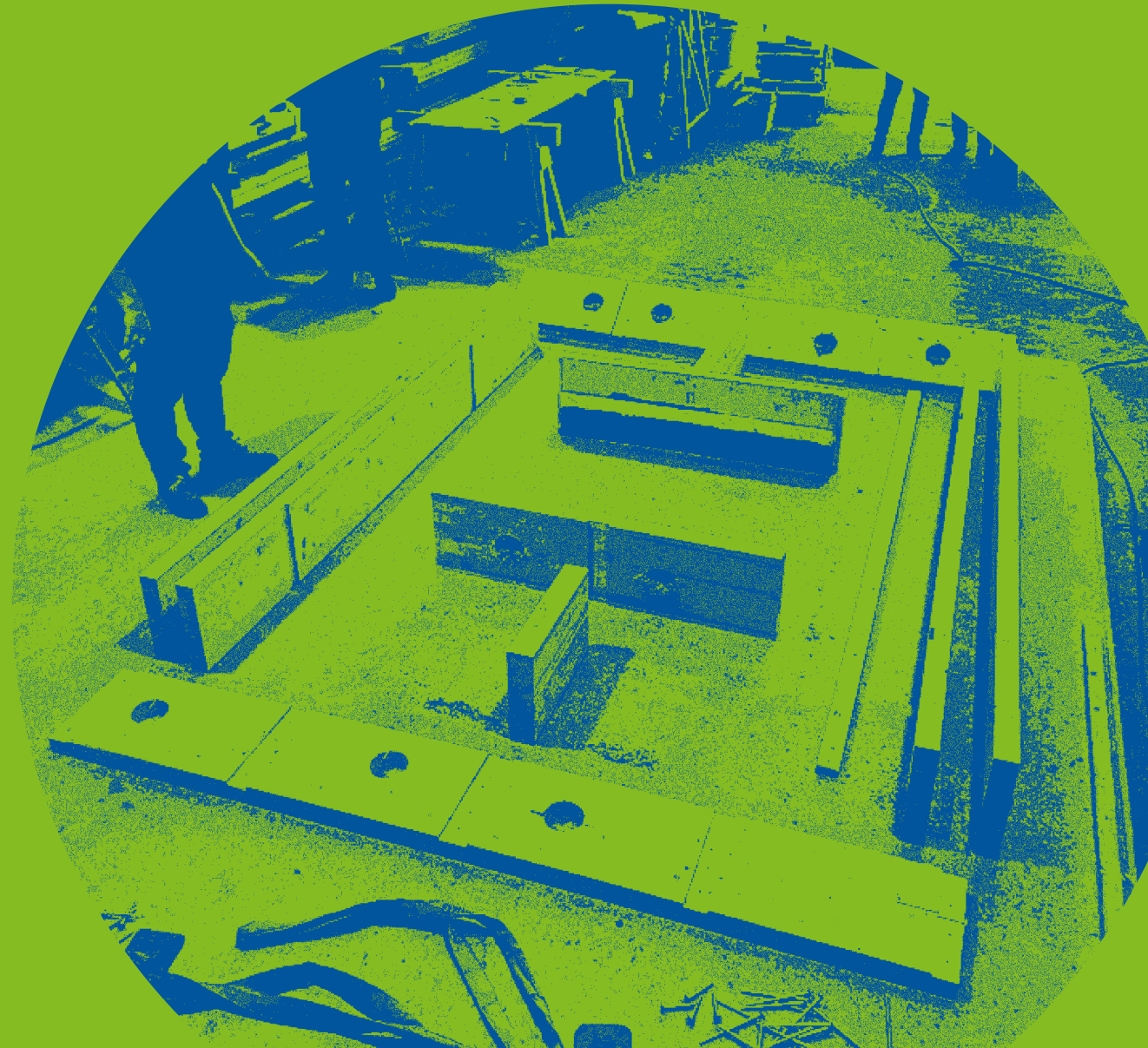


Klimapositiver zirkulärer Holzbau

Rainer Vallentin

Ein pragmatisches Experiment



2 Bericht

Impressum

Klimapositiver zirkulärer Holzrahmenbau - Bericht

Ein pragmatisches Experiment

Bearbeitung:

Vallentin+Reichmann Architekten

Dr. Rainer Vallentin

Frei-Otto-Straße 10

D - 80797 München

Tel.: +49 (0) 89 / 244 058 76-0

Fax: +49 (0) 89 / 244 058 76-29

E-Mail: vallentin@vraie.de

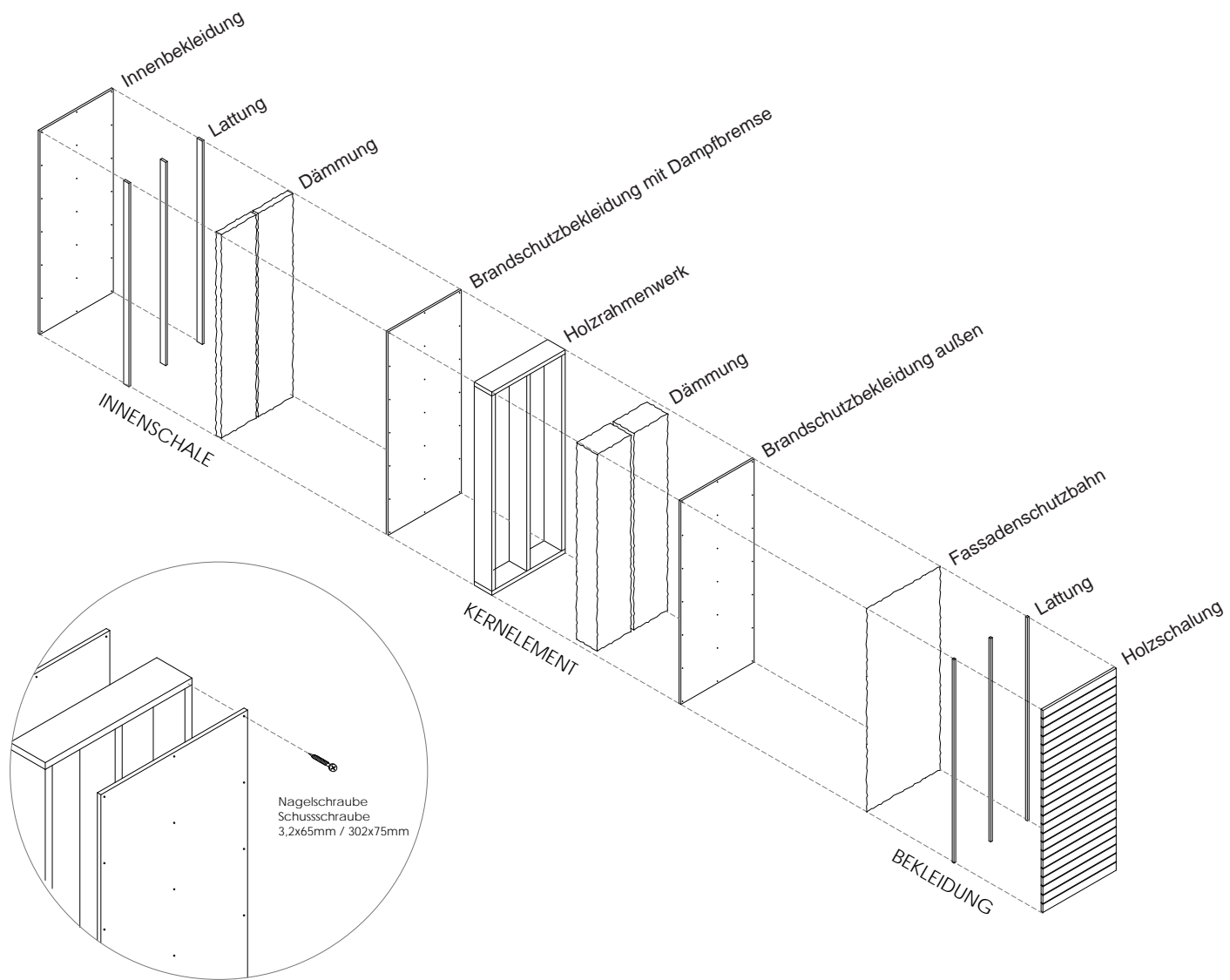
Inhalt

Vorwort	3
Projektpartner	4
Vorversuche	6
Hauptexperiment	12

Grafiken und Fotos: Vallentin+Reichmann Architekten
(andere Fotografen sind direkt bei den Abbildungen genannt)

Das Urheberrecht liegt bei den Autoren.

München, 12.12.2025





Das Experiment fand in der Lehrlingswerkstatt der Holzbaufirma Huber & Sohn statt. Die Lehrlinge waren intensiv an der theoretischen und praktischen Umsetzung beteiligt.

Vorwort

Hiermit wird der Bericht zum Experiment zu einem klimapositiven zirkulären Holzrahmenbau vorgelegt.

Er stellt eine Zusammenfassung der Protokolle dar, die bei den Vorversuchen und beim Hauptexperiment entstanden sind.

Die Konzeption, Planung und die Beschreibung der Vorversuche und des Fassaden-Mockups für das Hauptexperiment können der Konzeptskizze entnommen werden.

Im Anschluss an das Experiment, werden weitere Untersuchungen und Versuche stattfinden, um offene Frage zu beantworten, für die die prinzipielle Machbarkeit eines zirkulären Holzrahmenbaus zunächst geklärt werden sollte. Dazu wird ein weiterer Bericht folgen, der jedoch erst in einigen Monaten vorliegen wird.

Mein spezieller Dank gilt allen Projektpartnern, die durch ihre vorbehaltlose und unkomplizierte Unterstützung die Durchführung des Experiments erst ermöglicht haben.

Besonders hervorheben möchte ich die aktive Unterstützung der Lehrlinge des Holzbaubetriebs Huber & Sohn. Sie haben mit großer Geduld die Vorbesprechungen begleitet und mit großem Arbeitswillen die Vorversuche und am Ende auch das Hauptexperiment praktisch-handwerklich unterstützt.

Projektbeteiligte

Gipsfaserplatten

James Hardie (Fermacell)
Ansprechpartner: Jens Morscheid / Marten Sievert
T. +49 (0)151/14800284 // +49 (0) 171 / 5592 451
jens.morscheid@jameshardie.com // marten.sievert@....

Holzbau

Huber & Sohn
Ansprechpartner: Martin Nachtwey / Alfred Nagler
T. + 49 (0) 8071 / 919 - 0
info@huber-sohn.de

Einblasverfahren

CLIMASONIC
Ansprechpartner: Hannes Buchwinkler
T. +43 6272/21909 // +43 676 / 733 1103
hannes.buchwinkler@climasonic.com

Strohdämmung

ISO-STROH
Ansprechpartner: Leopold Kasseckert
T. +43 664 / 8814 6614 // +43 664 / 4002 798
office@iso-stroh.net

Befestigungsmittel

ITW Haubold
Ansprechpartner: Jens Hödel
T. +49 (0) 175 / 9311 254
j.hoedel@itw-befestigungssysteme.de

Generalunternehmer

dad Gruppe
Ansprechpartner: Bledar Dodaj
T. +49 (0) 173 / 697 9415
bdodaj@dad-gruppe.de

Abdichtkomponenten / Fassadenschutzbahn

pro clima
Ansprechpartner: Guido Menzel // Markus Kilian
T. +49 (0) 175 4139 381 // +49 (0) 160 / 5411 994
guido.menzel@proclima.com // markus.kilian@proclima.com

Recycling-EPS-Dämmung (Dämmanschlag Fenster)

Compacfoam
Ansprechpartner: Florian Nowy
T. +49 (0) 676 / 841 371 13
florian.nowy@comacfoam.com

Wissenschaftliche Begleitung

Energieinstitut Vorarlberg
Ansprechpartner: Martin Ploss
T. +43 5572 / 3120 285
martin.ploss@energieinstitut.at

Wissenschaftliche Begleitung (Eventuelle spätere Versuche zu Statik und Erdbebensicherheit)

RWTH Aachen
Ansprechpartner: Lukas Rauber
T. +49 (0) 241 / 80 - 24797
rauber@stb.rwth-aachen.de

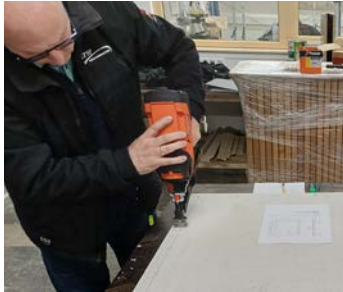
Tragwerksplaner

lieb obermüller + partner
Dr. Markus Lieb
T. +49 (0) 089 / 235 559 -23
lieb@lop.de

Sachverständiger (Abdichtungsfragen, Schutzkonzepte)

Norbert Hirschbeck
T. +49 (0) 176 / 1024 7876
norbert.hirschbeck@bharchitekten.de

Vorversuche



Einbringen Nagelschrauben mit Gasdrucknagler



Entfernen schwerlösbarer Nagelschraube mit Spachtel



Säubern einer durch Plastikbandreste verschmutzten Nagelschraube

In den Vorversuchen wurden Einzelfragen geklärt, die abgetrennt vom Hauptversuch hinsichtlich prinzipieller Ausführbarkeit, geeigneter Werk- und Halbzeuge sowie optimierter Arbeitsabläufe von Bedeutung sind. Dabei stehen vor allem die Punkte im Vordergrund, an denen das Hauptexperiment hätte scheitern können:

- 1 Suche nach einer gut umsetzbaren Alternative zu den üblichen Klammerverbindungen, die eine zeit- und kosteneffiziente Montage und Demontage ermöglichen würde. Konkret wurde der Vorversuch mit Nagelschrauben durchgeführt, die wie Nägel mit Hilfe von Schussapparaten eingebracht und damit auch in der Vorfertigung eingesetzt werden können. Sie werden heute z.B. bei der Befestigung von Holzschalungen bereits eingesetzt. Zu klären ist jedoch, ob Nagelschrauben bei Platte-Holzverbindungen mit ihren zahlreichen Befestigungspunkten zuverlässig und mit geringem Zeitaufwand wieder lösbar sind.
- 2 Ausbildung des unteren Fensteranschlusses. Während des Lebenszyklus sind Fenster und Fassadenbehang mehrmals zu erneuern. Zu prüfen ist, wie dies mit möglichst geringen Beschädigungen erfolgen kann. Dabei spielt eine besondere Rolle, ob die vorhandenen Befestigungen, Abklebungen und Abdichtungen so ausgebildet werden können, dass einerseits der Aufwand minimiert werden kann und eine Weiterverwendung bzw. ein Recycling der ausgebauten Komponenten möglich sind.
- 3 Durchführung der Einblas- und Absaugvorgänge einer Stohdämmung in dichte Gefache. Es ist zu klären, wie sich Plattenbrüche vermeiden lassen und inwieweit die vor- und nachgelagerten Arbeiten prozesstechnisch optimiert werden können. Zudem ist nachzuweisen, dass die Strohdämmung setzungssicher ausgeführt werden kann.

1 Nagelschrauben

Die bei Holz-Platte-Verbindungen dominierenden Klammerverbindungen sind zeit-, kosten- und materialsparend. Sie haben sich daher im Holzrahmenbau allgemein durchgesetzt. Allerdings können sie nicht zerstörungsfrei gelöst werden.

Nagelschrauben können ebenfalls zeit- und kosteneffizient mit Gasdrucknaglern eingebracht werden. Jedoch ist offen, ob sie wieder zuverlässig herausgeschraubt werden können. Im Gegensatz dazu erlauben klassische verzinkte Holzschrauben ein problemloses Ein- und Herausschrauben. Bei der Vorfertigung mit Brücken können die Klammer- durch Gasdrucknagler oder Schraubautomaten ersetzt werden. Die Randabstände werden dadurch jedoch größer und damit auch die erforderlichen Holzquerschnitte. Somit existiert ein Zielkonflikt zwischen einem holzsparenden und einem gut zerlegbaren Holzrahmenbau. Dies ist an anderer Stelle näher zu diskutieren.

Nagelschrauben sind ein hybrides Befestigungsmittel. Sie bestehen aus einem nagelförmigen Schaft, der mit schräg und schraubenartig verlaufenden Rillen sowie einem Schraubenkopf für einen Innenantrieb - typisch: Torx - versehen ist. Zumindest in der Theorie sollte eine Nagelschraube nach dem Einbringen nachjustiert sowie durch Herausschrauben wieder gelöst werden können. Nagelschrauben sind in den Ausführungsarten Edelstahl, Stahl verzinkt oder phosphatiert und verschiedenen Abmessungen vorhanden. Üblicherweise werden sie in magazinierte Form, d.h. leim-, draht- oder plastikgebunden geliefert.

Im Vorversuch wurde ein kleiner Holzrahmen (Abmessungen H/B = 120 x 60 cm) aus KVH 60/40 mm gefertigt und mit ei-

ner Gipsfaserplatte (Stärke 10 mm) beplankt. Die Abstände der Nagelschrauben wurden mit $A = 140$ mm festgelegt. Hierbei wurde ausprobiert, wie sich Gipsfaserplatten mit Nagelschrauben in Vollholzprofile befestigen lassen, ohne sie dabei zu beschädigen. Zweitens war zu testen, ob sich die Nagelschrauben im Anschluss nachjustieren und wieder heraus-schrauben lassen. Drittens sollte untersucht werden, ob und wie sich Gipsfaserplatten ein zweites Mal mit Nagelschrauben befestigen lassen.

Versuchsaufbau (siehe Zeichnung Konzeptskizze):

- Holzrahmen aus KVH 40/60 mm; B/L = 60,0 x 120,0 cm
- Nagelschrauben 2,8 x 50 mm, A2, TX15, Serviceclass 3
- Nagelschrauben 2,8 x 50 mm, verz., TX15, Serviceclass 2
- Paslode-Gasdrucknagler IM 90-XI
- Schraubabstände $A = 140$ bzw. 145 mm

Versuchsablauf:

Der Zusammenbau der kleinen Holzrahmen erfolgte mit verschraubten Winkeln bzw. direkter Verschraubung. Die Befestigungspunkte wurden angezeichnet und anschließend die Nagelschrauben mit einem Gasdrucknagler eingebracht. Bereits nach wenigen Versuchen konnten die Nagelschrauben exakt in der vom Hersteller vorgegebenen Tiefe platziert werden. Ein Nachjustieren war daher nicht notwendig. Eine Beschädigung der Gipsfaserplatten war nicht zu beobachten. Jedoch waren in den Vertiefungen der Innenantriebe häufiger Reste der Plastikbänder für die Magazinierung zu finden.

Das Wiederlösen der Nagelschrauben gelang in den meisten Fällen. Der Anfangswiderstand ist relativ hoch, so dass besonders bei den Nagelschrauben aus Edelstahl vereinzelt Kopf-abrisse oder Verformungen der Nagelschrauben vor allem im oberen Bereich stattfanden. Dies war bei Nagelschrauben in verzinkter Ausführung nicht mehr der Fall. Schwer lösbare Nagelschrauben konnten mit Hilfe von Spachteln herausgehoben werden, was jedoch einen höheren Zeitaufwand verursachte.

Insgesamt war zu beobachten, dass bei 5 - 20 % der Nagelschrauben das Heraus-schrauben nur mit mehr oder großen Zeitverzögerungen möglich ist, die eine zuverlässige Demontage mit den derzeit verfügbaren Produkten nicht erlauben. Eine erneute Befestigung der Gipsfaserplatten wurde daher nicht ausgeführt.

Beobachtungen:

- Das Einstellen des Gasdrucknaglers für die richtige Eindringtiefe der Nagelschrauben (weder herausstehend noch zu tief, sondern leicht versenkt) ist problemlos.
- Eine Beschädigung oder eine Rissbildung der Gipsfaserplatten durch das Schiessen der Nagelschrauben wurde nicht festgestellt.
- Beim Heraus-schrauben ist zuerst ein hohes Drehmoment erforderlich, um den Anfangswiderstand zu überwinden. Das führt besonders bei Nagelschrauben aus Edelstahl bis weilen zum Kopfabriss oder Verformungen.
- Einzelne Nagelschrauben liessen sich nur durch Heraushebeln mit einem Spachtel o.ä. ablösen. Der Zeitaufwand hierfür ist relativ groß.
- Eine weitere Ursache hierfür ist die Verschmutzung der Vertiefungen der Innenantriebe durch die Reste der Magazinierung aus Plastik.
- Insgesamt war der Zeitaufwand für die Demontage etwa 7 - 10 Mal größer als der für die Montage.

Fazit:

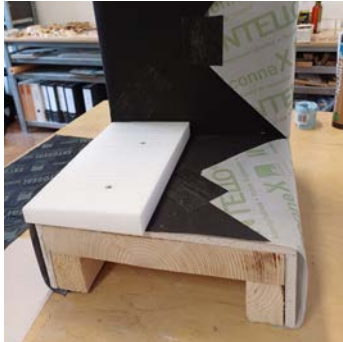
Nagelschrauben sind ein geeignetes Verbindungsmittel, wenn eine prinzipiell demontierbare Befestigung gewünscht wird, die im Ausnahmefall ein Lösen einzelner Elemente erfordert (z.B. Befestigung einer Holzschalung). Bei den momentan verfügbaren Formen und Abmessungen sind Nagelschrauben jedoch nicht geeignet, wirtschaftlich demontierbare Holz-Platte-Verbindungen im Holzrahmenbau zu ermöglichen. Daher wurde entschieden, das Hauptexperiment mit verzinkten Holzschrauben auszuführen.



Zustand Nagelschrauben nach dem Heraus-schrauben



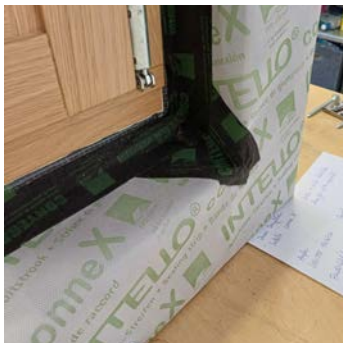
Edelstahl-Nagelschraube (links), verzinkte Nagelschraube (Mitte) und Doppelkopfnagel (rechts)



Einschlagen Dampfbremse und Fassadenschutzbahn in Laibung und Aufbringen Dämmkeil



Verlegen Folienschürze mit seitlichem Hochzug



Fensterdichtband innen mit Sicherung der Ecke

2 Unterer Fensteranschluss

Der Fensteranschluss ist ein bauphysikalisch anspruchsvolles Detail, bei dem Anforderungen hinsichtlich Statik, Luftdichtigkeit, Feuchte- und Schlagregenschutz sowie Wärmeschutz inklusive Wärmebrückenvermeidung zu erfüllen sind. Von der konkreten Planung und Ausführung der Anschlüsse hängen letztendlich sogar die Dauerhaftigkeit und Robustheit der Holzrahmenkonstruktion insgesamt ab.

Im Zusammenhang des zirkulären Bauens interessiert besonders, wie sich der Fenstertausch am Ende der Nutzungsdauer (z.B. nach 50 Jahren) ausführen lässt. Ziel ist, dass bei der Erneuerung das alte Fenster mit geringem Aufwand und ohne Beschädigung der angrenzenden Bauteile ausgebaut werden kann. Anschließend ist ein neues Fenster so einzubauen, dass die volle Funktionsfähigkeit des Fensters inklusive der Anschlüsse wiederhergestellt wird.

Im Regelfall wird das Kernelement erhalten bleiben, während im Rahmen einer Generalsanierung alle Innen- und Außenbekleidungen inklusive Dampfbremse und Fassadenschutzbahn erneuert werden. Bei der Außenbekleidung ist die Nutzungsdauer vor allem durch den Fassadenbehang (z.B. Holzschalung) begrenzt. Bei der Innenbekleidung ist der Anlass für eine Erneuerung zumeist eine veraltete Haustechnik (Leitungsführung und Installationen, insbesondere bei der Elektrik) oder der Wunsch nach einer Erneuerung der Innenoberflächen.

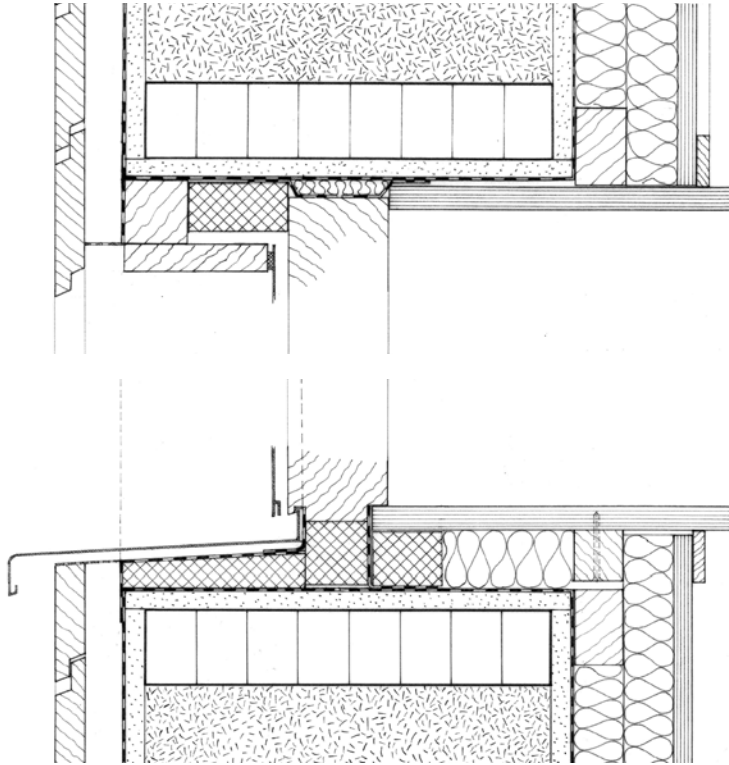
Idealerweise sind die Nutzungsdauern von Fenster, Innen- und Außenbekleidung identisch. Ansonsten ergeben sich zusätzliche Fragen, die sich im Zusammenhang einer schrittweisen Modernisierung immer stellen. Sie betreffen die Reihenfolge und gegenseitige Vorbereitungen der Einzelschritte. So oder so ergibt sich, dass der Fenstertausch während der statistischen Lebensdauer des Gebäudes von 80 - 200 Jahren wenigstens einmal, zumeist sogar mehrmals, erfolgen wird.

Versuchsaufbau (siehe Zeichnung):

Für den Vorversuch wurde der untere Fensteranschluss in Form eines Fassadenausschnittes im Maßstab 1/1 aufgebaut und in allen Einzelschritten dokumentiert.

Im Vorfeld wurde zunächst der generelle Wandaufbau mit seiner Schichtenfolge und danach die Ausbildung der Anschlusssituationen (unten + seitlich + oben) abgeklärt:

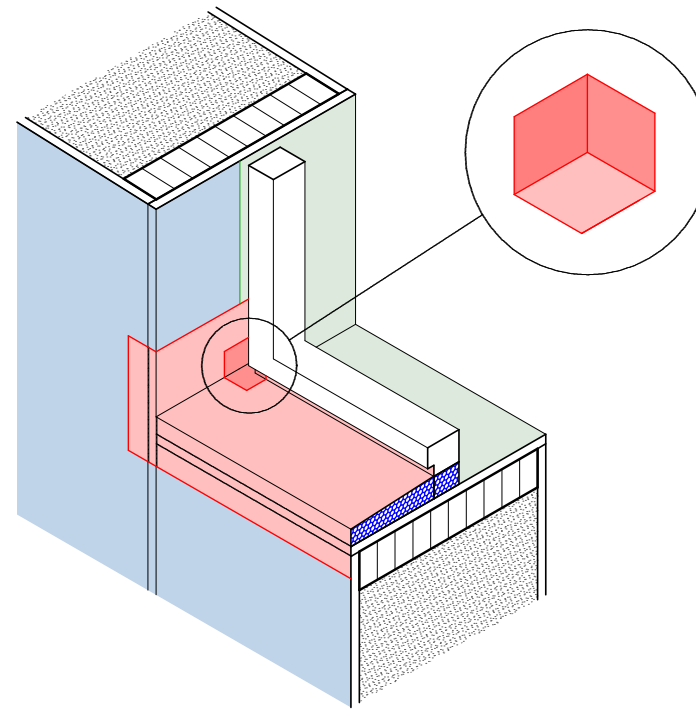
- Die strohgedämmten Holzrahmenelemente werden beidseitig mit Gipsfaserplatten bekleidet.
- Die so gebildeten Kernelemente werden innenseitig mit einer Dampfbremse und außenseitig mit einer Fassadenschutzbahn versehen.
- Die Fenster sind mit Abstandsschrauben direkt in das Holzrahmenwerk befestigt.
- Der Fensterstock erhält außenseitig eine Überdämmung, um die Einbauwärmebrücke zu begrenzen.
- Unterseitig ist ein Dämmkeil aufgebracht, auf dem eine Folienschürze verlegt ist.
- Die Abdichtung erfolgt innen und außenseitig mit Fensterklebebandern, um einen luft- und schlagregendichten Anschluss zu gewährleisten.
- Das Fensterblech wird mit einem vertikalen Abstand von 8 - 10 mm zur Folienschürze montiert und wird am Fensterstock mit Anschraubdichtung und Dichtschrauben befestigt. Außenseitig erfolgt die Befestigung mit Fensterblechhaltern, um eine spätere Demontage zu erlauben.
- Damit der Fensteranschluss innenseitig zerstörungsfrei zugänglich ist, wurde eine Fensterrahmung aus Holz gefertigt, die ebenso wie die Innenbekleidung mit Deckleisten sichtbar aufgeschraubt ist. Wäre hier eine Trockenbaubekleidung ausgeführt worden, müsste diese beim Fenstertausch teilweise entfernt und danach wiederhergestellt werden.
- Die Zugänglichkeit des äußeren Fensteranschlusses beim Fensteranschluss ist durch die Überdämmung gegeben.
- Die Wechselfalzschalung ist als sog. „Wendeschalung“ ausgebildet und damit potenziell wiederverwendbar.



Fensteranschluss oben / unten

Versuchsablauf:

Nach dem Herstellen der Fensteröffnung mit Gipsfaserbekleidung wurden zunächst die Dampfbremse und die Fassadenschutzbahn aufgebracht. Anschließend wurde der Dämmkeil und die Folienschürze verlegt. Danach erfolgte die Befestigung des Fensterausschnittes mit bereits am Stock angeklebten Fensterdichtbändern. Letztere wurden auf die Dampfbremse und Schutzbahn angedichtet. Schließlich wurden die Außen- und Innenbekleidung aufgebracht.



Axonometrie des unteren Fensteranschlusses mit Darstellung der Dampfbremse (grün), Fassadenschutzbahn (blau). Unter dem Fensterblech ist ein Dämmkeil platziert (blau schraffiert), auf dem die Folienschürze (rot) verlegt ist. Zusätzlich ist am sog. „Gewerkeloch“ eine Dichtecke aufgebracht, um zu verhindern, dass an dieser kritischen Stelle Schlagregen eindringen kann.

Beobachtungen / Fazit:

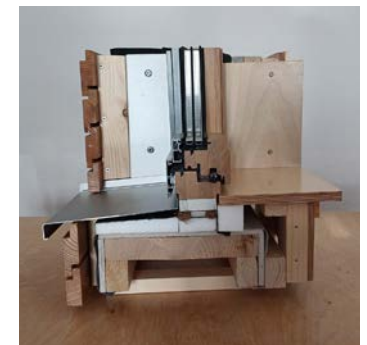
In der kritischen Ecke („Gewerkeloch“) ist die Folienschürze mit einer Dichtecke zu ergänzen. Der Abstand zwischen Folienschürze und Fensterblech sollte ca. 8 - 10 mm betragen, damit Schlagregen unter dem Fensterblech sauber nach außen abgeführt werden kann. Die Befestigung des Fensterblechs mit Kleberaunen o.ä. macht einen zerstörungsfreien Rückbau unmöglich. Daher sollten spezielle für den Holzbau geeignete Fensterblechhalter zur Anwendung kommen.



Anschluss Fensterdichtband auf der Folienschürze. Zustand vor dem Einbringen der Dichtecke.



Schnittansicht Fensteranschluss ohne Innen- und Außenbekleidung



Schnittansicht Fensteranschluss mit Innen- und Außenbekleidung



Plattenbruch beim Einbringen der Strohdämmung in dichte Gefache ohne Stützlattungen



Holzrahmenelement mit sog. „Brille“, die einen Plattenbruch verhindert.



Druckentlastungsöffnung mit Staubbeutel

3 Einblasen und Absaugen von Strohdämmung

Durch die Bildung von geschlossenen Gefachen erfüllt der Holzrahmenbau eine wichtige Voraussetzung zum Einbau von Einblasdämmungen. Sie sind kostengünstig und weisen bei fachgerechtem Einbau eine hohe Dämmqualität auf. Biogene Dämmungen sind im Holzbau zudem aus bauphysikalischer Sicht vorteilhaft. Als sorptive Materialien weisen sie eine höhere Fehlertoleranz hinsichtlich Feuchteschutz auf, als die immer noch dominant eingesetzte Mineralwolle, die dann zu meist händisch in Form von Matten eingebaut wird.

Einblasdämmungen können mit unterschiedlichen Dämmmaterialien ausgeführt werden. Voraussetzung ist, dass sie so aufbereitet werden, dass sich ein Luft-Material-Gemisch ergibt, dass sich kontrolliert und setzungssicher in die Hohlräume einblasen lässt. Als Dämmstoffe werden hierbei bislang vor allem Zellulose, Holzfasern, EPS- und Perlite-Kügelchen, bisweilen auch Glas- bzw. Steinwolle eingesetzt.

Die zugehörige Einblastechnik ist ausgereift. Jedoch bringt der Einbau in dichte Gefache und die Verwendung von Stroh als Einblasdämmung gewisse Herausforderungen mit sich, die eine genauere Untersuchung erforderten:

- Für eine setzungssichere Ausführung muss das Stroh mit einer hohen Rohdichte von 105 - 115 kg/m³ eingebracht werden. Diese liegt ungefähr doppelt so hoch wie bei den Dämmstoffen Zellulose oder Holzfasern.
- Dies erfordert eine Aufbereitung der Strohfasern (Schneiden, Zerkleinern, „Hobeln“) in speziellen Maschinen.
- Wird die Strohdämmung in dichte Gefache eingeblasen, besteht die Gefahr eines Plattenbruchs, weil beim Einblasvorgang größere Druckunterschiede auftreten. Dies gilt insbesondere für Platten, die luftdicht sind und die aus diesem Grund häufig im Holzbau Anwendung finden (z.B. Gipsfaser-, OSB-, Span- und Sperrholzplatten).

- Das Herstellen, Verschließen und Wiederöffnen der Einblasöffnungen und deren spätere Auffindbarkeit ist ein weiteres Thema, das genauer abgeklärt werden sollte. Zudem ist zu prüfen, welche Brandschutzanforderungen an diese Öffnungen gestellt werden und wie diese mit möglichst geringem Aufwand erfüllt werden können.
- Schließlich ist zu testen, wie der Ausblasvorgang, die Zwischenlagerung und der Wiedereinbau der Strohdämmung ablaufen und ggf. optimiert werden können.

Geplanter Ablauf:

- Klärung Maßnahmen zur Vermeidung von Plattenbrüchen
- Einbringen Stroh-Einblasdämmung
- Schließen Einblasöffnungen (inkl. Funktionserhalt Luftdichtung und Dampfbremse + spätere Wiederauffindbarkeit)
- Öffnen Einblasöffnungen
- Ausblasen Strohdämmung in sog. Saugfässer und in die darin befestigte Big-Packs
- Zustandsfeststellung/Dokumentation im Hinblick auf die Weiterverwendung für neue Dämmarbeiten
- Wiedereinblasen und Schließen Einblasöffnung

Für das Einbringen von Einblasdämmungen kommen grundsätzlich drei Verfahren in Frage:

- 1 Liegendes Einblasen mit Schlauch:
Die Holzrahmenelemente liegen hierbei einzeln oder in gestapelter Form auf dem Boden bzw. Werk Tisch. Die Einblas- und Entlastungsöffnungen werden stirnseitig in das Schwell- bzw. Rähmholz gebohrt. Es sind somit zwei Öffnungen je Gefach vorzusehen. Eine für den Einblasschlauch; die andere für die Druckentlastungsdüse mit Staubbeutel. Beim liegenden Einblasen wird der mit biegsamen Draht verstärkte Schlauch bis an das gegenüberliegende Ende des Gefaches positioniert und gemäß Dämmfortschritt Stück für Stück herausgezogen. Dabei treten erfahrungsgemäß die größten Druckunterschiede auf.

2 Stehendes Einblasen mit Schwenkdüse:

Diese Variante ist vor allem für das bauseitige Einbringen der Dämmung von Bedeutung. Die Einblas- und Entlastungsöffnungen werden im oberen Bereich der innenseitigen Bekleidung (typischerweise Gipsfaser- und OSB-Platten) nebeneinander hergestellt. Das Einblasen erfolgt mit einer Schwenkdüse mit Hilfe der Schwerkraft. Das Gefach wird von unten nach oben gefüllt, wobei die Schwenkdüse eine gleichmäßige Verteilung der Dämmmasse ermöglicht. Dieses Verfahren ist im Hinblick auf die Druckunterschiede schonender als das liegende Einblasen.

3 Automatisiertes Einbringen mit Einblasplatten:

Eine weitere Möglichkeit stellt der Einsatz von Einblasplatten als automatisiertes Dämmverfahren im Zuge der Vorfertigung der Holzrahmenelemente dar. Hierbei wird das Rahmenwerk zunächst einseitig beplankt, dann gewendet und das offene Riegelwerk von oben mit der jeweiligen Einblasdämmung gefüllt. Dafür ist die Einblasplatte mit einem "Tuch" durch das die mit eingeblasene Luft entweichen kann. Dadurch kann ein Plattenbruch ausgeschlossen werden. Der Füllvorgang selber (speziell die Einstellung des Luft-Material-Gemisches) erfolgt über spezielle Programme und erfordert sorgfältig durchgeführte Vorversuche um eine gleichmäßige und setzungssichere Einbringung zu gewährleisten.

In den Vorversuchen stellte sich die Vermeidung von Plattenbrüchen als die größte Herausforderung dar. Aufgrund der hohen Rohdichte von Stroh, der verhältnismäßig tiefen und zugleich dichten Gefache und der bruchempfindlichen Gipsfaserplatten war der Einsatz von Druck-Entlastungsöffnungen alleine nicht ausreichend. Erst mit dem Einsatz von Stützlattungen (Lattenabstand ca. 40 cm) ist der Plattenbruch zuverlässig vermeidbar. Hilfreich sind hier sog. „Brillen“, d.h. vorgefertigte Lattengerüste, die immer wieder verwendet werden können. Bei Einblasplatten tritt Plattenbruch grundsätzlich nicht auf.

Das Herstellen und Verschließen der Einblas- und Entlastungsöffnungen ist als arbeitsvorbereitender Vorgang gut zu planen und mit einem gewissen Zeitbedarf verbunden. Beim Verschließen sind die Brandschutzanforderungen zu beachten. Werden die Öffnungen in Schwell- oder Rähmholz ausgeführt hat dies Auswirkungen auf die Schutzwirkung von Verblockungen, z.B. beim Elementstoß bzw. Deckenanschluss. Bei Öffnungen der Brandschutzbekleidung sind die Öffnungen so zu verschließen, dass ihre Schutzwirkung nicht beeinträchtigt wird. Bewährt hat sich das Überkleben mit Klebepads (luftdichter Anschluss) und das anschließende Überdecken mit einem Plattenstück. Die Auffindbarkeit für das spätere Aussaugen ist hingegen in allen Fällen gewahrt.

Schließlich wurde getestet, wie der Ausblasvorgang, die Zwischenlagerung und der Wiedereinbau ablaufen können. Dafür sind die Holzrahmenelemente einseitig zu öffnen. Im liegenden Zustand kann die Strohdämmung problemlos mit dem Schlauch oder speziellen Lanzen abgesaugt werden. Für den Absaugvorgang sind spezielle, leistungsfähige Maschinen notwendig. Das Material wird in ein sog. Saugfass geleitet, das mit Big-Packs ausgekleidet ist. Sobald diese gefüllt sind kann der Sack herausgehoben und für die weitere Verwendung zwischengelagert werden.

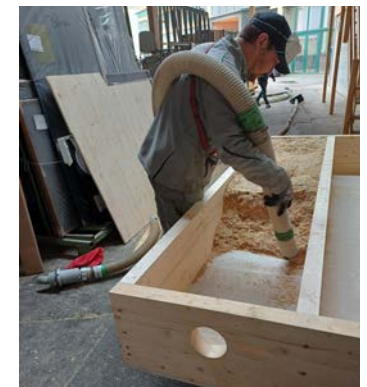
Bei den Vorversuchen wurde auch die Dämmqualität begutachtet. Die Stroheinblasdämmung ist im Gefach dicht gepackt aber wie bei einem Schüttgut freibeweglich. Es findet keine Verfilzung statt, wie sie typisch für die Zellulose- und Holzfasereinblasdämmung ist. Die lose Form ist ein Vorteil für die Wiederverwendung, jedoch u.U. ein Nachteil für den Brandschutz. Beim Versagen der Brandschutzbekleidung kann der Dämmstoff aus dem Gefach herausrieseln. Bei einem Vorversuch wurde daher eine Beimischung von 20 % Holzfasern zur Strohdämmung vorgenommen. Dies war bereits ausreichend, um ein Herausrieseln der Dämmung zu verhindern. Hier zeigt sich u.U. ein weiterer Entwicklungsbedarf.



Liegendes Einblasen der Strohdämmung mit Schlauch



Offenes Gefach mit perfekt eingebrachter Strohdämmung



Absaugen von Stroh mit Schlauch

Hauptexperiment

Nach der Durchführung der Vorversuchen wurde im Hauptversuch ein Fassaden-Mockup mit Fenster geplant und aufgebaut um anschließend komplett zerlegt und wiederaufgebaut zu werden. Dabei wurden folgende planerische, bautechnische und methodische Fragen verfolgt:

- 1 Beim zirkulären Bauen wird oft behauptet, dass eine Konstruktion vollständig zerlegbar und/oder wiederverwendbar sei, ohne dies jemals getestet zu haben. Ein Experiment führt - oftmals ziemlich gnadenlos - vor Augen, an welchen Stellen der hehre theoretische Anspruch scheitern kann. Oftmals braucht es viele weitere Versuche, bis eine allgemein umsetzbare Lösung gefunden werden kann. Bisweilen sind Neuentwicklungen notwendig, selbst, wenn wie hier, nach einer Standardlösung gesucht wird.
- 2 Der Ablauf von Konzeption, Planung, Ausführung und Rückbau sowie Wiederaufbau findet in derart zeitlich gestraffter Form statt, dass gut funktionierende und herausfordernde Teilschritte schnell identifiziert werden können. Im Team können dann zeitnah Lösungsansätze entwickelt werden.
- 3 Schließlich soll aufgezeigt werden, dass Mockups methodisch gut geeignet sind, um einen praktischen Nachweis der Zerlegbarkeit und für das zirkuläre Bauens zu führen. Erstens werden sie häufig ohnehin gebaut, um die gestalterischen, funktionalen und baupraktischen Fragen im Vorfeld der Vorfertigung zu beantworten und ausführungstechnisch im räumlichen Zusammenhang zu lösen. Zweitens sind sie ohnehin zurückzubauen und können in diesem Zuge als Test für ein geordneten Rückbau dienen. Drittens können dabei die im Laufe des Lebenszyklus anstehenden Erneuerungs- und Instandsetzungsschritte (z.B. Fenstertausch, Erneuerung Fassadenbehang, Ertüchtigung Elektrik) erprobt und optimal vorbereitet werden.

Planung und Aufbau Fassaden-Mockup

Vom Holz- und Fensterbaubetrieb Huber&Sohn wurde ein Holz-Alu-Fenster zur Verfügung gestellt. Als Ausschussfenster hatte es keine weitere Verwendung. Das Mockup wurde entsprechend um dieses Fenster „herumgeplant“. Ansonsten ist das 1:1-Fassadenmodell exakt zwei Plattenbreiten der Gipsfaserbekleidung breit ($2 \times 125 = 250$ cm) und 290 cm hoch. Das entspricht einer typischen Geschosshöhe im Wohnungsbau mit 250 cm Raumhöhe und 40 cm Deckenaufbau. Im Bereich des Deckenaufbaus ist die Installationsebene unterbrochen.

Das Kernelement besteht aus einem strohgedämmten Holzrahmenelement mit Holzrippen BSH 6/32 cm und beidseitigen Brandschutzbekleidungen aus Gipsfaserplatten mit einer Stärke von 15 mm.

Die Fassadenschutzbahn und die Dampfbremse decken jeweils die Gipsfaserplatten außenseitig ab und können damit auch die Funktion des Bauzeitenschutzes übernehmen. Klebebänder bzw. Fugenbänder kommen beim Fensteranschluss und für die Verbindung zwischen Fassadenschutzbahn und Dampfbremse zum Einsatz.

Die Außenbekleidung ist als horizontal verlegte Wechselfalzschalung auf einer senkrechten Lattung ausgebildet. Sie wurde eigens in punktsymmetrischer Form gefertigt, um sie am Ende der Nutzungszeit als Wendeschalung wiederverwenden zu können.

Als Innenbekleidung wurde eine Installationsebene in Form einer vollständig gedämmten Kreuzlattung mit aufgeschraubten Multiplexplatten 12 mm und Abdeckleisten gewählt.

Für den Fenstereinbau sind zwei Varianten vorgesehen:

- a mit Fensterdichtbändern, wie sie bei einer bauseitigen Montage zum Einsatz kommen.
- b Mit speziellen Fensterfugenbändern, die vor allem im Zuge einer weitgehenden Vorfertigung inklusive Fenstereinbau Verwendung finden.

Unterseitig besteht der Fensteranschluss aus einem Dämmkeil mit darauf verlegter Folienschürze unter dem Fensterblech. Zum Fensterblech hin ist ein Abstand von ca. 8 mm vorgesehen, der zum Einbau von Fensterbankhaltern auch notwendig ist. Die außenseitige Überdämmung des Fensterstocks besteht aus hochverdichtetem Recycling-EPS. Die Aluschalen des Fensters wurden zurückgeschnitten, damit ein wärmebrückenarmer Fensteranschluss ermöglicht werden kann. Innenseitig ist eine leicht vorstehende Fensterrahmung aus Multiplexplatten vorgesehen.

Die Dämmung in den Gefachen wurde als Einblasdämmung aus Stroh ausgeführt. Die biogene Dämmung dient nicht nur als CO₂-Speicher sondern kann als sorptiver Dämmstoff einen Beitrag zur bauphysikalischen Robustheit des Gesamtkonstruktion leisten. Um einen Plattenbruch zu vermeiden, wurden zusätzliche Stützlatten aufgebracht, diese sind im Falle der Kreuzlattungen auch nur eingeschoben worden. Die Dämmung der Installationsebene besteht aus flexiblen Holzfaserdämmmatten.

Alle Verbindungen wurden mit üblichen verzinkten Holzschrauben ausgeführt. Nur im Bereich der Innenbekleidungen sind Schrauben aus Edelstahl mit Rosetten eingesetzt worden, um die Verbindungsmittel zu betonen und sichtbar zu machen. Die Abstände der Verbindungsmitteln richten sich nach den Herstellerangaben (z.B. für die Fermacellplatten) oder sind nach pragmatischen Gesichtspunkten gewählt worden (z.B. bei den Innenbekleidungen).

Konstruktionsaufbau Mockup

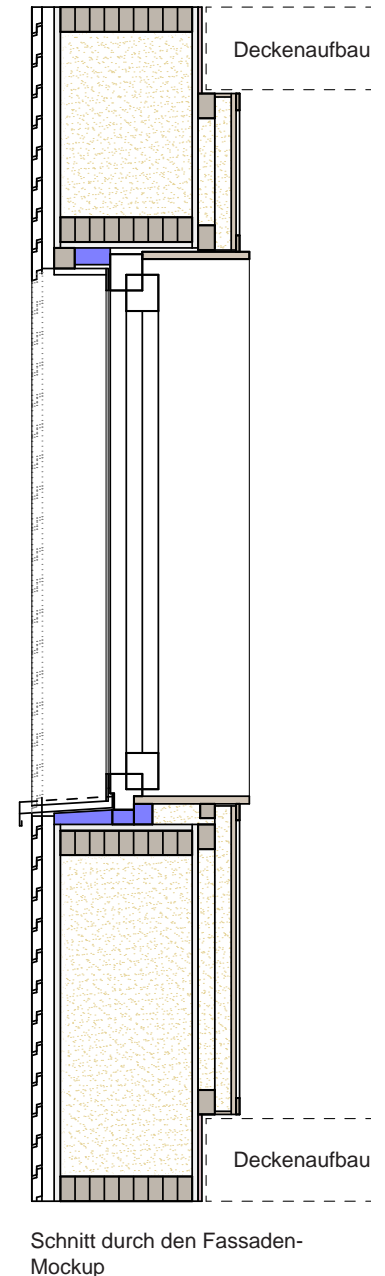
In der nebenstehenden Abbildung ist der Schnitt durch den Fassaden-Mockup mit folgender Schichtenfolge dargestellt:

- Wechselfalزشchalung, 24 mm
- Hinterlüftung/Lattung, 30 mm
- Fassadenschutzbahn
- Gipsfaserplatte, 18 mm
- Holzrahmenwerk/Strohdämmung, 320 mm
- Gipsfaserplatte, 15 mm
- Dampfbremse
- Kreuzlattung mit Holzweichfaserdämmung, 80 mm
- Multiplexplatte, beschichtet, 12 mm
- Deckleisten, sichtbar verschraubt
- Fensterrahmung aus Multiplexplatten, beschichtet, 18 mm
- Holz-Alu-Fenster
- Überdämmung Fenster aus hochfestem Recycling-EPS

Arbeitsvorbereitung

Für jede Bauteilschicht wurde ein separater Plan mit Angabe aller Bauteilabmessungen bzw. Volumen und aller Fugenbreiten sowie Befestigungspunkte gefertigt. Damit ergibt sich nebenbei auch ein exaktes Inventar der benötigten und eingesetzten Materialien. So konnte zudem erkannt werden, wo sich Zwangspunkte und Achsenverschiebungen ergeben, die im Hinblick auf die Positionierung der Unterkonstruktionen und die spätere Zerlegbarkeit eine Rolle spielen. Sonderlösungen wurden nur an wenigen Stellen verfolgt:

- Die Wechselfalزشchalung wurde von den Lehrlingen in punktsymmetrischer Form als „Wendeschalung“ mit der Fräse gefertigt.
- Die Dämmprofile aus hochfestem Recycling-EPS (blau) wurden individuell aus Plattenmaterial zugeschnitten.



Aufbau Fassaden-Mockup

Der Aufbau des Fassaden-Mockups wurde in folgender Reihenfolge ausgeführt:

- 1 Zusammenbau des Holzrahmenwerk mit Hilfe von Einfrä-sungen im Schwell- und Rähmholz plus Verschraubungen.
- 2 Auflegen und Befestigung der Gipsfaserplatte inklusive Herausschneiden der Fensteröffnung und anschließendem Bekleiden der Fensterlaibungen ebenfalls mit Gipsfaser-platten.
- 3 Aufbringen Dampfbremse und der Kreuzlattung für die Aus-bildung der Installationsebene.
- 4 Wenden des Elements
- 5 Auflegen der zweiten Gipsfaserplatte und anschließendes Aufschrauben auf das Rahmenwerk.
- 6 Herstellen der Einblas- und Entlastungsöffnungen für das spätere liegende Einblasen der Strohdämmung.
- 7 Aufbringen der provisorischen Stützlattungen
- 8 Einblasen der Strohdämmung in die Gefache
- 9 Ergänzen Dämmung und Schließen der Einblas- und Ent lastungsöffnungen mit Klebepads.
- 10 Aufbringen der Fassadenschutzbahn, Einschlagen in die Fensteröffnung und Verbinden mit Dampfbremse in der Fensterebene.
- 11 Dämmkeil unter Fenster befestigen und Aufbringen Folien-schürze (seitlich hochgeführt und vorne heruntergezogen)
- 12 Aufbringen Fassadenlattung und Wechselfalzschalung
- 13 Aufstellen des Elements
- 14 Montage Fensterstock mit Fensterdicht- bzw. Fensterfugen-bändern.
- 15 Herstellen der äußeren Fensteranschlüsse (Überdämmung und Lattung sowie Einbau Fensterblech)
- 16 Einbau der Fensterlaibungsbretter mit Kleintierschutz
- 17 Dämmung der Installationsebene
- 18 Einbau der innerern Fensterrahmung, Aufschrauben der Innenbekleidung und Abdeckleisten
- 19 Einhängen der Fensterflügel

Zerlegen

Zu Beginn des Rückbaus im stehenden Zustand wurden zu-nächst die Fensterflügel ausgehängt., die innere Fensterrah-mung ausgebaut und die Innenbekleidung, bestehend aus Mul-tiplexplatten und Abdeckleisten, entfernt. Durch die gut sicht-baren Schrauben konnten diese Arbeiten in kürzester Zeit erle-digt werden. Die Ablage erfolgt platzsparend und übersichtlich in einem Stapelwagen. Alle Elemente wurden bezeichnet, um sie sie beim Wiederaufbau an der exakt gleichen Stelle in die vorhanden Bohrlöcher befestigen zu können.

Als nächster Schritt wurde die Installationsebene, bestehend aus einer Kreuzlattung mit dazwischen verlegten flexibler Holz-weichfaserdämmung entfernt.

Anschließend konnte die Dampfbremse abgenommen werden. Diese ist danach nicht mehr zum Wiedereinbau geeignet (Lö-cher, Einrisse) und wäre nach 50 Jahren aus Alterungsgründen auch nicht weiter verwendbar. Im stehenden Zustand konnten auch alle Komponenten des äußeren Fensteranschlusses (Lai-bungsbretter, Befestigungslatten, Überdämmung Fenster) und das Fensterblech ausgebaut werden.

Würde man den Rückbau an einem Altbau ausführen, müss-ten nun die Befestigung der nicht-tragenden Fassadenelemen-te an den Decken bzw. an den Elementstößen gelöst werden. Das erfordert dann auch den Rückbau der Fußbodenaufbau-ten. Diese Anschlussstellen sind in der Planung besonders sorgfältig im Hinblick auf diesen wichtigen Schritt zu konzipie-ren. Bei einer tragenden Fassade ist dieser Rückbauschritt nochmals komplexer und die Voraussetzungen für einen ge-ordneten Rückbau entsprechend anspruchsvoller.

Zurück zum Mockup. Es wurde nun mit dem Manitu-Kranwa-gen umgelegt, so dass die Holzschalung mitsamt der darunter liegenden Lattung in liegendem Zustand abgenommen werden

konnte. Anschließend konnte die Fassadenschutzbahn ausgedeckt werden. Auch hier ist eine Wiederverwendung wegen der Löcher, Einrisse und Klebebandreste, vor allem aber wegen dem Ablauf der technischen Nutzungszeit nicht möglich.

Durch das Freilegen des Kernelements konnte nun die außen-seitige Gipsfaserplatte abgeschraubt und seitlich gelagert werden. Am einseitig geöffneten Holzrahmenwerk war es möglich die Dämmqualität zu begutachten. Sie wurde als gut eingestuft. Einzig im Bereich der Einblasöffnung des Gefaches, mit dem begonnen wurde, war eine größere Dämmfistel festzustellen. Verursacht wurde diese durch einen Stromausfall, weil eine Sicherung ausgelöst wurde. Sie wäre übrigens einfach zu beheben gewesen, wenn sie erkannt und genügend Dämmung vor dem Zukleben der Einblasöffnung händisch nachgestopft worden wäre.

Das Absaugen der Strohdämmung mit einer Lanze in das Saugfass und die dort verwahrten Big-Packs verlief völlig problemlos und zügig.

Schließlich wurde der Holzrahmen nochmals gewendet, um auch die zweite Gipsfaserplatte zu entfernen und das Holzrahmenwerk auseinanderzuschrauben. Danach war das Mockup komplett zerlegt.

Begutachtung

Alle Baukomponenten wurden hinsichtlich Oberflächen, Schraublöcher, Rissen und sonstiger Auffälligkeiten begutachtet und anschließend zur Weiterverwendung freigegeben. Dies erfolgte nicht als formalisiertes Verfahren (das noch zu entwickeln wäre) sondern ausschließlich als Sichtkontrolle:

- Gipsfaserplatten: insgesamt vier Platten mit klar abgegrenzten Schraublöchern; Plattenränder scharfkantig; an

einer Stelle leicht eingedrückter Plattenrand.

- Strohdämmung: unauffällig
- Lattungen: unauffällig
- Wechselfalزشالung: unauffällig
- Fenster: Das Ablösen der Fensterdichtbänder ist mühsam; noch schwieriger ist dies bei den Fensterfugenbändern. Es verblieben kleinere kaum zu entferne Klebereste. Eine Wiederverwendung des Fensters ist nach 50 Jahren Nutzungszeit ohnehin eher unwahrscheinlich.
- Dampfbremse und Fassadenschutzbahn: an vielen Stellen kleine Löcher (durch Aufklammern) und kleinere Einrisse. Reste der Klebebänder lassen sich gut ablösen, führen aber z.T. zu weiteren Einrissen. Ein Wiedereinbau war so wieso nicht vorgesehen, weil im Zuge einer Generalsanierung (z.B. nach 50 Jahren) mit Erneuerung des Fassadenbegriffs bzw. der Installationsebene ein Wiedereinbau alterungsbedingt ausscheidet.
- Die Folienschürze konnte als einzige Komponente nicht mit vernünftigen Aufwand abgelöst werden. Sie wurde daher beim Wiederaufbau des Mockups mit Neuware überklebt.
- Nach deren Begutachtung wurde entschieden, die Schraublöcher wiederzuverwenden anstatt wie ursprünglich vorgesehen die neuen Schrauben dazwischen anzuordnen. Selbst bei den Gipsfaserplatten änderte sich dadurch die Einsenktiefe der Schraubköpfe nur minimal.

Wiederaufbau

Der Wiederaufbau erfolgte grundsätzlich in der umgekehrten Reihenfolge wie das Zerlegen. Insgesamt verlief dieser Vorgang mehr oder weniger problemlos. Folgende Punkte verdienen eine besondere Erwähnung:

- Das nochmalige Zusammenschrauben des Holzrahmenwerks ging aufgrund der vorhandenen Einfräsungen zügig vonstatten.

- Das Wiederbefestigen der Fermacellplatten erfordert besondere Aufmerksamkeit, damit die Schrauben nicht zu tief versenkt werden (zulässig sind maximal 1 - 1,5 mm). Dies ließ sich jedoch problemlos umsetzen.
- Das Wiedereinblasen erfolgte liegend mit einer einseitigen Stützlattung. Das Eigengewicht des Elements war jedoch nicht ausreichend, um einen Plattenbruch auf der bodenseitigen Platte zu verhindern. Dieser Punkt in Form eines Haarrisses bei gleichzeitig nur geringer Aufwölbung (kleiner 5 mm) war jedoch erst nach dem Aufstellen des Elements sichtbar. Dieses Problem kann entweder durch eine zweiseitige Stützlattung (wie beim erstmaligen Einblasen beim Aufbau der Fall) oder durch eine größere Auflast mit Hilfe gestapelter Elemente übereinander gelöst werden.
- Das Aufbringen einer neuen Dampfbremse und Fassadenschutzbahn erfolgte routiniert; das Verlegen der Folenschürze benötigt wegen der komplexen Anschlussgeometrie hingegen größere Sorgfalt und muss unbedingt vor dem Aufbringen der angrenzenden Lattungen erfolgen.
- Die Wiederbefestigung der Lattungen, der Holzschalung und der Innenbekleidungen sowie der Fensteranschlüsse und des Holz-Alu-Fensters selbst sowie des Fensterblechs erfolgte in die vorhandenen Schraublöcher und bereitete keine Probleme

Tabellarisches Protokoll und „Fotoroman“

Im nachfolgenden tabellarischen Protokoll sind neben den Einzelschritten und deren Kurzbeschreibung sowie Materialeinsatz auch der jeweilige Zeitbedarf, besondere Beobachtungen und Kommentare aufgelistet.

Zur bildlichen Veranschaulichung wurde im Anschluss eine Bilderserie angefügt, in der alle wichtigen Schritte fotografisch dokumentiert und ihr Zeitaufwand vermerkt ist.

Zusätzlich wurde ein „Stop-Motion-Film“ aus einer Serie von Standaufnahmen zusammengefügt, in dem die Dynamik des

Zerlegens und Wiederaufbaus im Zeitraffen nachvollziehbar wird.

Zeitbedarf

Das Zerlegen des Mockups hat mit 2 Stunden und 33 Minuten nur etwa halb so lange gedauert wie der Wiederaufbau mit 5 Stunden und 13 Minuten. Für die Begutachtungen wurde ein Zeitaufwand von 15 bzw. 8 Minuten notiert. Detaillierte Zeitangaben finden sich in den nachfolgenden Tabellen und in der Fotodokumentation.

Nachbesprechung

Nach dem Experiment fand eine Nachbesprechung mit allen Beteiligten statt, bei der die Erfahrungen und die offenen Fragen diskutiert wurden. Folgende Themenbereiche wurden näher betrachtet:

Holz-Platte-Verbindungen

Die Frage der Holz-Platte-Verbindungen ist entscheidend für die Zerlegbarkeit der Holzrahmenelemente beim Rückbau. Die Versuche mit Nagelschrauben waren nicht so erfolgreich, wie erhofft. Der Unterschied beim Zeit- und Kostenaufwand zwischen Klammern und Schrauben ist sehr groß, so dass der Umstieg auf einen zerstörungsfrei zerlegbaren Holzrahmenbau so aufwändig erscheint, dass ohne Förderungen oder sonstige Anreize eine breite Umsetzung derzeit als wenig wahrscheinlich eingestuft wird. Hier ist auf jeden Fall ein weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf vorhanden.

Stroh-Einblasdämmung

Bei den Einblasdämmungen hat man in den letzten 25 Jahren sehr viel dazugelernt. Es ist sehr wichtig, genügend Dämmmasse in die Gefache einzublasen, damit sie setzungssicher eingebaut werden kann (bei Stroh > 105 kg/m³). Die Einsparung von Material, z.B. aus Kostengründen, hat hier fatale Auswirkungen. In einem Gefach trat im Experiment eine Dämmfelle auf, verursacht durch einen Stromausfall beim Einblas-

vorgang, was auch dokumentiert wurde. Bei allen sonstigen Versuchen war dies nicht der Fall. Die Frage der Dämmqualität und Setzungssicherheit sollte dennoch weiter im Auge behalten werden, und auch aus bauphysikalischer Sicht inkl. praxisorientierter Vorschläge zur Qualitätssicherung näher beleuchtet werden.

Für alle Einblasdämmungen ist das Einbringen in dichte Gefache eine Herausforderung. Wegen der erforderlichen hohen Rohdichte bei Stroh ist dies dort noch ausgeprägter. Die Kombination von Druckentlastungsöffnungen und Stützlattungen stellt hierfür einen guten Lösungsansatz dar. Bei Einblasplatten tritt dieses Problem gar nicht erst auf. Sobald beim Einblasvorgang wenigstens eine Seite mit einer luftoffenen Bekleidung (z.B. Holzfaser-, Holzwoleleichtbauplatten oder Rauhspondschalung) versehen ist, verläuft der Vorgang ohne Plattenbruch ab. Im Anschluss daran kann aus Brandschutzgründen dann eine dichte Bekleidung (z.B. Gipsfaserplatte) zusätzlich aufgebracht werden. Üblich ist, dass dann die luftoffenen Bekleidungen verputzt werden. Dies führt jedoch dazu, dass sie nicht mehr zerstörungsfrei rückgebaut werden können. Zu bedenken ist ferner, dass aus Brandschutzsicht die Kombination Schalung und Brandschutzbekleidung durchaus möglich ist, jedoch verschlechtern sich dadurch die statischen Eigenschaften (Aussteifung, Erdbebensicherheit) erheblich.

Gipsfaserplatten

Gipsfaserplatten vereinen sehr gute brandschutztechnische und statische Eigenschaften mit hoher Wirtschaftlichkeit für die Vorfertigung von Holzrahmenelementen. Durch die ETA-03/0050 sind nun holzsparende Rahmenwerke möglich, entweder durch Reduktion der Holzquerschnitte und/oder durch größere Achsabstände. Die Frage der Holz-Platte-Verbindungen ist entscheidend für die Zerlegbarkeit beim Rückbau. Hier ist immer auch zu beachten, dass auch die statischen Eigenschaften von den Verbindungsmitteln und deren Dimensionierungen und Abständen abhängen.

Zirkuläres Bauen: wie schnell und umfassend kann dies Teil einer normalen Baupraxis werden?

Aus der Perspektive der Lehrlinge ist dieses Thema auf jeden Fall relevant und wird in Zukunft bestimmend werden, weil Holz aus Rückbauprozessen zu einer wichtigen Ressource werden dürfte. Es gibt bereits erste Projekte, in denen die Verwendung von Altholz für neue Konstruktionen von Seiten der Auftraggeber eingefordert wird. Dabei wurde deutlich, dass der Aufwand für Begutachtungen, Aufbereitungs- und Anpassungsarbeiten hoch ist. Ohne gezielte Förderungen dürfte es hier vorerst bei einzelnen Leuchtturmprojekten bleiben.

Bei den Schutzkomponenten (Klebebändern, Schutzbahnen, Dampfbremse) steht die Entwicklung lösbarer Klebeverbindungen technologisch noch ganz am Anfang. Es ist aber bereits erkannt, dass auch hier Lösungen entwickelt werden müssen.

Übertragung auf Vorfertigung

Es bestand unter allen Teilnehmern Konsens darüber, dass die zwei aufgezeigten Haupt-Herausforderungen (Lösbare Holz-Platte-Verbindungen / Einbringung von Einblasdämmungen in dichte Gefache) bei einer weitgehenden Vorfertigung besser lösbar sind als bei einer bauseitigen bzw. handwerklichen Fertigung. Als Schlüsselkomponenten sind hier Schraub- bzw. Coilnagler-Automaten und Einblasplatten in Verbindung mit Multifunktionsbrücken zu benennen.

Rückbau- und Wiederverwendungsprozesse

Nach Einschätzung der Teilnehmer gliedert sich der künftige Rückbauprozess räumlich auf die Rückbau-Baustelle, eine oder mehrere Zwischenlagerungen und den mehr oder weniger vollständigen Rückbau in spezialisierten Firmen in deren Werkhallen. Der Gesamtaufwand ist technisch und logistisch anspruchsvoll und ist je nach Konstruktion und deren Fügungen bzw. Verbindungen mehr oder weniger kostenintensiv. Völlig ungeklärt sind bislang baurechtliche Fragen hinsichtlich der Wiederverwendung von Bauprodukten und -elementen.

Protokoll Zerlegen (1)

Nr.	Arbeitsschritt	Kurzbeschreibung	Materialeinsatz	Zeitaufwand	Beobachtungen	Kommentar
1	Innenbekleidung entfernen	Abdeckleisten wegschrauben und auslegen	Multiplex, Birke, 9 / 40 mm (2 x 250 cm; 4 x 240 cm; 2 x 114 cm, 1 x 30 cm; 1 x 69 cm), Edelstahl-schrauben 4 x 60 (74 Stk.) mit Rosetten	Demontage Fensterflügel 8:40 - 8:41 (1 Minute) Abschrauben Deckleisten 8:41 - 8:45 (4 Minuten)	Edelstahlschrauben und Rosetten erschweren Wagschrauben und Ablegen	
2		Schichtholzplatten abschrauben und auslegen	Multiplex, Birke 12 mm (2 x 64 x 248 cm; 1 x 121 x 38 cm; 1 x 121 x 74,5 cm) und Siebdruckplatten, 9 mm (2 x 21 x 250 cm), Schrauben 3,5 x 50 (35 Stk.)	Abschrauben und Ablegen Schichtholzplatten 8:45 - 8:48 (3 Minuten)	Problemlos und schnell; andere Schrauben wären besser (zu klein)	
3	Dämmung Installationsebene	Flexible Holzfaserdämmung zwischen Kreuzlattung herausnehmen und zwischenlagern	Steico flex 036, 40 mm (2,5 m x 2,4 m; 6 m²)	Ausbau Dämmung 8:48 - 8:52 (4 Minuten)	Bezeichnung Dämmung für späteren Wiedereinbau notwendig	
4	Kreuzlattung Installationsebene	Abschrauben Kreuzlattung und seitliches Lagern	KVH 4/6 (5 x 250 cm; 6 x 65,5 cm; 4 x 248 cm; 1 x 38 cm; 1 x 76 cm)	Demontage Lattung Installationsebene 8:52 - 8:58 (6 Minuten)		
5	Fensterausbau (1)	Fensterrahmen innen demontieren	Multiplex Birke, 18 mm (2 Stk. 28 x 114 cm; 2 x 28 x 129,4 cm)	Demontage Fensterrahmen (1 Minute)	danach Fensterabdichtbänder aufgeschnitten	
6	Laibungsbretter	Laibungsbretter abschrauben und zwischenlagern	Einschichtplatte; 20 mm; (2 x 17 x 130 cm; 1 x 14 x 112 cm)	Abschrauben Laibungsbretter und Freilegen Fensterblech für Demontage		
7	Fensterblech	Fensterblech abschrauben und seitlich lagern	siehe Einbau	sowie Entfernen Fensterblech 9:00 - 9:05 (5 Minuten)	Ausbau unproblematisch	Wechselfalzschalung ermöglicht an beliebigen Stellen den Ausbau einzelner Bretter
8	Fensterausbau (2)	Ausbau Hilfsplatten für Laibungsbretter und Dämmanschläge (seitl./oben)	KVH 6/5 (118 cm); KVH 6/8 (2 x 126 cm), Dämmprofile CF Eco (2 x 75/40; 1 x 40/40), Holzschrauben	Ausbau Hilfsplatten/Dämmanschläge und Fensterdichtbänder und Ausbau Fensterstock 9:05 - 9:25 (20 Minuten)		Diskussionen über sinnvolle Reihenfolge des Fensterausbaus insbesondere Überdämmung, unterer Anschluss mit Folienschürze und Zugänglichkeit für Demontage Dämmkeil
9		Ausbau Fenster mitsamt Abdichtungen	Holz-Alu Fenster, Huber & Sohn 116 x 135 cm			
10	Ausdecken Dampfbremse	Ausdecken Dampfbremse mitsamt Abklebungen und Zusammenfallen	Proclima Intello Connex, 9,0 m²	Abnehmen Dampfbremse 9:25 - 9:32 (7 Minuten) Abnehmen Fassadenschutzbahn 10:07 - 10:10 (3 Minuten)	zuvor: Aufschneiden Klebebänder und Lösen der umgeschlagenen Ecken und Ränder	Reißfestigkeit der Bahnen ermögliche einfachen Ausbau; eine Wiederverwendung der Bahnen wird nicht angestrebt.
11	Umlegen Element			Anfordern + Umlegen mit "Manitu" (2 Minuten)		
12	Wechselfalzschalung	Abschrauben Wechselfalzschalung und Auslegen	Schalungsbretter 22/112, B = 250 cm (22 Stk.), B = 71 cm (34 Stk.) mit Würth Assy Plus TG, 4 x 60	Abschrauben Wechselfalzschalung 9:55 - 10:03 (8 Minuten)	Wechselfalzschalung wurde zuvor bezeichnet, damit Schraublöcher beim Wiedereinbau exakte Position mit gleichmäßigem Fugenbild ergibt	

13	Fassadenlattung	Abschrauben Fassadenlattung und seitliches Lagern	KVH 3/6 (4 x 290 cm, 1 x 93,5 cm, 1 x 64,5 cm); 33 Stk. Holzschrauben 6 x 80	Abschrauben Fassadenlattung 10:05 - 10:08 (3 Minuten)		
14	Entfernen Fassadenschutzbahn	Ausdecken Fassadenschutzbahn mitsamt Abklebungen und Zusammenfalten	Provlima Solitex Fronta Quadro, 8,5 m²	Abnehmen Fassadenschutzbahn 10:07 - 10:10 (3 Minuten)	zuvor: Aufschneiden Klebebänder und Lösen der umgeschlagenen Ecken und Ränder	Reißfestigkeit der Bahnen ermöglicht einfachen Ausbau; eine Wiederverwendung der Bahnen wird nicht angestrebt.
15	Abschrauben Brandschutzbekleidung (oberseitig)	Vorsichtiges Wegschrauben der Fermacellplatten zum Öffnen der Gefache und seitliche Lagerung	Fermacell 15 mm, 2 Platten 125/300 cm	Abschrauben Fermacellplatte 10:20 - 10:27 (7 Minuten)		
16	Absaugen Strohdämmung	Absaugen der Strohdämmung mit Turbine in Saugfässer und Zwischenlagerung in Big Packs o.ä.	Isostroh, Gesamtvolumen in verdichtetem Zustand: 1,4 m³	Absaugen Strohdämmung: 1. Gefach 10:38 - 10:42 (4 Minuten) 2. Gefach 10:42 - 10:44 (2 Minuten) 3. Gefach 10:44 - 10:47 (3 Minuten) 4. Gefach 10:47 - 10:49 (2 Minuten) 5./6. Gefach 10:49 - 10:55 (6 Min.)	Einrichten Absaugturbine in Verbindung mit Absaugfass bzw. Anschluss eines Big Packs; Unterbrechungen durch Stopfen im Schlauch (speziell an den Kopplungsstellen)	Dämmfahle bei Einblasöffnung 1. Gefach wegen Stromausfall (Sicherung ausgelöst) am Ende der Einblasarbeiten (siehe Foto); in allen anderen Gefachen perfekte Dämmqualität
17	Aufstellen und Wenden Element			Anfordern + Umliegen mit "Manitu" 10:59 - 11:01 (2 Minuten)		
18	Abschrauben Brandschutzbekleidung (unterseitig)	Vorsichtiges Wegschrauben der Fermacellplatten zum Öffnen der Gefache und seitliche Lagerung	Fermacell 15 mm, 2 Platten 125/300 cm	Abschrauben Fermacellplatte 11:05 - 11:10 (5 Minuten)		
19	Zerlegen Holzrahmen	Entfernen Verschraubungen zwischen Rähm, Schwelle, Stehern, Sturz- und Brüstungsholz	BSH 6/32 (L = 4 x 278 cm; 2 x 122 cm) und 8/32 (1 x 45 cm; 1 x 78 cm)	Zerlegen Holzrahmen bis in seine Einzelteile 11:10 - 11:13 (3 Minuten)		
20	Begutachtung	Begutachtung der zerlegten Komponenten; Zustandsfeststellung insbesondere hinsichtlich Eignung zum Wiedereinbau; Dokumentation der Ergebnisse		Begutachtung und Zustandsfeststellung 11:13 - 11:28 (15 Minuten)	Die Durchsicht der zerlegten Komponenten zeigt keine Beschädigungen oder gar Zerstörungen. Eine Weiterverwendung ist aus technischer Sicht gegeben. Bei den Fermacellplatten, Lattungen, Bekleidungen usw. wurde entschieden, die vorhandenen Löcher weiterzuverwenden (und damit die Schrauben nicht zwischen die vorhandenen Löcher zu setzen).	An einer Stelle war eine Gipsfaserplatte leicht eingedrückt. Die Folienschürze konnte mit vernünftigen Aufwand nicht von der Gipsfaserplatte der Fensterlaibung entfernt werden. Sie wurde daher nicht demontiert und beim Wiederaufbau mit Neuware überklebt.

Protokoll Wiederaufbau (1)

Nr.	Arbeitsschritt	Kurzbeschreibung	Materialeinsatz	Zeitaufwand	Beobachtungen	Kommentar
1	Holzrahmenwerk	Verschrauben	Würth Assy Plus TG 8/120, 32 Stk.	Verschrauben Holzrahmen 11:19 - 11:25 (6 Minuten)	Kerven in Schwelle und Rähm hilfreich für exakten Wiederaufbau	Reihenfolge des Wiederaufbaus ist entscheidend für schnellen Zusammenbau
2	Brandschutzbekleidung	Aufbringen Fermacellplatten (außen)	Fermacell 15 mm, 2 Platten 125/300 cm	Aufbringen 1. Lage (außen) 11:25 - 11:32 (8 Minuten)	Verschrauben in vorh. Löcher	Schrauben sind nur leicht versenkt; ein "Durchschrauben" fand nirgends statt
3		Wenden des Elements	Wenden von Hand	11:32 - 11:33 (1 Minute)		
4		Aufbringen Fermacellplatten (innen)	Fermacell 15 mm, 2 Platten 125/300 cm	Aufbringen 2. Lage (außen) 11:33 - 11:40 (6 Minuten)	Verschrauben in vorh. Löcher	Schrauben sind nur leicht versenkt; ein "Durchschrauben" fand nirgends statt
5	Stützlatten	Einbau Unterstütlungslatten	4 Stk. 40/60 mm, L = 250 cm; 6 Stk. 40/60 mm, L = 63,5 cm	Aufschauben Stützlattung 11:40 - 11:46 (6 Minuten)		Ziel: Verhinderung Plattenbruch der Fermacellplatten durch Einblasen Strohdämmung
6	Stroh Einblasdämmung	Einbau Druckentlastungsöffnung und Schlauch mit Steuerungseinheit	X-Floc Entlastungsdüse, Verstärkter Schlauch, Einblasmaschine X-Floc EM 440	Einbau Entlastungsdüsen 12:00 - 12:03 (3 Minuten)		
7		Liegendes Einblasen des Strohs in 6 Gefache	Isostroh, Gesamtvolumen in verdichtetem Zustand: 1,4 m³	Liegendes Einblasen in 6 Gefache 12:03 - 12:53 (50 Minuten)		Unterbrechung wegen herausgesprungener Dichtung der Entlastungsdüse und Herstellen neuer Einblas-/Entlastungsöffnungen (siehe unten)
8		Herstellen Einblas- und Entlastungsöffnungen	2 Stk. mit D = 120 mm und 2 Stk. mit D = 102,6 mm	4 zusätzliche Einblas- und Entlastungsöffnungen in den beiden Gefachen unter dem Fenster notwendig 12:32 - 12:45 (13 Minuten)		Dämmkeil unter Fenster wurde wegen schwer entfernbaren Folienschürze belassen; Dadurch waren die darunter liegenden Einblasöffnungen verdeckt und mussten neu gebohrt werden.
9		Verschließen Einblasöffnungen	Klebeband Climablow LDK, 12 x 20 x 20 cm	Schließen Einblas- und Entlastungsöffnungen 12:53 - 12:56 (3 Minuten)		
10	Fenstereinbau (1)	Nach Fensterausbau Fensterfugenbänder (halbseitig) bzw. Fensterdichtbänder (halbseitig) vom Fensterstock ablösen		Entfernen Trioplex-Fugenbänder 12:02 - 12:20 (18 Minuten) Entfernen Fensterdichtbänder 12:25 - 12:32 (7 Minuten)		Dieser Aufwand wäre nur dann von Belang, wenn das Fenster unverändert wiederverwendet werden soll. Im Rahmen des Experiments ist dies jedoch notwendig.
11		Fensterdichtbänder innen/außen am Fensterstock ankleben	Proclima Contega Solido IQ-D, ca. 2 x 200 cm	Aufbringen neuer Fensterdichtbänder innen/außen 12:23 - 12:40 (17 Minuten)		Schlaufen an den Ecken sind ausreichend groß auszubilden (je nach Eckgeometrie)
12	Fassadenschutzbahn	Aufbringen neue Fassadenschutzbahn	Proclima Solitex Fronta Quadro, 8,5 m²	Aufbringen einer neuen Fassadenschutzbahn 13:17 - 13:30 (13 Minuten)	Umschlagen an den Rändern und Ecken	
13	Fenstereinbau (2)	Abdichtung unten mit neuer Folienschürze, Herstellen von 2 handwerklichen Ecken	Proclima Extol Seal Encors, 21 x 150 cm, 2 x 8 x 8 cm	Einbau neuer Folienschürze 13:32 - 13:43 (11 Minuten)	Überkleben alter Folienschürze mit Neuware	Dämmkeil mit Folienschürze des ersten Fenstereinbaus wurde nicht demontiert.
14	Fassadenlattung (Hinterlüftung Holzschalung)	Aufschauben Vertikallattung	KVH 3/6 (4 x 290 cm, 1 x 93,5 cm, 1 x 64,5 cm) 33 Stk. Holzschrauben 6 x 80	Wiederaufschauben Fassadenlattung 13:30 - 13:45 (15 Minuten)		Unterbrechung wegen Einbringen Folienschürze (s.o.)
15	Wechselfalzschalung	Einbau Wechselfalzschalung gem. Verlegeplan	Schalungsbretter 22/112, B = 250 cm (22 Stk.), B = 71 cm (34 Stk.) mit Würth Assy Plus TG, 4 x 60	Wiederaufschauben Wechselfalzschalung 13:52 - 14:13 (21 Minuten)		Vorteile der Wechselfalzschalung ist deren einfache Verlegung und Ausgleichsmöglichkeiten. Prinzip der Wendeschalung wurde ausprobiert, jedoch wegen der vorhandenen Bohrungen nicht angewendet (Fugenbild).

Protokoll Wiederaufbau (2)

16	Umlegen Element	Aufstellen Element (Stehende Position)		Anfordern + Umlegen mit "Manitu" 14:25 - 14:27 (2 Minuten)	Durch das Umlegen wird die Innenseite des Elements sichtbar. In einem Gefach ist ein Plattenbruch aufgetreten, weil nur eine Seite mit Stützlaten versehen war. Die Aufwölbung der Fermacellplatte ist jedoch gering (ca. 0,5 cm).	Offensichtlich ist der Schutz der unteren Platte beim liegenden Stroheinblasen durch das Eigengewicht des Elements nicht immer ausreichend (beidseitige Abstützungen notwendig)
17	Dampfbremse	Aufbringen neue Dampfbremse	Proclima Intello Connex, 9,0 m ²	Aufbringen einer neuen Dampfbremse 14:35 - 14:46 (11 Minuten)	Umschlagen an den Rändern und Ecken	Sichern der Übergänge zwischen Fassadenschutzbahn und Dampfbremse mit neuen Klebebändern
18	Fenstereinbau (3)	Einbau Hilfsplatten für Laibungsbretter und Dämmanschläge	KVH 6/5 (118 cm); KVH 6/8 (2 x 126 cm), Dämmprofile CF Eco (2 x 75/40; 1 x 40/40), Holzschrauben	Einbau Dämmanschläge / Hilfsplatten 14:50 - 15:03 (13 Minuten)		
19		Einbau Fensterstock	Holz-Alu Fenster, Huber & Sohn 116 x 135 cm	Einbau Fensterstock 15:10 - 15:15 (5 Minuten)	Umschlagen an den Rändern und Ecken	Höhenausgleich Fenster unten mit dünner Latte 50/15 mm (Fensterblecheinbau)
20		Luft- und schlagregendichter Einbau Fenster	Ankleben der Fensterdichtbänder Proclima Contega Solido IQ-D, ca. 2 x 200 cm, auf die Dampfbremse und die Fassadenschutzbahn	Fensteranschlüsse mit Dichtbändern 15:19 - 15:26 (7 Minuten)	Im Bereich der Folienschürze wurden die Fensterecken mit Formteilen geschlossen (Gewerkeloch)	Beim erneuten Fensterband wurden die Fensterfugenbänder (Trioplex) nicht verwendet.
21	Kreuzlattung Installationsebene	Aufschauben gemäß Verlegeplan	Würth Assy Plus TG 6/80 (29 Stk.) und 6 / 120 (24 Stk.)	Aufschauben Kreuzlattung 15:32 - 15:41 (9 Minuten)		
22		Einbau flexible Holzfaserdämmung zwischen Kreuzlattung	Steico flex 036, 40 mm	Einbau Dämmung 15:42 - 15:49 (7 Minuten)		
23	Fensterblech	Vorbereiten Fensterblech	Bug-Alu Fensterblech, Ausladung 25 cm; Seitenteile mit gerader Aufkantung (2 Stk.); Butylecken DFT 40 (2 Stk.)	Vorbereitung Fensterblech 15:50 - 15:53 (3 Minuten)		
24		Befestigen Fensterblech	Edelstahlschrauben mit Dichtscheibe (4 Stk.); Anschraubdichtung AD 500	Einbau Fensterblech 15:54 - 15:56 (2 Minuten)		
25	Laibungsbretter	Wiedereinbau Laibungsbretter	Einschichtplatte; 20 mm; (2 x 17 x 130 cm; 1 x 14 x 112 cm)	Einbau Fensterlaibungen außen 15:57 - 16:03 (6 Minuten)		Zusätzlich: Einbau Kleintierschutz oben (Lochblech)
26	Innenbekleidung	Einbau Fensterrahmung innen	Multiplex Birke, 18 mm (2 Stk. 28 x 114 cm; 2 x 28 x 129,4 cm); Edelstahlschrauben 4 x 60 (74 Stk.) mit Rosetten	Einbau Multiplex-Fensterrahmen 16:05 - 16:07 (2 Minuten)		
27		Befestigung Schichtholzplatten	Multiplex, Birke 12 mm (2 x 64 x 248 cm; 1 x 121 x 38 cm; 1 x 121 x 74,5 cm) und Siebdruckplatten, 9 mm (2 x 21 x 250 cm), Schrauben 3,5 x 50 (35 Stk.)	Befestigung der Multiplexplatten 16:10 - 16:18 (8 Minuten)		
28		Abdeckleisten	Multiplex, Birke, 9 / 40 mm (2 x 250 cm; 4 x 240 cm; 2 x 114 cm, 1 x 30 cm; 1 x 69 cm), Edelstahlschrauben 4 x 60 (74 Stk.) mit Rosetten	Aufschauben Abdeckleisten 16:20 - 16:32 (12 Minuten)		
29	Begutachtung	Begutachtung der wiederaufgebauten Komponenten (nur soweit sichtbar)		16:32 - 16:40 (8 Minuten)	Keine auffälligen Stellen	Optisch sind kaum Unterschiede zum ersten Aufbau festzustellen

Fotoroman 1: Zerlegen Holzrahmenelement (Mock-Up)

Einzelschritte (Zeitbedarf):

Ausbau Fensterflügel (1')

Abschrauben Deckleisten (4')

Demontage Innenbekleidung (3')

Ausbau Dämmung Inst.-Ebene (4')

Entfernen Lattung Inst.-Ebene (6')

Aufschneiden Fensterdichtung (2')

Demontage Fensterlaibungen und
Ausbau Fensterblech (6')

Besondere Beobachtungen

Die Wechselfalzschalung ermöglicht den einfachen Ausbau einzelner Schalungsbretter, z.B. um das Fensterblech ausbauen zu können.



Ausbau Fensterflügel



Wegschrauben Abdeckleisten



Demontage Innenbekleidung



Demontage Innenbekleidung



Freigelegte Installationsebene



Abnahme Horizontallattung



Ausbau Dämmmatten (1)



Ausbau Dämmmatten (2)



Abnehmen Horizontallattung



Aufschneiden Fensterdichtung



Aufschneiden Fensterdichtung



Demontage Fensterlaibung



Demontage Fensterblech



Demontage Einzelbrett Schalung



Ausbau Fensterblech



Ausbau Überdämmung Fenster



Freigelegte Folienschürze



Ausbau Fensterstock (1)



Ausbau Fensterstock (2)



Freigelegter Fensteranschluss

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Ausbau Hilfslattungen und Dämmanschlüsse der Fensteranschlüsse sowie des Fensterstocks (20')

Ausdecken Dampfbremse (7')

Umlegen / Wenden Element (2')

Abschrauben Außenschalung und Fassadenlattung (11')

Ausdecken Fassadenschutzbahn (3')



Ausdecken Dampfbremse (1)



Ausdecken Dampfbremse (2)



Zusammenfalten Dampfbremse



Freigelegte Gipsfaserplatte



Umlegen/Wenden Element

Besondere Beobachtungen

Sowohl die Dampfbremse als auch die Fassadenschutzbahn können nicht wiederverwendet werden (Löcher durch Tackerklammern, Einrisse an Ecken, Ablauf der Nutzungsdauer inkl. Funktionsfähigkeit).



Umgelegtes Element



Wegschrauben Holzschalung



Abschrauben Holzschalung



Ablegen Schalung



Abnahme Fassadenschutzbahn

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Demontage der innenseitigen Gipsfaserplatten (7')

Absaugen Strohdämmung (17')

Ausbau Gipsfaserplatten der Fensterlaibung (5')

Umlegen / Wenden Element (2')

Demontage der außenseitigen Gipsfaserplatten (5')



Verbleibende Folienschürze



Demontage Gipsfaserplatte



Abnahme Gipsfaserplatte



Wegtragen Gipsfaserplatte



Ablage Gipsfaserplatte

Besondere Beobachtungen

Folienschürze kann nicht zerstörungsfrei abgelöst werden und verbleibt. Dadurch sind die Schrauben, mit denen der Dämmkeil und die Fensterlaibungsplatte (Gipsfaser) befestigt sind, nicht zugänglich.

In einem Gefach ist bei der Einblasöffnung eine Dämmfehlstelle vorhanden.



Freigelegte Strohdämmung



Dämmfehlstelle Strohdämmung



Absaug-Turbine mit Bigpack



Laufender Absaugvorgang



Absaugen Stroh mit Lanze



Absaugen Stroh mit Lanze (2)



Ausbau Gipsfaserplatte Fenster



Aufstellen/Wenden Element



Demontage 2. Gipsfaserplatte



Abheben 2. Gipsfaserplatte



Freigelegter Holzrahmen



Komplett zerlegter Holzrahmen



Ablage im Stapelwagen



Ablösen Fensterfugenband



Ablösen Fensterdichtbänder

Einzelsschritte / (Zeitbedarf):

Zerlegen Holzrahmen (3')

Ablösen Fensterbänder (25')

Begutachtung Ergebnis (5')

Besondere Beobachtungen

Das Ablösen der Fensterdichtbänder ist mit einem erheblichen Zeitaufwand verbunden.

Fotoroman 2: Wiederaufbau Holzrahmenelement (Mock-Up)



Verschrauben Holzrahmen (1)



Verschrauben Holzrahmen (2)



Aufschrauben Gipsfaserplatte



Aufschrauben Gipsfaserplatte



Zustand Schraube

Einzelsschritte / (Zeitbedarf):

Verschrauben Holzrahmen (6')

Aufschrauben der äußeren Gipsfaserplatte (8')

Besondere Beobachtungen

Anders als ursprünglich vorgesehen, wurden die vorhandenen Schraubenlöcher bei der Wiederverfestigung nochmals verwendet.

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Umlegen / Wenden Element (1')

Verschrauben innenseitige Gipsfaserplatte (6')

Aufschauben Stützlattungen gegen Plattenbruch bei Einblasen Stroh

Umpacken Strohdämmung für die Wiederverwendung (7')

Herstellung Einblas- und Druckentlastungsöffnungen (16')

Liegendes Einblasen Strohdämmung (50')

Verschließen Einblasöffnungen (3')

Aufbringen der innen- und außen-seitigen Fensterdichtbänder (17')

Besondere Beobachtungen

Beim Einblasen der Strohdämmung Unterbrechungen, weil die Dichtung einer Entlastungsdüse herausgesprungen ist und nicht einfach in die alte Position gebracht werden konnte. Unter normalen Umständen hätte das Einblasen der Strohdämmung in die 6 Gefache ca. 25 - 30 Minuten beansprucht (siehe Vorversuche).



Aufrichten/Wenden Element



Auflegen 2. Gipsfaserplatte



Verschrauben 2. Gipsfaserplatte



Kl. Fehlstelle Gipsfaserplatte



Auflegen Schutzlattung (Stroh)



Umpacken Strohdämmung



Einbau Entlastungsdüse



Neue Einblasöffnung



Wiedereinblasen Stroh (1)



Wiedereinblasen Stroh (2)



Wiedereinblasen Stroh (3)



Verschließen Einblasöffnung



Fensterdichtbänder (außen)



Eckschleife Fensterdichtband



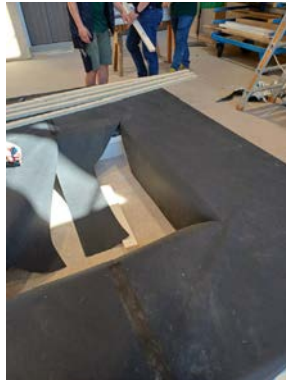
Fensterdichtband (innen)



Einbau Fassadenschutzbahn



Umschlagen an Ecke



Umschlagen Fensteröffnung



Stoßsicherung mit Klebeband



Zuschnitt neue Folienschürze

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Neueinbau Fassadenschutzbahn (13')

Einbau Folienschürze über vorhandener Folienschürze (11')

Aufbringen Fassadenlattung (15')

Wiedereinbau Holzschalung (21')



Einbau Folienschürze (1)



Einbau Folienschürze (2)



Einbau Folienschürze (3)



Folienschürze Außenecke



Obere Ecke Fensteröffnung

Besondere Beobachtungen

Beim Aufbringen der Fassadenlattung Unterbrechnung notwendig, um Neuverlegung Folienschürze fertigzustellen



Aufbringen Fassadenlattung



Einbau Holzschalung (1)



Einbau Holzschalung (2)



Einbau Holzschalung (3)



Fertig montierte Holzschalung

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Umlegen / Wenden Element (2')

Einbau Dampfbremse (11')

Vorbereitung Fensteranschlüsse
(Lattungen, Überdämung) (13')

Einbau Fensterstock (5')

Abdichtung Fenster (7')



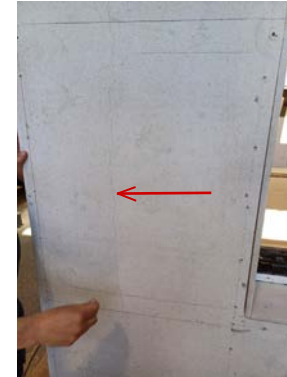
Fensterstock fertig für Montage



Wenden Element



Plattenbruch Strohdämmung



Plattenbruch Strohdämmung



Aufwölbung Gipsfaserplatte

Besondere Beobachtungen

In einem Gefach ist ein Plattenbruch beim Einblasen der Strohdämmung aufgetreten. Das Eigengewicht des liegenden Elements konnte dies nicht verhindern. Die Aufwölbung ist jedoch gering (ca. 5 - 10 mm).



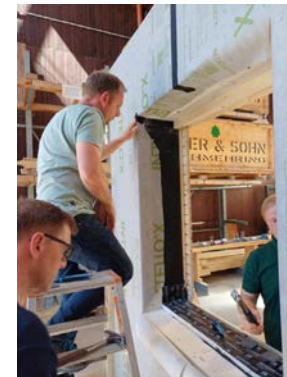
Einbau Latte Fensterlaibung



Einbau Dampfbremse (1)



Einbau Dampfbremse (2)



Einbau Dampfbremse (3)



Einbau Dampfbremse (4)



Höhenausgleich Fenster unten



Einbau Fensterstock



Kritische Fensteraußenecke



Fensterstockabdichtung innen



Fensteraußenecke innen



Einbau Fensterblech



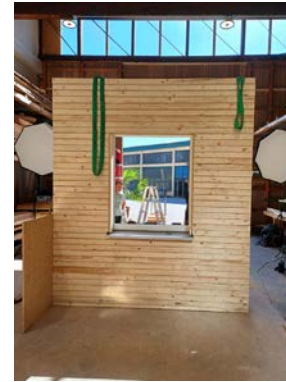
Befestigung Fensterblech



Ergänzung Holzschalung



Fensterlaibung + Lochblech



Fertiggestellte Außenschale

Einzelschritte / (Zeitbedarf):

Einbau Fensterblech (5')

Fensterlaibung außen (6')

Lattungen Inst.-Ebene (9')

Dämmung Inst.-Ebene (7')

Befestigung Innenbekleidung und
Aufschrauben Abdeckleisten (22')

Einhängen Fensterflügel (1')



Horizontallattung Inst.-Ebene



Horizontallattung Inst.-Ebene



Ausdämmung Inst.-Ebene



Vertikallattung Inst.-Ebene



Fertiggestellte Installationsebene

Besondere Beobachtungen

Die Verwendung von Edelstahlschrauben bei der Innenbekleidung ist im Vergleich zu verzinkten Schrauben im Handling deutlich schwieriger (fehlende Magnetwirkung beim Schrauben). Insgesamt sollten möglichst wenige Schraubentypen und -abmessungen Anwendung finden.



Befestigung Innenbekleidung (1)



Befestigen Innenbekleidung (2)



Aufschrauben Abdeckleisten



Einhängen Fensterflügel



Fertiggestellte Innenschale