

Tagungsband 54. Fortbildungskurs



Die Leistungen der Gebäudehülle für Stadt und Raum

Oktober 2023

Auszug Referat Christoph Renfer



Die Leistungen der Gebäudehülle für Stadt und Raum

54. Fortbildungskurs
S-WIN Swiss Wood Innovation Network
24./25. Oktober 2023 in Weinfelden

S-WIN-Kurs 2023

S-WIN

Swiss Wood Innovation Network

54. Fortbildungskurs

Die Leistungen der Gebäudehülle für Stadt und Raum

24./25. Oktober 2023 in Weinfelden

Autorinnen und Autoren

Heinz Beer
Ivan Brühwiler
Sina Büttner
Aude Chabrelie
Michael Eichenberger
Karim Ghazi Wakili
Richard Jussel
Beat Kämpfen
Hanspeter Kolb
Nicole Pfoser
Marion Sauter
Thomas Stöckli
Karl Viridén
Reinhard Wiederkehr
Ulrich Wilms

Kursleitung

Hanspeter Kolb
Andreas Müller

Organisation

Thomas Näher, S-WIN Geschäftsstelle

Umschlag

Gestaltung: HugoTotal Grafikbüro GmbH, Emmenbrücke

Bilder: BFH-AHB (Heidenhaus Muenster)

Kämpfen Zinke + Partner AG, Zürich (Neubau MFH Dübendorf und Neubau MFH Zürich-Höngg)

Copyright © 2023 by S-WIN und Autorinnen und Autoren

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und das der Übersetzung, sind vorbehalten

S-WIN Swiss Wood Innovation Network

c/o Lignum, Holzwirtschaft Schweiz, Mühlebachstrasse 8, CH-8008 Zürich

www.s-win.ch E-mail: info@s-win.ch

Gebäudehülle unter der Erde – Anforderungen und Detaillösungen

Christoph Renfer / Dr. Mohammad Rahiminejad
Bernere Fachhochschule, AHB Biel

1 EINLEITUNG

Keller und Fundationen sind seit jeher die Basis für den Bestand eines Gebäudes. Wo früher Erdlöcher oder Höhlen in weichen Stein gegraben wurden, sind es heute Tiefgaragen, Archive und Ersatz für den Estrich in Stahlbeton. Die für die Lagerung von Gemüse und haltbar gemachten Lebensmittel notwendige relative Luftfeuchtigkeit zwischen 70 und 90% und Temperaturen um die 10-15 ° C sind somit für anderweitige Nutzungen nicht mehr geeignet und müssen planerisch und konstruktiv auf das gewünschte Niveau gebracht werden. Gleichzeitig verhindern die neu verwendeten Materialien einen Feuchtigkeitsausgleich.

2 ANFORDERUNGEN

Die einschlägigen Normen (SIA 180 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden, SIA 380 Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden und Ergänzungen) legen keine Werte fest und einzig die Abgrenzung der Dämmhülle und eventuelle Festlegungen in der Nutzungsvereinbarung geben den Planern Zielwerte vor. Die Vorgaben der SIA 272 Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau ergeben einzig Dichtigkeitsanforderungen und ermöglichen keinen Rückschluss auf das zu erwartende Klima im Raum.

Daraus lässt sich ableiten, dass die Anforderungen an ein Untergeschoss einzig durch den Bauherrn festgelegt werden kann, in dem er die Nutzung vorgängig definiert und diese so auswählt, dass dazu Vorgaben existieren. Die heutigen Anforderungen orientieren sich eher an der Wohnnutzung mit 40 – 60 % relativer Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 16- 25° C, je nach Jahreszeit und vorhandener Lüftung.

2.1 Bestehende Untersuchungen im Massivbau

In früheren Studien wurden numerische Simulationen eingesetzt, um sowohl die thermische als auch die hygrothermische Leistung von Betonkellern zu untersuchen:

- Pallin (2013) untersuchte die Auswirkungen der Austrocknung bei unterschiedlichen Bodenarten und Innenraumklimata. Die Simulationen ergaben, dass bei einem positiven Trocknungspotenzial nur mit minimaler Feuchtigkeit an der Dämm-/Drainageplatte gerechnet werden muss.
- Fedorik et al. (2019) untersuchte die hygrothermischen Bedingungen innerhalb von drei Betonkellerwänden, die zwischen den späten 1950er und den 1990er Jahren gebaut wurden. Die in der Studie erzielten Simulationsergebnisse bestätigten frühere Forschungsergebnisse und betonten, dass eine Außenwärmedämmung für Kellerwände nach wie vor die dauerhafteste und effektivste Lösung darstellt.
- Emery et al. (2007) führten eine Reihe von Messungen durch, darunter Boden- und Innenwandtemperaturen, lokale Oberflächenwärmeflüsse an Kellerwänden und Böden sowie Gesamtwärmeverluste für einen Betonwandkeller. Der Schwerpunkt der Studie lag auf dem Vergleich von gedämmten und ungedämmten Kellern, und die Ergebnisse zeigten, dass eine

bescheidene Menge an Dämmung zu einer erheblichen Verringerung des jährlichen Wärmeverlusts um etwa 50 % führen kann.

- Künzel et al. (2008) untersuchte die Feuchtigkeitsdynamik von Kellerwänden aus Beton, die mit Mineralwolle auf der Innenseite gedämmt sind. Es wurde gezeigt, dass ein Potenzial für die interne Trocknung besteht, insbesondere wenn eine feuchtigkeitsadaptive Dampfsperre verwendet wurde, die den langfristigen Trocknungsprozess der gedämmten Kellerwände erleichterte.
- Goldberg und Harmon (2015) führten sowohl hygrothermische Messungen als auch Simulationen durch, um die langfristige hygrothermische Leistung von nachträglich wärmedämmten Hohlziegelfundamenten in kalten Klimazonen zu bewerten. Die Ergebnisse zeigten, dass die Diskrepanzen bei der Wandtemperatur zwischen den gemessenen und simulierten Daten abnahmen, je höher der berechnete Punkt über der Fundamentplatte lag.
- Asphaug et al. (2022) führte Laborexperimente durch, um die Auswirkungen der Durchlässigkeit der Wärmedämmung und der Anordnung der Noppenbahn innerhalb des Aufbaus auf den Prozess der Austrocknung von Betonwänden zu untersuchen. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass der begrenzende Faktor die Feuchtetransportfähigkeit des Betons war.

2.2 Messungen bei Untergeschossen in Holz

Im Rahmen des Innosuisseprojektes 53402.1 IP-EE wurde ein Untergeschoss in Holz mit durchgehendem Dämmperimeter und dreiseitiger Erdberührung hygrothermisch überwacht und die Resultate mit der numerischen Simulation abgeglichen. Die Überwachung startete im Dezember 2021 und läuft seither. Die inneren Sensoren wurden nach einem Jahr ersetzt, um die Drift zu bestimmen.

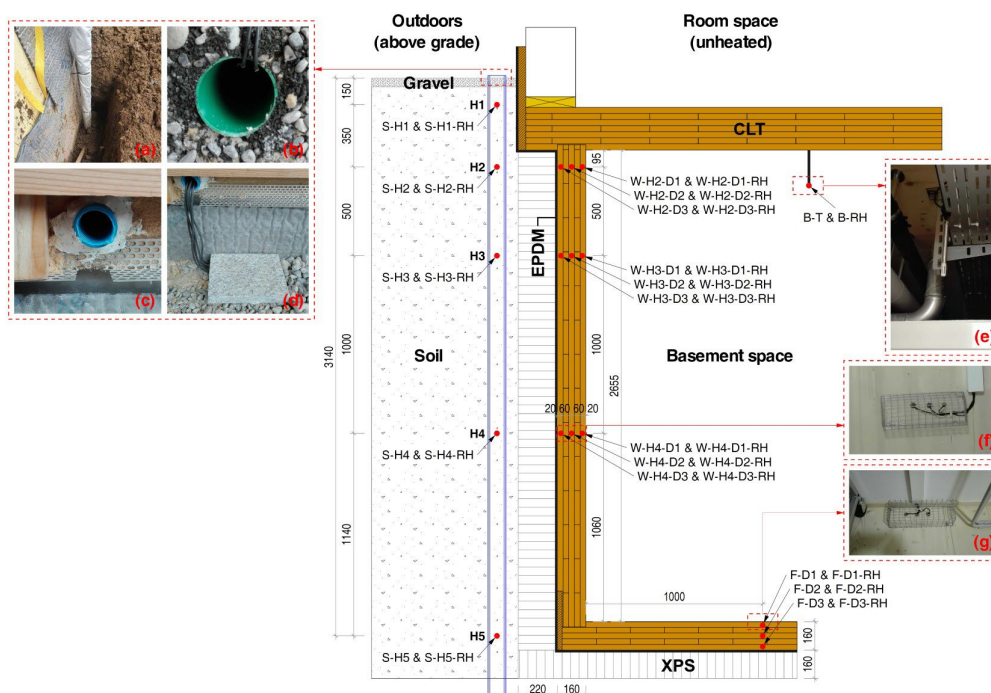


Abbildung 37: Anordnung der Wände und der im Boden und in der Kellerstruktur installierten Sensoren (Abmessungen in mm)

(a) perforiertes Drainagerohr während der Installation, (b) Drainagerohr im Boden vor dem Auffüllen mit Kies, (c) Installationsschacht, der den Keller erreicht, (d) Steinplatte, die auf das gefüllte Drainagerohr gelegt wird, (e) Temperatur- und RH-Sensoren, die im Kellerraum aufgehängt sind, (f) Bohrung für die Platzierung der Sensoren im CLT, (g) Schutzkäfige; (Abkürzungen: B: Keller, D: Tiefe, F: Boden, H: Höhe, RH: Relative Luftfeuchtigkeit, S: Boden, T: Temperatur, W: Wand).

Parallel zur zweiten, dritten und vierten Messhöhe im Boden werden entlang der Innenwand Sensoren zur Messung der hygrothermischen Zustände der CLT-Schichten angebracht. Die Messpunkte innerhalb der CLT-Platte im Bodenbereich befinden sich ungefähr auf der gleichen Höhe wie der unterste Messpunkt im Boden. Insgesamt sind 12 Sensoren in den Holzschichten installiert; 9 innerhalb des

Wandbereichs in drei Höhen (H2 bis H4) und drei Tiefen (von innen D1: 2 cm, D2: 8 cm und D3: 14 cm) und 3 innerhalb des Bodens in drei Tiefen (von innen D1: 2 cm, D2: 8 cm und D3: 14 cm). Um einen direkten Luftaustausch zwischen dem Raum und dem Messpunkt zu verhindern, wurden die Sensoren separat abgedichtet. Das Klima im Innenraum wird ständig mit Temperatur- und Luftfeuchtigkeitssensoren überwacht, die in Höhe H2 aufgehängt sind (Abbildung 1).

Die Umrechnung der Messungen zur Ausgleichsfeuchte im Brettsperrholz wurde gemäss Bonifacio (2020) durchgeführt. Diese stimmen mit den gängigen Umrechnungskurven der Literatur überein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass durch die Verwendung verschiedener Kurven trotzdem ein Unterschied von +/- 2 % möglich ist, was der Genauigkeit eines Einschlagmessgerätes mit Widerstandsmethode entspricht.

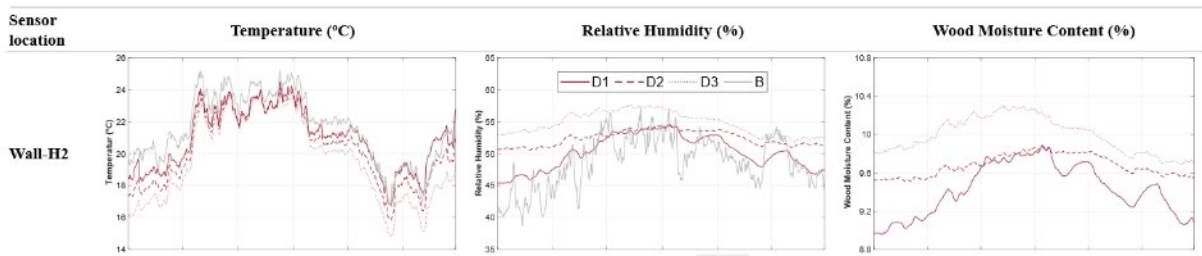


Abbildung 38: Beispiel Messresultate über 1. Jahr

Die Ergebnisse zeigen, dass die Holzfeuchte mit zunehmender Tiefe im Holz zunimmt. Es ist jedoch zu erkennen, dass die Werte während der Messungen 11% nicht überschreiten, was unter dem in der DIN 68800 (2022) festgelegten Grenzwert von (18%) für Holzkonstruktionen liegt. Daher besteht während des Messzeitraums mit dem entsprechenden Innenklima keine Gefahr von Holzfäule.

2.3 Numerische Simulationen bei Untergeschossen in Holz

Die für die Simulation des instationären gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports im mehrschichtigen Gebäudeaufbau eingesetzten Werkzeuge sind WUFI® Pro und WUFI® 2D, die jeweils für die ein- und zweidimensionale Analyse verwendet werden. Ein Überblick über die in der Software generierten Geometrien für verschiedene Szenarien ist in Abbildung 2 schematisch dargestellt.

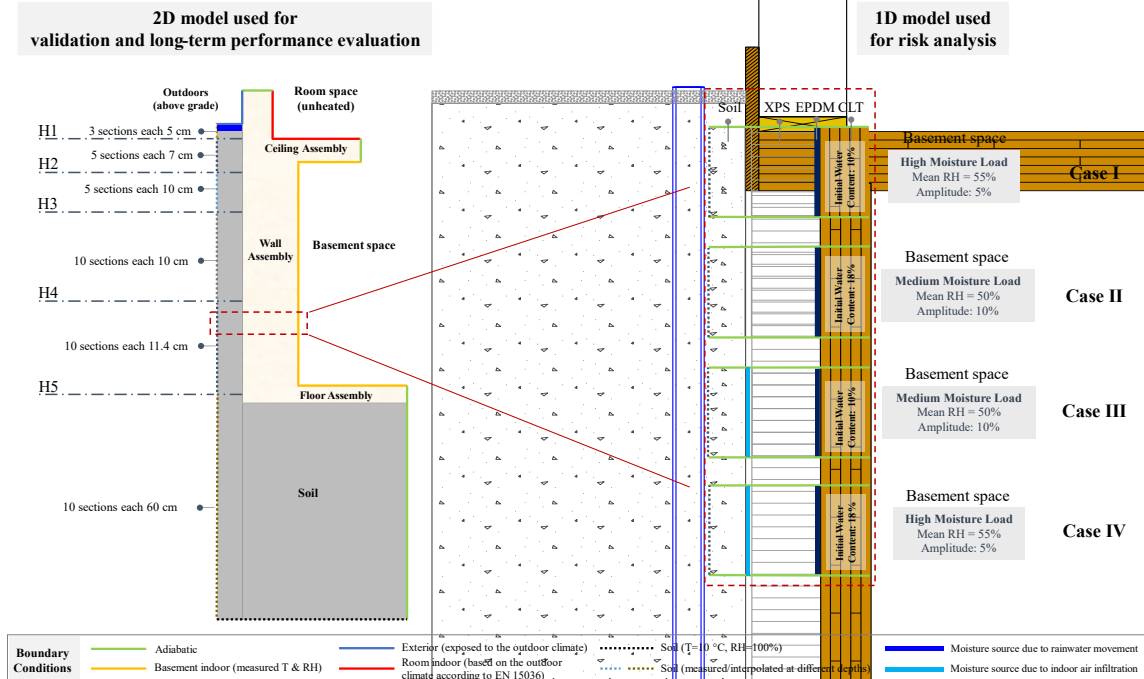


Abbildung 39: Schematische Geometrie des verwendeten Modells inkl. Grenzbedingungen

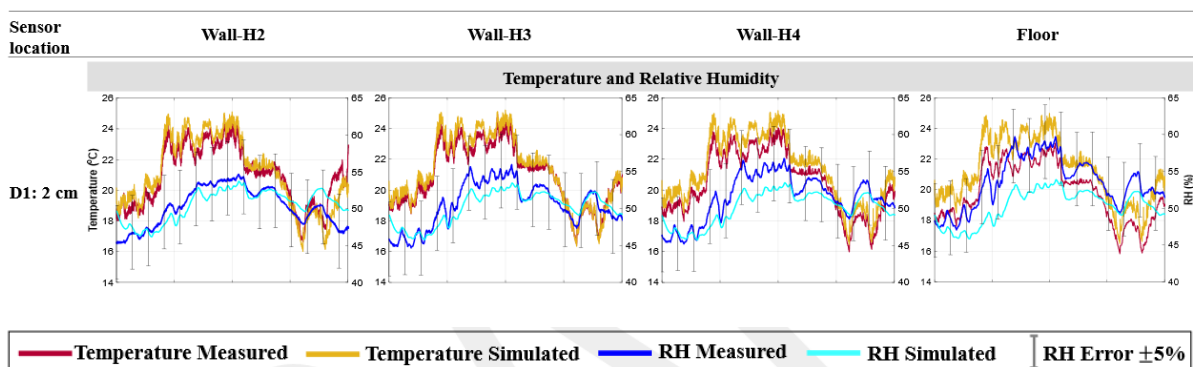


Abbildung 40: Vergleich Messresultate mit numerischen Resultaten

Die daraus berechnete Ausgleichsfeuchte im Holz führt zu einem Fehler von 1.5 % zwischen der Simulation und den gemessenen Werten. Dies wird auf Grund der vorgängig besprochenen Variabilität aus den Umrechnungskurven akzeptiert.

Die Diagramme zeigen, dass die dynamische Veränderung der gemessenen Temperaturen von der Simulation gut erfasst wird. Die berechneten Temperaturen in den unteren Höhen der Struktur weichen stärker von den gemessenen Daten ab. Ein Grund dafür könnte die im Kellerraum bei H2 gemessene Temperatur sein, die auf die gesamte Höhe der CLT-Schicht angewendet wird. Dadurch wird das Temperaturgefälle in Längsrichtung von oben nach unten im Kellerraum bei der auf die Innenflächen angewendeten Randbedingung nicht berücksichtigt. Eine weitere Ursache für die Diskrepanz zwischen den Simulationsergebnissen und den gemessenen Daten ist die lokale Wärmebrücke an der Position des in die CLT-Schicht gebohrten Sensors, die in der Simulation nicht berücksichtigt wurde.

Im Anschluss wurde das Verhalten über 6 Jahre mit dem angepassten Modell berechnet und gemäss WTA 6-8-2016 und DIN 4108 (2014) bewertet. Damit keine holzerstörenden Pilze wachsen können, sollte die durchschnittliche tägliche relative Luftfeuchtigkeit der Zellohräume innerhalb der kritischsten 10 mm des Produkts 95 % bei 0 °C und 86 % bei 30 °C nicht überschreiten (Kehl 2013). Diese Bewertung berücksichtigt die Tatsache, dass die Wachstumsfähigkeit von Holzfäulepilzen bei niedrigeren Temperaturen vermindert ist. Daher wird eine Dicke von 10 mm auf der Außenseite der CLT-Elemente analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kurven in allen in der CLT angegebenen Regionen die Grenzlinie nicht überschreiten. Somit ist dieses Kriterium erfüllt, und es besteht kein Risiko durch Pilzbefall. Die Diagramme zeigen auch, dass die relative Luftfeuchtigkeit in Region 1 höher ist als in den anderen Regionen, was auf das Fehlen einer Dämmschicht zwischen dem CLT und dem Boden in dieser Region zurückzuführen ist.

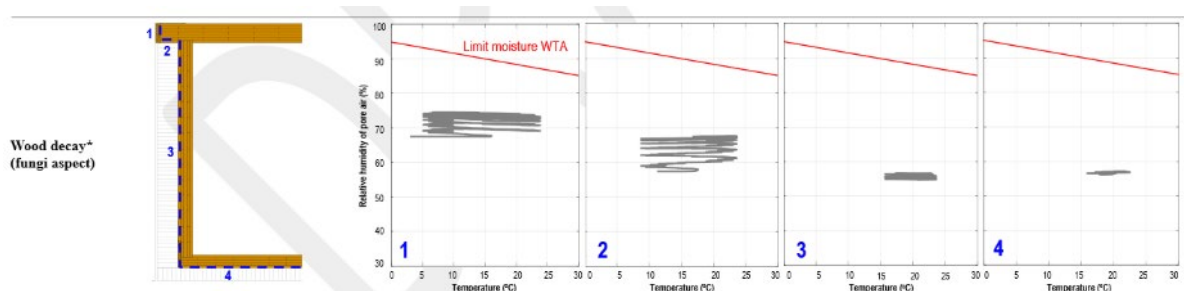
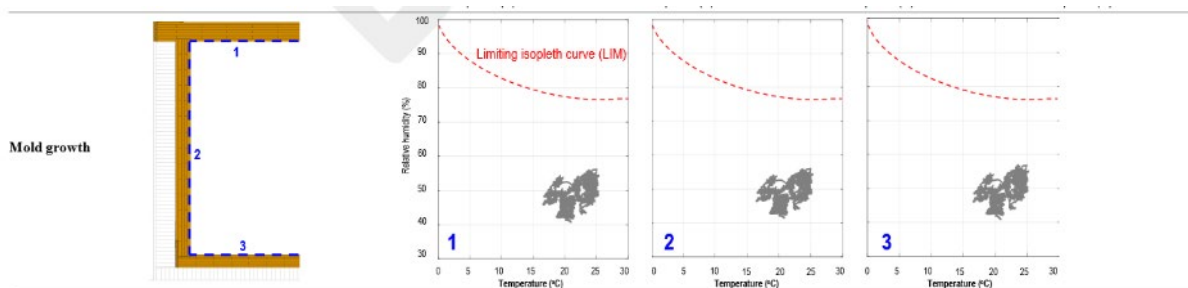


Abbildung 41: Simulation der relativen Luftfeuchtigkeit im Zellohrraum

Die kritische Grenze für die Feuchtigkeit an der Oberfläche beträgt gemäss DIN 4018 (2014) 80 %. Dieser Wert bezieht sich auf die Gefahr der Schimmelbildung an Wärmebrücken im Winter, wenn die Oberflächentemperatur ca. 12 °C beträgt (Ausscheiden von Feuchtigkeit aus der Innenluft bei 20 °C und 50 % relativer Luftfeuchtigkeit) Bei wärmeren Temperaturen, insbesondere im Sommer, reicht eine Oberflächenfeuchtigkeit von etwa 75 % aus, um Schimmelwachstum zu begünstigen. In den Diagrammen ist auch die niedrigste Isoplethenkurve für Schimmelpilzwachstum (LIM) für die Innenraumoberfläche angegeben, die die Mindestbedingungen für die typische Nährstoffversorgung darstellt, die normalerweise auf Baumaterialien zu finden ist (Viitanen 2011). Die Ergebnisse zeigen, dass die Werte immer

unterhalb der Grenzkurven liegen und somit während des langfristigen Betriebs kein Schimmelwachstum zu erwarten ist.



Des Weiteren zeigten Untersuchungen zu unterschiedlichen Ausgangsfeuchten im Holz, höheren Raumfeuchten und Konvektionsmöglichkeiten im Holz ein gutmütiges Verhalten mit Rücktrocknung.

3 DISKUSSION UND AUSBLICK

Wie in Abschnitt 2 gezeigt wurde, kann eine geeignete Konstruktion in Verbindung mit einer passenden Dämmung und Abdichtungsbahn Feuchtigkeit widerstehen und gleichzeitig Schimmelwachstum verhindern. Die Messungen vor Ort ergaben, dass der Feuchtigkeitsgehalt in CLT-Elementen durchweg innerhalb einer sicheren Spanne bleibt und unter dem von den Normen für Holzbauteile geforderten kritischen Grenzwert liegt. Es ist wichtig zu beachten, dass je nach der beabsichtigten Nutzung des Keller-raums verschiedene Aspekte berücksichtigt werden müssen und eine detaillierte Untersuchung in jedem Fall notwendig ist. Gleichzeitig zeigen vorangehende Untersuchungen den positiven Effekt von schon geringen Dämmstärken. Das untersuchte Gebäude wurde mit einer kontrollierten Lüftung inklusive Enthalpietauscher erstellt. Dadurch wird trotz fehlender Heizung ein sehr wohnliches Klima im Untergeschoss erreicht.

Die Autoren bedanken sich bei den Industriepartnern Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG, PROGEO Monitoring GmbH & Co, Schilliger Holz AG, Contec AG, Stuberholz AG und Gyger Flachdach für die Zusammenarbeit im Rahmen des Projekts.