Innerhalb des Bauteils darf es nicht zu einem schädlichen Schimmelpilzbefall kommen. In Abhängigkeit von der Temperatur müssen hierzu die anfallenden Feuchtemengen durch die Einhaltung von bestimmten Schichteigenschaften ausreichend gering gehalten werden.

Strohgedämmte Bauteile gelten als geeignet, wenn die Eigenschaften der einzelnen Schichten den Vorgaben der Anlage 1 der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 entsprechen.

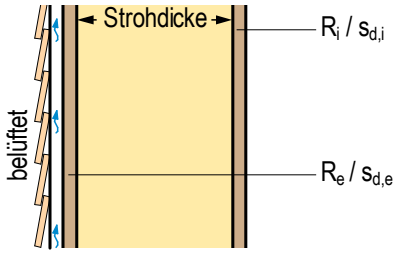
[6] Weiteres siehe DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1].

Anlage 1 zu Z-23.11-1595 Neufassung 3. Juni 2014

Beispiele für feuchtetechnisch zulässige Schichteigenschaften von Konstruktionen mit Baustroh als Wärmedämmung

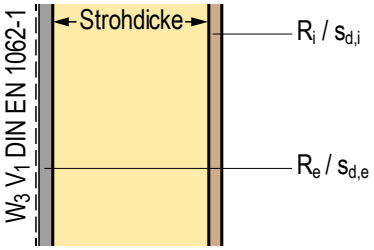
a) Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinterlüftetem Wetterschutz

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 1,00	**≥ 0,10**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**-**
2	≤ 0,48	**≥ 0,76**	*≤ 3,14*	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	*≤ 1,00*	**≥ 1,00**
4	≤ 0,48	**≥ 2,00**	≤ 0,35	*≤ 1,50*	**≥ 0,70**
5	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	*≤ 1,50*	**≥ 1,43**
6	≤ 0,48	≥ 0,10	≤ 0,35	*≤ 2,00*	**≥ 1,90**



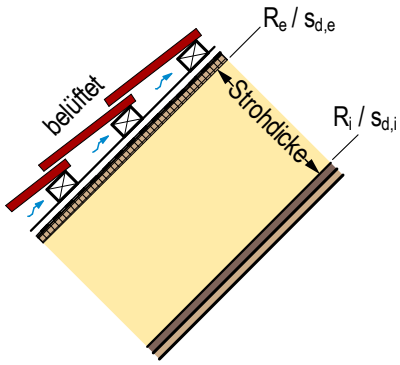
b) Frei bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen
Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W_3 und V_1

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 0,70	**≥ 0,10**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**-**
2	≤ 0,48	**≥ 0,76**	*≤ 3,14*	≤ 0,50	-
3	≤ 0,48	**≥ 3,00**	≤ 0,35	*≤ 1,50*	**≥ 0,30**



c) Dachkonstruktionen mit belüfteter Dachdeckung

Zeile	Strohdicke [m]	$s_{d,i}$ [m]	R_i [m²·K/W]	$s_{d,e}$ [m]	R_e [m²·K/W]
1	≤ 0,48	**≥ 2,00**	**≤ 0,35**	**≤ 0,50**	**≥ 0,14**
2	**≤ 0,36**	**≥ $s_{d,a}$**	≤ 0,35	*≤ 3,00*	≥ 0,14



Hinweise:
Zeile 1 charakterisiert die jeweils zulässige Grundvariante.
Weitere Zeilen: mögliche Varianten mit geänderten Bauteil-eigenschaften (grau hinterlegt), die in der Folge dann zu ändernde Schichteigenschaften erfordern (fett gedruckte Werte).

Abkürzungen:
$s_{d,e}$: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die äußeren Schichten/ Bekleidungen.
$s_{d,i}$: Diffusionsäquivalente Luftschichtdicke für die inneren Schichten/ Bekleidungen.
R_i: Wärmedurchlasswiderstandes für die inneren Schichten/ Bekleidungen.
R_e: Wärmedurchlasswiderstandes für die äußeren Schichten/ Bekleidungen.
W_3: Die Wasserdurchlässigkeit der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: $w_{24} \leq 0{,}1$ kg/(m²·√h); Index 24 = Prüfdauer 24 h.
V_1: Wasserdampf-Diffusionsstromdichte der nach DIN EN 1062-1 klassifizierten und nach DIN EN 1062-3 geprüften Beschichtung: V > 150 g/(m²·d) mit s_d < 0,14m

Erläuterung der Anlage 1

Die Anlage 1 regelt die biohygrothermische Eignung strohgedämmter Bauteile in Abhängigkeit von ihren Baustoffeigenschaften. Die für drei Bauteiltypen aufgestellten Tabellen enthalten die erforderlichen Schichteigenschaften, um schädlichen Schimmelpilzbefall im maßgeblichen äußeren Bereich der Strohdämmung auszuschließen. Hierfür dürfen weder durch Wasserdampfdiffusion[7] von innen in die Strohdämmung noch durch Regen von außen in Verbindung mit den klima- und bauteilbedingten anliegenden Temperaturen Wachstumsvoraussetzungen für die Sporenkeimung entstehen. Konstruktiv kann dies nur durch eine Kombination von geeigneten Wärmedurchlasswiderständen innen, außen und der Dämmung selbst (in der Anlage vereinfacht als Strohdicke angegeben) sowie von geeigneten diffusionsäquivalenten Luftschichtdicken der inneren, der äußeren Bekleidung und der Strohdämmung selbst (indirekt ebenfalls in Strohdicke enthalten) erreicht werden.

Für das erste Verständnis sind die Hinweise unterhalb der Tabelle der Anlage 1 zu Rate zu ziehen. Damit werden Fachleute in die Lage versetzt, zulässige Bauteile zu planen, bzw. die Zulässigkeit ihrer gewünschten Konstruktion zu überprüfen.

Erläuterung am Beispiel der Außenwandkonstruktionen Tabelle a)

Nachfolgende textliche Erläuterungen sollen die dahinterliegende, den bauphysikalischen Mechanismen folgende Logik und die Funktionsweise der tabellarischen Kombinationsanforderungen als „wenn-dann“-Beziehungen am Beispiel der nach Tabelle a zulässigen Konstruktionen verstehen helfen:

Strohgedämmte Außenwandkonstruktionen mit vorgesetztem, hinter lüfteten Wetterschutz sind gemäß der Tabelle a der Anlage 1 wie nachstehend aufgeführt zulässig:

> ***Zeile 1:*** *Wenn die Strohdicke nicht größer als d = 1 m ist und wenn gleichzeitig die Bauteilschichten zwischen Strohdämmung und Außenklima eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von höchstens* $s_{d,e}$ ***= 0,5 m*** *aufweisen und die zwischen der Strohdämmung und dem Innenraum liegenden Bauteilschichten eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von mindestens* $s_{d,i}$ ***= 0,1 m*** *und einen Wärmedurchlasswiderstand von höchstens* R_i ***= 0,35 m²·K/W*** *aufweisen, dann ist der Bauteilaufbau zulässig..*
>
> ***Zeile 2:*** *Wenn demgegenüber die raumseitigen Schichten einen höheren Wärmedurchlasswiderstand von bis zu* $R_i = 3{,}14$ *m²·K/W aufweisen, z.B. weil die Strohdämmung vor einer Mauerwerkswand eingesetzt wird, dann ist in der*

[7] Konvektiver Eintrag ist ohnehin auszuschließen, siehe Z-23.11-1595 4.1 3) zur Fugendichtigkeit der inneren Bekleidung.

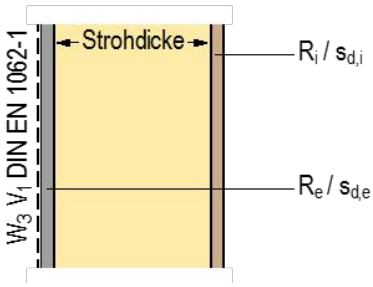
Konsequenz die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke innen auf mindestens ***$s_{d,i}$ = 0,76 m*** *zu erhöhen. Die Strohdicke darf hierbei maximal d = 0,48 m betragen.*

Zeile 3: *Wenn die äußeren Schichten außen abweichend von der Beispielkonstruktion in Zeile 1 eine diffusionsäquivalente Luftschichtdicke von bis zu $s_{d,e}$ = 1,0 m aufweisen, dann ist in der Konsequenz der Wärmedurchlasswiderstand der äußeren Schichten auf mindestens* ***R_e = 1,0 m²·K/W*** *zu erhöhen. Die Strohdicke darf hier ebenfalls maximal d = 0,48 m betragen.*

Alle weiteren Zeilen und Tabellen folgen der gleichen Logik.

Direkt bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktionen müssen einen Putz gemäß DIN EN 998-1 mit wasserabweisender Beschichtung gemäß DIN EN 1062-1 in W_3 und V_1 erhalten.

Beispiel zur Vorgehensweise zur Überprüfung eines beabsichtigten Bauteilaufbaus



Es soll eine direkt bewitterte, verputzte Außenwandkonstruktion erstellt werden und hinsichtlich ihrer Zulässigkeit gemäß Anlage 1 überprüft werden. Die Außenwandkonstruktion soll folgende Eigenschaften aufweisen:

- Strohdicke d=0,36 m.
- 3 cm Lehmputz innen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von μ = 10 und einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,70 W/(m·K)
- 3 cm Kalkputz gemäß DIN EN 998-1 außen mit einer Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl von μ = 15 und einer Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,80 W/(m·K).
- Fassadenanstrich, ausgewiesen entweder direkt mit den Klassifizierungen W_3 und V_1 oder $w_{24} \leq 0{,}1$ kg/(m²·√h) und V > 150 g/(m²·d) mit $s_d < 0{,}14$ m.

Beurteilung gemäß Tabelle b) Anlage 1 von Z-23.11-1595

Diffusionsäquivalente Luftschichtdicken $s_d = d \cdot \mu$ [m]

Außen: vorhanden $s_{de} = 15 \cdot 0{,}03$ m = 0,45 m ≤ zulässig s_{de} = 0,5 m

Innen: vorhanden $s_{di} = 10 \cdot 0{,}03$ m = 0,30 m ≥ zulässig s_{di} = 0,1 m

Wärmedurchlasswiderstände R = d / λ [m²·K/W]

Außen: $R_{e\ vorhanden}$ = 0,03 / 0,7 m= 0,043 $R_{i\ zulässig}$ in Zeile 1 und 2 ohne Anforderung

Innen: $R_{i\ vorhanden}$ = 0,03 / 0,8 m= 0,038 ≤ $R_{i\ zulässig}$ =0,35 m

Ergebnis: Die Konstruktion ist gemäß Tabelle b) Anlage 1 Z-23.11-1595 Zeile 1 oder 2 zulässig, weil alle Schichteigenschaften in der Kombination eingehalten werden und der Außenputz normgerecht ist und ein geeigneter Fassadenanstrich eingesetzt wird.

4.3 Anderweitige Anwendungen

4.3.1 Verschiedenes

Die Eignung und baurechtliche Verwendbarkeit von Stroh in Außenbauteilen, die nicht der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] entsprechen, wie beispielsweise nichtausfachende oder druckbelastete Konstruktionen oder abweichende Schichteigenschaften oder andere Einsatzbereiche muss ggf. gesondert nachgewiesen werden, z.B. im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall.

Insbesondere folgende Anwendungen gelten in diesem Sinne als anderweitige Anwendungen:

- Jede Art der Druckbelastung von Stroh durch Eigen- oder Verkehrslasten sowie durch Bauteilaussteifung
- Von Anlage 1 der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] abweichende Schichteigenschaften (Nachweis der feuchtetechnischen Eignung, z.B. durch eine biohygrothermische Bewertung mit Hilfe von WUFI ® und WUFI-Bio.)
- Vorgesetzte Außenwanddämmung: Wenn Stroh ohne eine klar definierte Gefachausbildung als vorgesetzte durchgehende Dämmebene vor Außenwänden eingesetzt werden soll (mechanische Beständigkeit im Gefach).
- Innenwände: Wenn Stroh in Innenwänden eingesetzt werden soll (Verhalten unter dauerhaften Innenraumklima ohne garantierte Fugendichtigkeit zum Innenraum).
- Nicht belüftete Dachflächen: Wenn Stroh in nicht belüfteten Dachflächen eingesetzt werden soll (feuchtetechnische Eignung).
- Oberste Geschossdecken: Wenn Stroh oberhalb von obersten Geschossdecken ohne definierte Gefachausbildung und/oder druckbelastet verwendet werden soll (mechanische Beständigkeit).
- Bodenplatten und Kellerdecken: Wenn Stroh in Bodenplatten oder in Decken gegen unbeheizte Keller eingesetzt werden soll und/ oder druckbelastet verwendet wird (feuchtetechnische Eignung, mechanische Eignung)

4.3.2 Lasttragendes Bauen

Als lasttragender Strohballenbau wird eine Bauweise bezeichnet, bei der ein Bauwerk ganz oder teilweise aus Bauteilen besteht, in denen Strohballen (in Wand- oder Gewölbekonstruktionen) druckbelastet werden und meist zusammen mit einer Bekleidung aus Putz Aufgaben der Standsicherheit des Bauwerks übernehmen. Die Bauweise stammt

aus Nebraska und wurde dort ca. 1880 erstmals eingesetzt. Mittlerweile findet sie weltweit überall dort Anwendung, wo gepresste Ballen aus Getreidestroh vorkommen.

In Deutschland existieren bislang keine allgemein verwendbaren Verfahren und Bemessungskonzepte für Gebäude mit lasttragenden Bauteilen aus Strohballen. Die Genehmigung und der Nachweis der Tauglichkeit erfolgt hierzulande bislang daher allenfalls im Einzelfall. Es besteht noch ein großer Forschungsbedarf, bevor die Bauweise in Deutschland Eingang in eine Baurichtlinie finden und in größerem Maßstab verbreitet werden kann.[8]

[8] Der Stand des Wissens zum lasttragenden Bauen mit Stroh in Deutschland ist dokumentiert auf www.fasba.de.

5 STROHEINBAU

5.1 Voraussetzungen für den Einbau von Stroh

5.1.1 Zum Bauen geeignete Strohballen

Zum Bauen geeignete Strohballen sind dem Augenschein nach goldgelb bis blassgelb, die Oberflächen eben und im Verhältnis zueinander rechtwinklig, die Kanten gerade und nicht gerundet. Die Einschnürungen müssen unter Spannung stehen, dürfen die Stirnseiten etwas eindrücken und dürfen sich beim Transport nicht vom Ballen lösen.

Sie sind kompakt gepresst und formhaltig. Die flache Hand kann nicht oder nur sehr schwer zwischen die einzelnen Strohschichten des Ballens geschoben werden. Gemäß DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] muss die Rohdichte von Strohballen bei einem Bezugsklima von 23° C und 50% relativer Luftfeuchte gemäß DIBT-Zulassung Z-23.11-1595 [1] zwischen 85 kg/m^3 und 115 kg/m^3 betragen.

Zum Bauen ungeeignete Ballen würden erhebliche Nacharbeiten wie Nachpressen oder Ausstopfen nach dem Einbau verbliebener Hohlräume erfordern. Außerdem würden sie ungleichmäßige Verdichtungen sowie Ein- und Ausbeulungen von Strohoberflächen und infolgedessen auch Mehrdicken beim Putzauftrag verursachen.

Feuchtes, modriges, erdig riechendes oder aktiv mit Schimmel befallenes Stroh darf nicht verbaut werden.

Diese Eigenschaften sind beim zugelassenen Bauprodukt Baustroh ausgewiesen; werden andere Strohballen im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall eingesetzt, sind diese auf entsprechende Eignung zu prüfen.

5.1.2 Einbausituation

Unterstützungsabstand und Wandstärke müssen zu den Abmessungen der Strohballen passen.
Für besondere geometrische Einbausituationen können Strohballen verkürzt und mit geeignetem Werkzeug ausgefälzt oder angeschrägt werden.

5.1.3 Jahreszeitliche Bedingungen

Der Einbau von Stroh ist grundsätzlich ganzjährig möglich, wenn es in der Bauphase ausreichend vor Feuchte geschützt ist.

Bei Verputzung sind die jahreszeitlichen Trocknungsbedingungen zu beachten.

5.2 Anforderungen an eingebautes Stroh

5.2.1 Einbau

Stroh muss lückenlos und setzungssicher eingebaut sein. Dazu soll Stroh beim Einbau nachverdichtet werden. Etwaige verbleibende Hohlräume sind dicht und festsitzend mit losem Stroh auszustopfen.

Im Gefach muss Stroh durch geeignete Mittel dauerhaft gegen Ablösen und Herauskippen gesichert sein.

Stroh muss mit einer Rohdichte zwischen 85 und 115 kg/m³ bezogen auf Normalklima (23° C/50% rel. Feuchte) eingebaut sein.

Abweichende Rohdichten stellen einen Mangel dar bzw. bedürfen einer Zustimmung im Einzelfall, weil kein anerkannter Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit hierfür vorhanden ist. Im Fall zu niedriger Rohdichten entfällt zusätzlich die Anerkennung als normalentflammbarer Baustoff.[9]

5.2.2 Ebenheit von Strohoberflächen

Nach dem Einbau müssen die Strohoberflächen egalisiert werden. Grobe Unebenheiten müssen ggf. zunächst ausgeglichen werden. Anschließend werden die Strohoberflächen gleichmäßig rasiert.

Unebenheiten erfordern Nacharbeit und können Ausführungsmängel bei der Bekleidung bewirken.[10]

5.3 Schutz strohgedämmter Bauteile während der Bauzeit

5.3.1 Schutz vor Niederschlägen

Strohgedämmte Bauteile müssen bis zur Fertigstellung einer Bekleidung, die vor Niederschlägen und Spritzwasser schützt, fachgerecht geschützt werden (z. B. durch Abplanen).

Unfertige Sockelbereiche und Wandöffnungen müssen ebenfalls gegen Niederschläge geschützt werden.

Die Teile 1-4 der DIN 68800 [15] [16] [17] [18] sind zu beachten.

5.3.2 Brandschutz

Gelagerte sowie eingebaute, aber unbekleidete Strohballen sowie loses Stroh müssen vor Feuer und Funkenschlag geschützt werden.

---

[9] Siehe Abschnitt 3.2.1 Wärmeleitfähigkeit sowie Z-23.11-1595, 2014 [1].
[10] Siehe auch Abschnitt 6.2 Bekleidungen aus Putzen.

Rauchen ist auf der Strohbaustelle verboten.

Anfallendes Reststroh ist in geschlossene Säcke oder Behälter zu füllen und in ausreichendem Abstand zur Baustelle zu lagern. Das zwischengelagerte Stroh muss mindestens einmal wöchentlich abgefahren werden.

Um den Brandschutz zu verbessern, sollen strohgedämmte Bauteile frühestmöglich mit einer ersten Schicht bekleidet werden.

6 BEKLEIDUNGEN VON STROH

6.1 Aufgaben und Anforderungen

6.1.1 Allgemein

Bekleidungen von Bauteilen sind für das Erreichen und Einhalten von sämtlichen allgemeinen Schutzzielen im Baubereich, wie z. B. dem Brandschutz, dem Wärmeschutz, dem Feuchteschutz und der Langlebigkeit, sowie insbesondere Anforderungen an Luft- und Winddichtheit und an den Witterungsschutz maßgeblich. Sie müssen hierfür sorgfältig geplant und fachgerecht ausgeführt werden.

Innen- und Außenbekleidungen von strohgedämmten Bauteilen müssen dem Anwendungsbereich der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595, 2014 [1] entsprechen oder bedürfen eines anderen Eignungsnachweises z. B. im Rahmen einer Zustimmung im Einzelfall.

6.1.2 Schutz vor Befall durch Kleintiere und Insekten

Fachgerecht ausgeführte strohgedämmte Gebäude sind nicht stärker als andere gedämmte Gebäude gefährdet, von Kleintieren und Insekten befallen zu werden.

Bekleidungen auf Strohdämmungen können als ausreichend sicher gegen den Befall von Kleintieren und Insekten angesehen werden, wenn sie rissfrei, luftdicht bzw. winddicht sind und eine ausreichende Dicke und mechanische Festigkeit aufweisen. Wenn anerkannte Regeln und Herstellerangaben beachtet werden, gilt dies nach bisherigen Erfahrungen u.a. bei folgenden Schichtstärken:

Kalkputz: ≥ 2 cm, Lehmputz: ≥ 2 cm, Holz: ≥ 2 cm, Holzfaserdämmplatten: ≥ 2 cm

6.1.3 Oberflächen

Bekleidungen schließen strohgedämmte Bauteile nach innen und nach außen ab und haben gestaltbare und nutzbare Oberflächen. Sie prägen das Erscheinungsbild von Räumen und Gebäuden. Bekleidungen müssen so beschaffen sein, dass sie der Nutzung dauerhaft standhalten. Befestigungen sind materialgerecht auszuführen und bedürfen bei schwereren Gegenständen einer rechtzeitigen Planung und Vorbereitung.

6.1.4 Regulierung des Raumklimas

Die innere Bekleidung strohgedämmter Bauteile beeinflusst Raumtemperatur und Raumluftfeuchte maßgeblich und wirkt dadurch bestimmend auf das Raumklima. Hygroskopische Baustoffe (besonders Lehm) speichern Feuchte und geben diese zeitversetzt wieder ab. Sie sorgen so bei schwankenden Feuchten für Ausgleich. Schwerere

Baustoffe speichern Wärme und geben diese zeitversetzt wieder ab. Sie sorgen so bei schwankenden Temperaturen für Ausgleich (Sommer und Winter).

6.2 Bekleidungen aus Putzen

6.2.1 Aufgaben

Bekleidungen aus Putzen fungieren als luftdichte bzw. winddichte Ebene des Bauteils. Sie können bei entsprechender Ausführung gemäß allgemeinem bauaufsichtlichen Prüfzeugnis MPA BS P-3048/817/08, 2008 [8] zusammen mit der Stroh-Holz-Konstruktion eine feuerhemmende tragende Außenwand bilden, schützen vor Befall durch Schädlinge, sind nutz- und gestaltbarer Raumabschluss und regulieren das Raumklima.

6.2.2 Anforderungen

Das Stroh muss ausreichend dicht, setzungssicher und ohne Hohlstellen eingebaut sein. Die Strohoberfläche soll möglichst eben und frei von losen Strohteilen sein.

Bewährt haben sich Lehmputze innen, hinter einer vorgehängten Fassade auch außen, sowie Kalkputze außen. Diese sollen relativ weich sein (Druckfestigkeitsklasse CSI), damit sie bei geringen und üblichen Bauwerksbewegungen funktionstauglich bleiben.

Als alleinige Bauteilverkleidung müssen Putze gerieben oder geglättet oder gefilzt und mindestens 2 cm stark sein.

6.2.3 Anforderungen an die Ausführung

Für eine fachgerechte Ausführung müssen Lehmputze nach DIN 18947 [22] oder gemäß den Lehmbauregeln oder Kalkputze nach DIN 998-1 [21] zum Einsatz kommen. Als Werktrockenmörtel können bei Kalkputzen sowohl Normalputzmörtel als auch Leichtputzmörtel verwendet werden.

Bei Kalkputz muss jede Schicht einzeln und ausreichend langsam trocknen (kein „Verbrennen“). Ggf. muss Kalkputz gewässert werden. Sinterschichten müssen mechanisch und rechtzeitig mit geeignetem Werkzeug entfernt werden, da sie den Feuchtetransport und die Haftung beeinträchtigen würden.

Die einzelnen Auftragsstärken des Putzes dürfen nicht zu dick sein und es müssen geeignete Trocknungsbedingungen vorliegen.

Putzoberflächen, die als luft- oder winddichte Ebene eines Bauteils dienen, müssen für eine ausreichende Rissfreiheit vollflächig armiert sein. Unterstützend können Faserzuschläge eingesetzt werden. Anschlüsse an andere Bekleidungen oder Bauteile, etwa Decken oder Innenwänden, müssen luft- bzw. winddicht ausgeführt werden.

Um einen zu hohen Feuchteeintrag in die Strohdämmung zu vermeiden, müssen verputzte Konstruktionen ausreichend schnell und vollständig trocknen. Lange Trocknungszeiten bei zu kalter Witterung sind zu vermeiden. Ggf. muss die Trocknung durch reichliches Lüften oder den Einsatz von Ventilatoren, Heizungen, Trocknungs- und Entfeuchtungsgeräten unterstützt werden.

Bei Schichtdicken des Innenputzes über 1,5 cm soll eine Person benannt werden, die für die Überwachung der Trocknung verantwortlich ist und dies entsprechend dokumentiert.[11]

Witterungsbedingte und jahreszeitliche Einschränkungen sind zu beachten.

6.2.4 Verarbeitung

Auf Stroh wird die Putzhaftung durch mechanische Verkrallung erreicht. Die erste Putzschicht muss ausreichend bindemittelreich und flüssig sein. Sie trägt alle weiteren Putzschichten und muss sorgfältig ausgeführt sein. Auf anderen Putzuntergründen, etwa Holz, müssen Putzträger (z.B. geeigneten Schilfrohrmatten, Holzfaserdämmplatten) eingesetzt werden. Die erste Putzschicht verfolgt die Kontur der Strohoberfläche und muss keine ebene Oberfläche bilden.

Eine ebene Fläche wird mit dem Unterputz hergestellt. In diesen muss eine Armierung eingebettet werden. Anschließend wird der Oberputz mit einheitlicher Schichtdicke aufgetragen. Der Oberputz kann gerieben, geglättet oder gefilzt sein. Die Haftung aller Putzschichten untereinander ist zu gewährleisten. Ausreichende Putzhaftung kann bauseits überprüft werden.[12]

Im Übrigen sind Herstellerangaben, die DIN 18947:2013-08 [22], die Lehmbauregeln [25] und das Technische Merkblatt Anforderungen an Lehmputze [26] des Dachverband Lehm e.V. sowie Regeln zur Verarbeitung von Kalkputzen zu beachten.

6.3 Bekleidungen aus Platten, Brettern oder Bahnen

Strohgedämmte Außenwände und Dachflächen können auch mit Platten, Brettern oder Dampfbrems- bzw. Luftdichtungs- oder Winddichtungsbahnen bekleidet werden. Sie müssen allein oder in Kombination luft- und winddicht ausgeführt, ausreichend diffusionsoffen und außenseitig hinterlüftet sein.

Anders als nass aufgebrachte Putzbekleidungen passen sich Platten, Bretter und Bahnen nicht vollständig konturverfolgend und lückenlos an die Strohdämmung an. An der Grenze von Stroh zu außenseitiger Bekleidung kann in etwaigen Hohlräumen kurzzeitig nach

[11] Siehe Technisches Merkblatt Anforderungen an Lehmputze, 2009 [26].
[12] In den französischen Strohbauregeln sind bauseits durchführbare Putzhaftungstests beschrieben (Règles professionelles, Annexe 3) [27]. Siehe dazu auch Ehlers, 2012 [28].

Temperaturwechseln Tauwasser ausfallen. Dies muss die Bekleidung aufsaugen und abtransportieren können. Außenseitig direkt an die Strohdämmung angrenzend sollen deshalb ungeachtet ihrer Diffusionsoffenheit keine Fassadenspannbahnen oder Unterspannbahnen eingesetzt werden.

7 LITERATURVERZEICHNIS

[1] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Wärmedämmstoff Baustroh“ (Z-23.11-1595). Berlin, Deutsches Institut für Bautechnik, 2014.

[2] FASBA e.V.: Merkblatt Verarbeitung von Baustroh. Verden, 2014.

[3] DIN 4102-1:1998, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1, Baustoffe und Begriffe; Anforderungen und Prüfungen.

[4] DIN EN ISO 11925 -2:2011-02, Prüfungen zum Brandverhalten - Entzündbarkeit von Produkten bei direkter Flammeneinwirkung - Teil 2: Einzelflammentest

[5] Musterbauordnung, Fassung November 2002, geändert 2008.

[6] EN 13501-1:2007, Klassifizierung von Bauprodukten und Bauarten zu ihrem Brandverhalten - Teil 1: Klassifizierung mit den Ergebnissen aus den Prüfungen zum Brandverhalten von Bauprodukten.

[7] DIN 4102-2:1977-09, Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile, Begriffe, Anforderungen und Prüfungen.

[8] MPA BS P-3048/817/08. Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis (Feuerhemmende Außenwand). Braunschweig : iBMB TU Braunschweig. 31. März 2008.

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

[10] Sedlbauer, K. Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Stuttgart: Universität Stuttgart, 2001.

[11] Krus, M.; Seidler, C. M.; Sedlbauer, K.: Übertragung des Mould-Indexes auf das biohygrothermische Modell zur Schimmelpilzvorhersage. IBP-Mitteilung 513.

[12] Klatecki, M. und Otto, F.: Untersuchung des hygrothermischen und biohygrothermischen Verhaltens von Dach- und Wandkonstruktionen mit Strohballendämmung. 073/12. Wolfhagen: s.n., 9. April 2013.

[13] TGL 35424/02, Bautechnischer Wärmeschutz. Größen, Einheiten, Kennwerte. Leipzig: Verlag für Standardisierung der DDR, 1981.

[14] IAB Messbericht A 59829/3950. Untersuchungen der Luftschalldämmung einer Strohballenwand. Oberursel : IAB, 25. September 2009.

[15] DIN 68800-1, Holzschutz – Teil 1: Allgemeines.

[16] DIN 68800-2, Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau.

[17] DIN 68800-3, Holzschutz - Teil 3: Vorbeugender Schutz von Holz mit Holzschutzmitteln.

[18] DIN 68800-4, Holzschutz - Teil 4: Bekämpfungs- und Sanierungsmaßnahmen gegen Holz zerstörende Pilze und Insekten.

[19] DIN 4108-7:2011-01, Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden - Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele.

[20] Bauregelliste C, 1.3, Ausgabe 2013/2 vom 22.11.2013.

[21] DIN EN 998-1:2010-12, Festlegungen für Mörtel im Mauerwerksbau – Teil 1: Putzmörtel.

[22] DIN 18947:2013-08, Lehmputzmörtel - Begriffe, Anforderungen, Prüfverfahren.

[23] DIN EN 1062-1:2004-08, Beschichtungsstoffe- Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich- Teil: Einleitung.
[24] DIN EN 1062-3:2008-04, Beschichtungsstoffe - Beschichtungsstoffe und Beschichtungssysteme für mineralische Substrate und Beton im Außenbereich - Teil 3: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit.
[25] Lehmbauregeln : Begriffe, Baustoffe, Bauteile. s.l.: Dachverband Lehm, 2009. 2., überarbeitete Auflage.
[26] Technisches Merkblatt Anforderungen an Lehmputze. s.l.: Dachverband Lehm, 2009.
[27] Réseau français de la construction en paille: Règles professionelles de construction en paille: Remplissage isolant et support d'enduit - Règles CP 2012. (Regelwerk des französischen Strohbaunetzwerkes)
[28] Ehlers, N.: Analyse des Haftverbundes zwischen Strohballen und Putzarten (Bachelorarbeit). 2012.

8 STICHWORTVERZEICHNIS

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung5, 6, 8, 9, 12, 15, 20, 22, 25
Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugniss 9
Anwendungsbereich 6, 8, 12, 20
Ausbeulung 22
Ausfachung 15
Außenwand 16, 17
Aussteifung 15
Ausstopfen 22
Ballenpresse 7
Bauphysikalische Eigenschaften 9
Bauprodukt 8
Baustoffklasse 9
Baustroh 15, 22
Bauteileigenschaften 17
Begriffsdefinition Stroh 7
Beikrautanteil 7
Bekleidung 14, 23, 25, 26, 27
Bestandssanierung 15
Bezugsklima 22
bindemittelreich 27
biohygrothermische Bewertung 12, 18, 20
Blower-Door-Test 14
Bodenplatte 20
Brandschutz 9, 13, 23, 25
CE- Zeichen 8
Dach 13, 14, 16, 17, 20
Dampfbremsbahn 27
Decke 14, 20
Diagonalschalung 15
diffusionsäquivalente Luftschichtdicke 18
DIN 18947 26
DIN 4102 9
DIN 68800 13
DIN 998-1 26
DIN EN 1062-1 19
DIN EN 13501-1:2007 9
DIN EN 998-1 19
Einschnürung 22
Elektroinstallation 15
EN 11925-2 9
Entfeuchtungsgerät 27
F 30-B 9
Fachkräfte 6
Faserzuschläge 26
Fassadenanstrich 19
Fensteranschluss 13, 14
Feuchteschutz 12, 13, 14, 16, 22, 23, 25, 26
feuerhemmend 9, 13
Feuerwiderstand 9, 13
flach liegend 14
Funkenschlag 23
geeignete Strohballen 22
Gefach 7, 15, 16
Genehmigung im Einzelfall 21
Getreidesorten 7
Gipsplatte 10
Großballen 7
Halmausrichtung 14
Hinterlüftung 13, 27
hochkant liegend 10, 14
hochkant stehend 10, 14
Hohlräume 14, 23, 26, 27
Holzfaserdämmplatte 25, 27
hydrophobierender Anstrich 13
hygroskopischer Baustoff 25
Innenwand 20
Insekten 25
Installationen 14, 15
Kalkputz 25, 26
Keller 20
Kleinballen 7
Kleintiere 25
Lagerung 8
Laibung 13
lasttragender Strohballenbau 20
Lehmbauregeln 27
Lehmputz 25, 26, 27
loses Stroh 23
Luftdichtheit 14, 25, 26, 27
Lüften 26
Luftschalldämmmaß 11
mechanische Festigkeit 25
Nachverdichtung 23
normalentflammbar 9, 13
Oberflächen 25
Oberputz 27
oberste Geschossdecke 16, 20

Orientierung der Halme 10
Planung 6
Putz 9, 13, 26
Putzmörtel 26
Rauchen 24
Raumklima 25
relative Luftfeuchte 22
Rissfreiheit 25, 26
Rohdichte 22, 23
Schallschutz 11, 12
Schichteigenschaft 17
Schilfrohrmatte 27
Schimmel 7, 12, 16, 18, 22
Schlagregenschutz 13
setzungssicher 23, 26
Sinterschicht 26
Sockelbereich 13, 23
Sparren 16
Spritzwasser 13, 23
Standsicherheit 13, 15, 20
Stroheinbau 22
Strohoberfläche 23, 26, 27
Strömungswiderstand 11
Substratklasse 12
Tauwasser 14, 27
Temperaturwechsel 27
Transport 22
Trocknung 22, 26
Ü- Zeichen 8
Überdämmung 14
Unterputz 27
Unterspannbahn 27
Unterstützungsabstand 15, 22
UV-Bestrahlung 8
Ventilator 27
Verdichtung 22
Verwendbarkeitsnachweis 9
vorgehängte Fassade 26
Wärmebrücken 14
Wärmedurchgangskoeffizient 10
Wärmedurchlasswiderstand 17, 18
Wärmekapazität 11
Wärmeleitfähigkeit 10, 11, 15, 19, 23
Wärmemenge 10
Wärmeschutz 10, 25
Wärmestromrichtung 10, 15
Wasserdampfdiffusion 18
Wasserdampfdiffusionswiderstandszahl 12, 19
Winddichtheit 14, 25, 26, 27
Witterungsschutz 13, 17, 18, 25
WUFI ® 12, 20
WUFI-Bio 12, 20
Zulassung 5, 6, 8, 9, 12, 15, 16, 20, 22, 25
Zustimmung im Einzelfall 6, 8, 20, 25

9 ANLAGE: MERKBLATT VERARBEITUNG VON BAUSTROH

Merkblatt Verarbeitung von Baustroh
- Stand: 20. März 2014 –

Herausgeber: Fachverband Strohballenbau Deutschland e.V., Artilleriestr. 6, 27283 Verden

Inhalt

1 Allgemeines

1.1 Der Baustoff 33
1.2 Eigenschaften von Baustroh 34
1.3 Einsatzbereich 34

2 Voraussetzungen für den Einbau von Baustroh

2.1 Ballenabmessungen und Gefachabmessungen 35
2.2 Ermittlung der geeigneten lichten Gefachbreite 35
2.3 Bestellung, Lieferung und Lagerung 35

3 Ausfachung mit Baustroh

3.1 Stroheinbau 36
3.2 Herstellung von ebenen Strohoberflächen für spätere Bekleidungen 37

1 Allgemeines

Dieses Merkblatt beschreibt die Verarbeitung des Wärmedämmstoffs Baustroh. Die Eigenschaften und der Anwendungsbereich sind in der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 definiert.

1.1 Der Baustoff

Baustroh ist ein Wärmedämmstoff aus reinem Getreidestroh. Baustroh bleibt nach der Ernte unbehandelt und erhält keinerlei Zusätze.

Baustroh ist goldgelb bis blassgelb und wird trocken mit maximal 18 M-% geliefert.

Baustroh ist kompakt. Die Ballen sind quaderförmig, ihre Rohdichte liegt im Bereich von 80-115 kg/m³. Fachgerecht verbaut bilden sie gleichmäßig verdichtete, lückenlose und setzungssichere Gefache.

1.2 Eigenschaften von Baustroh

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Halmrichtung nach DIN EN 12667	0,052 W/(m·K)
Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit in Halmrichtung	-
Rohdichte bei Bezugsklima 23°C/50% rel. Luftfeuchte nach DIN EN 1602	85-115 kg/m^3
Dampfdiffusionswiderstandszahl μ	2
Feuchteaufnahme bei 23°C und 80% rel. Luftfeuchte nach DIN EN ISO 12571	max. 18 Masse-%
Brandverhalten nach DIN EN 13501-1	E (normalentflammbar)

Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit gilt ausschließlich senkrecht zur überwiegenden Ausrichtung der Halme, also in Wänden nur für aufrecht stehende und aufrecht liegende Strohballen. Strohballen mit Ausrichtung der Halme in Wärmestromrichtung (in Wänden flach liegend) entsprechen nicht der DIBt-Zulassung.

1.3 Einsatzbereich

Baustroh wird als ausfachender Wärmedämmstoff innerhalb tragender oder nichttragender Konstruktionen bei Außenwänden, Dächern sowie obersten Geschossdecken verwendet.

Es darf nicht druckbelastet sein und keine Aufgaben der Standsicherheit der baulichen Anlage oder deren Teile übernehmen.

Der lichte Unterstützungsabstand der Ausfachungen mit Baustroh beträgt maximal 1,0 m (nach Bauregelliste C, 1.3).

Baustrohoberflächen können direkt verputzt werden.

Baustroh kann sowohl im Neubau als auch in der Bestandssanierung verwendet werden. Zulässige Bauteilaufbauten mit Baustroh gemäß DIBt-Zulassung sind in Kap. 5 Zulässige Baukonstruktionen der DIBt-Zulassung Z-23.11-1595 mit deren Anwendungsbereichen genannt.

2 Voraussetzungen für den Einbau von Baustroh

2.1 Ballenabmessungen und Gefachabmessungen

Unterstützungsabstand und Wanddicken müssen zu den Abmessungen der Strohballen passen. Deshalb muss das Ballenformat rechtzeitig bekannt sein und die Planung auf ein entsprechendes Rastermaß abgestimmt werden.

2.2 Ermittlung der geeigneten lichten Gefachbreite

Bei hochkant stehendem Einbau in Wände wird die Gefachbreite durch die Breite des Ballens bestimmt. Werden Strohballen hochkant liegend eingebaut, können die produktionsbedingt um etwa +/-5cm unterschiedlichen Längen der Ballen nicht einer bestimmten Gefachbreite entsprechen.

Hochkant stehend können Ballen einzeln oder je zwei nebeneinander eingebaut werden. Die lichte Gefachbreite ergibt sich dann aus der einfachen Ballenbreite oder der doppelten Ballenbreite. Bei Dopplung von sogenannten Kleinballen wird die geforderte maximale lichte Gefachbreite von 1,00 m eingehalten.

Für strohgedämmte Decken und Dächer gelten die oben angeführten Hinweise analog.

Als Faustregel für die Ermittlung der geeigneten Gefachbreite darf angesehen werden:

- einfach: Lichte Gefachbreite = Strohballenbreite – 1 cm
- bei Dopplung: lichte Gefachbreite = 2 Strohballenbreiten – 2 cm

2.3 Bestellung, Lieferung und Lagerung

Die erforderliche Menge Baustroh ergibt sich exakt aus der Gesamtfläche aller Gefache ohne die Holzanteile des Rahmens zuzüglich der Verdichtung und einem Verschnittzuschlag von 5%. Bei zahlreichen Abweichungen vom Strohballenraster soll dieser Zuschlag erhöht werden.

Vereinfachend kann auch angesetzt werden: Gesamtfläche aller Gefache einschließlich Holzanteile des Rahmens + 5%.

Baustroh ist stets trocken zu halten. Dies gilt für den Transport, die Lagerung und auch in der Bauphase. Unmittelbar nach dem Einbau durch Schlagregen gefährdete Strohoberflächen müssen mit Planen abgegedeckt werden.

3 Ausfachung mit Baustroh

3.1 Stroheinbau

Strohballen müssen so eingesetzt werden, dass die Schnürung auf den Längsseiten der Ballen auf der Strohoberfläche sichtbar ist. Nur dann sind die Halme überwiegend senkrecht zum Wärmestrom ausgerichtet, und nur dann gilt der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0{,}052$ W/(m·K).

Um eine gleichmäßige Ausfachung gewährleisten, werden Strohballen beim Einbau verdichtet,

Angesetzt werden kann bei Rohdichten

bis 90 kg/m^3: 15 % Verdichtung.

bis 100 kg/m^3: 10 % Verdichtung.

bis 105 kg/m^3: 5 % Verdichtung.

Alternative Ansätze sind möglich. Im Ergebnis muss bei Befüllung des Prüfgefaches mit der gewählten Verdichtung der geforderte Rohdichtebereich eingehalten werden.

Entspricht die Gefachbreite zwei Strohballenbreiten, werden die Ballen in Paaren schräg gegeneinander verkantet auf die Gefachkanten gestellt und anschließend vollständig in das Gefach eingedrückt.

Sowohl paarweise als auch einfach erfolgt der Einbau mit Körpereinsatz, mit Einführhilfen (flachen Platten aus Blech oder Holzwerkstoff) sowie mit einem Strohhammer (mit langem Stiel und größerem Kopf aus Holz).

Die erforderliche Höhe der letzten Strohballenlage ergibt sich aus der Gefachhöhe zuzüglich Verdichtung abzüglich der Höhe aller anderen Strohballenlagen. Diese Lage muss meist gesondert in der Länge hergestellt werden. Dazu können Strohballen mit Ballennadeln verkürzt werden. Sie werden entsprechend der gewünschten Länge neben den Schnürungen durch den Strohballen gestoßen, das Garn jeweils hindurchgezogen und um den Ballen herum festgezurrt. Anschließend wird das ursprüngliche Garn gelöst, loses Stroh fällt ab und der verkürzte Ballen bleibt übrig.

Bevor die letzte Lage Stroh eingesetzt wird, wird das bereits ins Gefach eingesetzte Stroh komprimiert. Dies kann mit Spanngurten oder Kettenzügen erfolgen. Dabei werden die Zugbänder entweder um den Holzrahmen herum geführt oder daran innen und außen befestigt. Sobald durch das Zusammenziehen ausreichend Platz für das Einsetzen der letzten Ballenlage geschaffen wurde, wird diese Lage eingesetzt. Anschließend wird die Spannung gelöst, und die letzte Lage Ballen legt sich an den Fugen dicht an.

Dieses Verfahren ist für den Stroheinbau in der Senkrechten, in der Waagerechten und in Dachschrägen geeignet sowie in der Vorfertigung als auch beim Einbau auf der Baustelle.

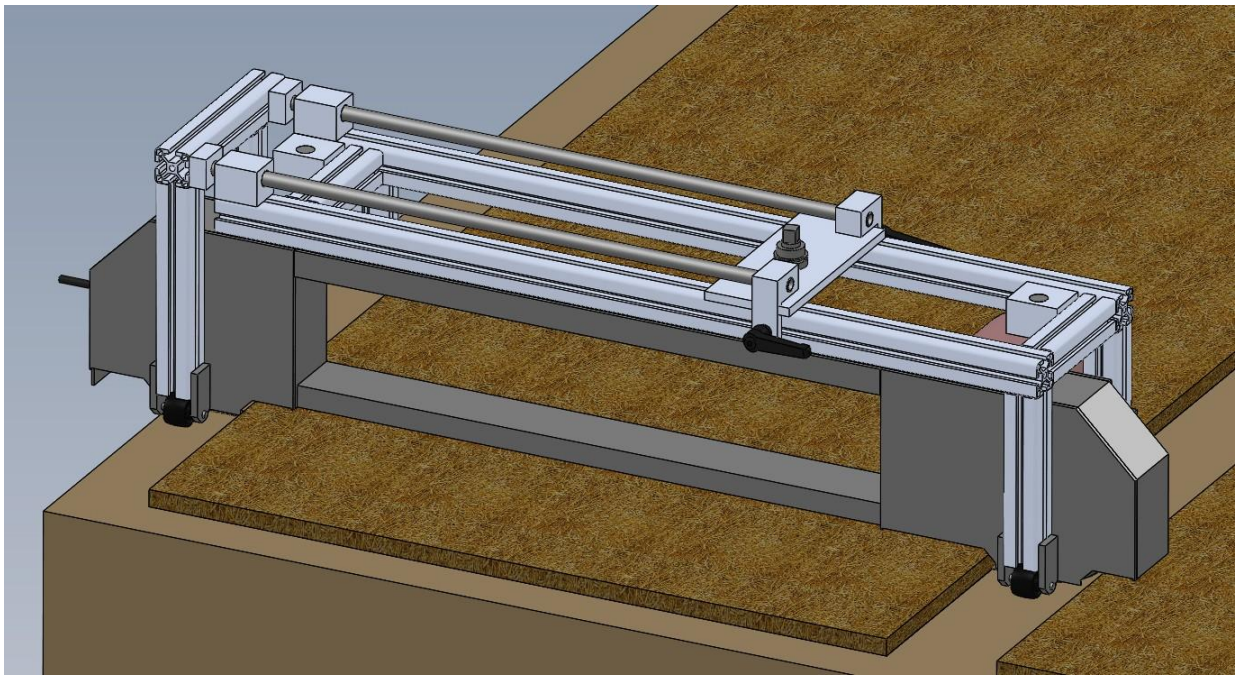
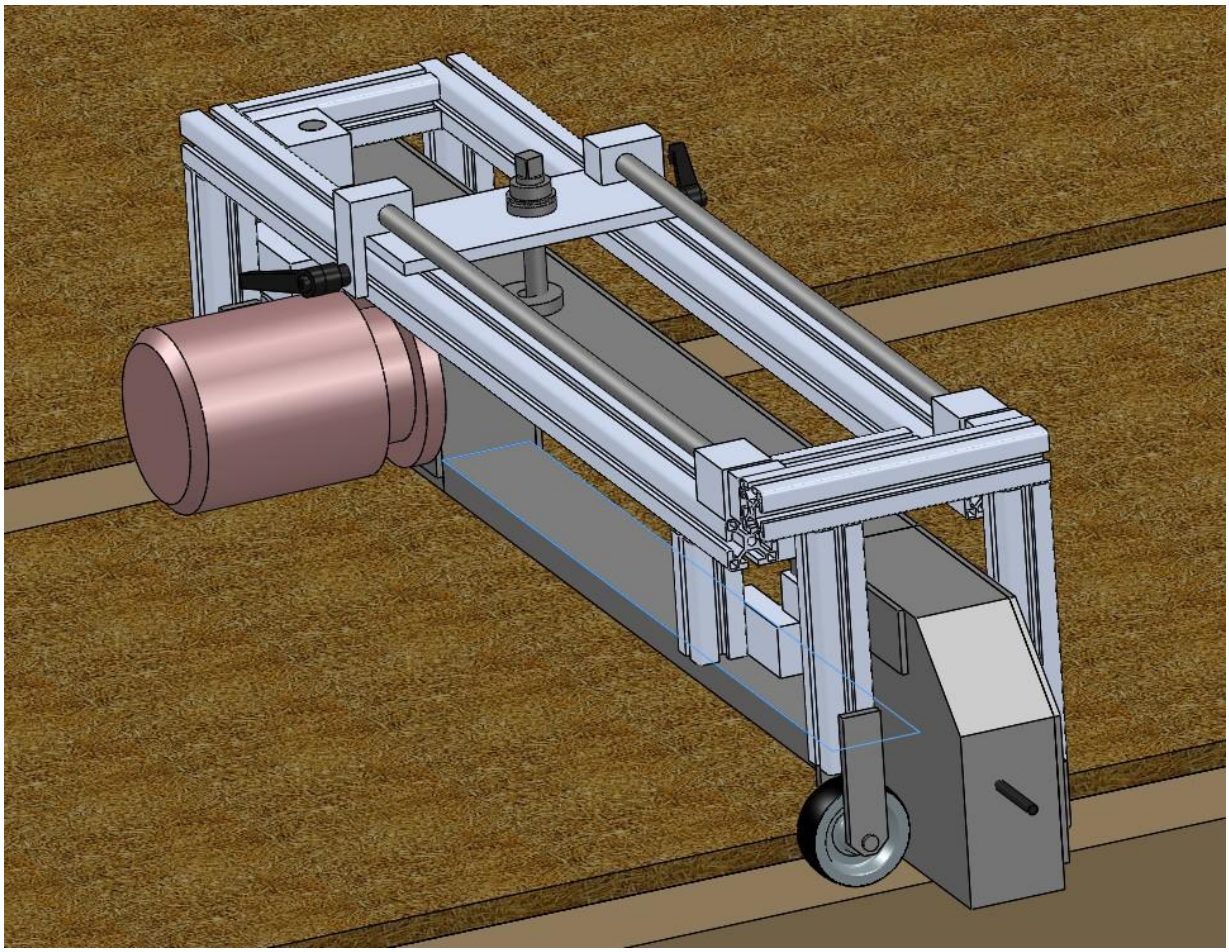
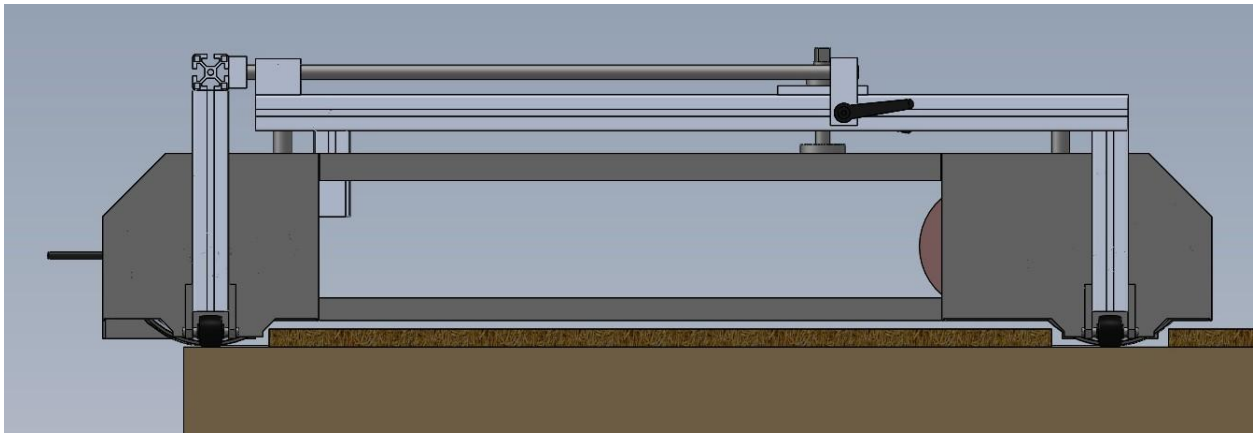
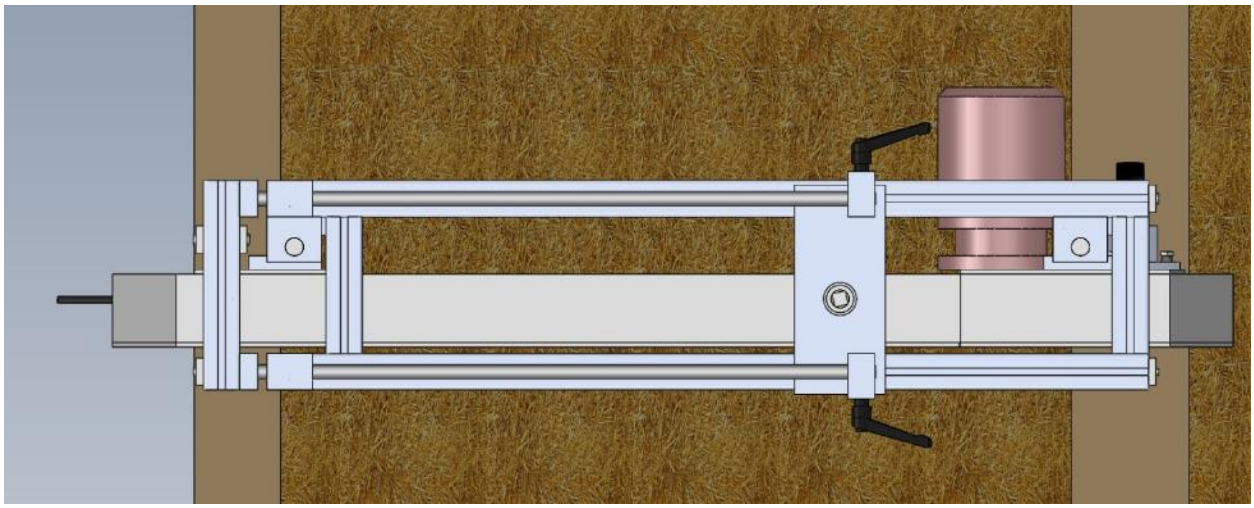
Andere Komprimierungstechniken sind möglich.

Alternativ zur Verdichtung kann eine gleichmäßige Ausfachung auch durch Dekomprimierung erreicht werden. Dies ist möglich bei Strohballen hoher Rohdichte. Die Ballen werden so eng wie praktisch möglich eingebaut. Auch hier wird die letzte Strohballenlage wie oben beschrieben in der Länge angepasst. Anschließend wird die Schnürung gelöst. Die dann erfolgende Ausdehnung der Strohballen bewirkt eine lückenlose und gleichmäßige Ausfachung. Erfahrungsgemäß lassen sich die besseren Einbauqualitäten mittels Verdichtung herstellen.

Bei beiden Einbauverfahren müssen etwaige Hohlstellen nach dem Komprimieren mit losem Stroh verstopft werden, und zwar so, dass bei einem späteren Verputzen durch das Gewicht des Putzes kein Stroh herausgezogen wird.

Nach dem Einbau muss das Stroh stramm, lückenlos und setzungssicher im Gefach sitzen.

Die erforderliche Rohdichte kann bauseits mit Hilfe eines Prüfgefaches nachgewiesen werden. Dieses Prüfgefach wird mit demselben Verdichtungsgrad befüllt wie das strohgedämmte Bauteil. Daraufhin wird die Rohdichte des Strohs im Prüfgefach bestimmt. Nach der Messung von Temperatur und Luftfeuchte im Prüfgefach wird die Rohdichte auf Bezugsklima 23°C/50% relative Luftfeuchte umgerechnet. Sie muss 85-115 kg/m³ betragen.

3.2 Herstellung von ebenen Strohoberflächen für spätere Bekleidungen

Nach dem Einbau müssen die entstandenen Strohoberflächen egalisiert werden, damit anschließend die Bekleidungen aufgebracht werden können. Grobe Unebenheiten müssen ausgeglichen werden, z. B. mit dem Strohhammer oder durch Körpereinsatz. Anschließend werden die Strohoberflächen eben rasiert. Dafür geeignet sind in jeder Einbausituation Kettensäge oder Heckenschere, im Liegen und evtl. in Dachschrägen auch Motorsense. Nach dem Rasieren ist die Strohoberfläche von losen Strohteilen z. B. mittels Druckluft oder mit einem Besen zu säubern.