

BFH_Nasszellen-Module

Forschungsprojekt unterstützt durch den Aktionsplan Holz

Bestell-/Referenz-Nr. 110013076

Öffentlicher Schlussbericht der Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

Biel, August 2022



Impressum

Fördergeber

Bundesamt für Umwelt - BAFU
Aktionsplan Holz
Kontaktperson Christian Aebischer
CH-3003 Bern

Forschungsinstitut

Berner Fachhochschule
Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA
Kompetenzbereich Holzbau, Bauen im Bestand und Denkmalpflege
Solothurnstrasse 102, CH-2504 Biel, Tel +41 (0)32 344 03 39
www.ahb.bfh.ch

Projektverantwortlicher und Projektleiter

Bernhard Letsch, Dipl.-Ing., MBA, Professor für Verfahrens- und Fertigungstechnik,
Berner Fachhochschule

Projektmitarbeiter/-innen Berner Fachhochschule

Mareike Vogel, Dipl.-Ing. Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA

Joel Burkhalter, BSc Holztechnik, wissenschaftlicher Assistent, Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdHB

Lisa Laggner, BSc Holz- und Naturfasertechnologie, wissenschaftliche Assistentin, Institut für digitale Bau- und Holzwirtschaft IdHB

Christoph Geyer, Dr., Dozent für Bauphysik, Berner Fachhochschule

Ulrich Kauz, BSc Bau- und Umweltingenieur, wissenschaftlicher Assistent Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur IHTA

Wirtschaftspartner:

Beer Holzbau AG, Obere Zollgasse 76, 3072 Ostermundigen

Ansprechpartner: Heinz Beer, heinz.beer@beer-holzbau.ch

Röthlisberger AG, Gewerbestrasse 7, 3535 Schüpbach

Ansprechpartner: Christoph Röthlisberger, chr@schreinermanufaktur.ch

Projektnummer BFH:

R.011564-10-74FE

Titelbild

Zertifikats-Plaketten, MFH Tschudi, Aufnahme: Berner Fachhochschule

Vorgefertigte Nasszellenmodule bieten zum einen die Möglichkeit kritische Installationen unter kontrollierten Bedingungen zu montieren, die Effizienz zu erhöhen und die Durchlaufzeit auf der Baustelle zu reduzieren. Die Zusammenarbeit regionaler Partnerunternehmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Unternehmen und fördert dadurch den Absatz von Schweizer Holz. Die Firma Beer Holzbau AG realisierte das Maison Climat, ein mehrgeschossiger Holzbau mit vorgefertigten Nasszellenmodulen in Biel. Anhand dieses Referenzprojektes wurden die kritischen Erfolgsfaktoren für eine effiziente Produktion solcher Nasszellenmodule ermittelt. Die Koordination der Haustechnik, eine frühzeitige Einbeziehung der Fachkompetenzen, eine kooperative Unternehmens- und Projektkultur, eine Datendurchgängigkeit und ein effizienter Informations- und Datenaustausch, tragen wesentlich zur Effizienzsteigerung bei der Planung, Produktion und Ausführung von modularen Nasszellen bei. Der Einsatz der digitalen Arbeitsmethode Building Information Modeling (BIM) kann eine datengestützte Zusammenarbeit zwischen den involvierten Planenden am Bauprojekt gewährleisten und den erhöhten Koordinationsaufwand der HLKS-Schnittstelle reduzieren. Durch eine frühzeitige Einbeziehung der Fachkompetenzen und eine damit verbundene frühe Integration der Modulbauweise in die Planung in der SIA 112 Vorstudie, können frühzeitig modulbaugerechte Entscheidungen hinsichtlich Grundrisses, Details, Materialwahl, Bauablauf, modulgerechter Transport etc. getroffen werden. Dadurch wird eine effiziente Vorfertigung und Montage gewährleistet. Durch den hohen Grad der Vorfertigung kann ein effizientes Qualitätsmanagement der Nasszellen erreicht werden.

Mit einer Kombination tragender Massivholz- und Holzrahmenbauwände wird eine optimale Raumnutzung und Ressourceneffizienz erreicht, da die Seitenwände statisch in das Elementbausystem des Gebäudes integriert werden können. Die statisch und bauphysikalisch intelligente, vertikale Anordnung der Nasszellen-Module im Maison Climat minimiert die Gesamtkosten.

Die Installationsebenen als Vorsatzschalen bei Decken und Wänden, die Vorsatzschale des Bodens als Trockenestrich sowie die Trennfugen zwischen Nasszellen und Nebenwohnungen sind wirkungsvolle Massnahmen für die Einhaltung der Anforderungen an Luft- und Trittschall. Die Vorsatzschale des Bodenaufbaus als Trockenestrich oder Unterlagsboden wird im Bereich einer schwellenfreien Duschtasse durchdrungen. Somit steht die Duschtasse direkt auf der Rohdecke der Holzkonstruktion. Die für den Massivbau ausgelegten Lagerungen der Duschtasse können den Schallschutz bei den meisten Holzkonstruktionen nicht gewährleisten. Aktuell kann keine quantitative Aussage bezüglich der Verbesserung des Schallschutzes einzelner Massnahmen gemacht werden. Dies kann ausschliesslich experimentell mit Schallmessungen im Prüfstand festgestellt werden.

Für die Leckageortung in Nasszellenmodulen stehen eine Vielzahl an Messverfahren und entsprechende Anbieter zur Auswahl.

Der Leistungsumfang der Anbieter reicht von reiner Materiallieferung bis hin zu Komplettlösungen inklusive Installation und Datenauswertung. Vor dem Entscheid für ein System sind daher die Bereitschaft bzw. Befähigung zur Installation der Messtechnik und zur Datenauswertung abzufragen.

Es sollte ein System gewählt werden, welches eine etwaige Leckage frühestmöglich «erkennt». Aus diesem Grund werden Systeme auf Basis der Potentialmessung empfohlen. Die Messungen sind möglichst früh zu starten, damit Vergleichswerte für alle folgenden Messungen vorliegen. Je nach Bedürfnissen der Eigentümer und Organisation des Facility Managements sind Art und Adressat der Alarmierung zu definieren.

Ein Real-Versuch, bei welchem mehrere Nasszellen-Module des Maison Climat mit Bandsensoren ausgestattet wurden, zeigte, dass mit geringem finanziellen und personellen Aufwand ein bereits bewährtes Mess-System installiert und Daten komfortabel ausgelesen werden können.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	6
2	Projektziel	6
3	Zielgruppen	7
4	Vorgehen und Methodik	7
4.1	Hauptbereiche des Forschungsprojekts	7
2	Referenzobjekt Maison Climat	8
3	Arbeitspakete des Projektes, Aufgabenstellungen und Darstellung im Bericht	9
4	Projektablauf Gesamtprojekt	10
5	Erfolgsfaktoren	10
5.1	Einleitung und Ziel	10
5.2	Vorgehen und Methode	10
5.3	Stand des Wissens	12
5.4	Wesentliche kritische Erfolgsfaktoren	13
5.5	Einflüsse der Modularisierung auf die Bauphasen nach SIA 112	15
5.6	Handlungsempfehlungen / Ausblick für weitere Forschungen	16
5.7	Ausblick	16
6	Konstruktion: Konzept, Planung und Realisierung	17
6.1	Einleitung und Ziel	17
6.2	Stand des Wissens	17
6.3	Konstruktionsprinzip	17
6.4	Schlussfolgerungen	20
7	Schallschutz	20
7.1	Einleitung und Ziel	20
7.2	Methode	20
7.3	Durchführung der Messungen	20
7.4	Ergebnisse	22
7.5	Schlussfolgerungen	24
7.6	Ausblick für weitere Forschungen	24
8	Feuchtemonitoring in Nasszellen	25
8.1	Einleitung und Ziel	25
8.1	Gründe für ein Feuchtemonitoring	25
8.2	Vorgehen	25
8.1	Übersicht Messverfahren und Messtechnik	25
8.2	Luftfeuchtemessung	28
8.3	Potentialmessung	30
8.4	RFID-Tags	33
8.5	Elektrische Widerstandsmessung	34
8.6	Sorptionsisothermenmessung	37
8.7	Einbau eines Monitoring-Systems am Real-Objekt	38
8.8	Zusammenfassung	43
8.9	Empfehlungen und Ausblick	44
9	Zusammenfassung und Ausblick	44
9.1	Zusammenfassung	44
9.2	Empfehlungen und Ausblick	45
10	Bestimmungen zum vorliegenden Bericht und Umfang	45
11	Abbildungsverzeichnis	46
12	Tabellenverzeichnis	48
13	Literaturverzeichnis	49
Anhang A: Schallschutz		51
1	Messgeräte	51
2	Massgebende Bauteile	52
3	Messung der Nachhallzeit	52

4	Luftschalldämmung	53
5	Trittschalldämmung	53
6	Bestimmung der Einzahlangaben	54
6.1	Bestimmung des bewerteten Schalldämmmasses	54
6.2	Bestimmung des bewerteten Standard- Trittschallpegels	54
7	Fremdgeräuschkorrektur	54
8	Immissionsgeräusche	55
9	Exemplarische Messergebnisse	59
9.1	Luftschalldämmung	59
9.2	Trittschalldämmung	60
9.3	Haustechnische Anlagen	61
Anhang B: Feuchtemonitoring		62
1	Scanntronik	62
1.1	Kosten Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen	62
1.2	Kosten Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen	63
1.3	Kosten Sorptionsmethode an 10 Mess-Stellen	64
1.4	Konzeption Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen	64
1.5	Konzeption Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen	65
1.6	Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen	66
1.7	Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionsisothermenmethode	66
2	Omnisense	69
2.1	Kosten Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen	69
2.2	Kosten Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen	69
2.3	Kosten Sorptionsmethode an 10 Mess-Stellen	70
2.4	Kosten Sorptionsmethode an 30 Mess-Stellen	70
2.5	Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen	70
2.6	Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionsisothermenmethode	71
3	Ahlborn	72
3.1	Kosten Sorptionsisothermenmethode an 09 Mess-Stellen	72
3.2	Kosten Sorptionsisothermenmethode an 29 Mess-Stellen	72
3.3	Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 9 Mess-Stellen	73
3.4	Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 29 Mess-Stellen	73
3.5	Hauptkomponenten Sorptionsisothermenmethode	73
4	Mageba	75
4.1	Kosten an 10 Mess-Stellen	75
4.2	Kosten an 30 Mess-Stellen	75
4.3	Komponenten der Mageba SA – Monitoringsysteme	76
5	Terra Vermessungen AG	77
5.1	Kosten Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen	77
5.2	Kosten Sorptionsisothermenmethode an 30 Mess-Stellen	78
6	Progeo	79
6.1	Kosten	79
6.2	Sensoren	81
6.3	Systemkomponenten	81
6.4	Weitere Informationen zu Sensoren Smartex dm und Smartex sp	83
7	RPM 84	
7.1	Kosten	85
7.2	Systemkomponenten	85
8	SIHGA Monitorix	87
8.1	Kosten	87
9	HUM-ID	89
9.1	Kosten und Systemkomponenten	89

1 Ausgangslage

Mehrgeschossige Holzbauten sind im Trend, gewinnen im Markt an Bedeutung und die Akzeptanz bei Investoren und Bewohnern ist mittlerweile sehr gross geworden. Kurze und zuverlässige Liefer- und Montagezeiten sowie eine Zunahme der Vorfertigung sind wichtige Erfolgsfaktoren, die zu dieser positiven Entwicklung in den letzten Jahren beigetragen haben. Im aktuellen Baumarkt hat der Wunsch nach kurzen Bauzeiten weiterhin einen grossen Einfluss. Gleichzeitig steigt der Druck auf die Preise, da mittlerweile auch grosse ausländische Unternehmen diesen Bereich als lukratives Geschäftsfeld entdeckt haben. Dies führt dazu, dass vermehrt grosse Volumen durch ausländische Unternehmen abgewickelt werden und damit grosses Potenzial für den Einsatz von Schweizer Holz verloren gehen kann. Ein weiterer zentraler Erfolgsfaktor für die positive Marktentwicklung von Gebäuden in Holzbauweise ist eine hohe Qualität in der Ausführung dieser Gebäude.

Durch einen immer höheren Grad an Vorfertigung, welcher einhergeht mit firmeninternen und firmenübergreifenden Standards, wurde in den letzten Jahren sowohl die Prozesse optimiert als auch die Effizienz in der Holzbaubranche gesteigert.

In den zentralen und komplexen Bereichen der Nasszellen ist die Vorfertigung im Werk hingegen noch gering. So werden Nasszellen in einem Grossteil der Projekte erst auf den Baustellen montiert. Das bedeutet, dass die komplexesten und fehleranfälligen Baugruppen der Innenausstattung unter Baustellenbedingungen montiert werden, was zum einen zu Verzögerungen im Bauablauf aber auch zu Fehlern unter wenig kontrollierbaren Bedingungen auf einer Baustelle führen kann. Die Erfahrungen zeigen, dass ein Grossteil von kostspieligen Fehlern gerade in diesen Bereichen auftritt.

2 Projektziel

Im geplanten Forschungsprojekt soll ein durchgängiges System für die Nasszellen-Vorfertigung entwickelt werden. Dieses ermöglicht die Montage und Installation der komplexen Bauteile in der Produktionshalle unter gleichbleibenden, optimierten Bedingungen und die Lieferung der Nasszellen als Gesamtkomponente auf die Baustelle zu vordefinierten Terminen. Im Vergleich zu bestehenden vorgefertigten Nasszellenmodulen werden die teils statisch mittragenden Raummodulteile in ein Elementbausystem integriert. Hierzu werden in einem Projektbereich neue konstruktive und materialtechnische Lösungen entwickelt, um u.a. Anforderungen an den Schallschutz einzuhalten.

Ein weiterer Projektbereich ist die Verknüpfung der Nasszellen mit einem Monitoring-System (Sensoren zur Feuchteüberwachung), das zur langfristigen Qualitätsüberwachung der Konstruktion eingesetzt werden kann und eine Lösung zu einem wesentlichen Entscheidungskriterium der Investoren bietet. Die Anforderungen an den Aufbau des Sensoren-Systems zeigen, dass dieses insbesondere robust, kostengünstig und langlebig sein muss, um langfristig vor Leckagen zu warnen und es muss kompatibel sein zu verschiedenen Systemen von Smart Home Systemen.

Im dritten Projektbereich werden die Prozesse zur Vorfertigung der komplexen Elemente unter kontrollierten und industrialisierten Bedingungen optimiert, so dass die Gesamtkomponente auf der Baustelle mit wenigen, standardisierten Schnittstellen montiert werden kann. Dies stellt sicher, dass die zu installierenden Bauteile passen und die kritischen Anschlüsse unter kontrollierten Bedingungen montiert werden können. Die Herausforderungen in diesem Projektbereich bestehen insbesondere in der Vernetzung der einzelnen Partner innerhalb der Wertschöpfungskette.

Anhand eines konkret umgesetzten Bauprojektes werden verschiedene Konstruktionsvarianten verbaut und messtechnisch die wesentlichen Zielwerte erfasst. Die ermittelten Daten werden zur weiteren Optimierung der Systeme eingesetzt.

Ein durchgängiges System für die Fertigung und Montage einer neuartigen vorgefertigten Nasszellenkomponente, deren Wandteile in das Elementbausystem integriert werden, ermöglicht eine effizientere Produktion und Montage und erhöht zusammen mit einem Monitoringsystem die Wettbewerbsfähigkeit von mehrgeschossigen Holzbauten.

Die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen wird erhöht durch industrialisierte und dem handwerklichen Umfeld angepasste Fertigungsprozesse und die direkte Einbindung der Unternehmen aus dem Heizung-, Lüftung- und Klimatechnik - Bereich (HLK).

Mit einer durchgängigen Wertschöpfungskette zur Fertigung der Nasszellen vom Sägewerk über den Schreiner bis zum Holzbauer wird der Einsatz von Schweizer Holz erhöht.

Anhand eines konkreten Projekts werden die Machbarkeit und Wirksamkeit der Konstruktion und des Systems bestätigt.

Durch den Einbezug aller relevanten Unternehmungen in eine durchgängig digitales Datenmodell (BIM) werden auch mittlere Schweizer Unternehmen konkurrenzfähiger im Vergleich zu grossen Unternehmungen. Nationale und regionale Wirtschaftskreisläufe werden somit gefördert

3 Zielgruppen

Die Ergebnisse aus dem vorliegenden Forschungsbericht sind von Nutzen für die folgenden Zielgruppen:

- Akteur*innen der Schweizer Wald-, Holz- und Holzenergiewirtschaft
- Konsument*innen von Schweizer Holz-Produkten
- Entscheidungsträger*innen der öffentlichen Hand
- Architekt*innen
- Planende

4 Vorgehen und Methodik

4.1 Hauptbereiche des Forschungsprojekts

Das Forschungsprojekt gliedert sich in vier Hauptbereiche, für welche in den folgenden Abschnitten das jeweilige Vorgehen und die Methodik der Bearbeitung beschrieben werden:

- a) Erfolgsfaktoren
- b) Konstruktion
- c) Schallschutz
- d) Feuchtemonitoring.

Das Mehrfamilienhaus Maison Climat (siehe 2) dient als Referenzobjekt für die Untersuchung. Basierend auf einer Ist-Analyse des Bauobjekts wird aufgezeigt, wie nationale und regionale Wertschöpfungsketten zur Erstellung von solch vorgefertigten Nasszellenmodulen interagieren können und welche Rahmenbedingungen, basierend auf der Identifizierung von kritischen Erfolgsfaktoren, hinsichtlich der Planung und Umsetzung dazu notwendig sind. Anhand von leitfadengeführten, qualitativen Interviews mit den im Bauprojekt involvierten Unternehmer*innen konnten kritische Erfolgsfaktoren durch eine qualitative Inhaltsanalyse nach (Mayring, 2015) abgeleitet werden. Durch eine anschließende Ergebnisvalidierung durch Expert*innengespräche wurden kritische Erfolgsfaktoren validiert und aufgestellt, welche das Wertschöpfungsnetzwerk stärken und zur Effizienzsteigerung bei der Umsetzung solcher Nasszellenprojekte beitragen.

Die Firma Beer entwickelt Nasszellenmodule, die in die Gebäudestruktur integriert werden und für eine dauerhafte und ressourcenschonende Nutzung geeignet sind. Die Modulbauweise des vorliegenden Projektes wird eingeordnet und die für den Projekterfolg entscheidenden konstruktiven Lösungen und Modulanordnungen im Gebäude werden dargestellt. Die modulare Vorfertigung wird durch eine frühe Koordination der Partnerunternehmen ermöglicht und in einem 3D-Model modelliert.

Im Rahmen des Projekts wird beim Neubau Maison Climat die Luft- und Trittschalldämmung unterschiedlicher Decken sowie die Immissionsschallpegel fester Einrichtungen bestimmt. Grundlage der Schallmessungen ist die SIA 181.

Ausgehend vom Wunsch nach einer etwaigen Leckageortung in Nasszellenmodulen wird vorgestellt, an welchen Positionen im Bodenaufbau welche Messprinzipien und welche jeweiligen Sensoren geeignet sind. Zu jedem Messprinzip wird eine Auswahl an Anbietern vorgestellt unter Angabe von wichtigen Systemkomponenten und einer Übersicht über Kosten. Je nach Anbieter handelt es sich um reinen

Materialbezug – mit anschliessender bauseitiger Installation und Datenerfassung – oder Komplettlösungen.

Am MFH «Maison Climat» wurde ein Flächenmonitoringsystem, welches mit Potentialmessung arbeitet, eingebaut um die Verlegung, Anschluss und Auswertung zu untersuchen.

2 Referenzobjekt Maison Climat

Allen Arbeitsbereichen des hier dokumentierten Forschungsprojektes dient das Referenz-(Real-) Objekt «Maison Climat» in Biel als Arbeitsgrundlage. Das »Maison Climat« ist ein Minergie-P zertifiziertes MFH am Seelandweg 15 in Biel und wurde von der Beer Holzhaus AG als Totalunternehmer erstellt.

Die Gebäudehöhe mit Erdgeschoss beträgt 12.8m, die Gebäudelänge 33.7m und die Gebäudetiefe 14.6m. Auf vier Etagen sind 20 Wohnungen angeordnet, 5 Wohnungen pro Geschoss mit jeweils 2.5 bis 3.5 Zimmern auf einer Fläche von 61 bis 79 m². Zusätzlich gibt es 9 Autoeinstellplätze, 20 Kellerabteile und einen Technikraum mit Lüftungsgeräten.

Das UG wurde in konventioneller Beton-Massivbauweise, ab Bodenplatte als Holzbau ausgeführt. Die Außenwände sind in Elementbauweise erstellt, die Geschossdecken bilden liegendes Brettschichtholz. Die Küchen und Bäder sind aus Modulen vorgefertigt, die Treppenanlage mit Betonelementen.

Der vertikale Lastabtrag erfolgt über tragende Außenwände und zwei tragende Innenachsen. Die Aussteifung in Gebäudequerichtung erfolgt über die Giebelwände und die Wohnungstrennwände. In Gebäudelängsrichtung dienen einzelne Außenwände und Innenwände dem horizontalen Lastabtrag.

Folgende Personen und Firmen waren Bau beteiligt:

Bauherrschaft:	Jérôme Tschudi, Biel
Architekt:	Bürgi Schärer Architekten AG, Bern
Totalunternehmung:	Beer Holzhaus AG, Ostermundigen
Holzbauingenieur:	BauHolz Wenger GmbH, Thun
Holzbauunternehmung:	Beer Holzbau AG, Ostermundigen
Küchen:	Röthlisberger AG, Schüpbach
Lüftung:	Neuenschwander – Neutair AG, Biel
Sanitär:	Ganz AG, Biel



Abbildung 1: Maison Climat: Ansicht; Quelle: (Beer, 2022)



Abbildung 2: Maison Climat: Querschnitt; Quelle: (Beer, 2022)

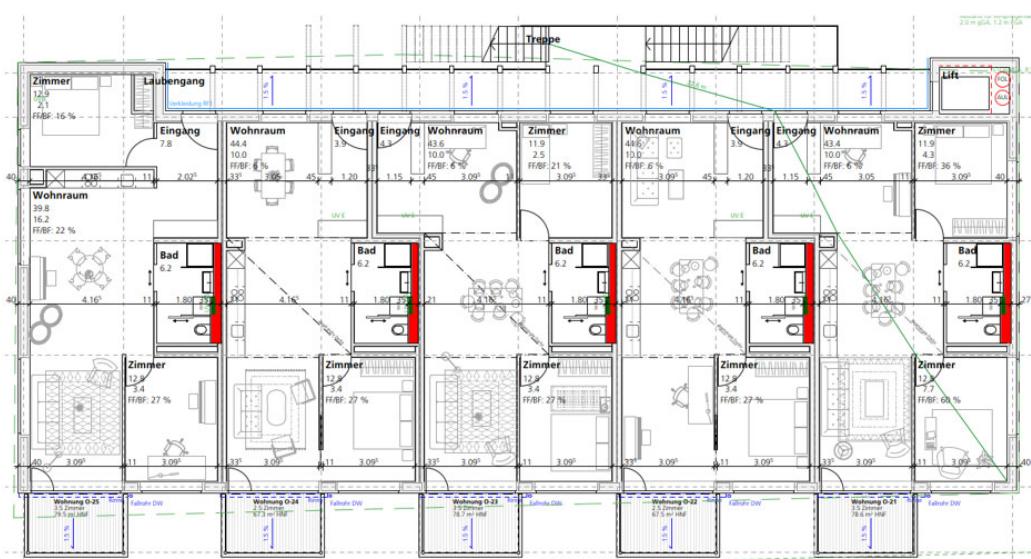


Abbildung 3: Maison Climat: Grundriss mit Wandscheiben der Nasszellenmodule; Quelle: (Beer, 2022)

3 Arbeitspakete des Projektes, Aufgabenstellungen und Darstellung im Bericht

Im Folgenden sind die bei Antragstellung formulierten Arbeitspakete dargestellt.

Zur besseren Lesbarkeit des vorliegenden Berichtes wurden die Themen der fünf Arbeitspakete in vier Kapiteln thematisch zusammengefasst. Die Gesamt-Zusammenfassungen der Ergebnisse und die Handlungsempfehlung sind in Kapitel 9 zu finden.

AP 1: Bedürfnisse , Anforderungsspezifikation, Definition Schnittstellenformate

→ Kapitel 5 «Erfolgsfaktoren»

AP 2: Konzept Konstruktion (Berücksichtigung Schallschutzanforderungen etc.)

Konstruktion: → Kapitel 6 «Konstruktion: Konzept, Planung und Realisierung»
 Schallschutz: → Kapitel 7 «Schallschutz»

AP3: Planung und Erstellung einer exemplarischen Nasszelle

→ Kapitel 6 «Konstruktion: Konzept, Planung und Realisierung»

AP 4: Durchführen von Messungen, Auswertung und Analyse der Ergebnisse

AP4-1: Schallmessungen

→ Kapitel 7 «Schallschutz»

AP4-2: Messungen zur Leckageortung

→ Kapitel 8 «Feuchtemonitoring in Nasszellen»

4 Projektlauf Gesamtprojekt

In der folgenden Abbildung ist der Projektlauf grafisch dargestellt. Aufgrund der genehmigten Projektverlängerung erfolgt der Projektabschluss statt Mai 2022 im August 2022.

Nr.	Arbeitspaket	Ifd. Nr.	Jahr		2021						2022						
			Monat		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
AP 1	Anforderungsspezifikation, Definition Schnittstellenformate																
AP 2	Konzept Konstruktion (Berücksichtigung Schallschutzanforderungen etc.)																
AP 3	Planung und Erstellung einer exempl. Nasszelle (idealerweise anhand eines konkreten Projekts)																
AP 4	Durchführung von Messungen, Auswertung und Analyse der Ergebnisse																
AP 5	Zusammenfassung der Ergebnisse, Erarbeiten von Handlungsempfehlungen																
	Abschluss Projekt																

Abbildung 4: Projektlauf ohne Projektverlängerung

5 Erfolgsfaktoren

5.1 Einleitung und Ziel

Nachfolgend sind die kritischen Erfolgsfaktoren dargestellt, welche wesentliche Voraussetzungen bilden zur Effizienzsteigerung bei der Planung, Produktion und Ausführung von modularen Nasszellen aus Holz. Zudem wird der Einfluss der Modularisierung von Nasszellen auf die Projektphasen SIA 112, Modell Bauplanung, 2014, untersucht.

Im Rahmen des Arbeitspakets 1 soll, basierend auf dem Bauprojekt «Maison Climat», aufgezeigt werden, wie nationale und regionale Wertschöpfungsketten zur Erstellung von vorgefertigten Nasszellenmodulen interagieren können und welche Rahmenbedingungen hinsichtlich der Planung und Umsetzung dazu notwendig sind. Durch eine detaillierte Analyse der Ist-Prozesse des oben genannten Objekts sollen kritische Erfolgsfaktoren abgeleitet werden, welche das Wertschöpfungsnetzwerk stärken und zur Effizienzsteigerung bei der Umsetzung solcher Nasszellenprojekte beitragen.

5.2 Vorgehen und Methode

Die prozesstechnischen Anforderungen innerhalb des existierenden Wertschöpfungsnetzwerks werden je Bereich (Projektmanagement, Digitalisierung, Projektpartnerschaft) bzw. Prozess nach SIA-112 und je Branche (Planende und ausführende Gewerke) analysiert. Das Untersuchungsziel ist, den Einfluss der Modularisierung¹ auf die Bereiche Projektmanagement, Digitalisierung und Projektpartnerschaft und auf die Bauphasen nach SIA-112 (Planung, Beschaffung, Produktion, Montage) von modularen Nasszellen im Holzelementbau zu identifizieren und davon potenzielle kritische Erfolgsfaktoren (KEF) abzuleiten. Der Ist-Zustand des Referenzobjekts wird mit Hilfe von leitfadengeführten Interviews als qualitative

¹ Die Modularisierung bezeichnet das Bauen mit standardisierten oder individualisierbaren Komponenten, die zu einem größeren Endprodukt zusammengefügt werden.

Erhebungsmethode ermittelt. Die im Bauprojekt «Maison Climat» involvierten Unternehmer*innen (Tabelle 1) werden zu diversen Themenbereichen (Informationsaustausch, Zusammenarbeit, Herausforderungen hinsichtlich der Modularisierung etc.) in Einzelinterviews befragt.

Tabelle 1: Übersicht der befragten Unternehmen

Nr.	Tätigkeit	Firma
1	Bauleitung TU	Beer Holzhaus AG
2	Holzbauplanung	Beer Holzbau AG
3	Architekt	Bürgi Schärer Architekten AG
4	Elektrofachplaner	fux & sarbach ENGINEERING AG
5	HLKS-Fachplaner	Grütter Gebäudetechnik AG
6	Tragwerksplaner Holzbau	BauHolz Wenger GmbH
7	Heizungs- und Sanitärinstallateur	Ganz AG
8	Lüftungsinstallateur	Neuenschwander-Neutair AG

Die Auswertung der qualitativen Experteninterviews erfolgt nach der qualitativen Inhaltsanalyse von Mayring (2015). Die identifizierten KEF werden durch Expert*innengespräche (Tabelle 2) validiert, um allgemein gültige, projektunabhängige Aussagen zu erhalten.

Tabelle 2: Übersicht der interviewten Expert*innen zur Ergebnisvalidierung

Expert*in	Tätigkeit	Bereich
Andreas Keller	Leiter Engineering bei Renggli AG	Projektmanagement Projektpartner
Moritz Begle	Projektleiter Digitalisierung bei ERNE AG Holzbau	Digitalisierung
Edyta Augustynowicz	Professorin für digitale Fertigung	Digitalisierung
Kathrin Merz	Architektin bei Bauart Architekten und Planer	Prozesse nach SIA 112
Roman Hausammann	Leiter Engineering bei Stuberholz	Prozesse nach SIA 112

Die einzelnen Untersuchungsschritte werden in Abbildung 5 im Ablaufmodell dargestellt. Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse, werden die Abläufe und Abhängigkeiten des Nasszellenprojekts weiterentwickelt, um die davor identifizierten Herausforderungen zu minimieren.

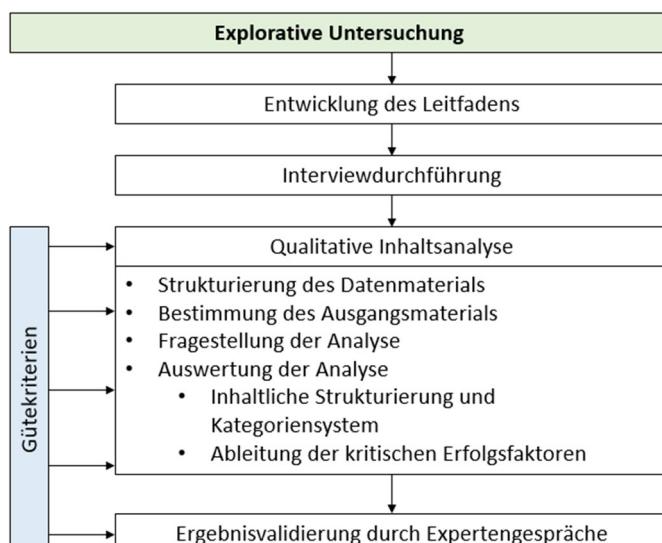


Abbildung 5: Ablaufmodell der explorativen Untersuchung

5.3 Stand des Wissens

Folgendes Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den Einsatz aktueller digitaler Arbeitsmethoden im Holzbau sowie den optimalen holzbaugerechten Planungsprozess.

Die digitale Prozesskette im Holzbau

Seit über 30 Jahren sind Holzbauunternehmen in der Lage mit 3-D Modellen zu arbeiten. Mit der Vorplanung im Architekturbüro beginnt die Datenerstellung und verdichtet sich immer weiter in einem iterativen und kollaborativen Prozess von Konstruktion und Berechnung mit Fachplanenden. Das abgestimmte Datenmodell wird im Optimalfall an das ausführende Holzbauunternehmen übergeben. Am Ende der digitalen Kette dient das Datenmodell zur Bewirtschaftung des Gebäudes und der Wiederverwendung von Ressourcen. Die CAD-Daten der Werkstattplanung werden in die CAM-Planung des Holzbauunternehmens übernommen. Um die geometrischen und alphanumerischen Daten, die meist mit unterschiedlichen Softwareprogrammen erstellt werden, als Grundlage für die CAM-Daten zu übergeben, wurde das Schnittstellenformat IFC entwickelt. Die CAM-Daten werden in der Arbeitsvorbereitung erstellt und bilden die Grundlage für die Maschinenansteuerung und Werkzeugauswahl von CNC-Fräsmaschinen (Kaufmann, Krötsch, & Winter, 2021).

Die BIM-Methode beschreibt einen optimierten Prozess von Planung, Ausführung und Betrieb von Gebäuden mithilfe einer 3-D Software, wobei alle relevanten Gebäudedaten digital erfasst und die Planung aller Beteiligten in einem digitalen Datenmodell vernetzt werden. Das Gebäude kann als virtuelles 3-D-Gebäudemodell geometrisch dargestellt werden. Zu Beginn der Kooperation sollten die Beteiligten Festlegungen hinsichtlich Schnittstellen, Detaillierungsgrad und Verantwortlichkeiten verbindlich klären. Durch verschiedene Reifegrade, so genannte BIM-Level, wird der Grad der Kollaboration der Projektbeteiligten beschrieben. Von einer BIM-Anwendung wird ab Level 2 gesprochen, wenn Dateien untereinander verlinkt und Daten von anderen Projektbeteiligten integriert werden. Im Gegensatz zur konventionellen Planung werden durch die modellorientierte Arbeitsweise zu einem früheren Zeitpunkt mehr Informationen in konkreter Darstellung gefordert. Wie bei der Planung vorgefertigter, moderner Holzbauprojekte bedarf es bei einer BIM-Methode einer Vorverlagerung des Planungsprozesses in frühe Planungsphasen, um zeitgerecht eine Grundlage für Planungsentscheidungen zu schaffen. Dadurch können mögliche Kollisionspunkte in der Planung der beteiligten Fachplanenden rechtzeitig erkannt und vermieden werden. (Kaufmann, Krötsch, & Winter, 2021).

Holzbaugerechte Planungsprozesse

Der konventionelle Massivbau hat einen niedrigen Vorfertigungsgrad und der Planungszeitraum wird häufig bis in die Ausführungsphase gedehnt. Dies resultiert oft in eine baubegleitenden Ausführungsplanung. Einige Entscheidungen werden spät im Projektverlauf oder auf der Baustelle getroffen (Geier, et al., 2017). Nach SIA 112 werden relevante Fachplanende und ggf. das Holzbauunternehmen in der Praxis des vorgefertigten Holzbau in einer späten Phase integriert (Abbildung 6). (Geier & Keikut, 2017).

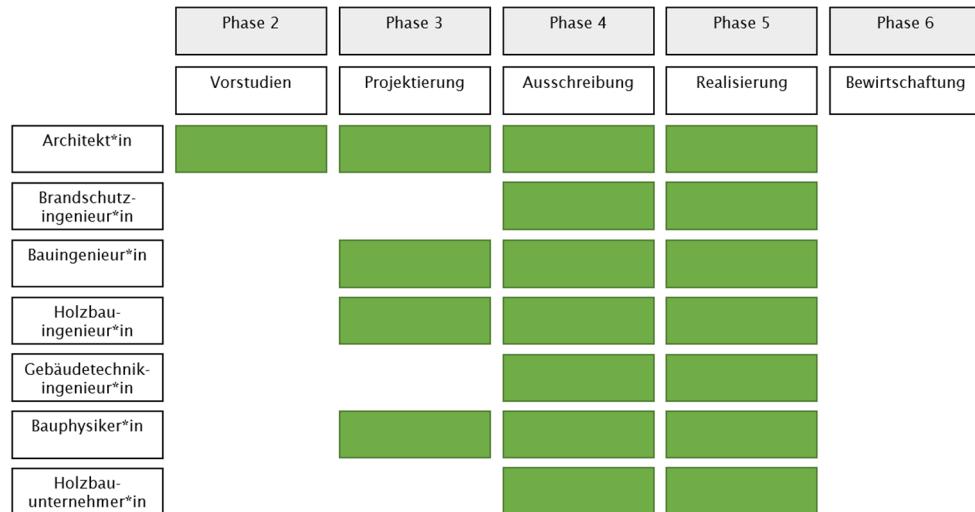


Abbildung 6: Einbezug der Fachkompetenzen nach den Projektphasen SIA 112 Modell Bauplanung (vgl. Zölling, 2016, S.10)

Der Prozessverlauf und der Planungszeitraum werden im vorgefertigten Holzbau oftmals nicht an die Anforderungen der Vorfertigung angepasst. Beim holzbaugerechten Prozessverlauf werden bereits in den ersten Entwurfsüberlegungen, neben den klassischen architektonischen Themen, schon sehr konkrete holzbaupezifische Einflussfaktoren bedacht und in die Planung integriert. Die Vorfertigung ist besonders prägend für den Bauprozess im heutigen Holzbau, und Überlegungen wie Elementgrößen, Transportlogistik und Montageablauf müssen in die Entwurfsplanung integriert werden (Kaufmann, Krötsch, & Winter, 2021). Eine frühzeitige Integration in den Planungsprozess aller projektspezifisch relevanten Fachplanenden wäre für einen an die Vorfertigung angepassten Planungs- und Bauprozesses ideal (Abbildung 7). (vgl. Geier & Keikut, 2017).



Abbildung 7: Einbezug der Fachkompetenzen angepasst an den Anforderungen des vorgefertigten Holzbau (vgl. (Zöllig, 2016), S.10)

5.4 Wesentliche kritische Erfolgsfaktoren

Kritische Erfolgsfaktoren verschaffen den Projektbeteiligten eines Bauprojekts einen Überblick worauf geachtet werden soll, um einen Projekterfolg zu erzielen. Dieses Wissen kann anschließend genutzt werden, um effiziente Strategien zur Leistungsverbesserung aufzustellen (Esmaeili, Pellicer, & Molenaar, 2016)

Folgende kritische Erfolgsfaktoren konnten für die Bereiche Projektmanagement, Digitalisierung und Projektpartnerschaft identifiziert werden, welche zur Effizienzsteigerung bei der Umsetzung von Nasszellenprojekten als Holzbauunternehmen beitragen:

- **Effiziente Koordination der Haustechnik**

Da Sanitärbereiche zu den komplexesten Räumen eines Bauprojekts zählen, ist eine effiziente Koordination der Haustechnik unabdinglich und mitentscheidend für einen Projekterfolg. Die Haustechnik stellt somit das Schlüsselgewerk eines erfolgreichen Modulbaus dar. Digitale Arbeitsmethoden wie beispielsweise BIM könnten aufgrund der datengestützten Zusammenarbeit zwischen den Planenden als Lösung angesehen werden, den Planungs- und Koordinationsaufwand zu reduzieren und Mehrkosten zu vermeiden.

- **Frühzeitige Einbeziehung der Fachkompetenzen**

Der Projekterfolg hängt weniger von der Wahl des jeweiligen Vergabemodells ab, sondern mehr von einer frühzeitigen Einbindung von modulbau- und holzbauspezifischen Fachkompetenzen. Dadurch kann ein vorfertigungsgerechter Planungs- und Bauprozess, wie bereits in Kapitel 5.3 diskutiert (siehe Abbildung 7), garantiert werden, ohne den Erfolg von einem spezifischen Vergabemodell abhängig zu machen. Werden die benötigten Kompetenzen frühzeitig im Projekt eingesetzt, eignen sich unterschiedliche Vergabemodelle, abhängig von den jeweiligen Projektanforderungen.

- **Kooperative Unternehmens- und Projektkultur**

Gerade zwischen den Planenden und Gewerken von unterschiedlichen Disziplinen im Projekt- oder Ausführungsteam ist es wichtig, ein gegenseitiges Verständnis für die jeweilige Tätigkeit aufzubringen. Dies kann durch gegenseitige Werksbesichtigungen, Workshops und regelmäßige Gespräche gesteigert werden. Durch den akut herrschenden Fachkräftemangel ist es umso wichtiger, eine Vertrauenskultur im Unternehmen aufzubauen, um die Kommunikation, Motivation und die Zusammenarbeit der Mitarbeitenden auf einem hohen Level zu halten.

- **Datendurchgängigkeit**

- Durch die 3D-Fähigkeit aller Planenden der unterschiedlichen Disziplinen und dem damit verbundenen IFC-Datenaustausch kann ein effizienter Informationsaustausch und ein durchgängiger Datenfluss erreicht werden.
- Für eine effiziente Datendurchgängigkeit zwischen Planung (CAD) und Produktion (CAM) muss die Maschinenbedienbarkeit bereits in der Planung mitbedacht werden und zu Beginn in das jeweilige digitale Planungstool aufgenommen werden.

- **Effizienter Informations- und Datenaustausch**

- Programme wie cloudbasierte Projektviewer bieten eine optimale Kommunikationsplattform zwischen den Planenden. Die Modelle und Pläne aller Planer*innen können über diese Cloudlösung eingesehen werden.
- Werden neue digitale Werkzeuge wie z.B. online Projektmanagement-Plattformen, BIM etc. schrittweise bzw. reduziert eingeführt, kann die Akzeptanz der Mitarbeitenden für eine digitale Veränderung erhöht werden. Abhängig der involvierten Partner*innen und des jeweiligen Projekts kann der Digitalisierungsstandard an die jeweilige Situation angepasst werden. Durch die jeweilig gewählte BIM-Stufe des Projekts wird auf den digitalen Stand der Partner individuell eingegangen.

- **Klare Rollenzuteilung und Projektorganisation**

Bei der Benutzung von digitalen Tools wie beispielsweise Online-Projektmanagement-Plattformen im Projektteam, sind die Zuständigkeiten und Rollen durch den Projektleader zu bestimmen. Es empfiehlt sich, Anwendungsregeln, wie z.B. das korrekte Ablegen von Dateien, aufzustellen. Alle Definitionen müssen vorab im Projektteam klar definiert werden und jeder Mitarbeitende muss

von derselben Definition sprechen. Doppelte Arbeiten durch unklare Rollenverteilungen können dadurch schon zu Beginn verhindert werden.

5.5 Einflüsse der Modularisierung auf die Bauphasen nach SIA 112

Wie in Kapitel 5.3 diskutiert, empfehlen einige Holzbau Expert*innen die Anpassung der SIA 112 an die Bedürfnisse der industriellen Vorfertigung (Humm, 2016). Die Einflüsse der Modularisierung von modularen Nasszellen auf die einzelnen Bauphasen nach SIA 112 wurden untersucht und von den identifizierten Erfolgsfaktoren abgeleitet, um einen modulbaugerechten und holzbaugerechten Prozessverlauf aufzustellen (Abbildung 8):

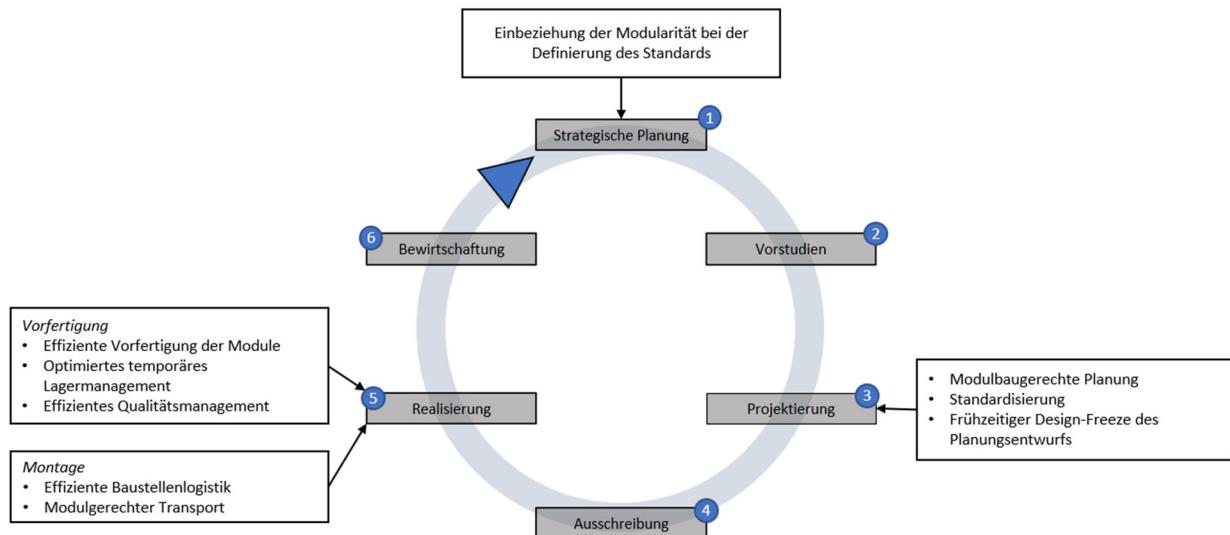


Abbildung 8: Einflüsse der Modularisierung von modularen Nasszellen auf die jeweilige Bauphase nach SIA 112 (eigene Darstellung)

Nachfolgend werden die Modularisierungseinflüsse auf die jeweiligen Phasen nach SIA 112 diskutiert:

- **SIA-Phase 112 - Strategische Planung (1)**

In der strategischen Planung empfiehlt es sich, die Modularität bei der Definierung des Standards des Objekts bereits miteinzubeziehen. Nasszellenmodule eignen sich für Objekte, wo kein oder ein geringer Bedarf an Individualisierung vorhanden ist wie beispielsweise Mietwohnungen, Hotels etc. Durch eine intensive Bedarfsanalyse in der strategischen Planung können die modularen Bäder zielgerichtet eingesetzt werden.

- **SIA-Phase 112 - Projektierung (3) (Teilphasen Vorprojekt und Bauprojekt)**

Folgende Einflüsse müssen bereits in der Teilphase Vorprojekt für eine modulbaugerechte Planung berücksichtigt werden.

- Lage des Moduls
- Frühzeitiges Einbeziehen der Planungsphilosophie (Rasterplanung)
- Technische Planung der Modulverbindung
- Dimensionierung der Module
- Einhaltung der Gewichtslimitierung der Module
- Transportgerechte Materialwahl
- Platzdefinition der Steigzonen
- Fügung der Elemente / der Bauteile
- Frühzeitige Einrichtungsentscheidung des Bauherrn / der Bauherrin

Mit Ende der Teilphase Bauprojekt wird, im Gegensatz zur baubegleitenden Planung, der Planungsentwurf fixiert und wird ab diesem Zeitpunkt nicht mehr geändert (Design-Freeze). Grund dafür ist eine frühzeitige Materialbestellung, um rechtzeitig die Vorfertigung der Module beginnen zu können.

- **SIA-Phase 112 – Realisierung (5), unterteilt in Vorfertigung und Montage**

Durch Aspekte wie einer ausgeklügelten Serienfertigung, eine effiziente Etappierung der Vorfertigung, der Ausweitung des Vorfertigungsgrades etc. kann eine optimierte und effiziente Vorfertigung erreicht werden. Dadurch können die Arbeiten vor Ort auf der Baustelle, je nach Bauprojekt, auf ein Minimum reduziert werden. Die Vorfertigung wird erst dann als optimal effizient betrachtet, wenn die gesamte Nasszelle inklusive Anschlüsse und Inneneinrichtung vorgefertigt wird, und am Bau nur mehr angeschlossen wird. Durch diesen hohen Grad der Vorfertigung kann ein effizientes Qualitätsmanagement und die damit verbundene Qualitätskontrolle der Nasszellen durchgeführt werden. Dies stellt einen erheblichen Vorteil der modularen Bauweise dar, da durch ein effizientes Qualitätsmanagement im Werk einer kostenintensiven Bauverzögerung frühzeitig entgegengewirkt werden kann. Bei der Montage von Nasszellenmodulen muss eine effiziente Baustellenlogistik sowie der modulgerechte Transport beachtet werden. Die etappierte und modulgerechte Anlieferung der vorgefertigten Module muss in den Bauprozess aufgenommen werden. Beim modulgerechten Transport wäre optimal, wenn die Dimensionen der Module auf die LKW-Dimensionen angepasst werden würden, dass eine effiziente Ausnutzung des LKW erreicht wird. Dadurch wird weniger Leermasse transportiert und der Transport wird kostengünstiger. Diese Dimensionierung müsste bereits während der Entwurfsplanung der Nasszelle im Vorprojekt mitbedacht werden.

5.6 Handlungsempfehlungen / Ausblick für weitere Forschungen

Durch den frühzeitigen Einbezug der Fachkompetenzen und die damit verbundene Wichtigkeit einer soliden Projektpartnerschaft wird von Projektbeginn ein Wertschöpfungsnetzwerk gebildet, welches zu einer kooperativen Unternehmens- und Projektkultur beiträgt. Durch dieses Netzwerk können Partner und Ressourcen aus der Region gewählt werden, um eine regionale Wertschöpfungskette zu fördern. Werden die Fachkompetenzen in einer frühen Phase, wie beispielsweise in der SIA Phase 112 Vorstudie, miteinbezogen, kann der modulbaugerechte Planungs- und Bauprozess bereits in der Entwurfsplanung berücksichtigt werden. Das Planerteam eines Modulbauprojekts und die Bauherrschaft müssen früh in die Planungsphilosophie und das Planungsziel involviert werden. Alle Planenden müssen den Grad der Vorfertigung und die modularen Eigenschaften des Projekts selbst verstehen, um die Entscheidungen im Prozess nachvollziehen zu können, um ein erfolgreiches modulares Bauprojekt umsetzen zu können. Der vorgefertigte, modulare Holzbau ist, aufgrund des Planungsvorlaufs und die damit verbundene frühzeitige Benötigung vieler Informationen, ideal für digitale Arbeitsmethoden geeignet. Die Digitalisierung kann als Lösung angesehen werden, um den Planungs- und Koordinationsaufwand zu reduzieren und Mehrkosten zu vermeiden. Eine Möglichkeit dafür ist der Einsatz von BIM, da dadurch eine datengestützte Zusammenarbeit zwischen den involvierten Planenden an einem Bauprojekt gewährleistet wird und die HLKS-Koordination reduziert wird. Wird ein *Open-BIM*-Modell eingesetzt, können die Daten der jeweiligen involvierten Planenden über eine geeignete Datenplattform zusammengeführt werden und ein effizienter Informations- und Datenaustausch wird gewährleistet. Eine Voraussetzung dafür ist die 3D-Planungsfähigkeit aller Planenden. Eine weitere Möglichkeit für einen durchgängigen Datentransfer zwischen den Beteiligten ist durch die Verwendung eines digitalen Nasszellen-Konfigurators. Solch Konfiguratoren können HLKS-Leitungen automatisiert generieren, was einen geringeren Koordinationsaufwand, einheitliche Schnittstellen und eine durchgängige Planung gewährleisteten.

Im Gegensatz zu Aussagen, dass durch die Modularisierung der Planungsaufwand einer Nasszelle erhöht wird, war beim vorliegenden Projekt dieser nicht höher als bei einem konventionell geplanten Bauablauf. Im Idealfall wird die Modularisierung schon in der Vorstudie miteinbezogen um bei der Planung frühzeitig die Nasszellendimensionierung und eine Standardisierung entsprechend zu planen. Je durchdachter und detaillierter in der Vorprojektphase geplant wird, umso früher können modulbaugerechte Entscheidungen (Grundriss, Details, Material, Bauablauf, Transport) getroffen werden, welche wiederum eine effiziente Vorfertigung und Montage gewährleisten. Durch den Einsatz identischer Module kann eine Standardisierung erreicht werden, welche wiederum eine wirtschaftliche und effiziente Vorfertigung ermöglicht. Die Standardisierung ist von der Projektgröße abhängig und ist insbesondere dann wirtschaftlich, wenn eine größere Anzahl von den Modulen zum Einsatz kommen. Je nach Projektgrösse sind bei genügender Anzahl von Nasszellen-Einheiten somit auch Varianten denkbar.

5.7 Ausblick

Für zukünftige Untersuchungen empfiehlt sich, gezielt die Vorteile von der digitalen Arbeitsmethode BIM mit den Vorteilen der Planung und Fertigung von modularen Nasszellen zu untersuchen und zu verknüpfen, da hier ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung liegt.

6 Konstruktion: Konzept, Planung und Realisierung

6.1 Einleitung und Ziel

Im nachfolgenden Kapitel wird die Modulbauweise des vorliegenden Projektes eingeordnet. Für den Projekterfolg entscheidende konstruktive Lösungen sowie die Anordnung und Modulverbindung der Nasszellen werden dargestellt.

Ziel ist die Planung und Umsetzung eines Referenzobjektes, bei dem das Nasszellenmodul in die Gebäudestruktur integriert wird und für eine dauerhafte, ressourcenschonende Nutzung geeignet ist. Die modulare Vorfertigung wird durch eine frühe Koordination der Partnerunternehmen ermöglicht und in einem 3D-Modell dargestellt.

6.2 Stand des Wissens

In der Literatur werden zahlreiche Begrifflichkeiten für vorgefertigte, modulare Räume verwendet, welche nicht immer dieselbe Bedeutung aufweisen.

Der Begriff „Modul“ wird meist für dreidimensionale, raumhaltige Bauteile, welche aus Elementen zusammengefügt und repetitiv eingesetzt werden, verwendet (Bauart Architekten und Planer AG, 2022). Jedoch werden im Holzbau auch Decken- und Wandelemente als Module bezeichnet. Im Allgemeinen wird eine immer wiederkehrende Grundeinheit als Modul definiert. Diese Definition gilt sowohl für ein Wandelement wie für einen Raum.

Die Modulbauweise ist kein neues Konzept, doch durch die Einflüsse des technologischen Fortschritts, durch den ökonomischen Bedarf und durch einen Mentalitätswandel entsteht heutzutage ein größeres Interesse an der Modulbauweise (Bauart Architekten und Planer AG, 2022).

Modulgebäude sind aufgrund der verwendeten Bauprodukte und einer permanenten Qualitätsüberwachung bei der Fertigung aus technischer Sicht viele Jahrzehnte nutzbar. Die eingesetzten Produkte werden bei der Modulbauweise ressourcenschonend bemessen und lassen sich nach dem Rückbau wieder sortenrein trennen (Busch, et al., 2019).

6.2.1 Modultypen

Es wird grundsätzlich zwischen Einzelmodulen, offenen- und geschlossenen Modulen sowie Bad-, bzw. Küchenmodulen unterschieden. Werden einzelne Wandflächen durch Stützen ersetzt, wird von einem offenen Modul gesprochen (proHolz Austria, 2017). Ein Modul kann unterschiedliche Funktionen, wie z.B. eine statische Funktion und/oder eine zweckgebundene Funktion, wie z.B. eine Nasszelle, aufweisen. (Bauart Architekten und Planer AG, 2022).

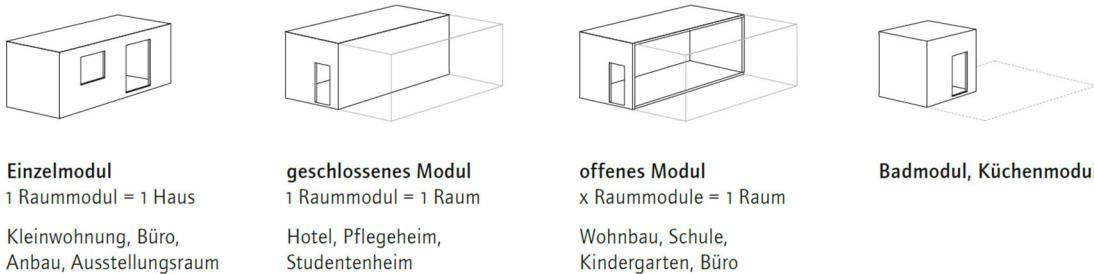


Abbildung 9: Modultypen (proHolz Austria, 2017, S.6)

Raummodule können entweder in Massivholzbau (Brettsperrholz oder Brettstapel), in Holzrahmenbau, in Mischbauweise (Kombination aus Holzmassiv- und Holzrahmenbau) oder in hybrider Bauweise errichtet werden. Die Hybridbauweise kann entweder aus Holz-Beton-Verbunddecken, Betondecken oder aus einem Stahlskelett mit ausfachenden Holzelementen bestehen (proHolz Austria, 2017).

6.3 Konstruktionsprinzip

Das geplante Raummodul ist ein offenes Nasszellenmodul in einer hybriden Bauweise. Die Seitenwände sind mit tragenden Brettsperrholzplatten ausgeführt. An deren Enden übernehmen Buchenstützen die

Lasten aus den Unterzügen. Einwirkende Zugkräfte werden durch Gewindestangen übernommen, welche in die Buchenstützen eingelassen sind und bei der Montage zu einem vom Fundament bis zum Obergeschoss durchgängigem Bauteil verbunden werden. Vor- und Rückseite der Module sind in Holzrahmenbauweise ausgeführt (Beer, 2022). Das Nasszellenmodul kombiniert die Vorteile unterschiedlicher Konstruktionsprinzipien und Materialien, damit eine ressourceneffiziente und platzsparende Raumnutzung gewährleistet werden kann.

Das Gebäude setzt sich aus einem unbewohnten Untergeschoss, einem Erdgeschoss und drei Obergeschossen zusammen. Jedes Stockwerk hat fünf Wohnungen mit Nasszelle und Küche, welche paarweise und vom Erdgeschoss bis zum zweiten Obergeschoss übereinander angeordnet sind.

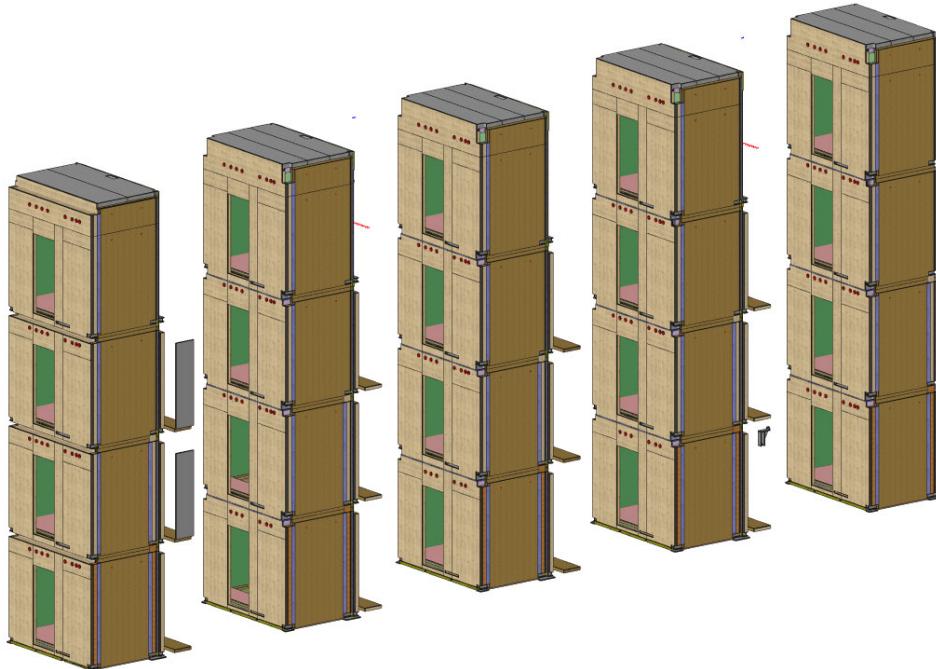


Abbildung 10: Vertikale Anordnung der Nasszellen

6.3.1 Modulanordnung und Integration

Die vertikale Anordnung macht eine Integration der Modulwände in das Elementbausystem möglich. So werden die Kräfte optimal nach unten geleitet. Für den Schallschutz ist die Anordnung der unterschiedlichen Räume in einem Mehrfamilienhaus von grosser Bedeutung. Entscheidend ist die Lärmempfindlichkeit der Immissionsräume. Ist der Immissionsraum ein Schlafzimmer, Wohnzimmer oder eine Wohnküche, gilt eine mittlere Lärmempfindlichkeit. Bei der Anordnung in Abbildung 10 wird die Lärmempfindlichkeit des Immissionsraums für den kritischen, vertikalen Übertragungsweg nach SIA 181 (Abbildung 46) als gering eingestuft. Lüftungsrohre, Leitungen für Warm-, Kalt-, Dach- und Schmutzwasser werden in der Rückwand der Nasszellen nach unten geführt und grenzen in diesem Bereich ausschliesslich an Räume mit geringer Lärmempfindlichkeit.

6.3.2 Digitale Planung

Damit eine effiziente Produktion und Montage ermöglicht wird, müssen die Nasszellen bereits bei der Projektierung (Abbildung 8) in die Planung integriert werden. Eine frühzeitige Auswahl der Bau- und Ausstattungsparameter ist wesentlich. Je höher der Vorfertigungsgrad, desto grösser sind die Qualitätssteigerung und der Kostenvorteil gegenüber herkömmlich gefertigten Nasszellen. Grundlage ist eine 3D-Planung der Nasszelle im Kontext des gesamten Gebäudes. Installations- und Gebäudetechnik werden im 3D-Modell integriert (Abbildung 11).

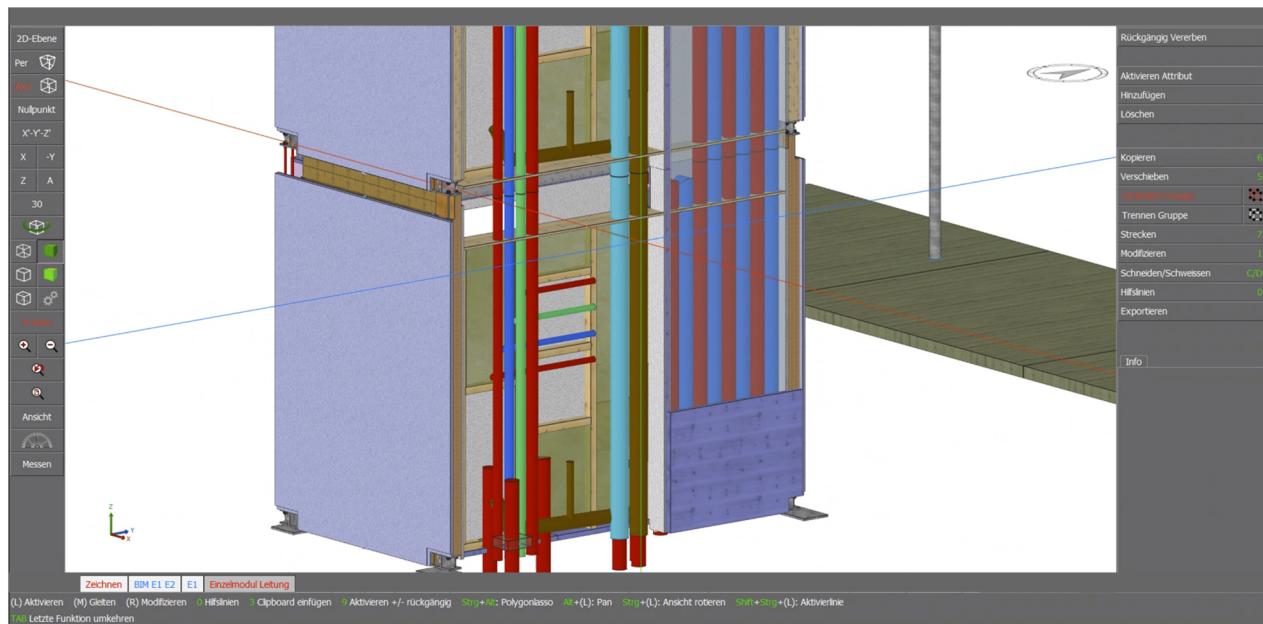


Abbildung 11: 3D Modell der Nasszelle mit integrierter Installations- und Gebäudetechnik

6.3.3 Technische Ausführung

Entscheidend für die Ausführung sind nicht nur Ausstattungsparameter und bauphysikalische Parameter, sondern auch das Modulgewicht und die frühzeitige Planung der Haustechnik. Montagearbeiten und Transportzustände müssen früh eingeplant werden. Die Transportmittel sowie der Hub und die maximale Last des Baustellenkrans werden bei der Planung früh berücksichtigt (Abbildung 12). Der Installationshohlraum ist für die Verbindung der Haustechnik während der Bauphase zugänglich (Abbildung 13). Nach der Bauphase kann die Haustechnik durch eine Wartungsöffnung auf der Innenseite erreicht werden. Durch die hohe Vorfertigung wird die Bauphase verkürzt. Dennoch müssen die Module gegen Regen und sichtbare Bauteile gegen Transport und Bauschäden geschützt werden. Für die Nasszellen im Obergeschoss werden zwei unterschiedliche Bodenaufbauten entwickelt, welche in Bezug auf Kosten und Schallschutz nach Fertigstellung des Gebäudes verglichen werden. Der genaue Aufbau von Boden und Rückwandkonstruktion sowie die massgebenden Parameter für den Schallschutz sind im Anhang A beschrieben



Abbildung 12: Position des Krans beim Maison Climat



Abbildung 13: Anschluss der Haustechnik nach der Montage(Maison Climat)

6.4 Schlussfolgerungen

Mit einer Kombination von Massivholz- und Holzrahmenbauwänden wird eine optimale Raumnutzung und Ressourceneffizienz erreicht, da die Seitenwände statisch in das Elementbausystem des Gebäudes integriert werden können. Die statisch und bauphysikalisch intelligente, vertikale Anordnung der Nasszellenmodule im Maison Climat minimiert die Gesamtkosten. Durch die hohe Vorfertigung wird die Bauzeit verkürzt. Eine detaillierte Planung der Haustechnik und somit grundlegende Entscheidungen der Auftraggeber*innen in der Projektierungsphase ist eine wichtige Voraussetzung. Die hohe Vorfertigung stellt erhöhte Anforderungen an die Sorgfalt aller Beteiligten während dem Transport und auf der Baustelle. Eine genaue Terminplanung der Montageabläufe ist von zentraler Bedeutung, um aufwändiges Handling und Zwischenlagern der Module zu vermeiden.

7 Schallschutz

7.1 Einleitung und Ziel

Die Beschreibung des Gebäudes und die massgebenden Bauteile und Parameter für den Schallschutz sind dem Kapitel 6 und dem Anhang A zu entnehmen. Das Kapitel Ergebnisse enthält die für die Durchführung und Auswertung relevanten Berechnungen und Auszüge aus der Norm SIA 181.

An dargestelltem Objekt werden Messungen der schalltechnischen Eigenschaften der neu entwickelten Nasszellen durchgeführt. Gemessen wird die Luft- und Trittschalldämmung zweier unterschiedlicher Decken, ebenso wie die Immissionsschallpegel fester Einrichtungen in den Nasszellen am Seelandweg 17, 2503 in Biel. Ziel ist die Ableitung von Massnahmen zur weiteren Verbesserung der Konstruktion.

7.2 Methode

Grundlage der Schallmessung ist die SIA 181. Die relevanten Auszüge, Messmittel und Formeln werden im Anhang A: Schallschutz detailliert dargestellt.

7.3 Durchführung der Messungen

Die Schallmessungen wurden zwischen Januar und März 2022 vor Ort durchgeführt.

7.3.1 Geometrie des Empfangsraums

Die folgende Tabelle stellt das Volumen aller Empfangsräume, in denen die Messungen durchgeführt wurden, sowie die Fläche der Trennbauteile dar.

Tabelle 3: Volumen der Räume und Fläche des Trennbauteils für die durchgeführten Messungen

Messung N°	Senderaum	Empfangsraum	Volumen Empfangsraum (m ³)	Fläche Trennbauteil (m ²)
LS01	Küche	Schlafzimmer	38.3	12.4
LS02	Küche	Nasszelle	13.9	8
LS03	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
TS01	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
TS02	Nasszelle	Schlafzimmer	38.3	-
TS03	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
FG01	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
FG02	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
FG2.1	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
BG01	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2
BG02	Nasszelle	Schlafzimmer	38.3	-
BG03	Nasszelle	Nasszelle	13.9	6.2

7.3.2 Pläne mit Messorten

Die Orte und Übertragungswege der Schallmessungen sind in den nachfolgenden Grundrissen eingetragen. Die Ergebnisse der Immissionsgeräusche können der Tabelle 9 entnommen werden, die Ergebnisse der Luftschallmessungen der Tabelle 6 und die Ergebnisse der Trittschallmessungen der Tabelle 8.

Messungen in horizontaler Richtung

In der nachfolgenden Abbildung sind die Orte und die Übertragungswege für die Messungen im 2. OG dargestellt.

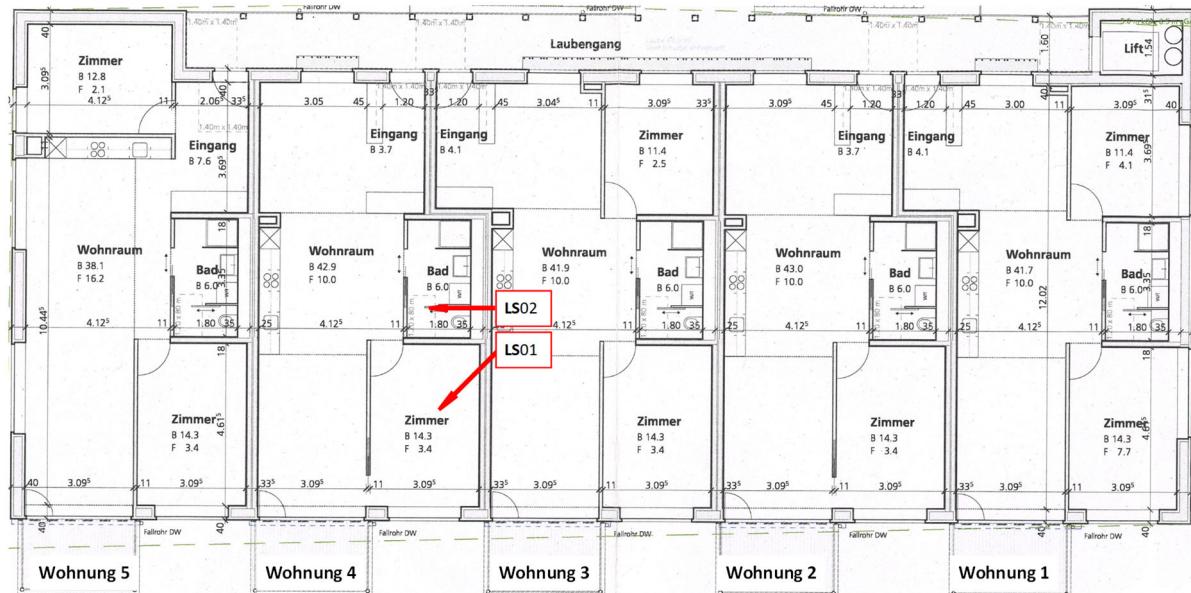


Abbildung 14: Horizontalmessungen im 2.Obergeschoss (LS für Luftschall)

Messungen vom 2. OG nach unten (senkrecht und diagonal)

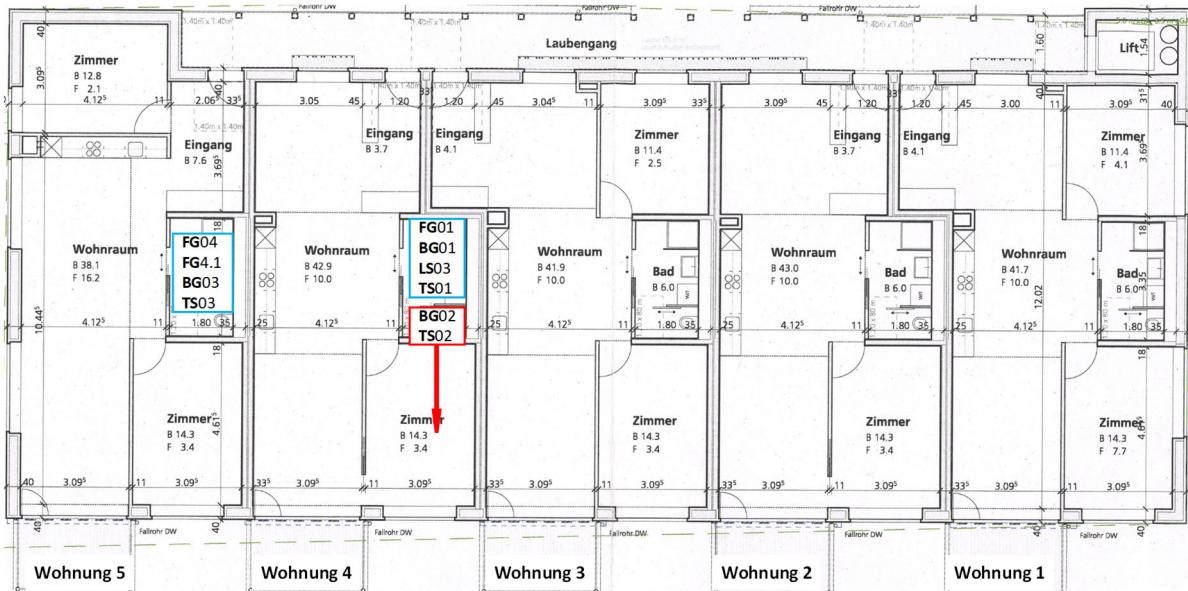


Abbildung 15: Vertikalmessungen vom 2.Obergeschoss in das 1. Obergeschoss. Die Abkürzung FG steht für Funktionsgeräusch; BG für Benutzergeräusch; LS für Luftschall und TS für Trittschall

7.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse von Luft- und Trittschall und die Ergebnisse der Funktions- und Benutzergeräusche werden in separaten Tabellen aufgezeigt und den Anforderungswerten gegenübergestellt. Im Anhang A: Schallschutz befindet sich jeweils eine detaillierte Auswertung pro Geräusch.

7.4.1 Luftschallmessungen

Aus den Luftschallmessungen ergeben sich folgende Werte für die bewertete Standardschallpegeldifferenz und für die zugehörigen Spektrumanpassungswerte.

Tabelle 4: Ergebnisse der Luftschallmessung

Ergebnis der Luftschallmessung				
Messung Nr	Bauteil	Senderaum Empfangsraum	Übertragungsweg	Luftschall $D_{nT,w}$ ($C; C_{tr}$)
LS01	Wand	2.OG; Wohnung 3; Küche Wohnung 4; Schlafzimmer	Horizontal	62.5 (-2; -6)
LS02	Wand	2.OG; Wohnung 3; Küche Wohnung 4; Nasszelle	Horizontal	72.1 (-3; -10)
LS03	Boden 1	2. OG; Wohnung 4; Nasszelle 1.OG; Wohnung 4; Nasszelle	Vertikal	59.0 (-4; -10)
	$D_{nT,w}$ bewertete Standardschallpegeldifferenz			

In Tabelle 5 sind die Messergebnisse der Luftschallmessungen in Form der Einzahl- und aller Spektrumanpassungswerte zusammengestellt.

Tabelle 5. Einzahlwerte und Spektrumsanpassungswerte der Luftschalldämmung

Messung	LS01 (dB)	LS02 (dB)	LS03 (dB)
$D_{nT,w}$	62.5	72.1	59.0
C	-2	-3	-4
C_{tr}	-6	-10	-10
$C_{50-3150}$	-3	-7	-5
$C_{tr,50-3150}$	-13	-19	-14
$C_{50-5000}$	-2	-6	-4
$C_{tr,50-5000}$	-13	-19	-14
$C_{100-5000}$	-1	-2	3
$C_{tr,100-5000}$	-6	-10	-10

Tabelle 6: Gegenüberstellung der Messergebnisse des Luftschallschutzes mit den Mindest- und den erhöhten Anforderungen nach SIA 181:2020; Ziffer 3.2.1

Messung Nr.	Luftschallschutz				
	$D_{nT,w} + C$	Anforderung (nach SIA 181:2020; Ziffer 3.2.1)			
		Mindestanforderung	Erhöht		
LS01	60.5 dB	≥ 52 dB	✓	≥ 56 dB	✓
LS02	69.1 dB	≥ 47 dB	✓	≥ 51 dB	✓
LS03	55 dB	≥ 47 dB	✓	≥ 51 dB	✓

7.4.2 Trittschallmessungen

Aus den Trittschallmessungen ergeben sich folgende Werte für den bewerteten Standardtrittschallpegel bzw. für die Spektrumanpassungswerte.

Tabelle 7: Ergebnisse der Trittschallmessung

Ergebnis der Trittschallmessung				
Messung Nr.	Bauteil	Sende- / Empfangsraum	Übertragung	Trittschall $L'_{nT,w}(C_I; C_{I,50-2500})$
TS01	Boden 1	2. OG; Wohnung 4; Nasszelle 1. OG; Wohnung 4; Nasszelle	Vertikal	51.4 (3; 7)
TS02	Boden 1	2. OG; Wohnung 4; Nasszelle 1. OG; Wohnung 4; Schlafzimmer	Diagonal	38.7 (1; 4)
TS03	Wand 1	2. OG; Wohnung 5; Nasszelle 1. OG; Wohnung 5; Nasszelle	Vertikal	46.5 (4; 10)
	$L'_{nT,w}$ bewertete Standardschallpegeldifferenz			

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Messergebnisse des Trittschallschutzes mit den Mindest- und den erhöhten Anforderungen nach SIA 181:2020; Ziffer 3.3.1

Messung Nr.	Geschossdecke	Trittschallschutz				
		$L'_{nT,w} + C_I$	Anforderung (nach SIA 181 2020; Ziffer 3.3.1)			Erhöht
			Mindestanforderung			
TS01	Bodenaufbau 1	54.4 dB	≤ 58 dB	✓	≤ 54 dB	⚡
TS02	Bodenaufbau 1	39.7 dB	≤ 53 dB	✓	≤ 49 dB	✓
TS03	Bodenaufbau 2	50.5 dB	≤ 58 dB	✓	≤ 54 dB	✓

7.4.3 Immissionsgeräusche

Aus den Installationsgeräuschmessungen ergeben sich folgende Werte für die Schalldruckpegel der Geräusche haustechnischer Anlagen. Bei den Benutzergeräuschen der Dusche besteht optimierungsbedarf. Alle weiteren Werte haben die Anforderungen nach SIA 181 erreicht.

Tabelle 9: Ergebnisse der Installationsgeräusche

Funktionsgeräusche	Einzelgeräusche	Geräusche haustechnischer Anlagen				Anforderung SIA 181 [dB]		
		Ref.	Quelle		Immissions-ort			
Nasszellen	FG01	Nasszelle Wohnung 4 2. OG	Dusche	Nasszelle Wohnung 4 1. OG	35.3	≤ 38		
			Lavabo		29.3			
			WC		36.8			
		Nasszelle Wohnung 2 2. OG	Dusche	Nasszelle Wohnung 2 1. OG	33.9			
			WC		36.8			
		FG2.1	Dusche	Dusche	32.4			
			WC		35.9			
		FG03	Nasszelle Wohnung 3 2. OG	Nasszelle Wohnung 3 1. OG	35.4			
			WC		35.6			
		FG3.1	Dusche	32.8				

			WC		35.2	
Benutzungsgeräusche (Empa-Fallhammer)	FG04	Nasszelle Wohnung 5 2. OG	Dusche	Nasszelle Wohnung 5 1. OG	30.7	
			WC		35.5	
			Dusche		29.6	
			WC		36.2	
Benutzungsgeräusche (Empa-Fallhammer)	BG01	Nasszelle Wohnung 4 2. OG	Dusche	Nasszelle Wohnung 4 1. OG	45.9	≤ 43
			Lavabo		37.4	
			WC*		45.9*	
	BG02	Schlafzim- mer Wohnung 4 1. OG	Dusche		32.9	≤ 38
			Lavabo		26.3	
			WC		37.5	
	BG03	Nasszelle Wohnung 5 2. OG	Dusche	Nasszelle Wohnung 5 1. OG	45.0	≤ 43
			Lavabo		39.1	
			WC*		45.1*	

* Gemäss SIA 181, Tabelle 8 gilt: Bei dauerhaft wirksamen Dämpfungseinrichtungen gelten die Anforderungen für die entsprechenden Benutzungsgeräusche ohne Prüfung als erfüllt. Beispiele: Absenkautomatik bei WC, Rollstoppbeschläge bei Schubladen.

7.5 Schlussfolgerungen

Für Nasszellen aus Brettsperrholz bringt eine Rohdeckenbeschwerung einen verbesserten Trittschall. Mit einer geeigneten Dämmung zwischen Rohdecke und Vorsatzschale (Unterlagsboden oder Trockenestrich) kann der Trittschall am meisten beeinflusst werden. Die Wirkung von unterschiedlicher Masse (m) und dynamischer Steifigkeit (s') der Trittschalldämmung kann anhand folgender Formel eingordnet werden:

$$f_0 = 160 \text{Hz} * \sqrt{\left(s' \left(\frac{MN}{m^3} \right) * \left(\frac{1}{m'_1 \left(\frac{k_g}{m^2} \right)} + \frac{1}{m'_2 \left(\frac{k_g}{m^2} \right)} \right) \right)}$$

Die Massivholzbauweise hat eine deutlich höhere Flankenübertragung als der Holzrahmenbau (Blödt & Rabold, 2019). Die Installationsebenen als Vorsatzschalen bei Decken und Wänden, die Vorsatzschale des Bodens als Trockenestrich sowie die Trennfugen zwischen Nasszellen und Nebenwohnungen haben dazu geführt, dass die Anforderungen an Luft- und Trittschall eingehalten werden konnten.

In den Installationshohlräumen können die Funktionsgeräusche von Sanitärinstallationen durch eine zusätzliche Mineraldämmung mit einem längenbezogenen Strömungswiderstand $r \geq 10 \text{ kNs/m}^4$ verbessert werden. Durch das Einbringen zusätzlicher Dämmung können Körperschallbrücken jedoch nicht kompensiert werden. Nachträglich kann das Vorhandensein von Körperschallbrücken nur durch Bauteilöffnungen festgestellt werden. Das Vermeiden von Körperschallbrücken muss daher während der Bauphase, wenn alle Installationen noch zugänglich sind, sichergestellt werden.

7.6 Ausblick für weitere Forschungen

Beim Leichtbau, insbesondere bei der Verwendung von Brettsperrholzplatten, stellen sich besondere Herausforderungen, da Prüfzeugnisse für den Schallschutz sanitärer Installationen oft nur für den Massivbau angeboten werden. Die Vorsatzschale des Bodenaufbaus als Trockenestrich oder Unterlagsboden wird im Bereich einer schwellenfreien Duschtasse durchdrungen. Somit steht die Duschtasse direkt auf der Rohdecke der Holzkonstruktion. Die für den Massivbau ausgelegten Lagerungen der Duschtasse können den Schallschutz bei den meisten Holzkonstruktionen nicht gewährleisten. Für den Schall relevanten Massnahmen sind:

- Möglichst hohe Masse der Duschtasse

- Lagerung mit einer minimalen Eigenfrequenz
- Hohlraum zwischen Duschtasse und Rohdecke mit Mineralwolle dämmen
- Vorsatzschale zwischen Lagerung und Rohdecke
- Rohdecke beschweren

Aktuell kann keine quantitative Aussage bezüglich der Verbesserung des Schallschutzes einzelner Massnahmen gemacht werden. Dies müsste experimentell mit Schallmessungen im Prüfstand festgestellt werden.

8 Feuchtemonitoring in Nasszellen

8.1 Einleitung und Ziel

Im folgenden Kapitel sollen technische Möglichkeiten aufgezeigt werden, um Feuchtigkeit in Bauteilen zu erfassen bzw. Leckagen frühzeitig zu erkennen.

Spezielles Augenmerk soll auf die mit Feuchtigkeit belasteten Bereiche gelegt werden, wie z.B.:

- Duschzone mit dem Übergang der Duschtasse/Bodenanschluss- und Wandanschlussfugen,
- Siphon, Waschtisch mit Zu- und Abfluss,
- WC mit Zu- und Abflussleitungen und
- Steigzone mit zahlreichen Anschlüssen und Kupplungen der zentralen Versorgungsleitungen.

Wichtige Bereiche sind hierbei vor allem die Duschzonen sowie die Positionen der Frisch- und Abwasserleitungen.

8.1 Gründe für ein Feuchtemonitoring

Die Installation eines Monitoringsystem entlastet den Holzbau-Unternehmer während der Gewährleistungsfrist und im weiteren Verlauf der Gebäudenutzung die Eigentümerschaft durch frühzeitige Erkennung und Ortung eines Feuchteintrages, verursacht durch Schäden an Installationen oder Abdichtungen.

Es bietet im Gebrauch eine wirtschaftliche Möglichkeit den Ort des etwaigen Schaden einzugrenzen und diesen gezielt zu beheben.

Bei Objekten mit diverser Nutzerschaft ist eine zentrale Auswertung der Feuchtesensoren grundsätzlich zu favorisieren, da zum Beispiel Feuchteschäden in einer Eigentumswohnung oftmals mehrere Wohnungen in Mitleidenschaft ziehen können und unter Umständen die gesamte Bausubstanz Schaden nehmen kann.

8.2 Vorgehen

Es werden unterschiedliche Messprinzipien vorgestellt, welche sich für verschiedene Messstellen anwenden lassen. Zu jedem Messprinzip wird eine Auswahl an Messtechnik und Herstellern vorgestellt unter Angabe von Kosten, Messkonzept und Systemkomponenten. Je nach Anbieter werden die reinen Materialkosten angegeben – mit anschliessender bauseitiger Installation und Datenerfassung – oder Komplettlösungen.

Am «Maison Climat» wurde ein Flächenmonitoringsystem, welches mit Potentialmessung arbeitet, eingebaut um die Verlegung, Anschluss und Auswertung zu untersuchen.

8.1 Übersicht Messverfahren und Messtechnik

8.1.1 Einführung und Hintergründe

Holz als organischer Bau- und Werkstoff ist vor dauerhafter Feuchte zu schützen, um seine Leistungsfähigkeit zu erhalten. Eine verhinderte Austrocknung kann zu dauerhaften Schäden am Bauwerk führen. Undichtigkeiten oder Havarien in der Haustechnikinstallation können nie vollständig ausgeschlossen werden. Vor allem in den Duschenbereichen können Undichtigkeiten in Fugen und Rohren grössere Feuchteschäden verursachen. Nachteil ist hier, da diese meist sehr lange unentdeckt bleiben.

Dringt Wasser in Richtung der Tragkonstruktion vor, bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, dieses zu erkennen. Im betrachteten Forschungsprojekt wurden die Nasszellen als Nasszellenmodul vorgefertigt, unter anderem mit dem Ziel, die Sanitärinstallationen weitestgehend unter kontrollierten Bedingungen im Werk zu produzieren. Die konventionelle Montage von Nasszelleninstallationen hingegen ist sehr von den Rahmenbedingungen der jeweiligen Baustelle abhängig und das Holzbauunternehmen hat nur bedingt Einfluss auf das Umfeld und die Mitarbeitenden, welche diese Installationen vornehmen.

8.1.2 Messverfahren

Innerhalb einer Geschossdecke ist es möglich, eingetretene Feuchtigkeit an den drei verschiedenen Orten mit unterschiedlichen Messgrößen zu detektieren (siehe Abbildung 16):

- a) im Hohlraum zwischen Bodenbelag und Deckenkonstruktion
→ Messgröße: Luftfeuchte
- b) auf der Oberfläche unterhalb der Sanitärinstallationen
→ Messgröße: Oberflächenfeuchte/ freies Wasser
- c) innerhalb der Deckenkonstruktion
→ Messgröße: Holzfeuchte

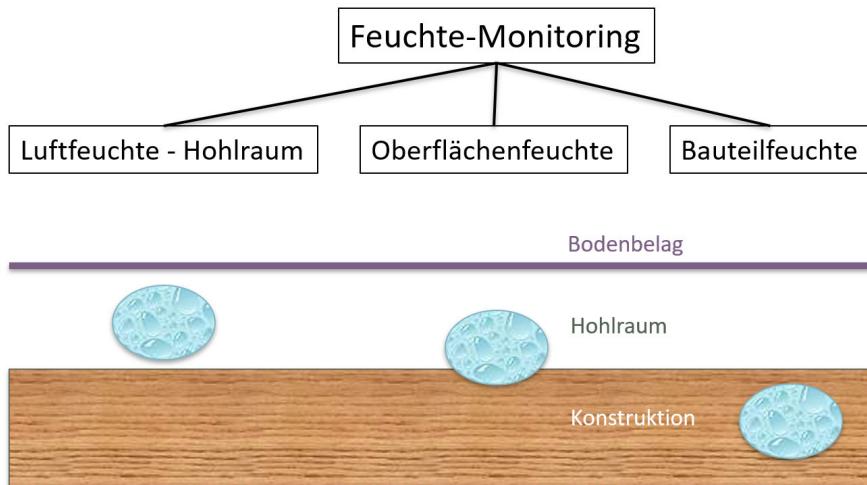


Abbildung 16: Stellen der Feuchtemessungen von Luftfeuchte, Oberflächenfeuchte und Bauteilfeuchte

Zur Sicherung der Qualität der Konstruktion ist es wichtig, eintretendes Wasser/erhöhte Feuchtigkeit schnellstmöglich zu orten. Dies geschieht am sichersten, wenn bereits die erhöhte **Luftfeuchte**, bedingt durch eingetretenes Wasser, oberhalb der Konstruktion erfasst werden kann. Dazu muss das Wasser noch nicht auf die nachfolgende flächige Schicht vorgedrungen sein. Es ist aber zu beachten, dass der Hohlraum in der Regel durch Schütt- oder Dämmmaterialien gefüllt ist, Dies ist bei der Installation eines Sensors zu beachten und kann zudem zu einer verzögerten Messung des Sensors führen.

Messverfahren, um diese erhöhte Luftfeuchtigkeit zu erkennen sind u.a.:

- a) Luftfeuchtemessung
- b) Potentialmessung, indirekt

Ist das Wasser bereits auf die nachfolgende flächige Schicht vorgedrungen, kann es dort direkt detektiert werden. Folgende Messverfahren können das freie Wasser als **Oberflächenfeuchte** erfassen:

- a) Potentialmessung, direkt
- b) RFID-Tag

Ist das Wasser bereits in die Deckenkonstruktion eingedrungen, kann hier die erhöhte **Holzfeuchte** im Bauteil gemessen werden. Dazu stehen u.a. folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

- a) Elektrische Widerstandsmessung
- b) Sorptionsisothermenmethode
- c) RFID-Tag

Die einzelnen Messverfahren unterscheiden sich in ihrer Reaktionszeit, welche sie nach einem Feuchteintrag bis zur Änderung des Messwertes benötigen. Die Reaktionszeit hat steht in direktem Zusammenhang mit der eindringenden Feuchtigkeit, wie Abbildung 17 darstellt.

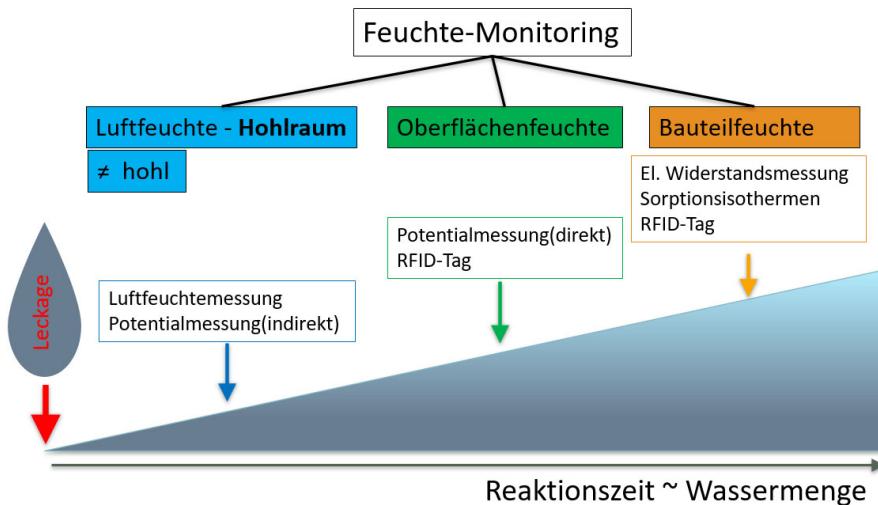


Abbildung 17: «Reaktionszeit» verschiedener Messverfahren

Neben der Reaktionszeit unterscheiden sich die einzelnen Messverfahren auch noch im Messbereich. Die Luftfeuchte-, Kapazitive, Widerstands- und Sorptionsisothermen-Messung sind punktuelle Messungen, welche genau die Messgröße am Ort des Sensors erfassen. Für die Überwachung einer Messfläche, z.B.: den Boden der Nasszelle oder eines Flachdaches, müssten bei der punktuellen Messung eine Vielzahl an Sensoren installiert werden. Demgegenüber stehen flächige Messsysteme, die u.a. mit der Potentialmessung arbeiten. Es werden hier Band- oder Vlies-Sensoren eingesetzt. In Kapitel 8.3 werden zu den Messorten und den Messverfahren Beispiele für entsprechende Sensoren dargestellt.

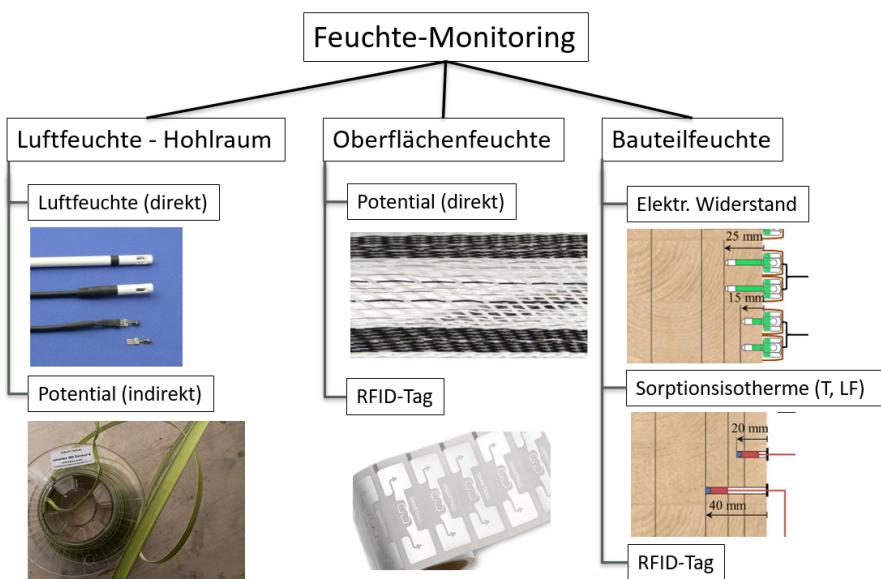


Abbildung 18: Übersicht Messstelle, Messverfahren und Beispiele für entsprechende Sensoren

8.1.3 Messtechnik, Anbieter und Kosten

In der Auswahl der Messtechnik wurde sich auf Anbieter mit automatisierten Lösungen zum Monitoring konzentriert. Ausnahme sind die Messungen mit RFID-Tags, die eine manuelle Handmessung erfordern. Die Auswahl basiert auf Erfahrungen am Institut oder durch Marktrecherche. Die Auswahl ist nicht abschließend, die Reihenfolge der Anbieter in den Darstellungen ist zufällig und stellt keine Bewertung

dar. Die Kosten der Messtechniken bzw. der Komplettlösungen der Anbieter dienen als ersten Eindruck und sind nicht ohne Weiteres 1:1 auf eine reale Anwendung zu übertragen. Eine objektbezogene Offerte ist immer notwendig.

8.2 Luftfeuchtemessung

8.2.1 Allgemein

Die Materialfeuchte korreliert mit der Luftfeuchte im umgebenden Klima, dem Hohlraum der Konstruktion. Die Messung der Luftfeuchte stellt somit eine einfache Messmethode dar, welche schnell auf eine Unregelmässigkeit oder etwaige Leckage hinweisen kann.

8.2.2 Anbieter Messtechnik

In den folgenden Kapiteln ist eine Auswahl von Herstellern bzw. Systemanbietern aufgeführt. In Tabelle 10 finden sich zu allen genannten Anbietern nähere Angaben, ein exemplarischer Sensor, eine Abbildung aus der jeweiligen Software etc.. Weitergehende Informationen zu den einzelnen Systemen mit Angaben von Kosten (Stand August 2022), Systemkonfigurationen und Informationen zu den einzelnen Komponenten finden sich im Anhang B.

Scanntronik

Der deutsche Messtechnik Anbieter ist Hersteller und Lieferant, die Installation und das Datenmanagement erfolgt durch den Nutzer. Mittels den verfügbaren Bus-System «Gigamodul», Datenlogger «Materialfox» und Funkmodul «Remotefox» können aktuell die Messwerte mit 2G- und 3G-Technologie, aber 2023 mit 4G per E-Mail empfangen werden. Zur Auswertung wird Software «Softfox» verwendet. Mittels der Software werden ebenfalls das Bus-System und die Datenlogger konfiguriert. Aufgrund der manuellen Auswertung der Messdaten über die Software Softfox ist kein automatisiertes Monitoring möglich.

Omnisense

Omnisense ist Hersteller und Lieferant Cloud-basierter Echtzeit-Fernüberwachungslösungen mit Sitz in den USA. Die Installation erfolgt durch den Nutzer, der Support und die Konfiguration der Logger erfolgt über den Hersteller.

Mittels dem drahtlosen Sensor «TS-11 Wireless T, %RH, ME Sensor» und dem ebenfalls drahtlosen Datenlogger «S-2 Wireless Sensor» und dem Funkmodul «G-4 Wireless Gateway» können die Messwerte auf den Omnisense-Server gesendet, dort grafisch dargestellt und Schwellwerte festgelegt werden. Das Funkmodul arbeitet mit der 4G-Technologie.

Ahlborn

Die Messtechnik des deutschen Herstellers Ahlborn ist für Labormessungen sehr verbreitet. Die Installation und das Datenmanagement erfolgen bauseits durch den Nutzer. Mittels dem Datenlogger «Almemo 808 V7» werden die Messwerte gespeichert oder können in Funktion als PC-Interface mit der Messsoftware WinControl bearbeitet und dargestellt werden. Eine Datenübertragung per Funk und eine automatisierte Auswertung und ist bauseits zu erstellen.

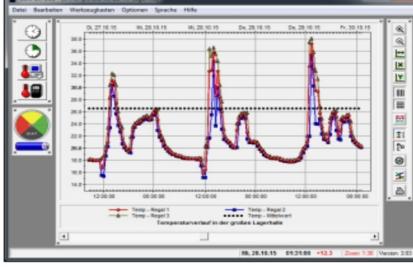
Mageba SA

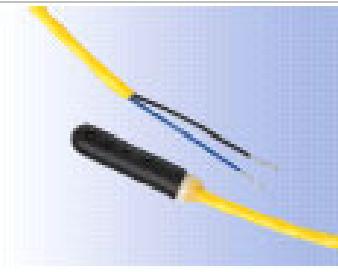
Die Firma Mageba SA mit Hauptsitz in der Schweiz und Niederlassungen in 16 Ländern ist unter anderem ein Anbieter von Bauwerksüberwachung im Infrastruktur-, Hochbau- und Industriesektor. Mageba SA bietet Komplettlösungen an, welche Lieferung und Montage sowie Datenmanagement beinhaltet. Für Luftfeuchte-Überwachungen wird z.B. der kabelgebundener Feuchtesensor HS-1 in Verbindung mit eigenem Logger- und Datenübertragungssystem ROBO®CONTROL verwendet. Standard-Visualisierungen mit einfachen Diagrammen sind in den Standard-Paketen inklusive. Weitergehende Datenverarbeitungen und -Berechnungen können angefragt werden.

Terra Vermessungen AG

Terra mit Sitz in der Schweiz ist ein Anbieter und Entwickler von Komplettlösungen für grossflächige Monitoringkonzepte, welche Lieferung und Montage sowie Datenmanagement beinhaltet. Terra® verfügt mit swissMon® über ein eigenes System, mit dem eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren hochautomatisiert gesteuert und überwacht werden können. Die digitale und cloudbasierte Plattform swissMon® verarbeitet in Echtzeit in die Datenmengen.

Tabelle 10: Anbieter Luftfeuchtemessungen

Anbieter	Firmensitz, Sup- port	Sensor Luftfeuchtemessung	Software
Scantr onik	Deutschland https://www.scantronic.de/	Hygrofox   Stabsensor °C / %rF	Softfox 
Omni- Sense	USA https://www.omnisense.com/	A-1-200 HumiSense 	Omnisense Web Monitoring Service 
Ahlborn	Deutschland https://www.ahlborn.com/de_DE/	Almemo ® D6 Digitaler Fühler 	AMR WinControl ALMEMO® 
Mageba SA	Schweiz https://www.mageba-group.com/ch/de/	HS-1	ROBO®CONTROL

			
Terra Vermes-sungen AG	Schweiz https://terra.ch/	nicht spezifiziert	

8.3 Potentialmessung

8.3.1 Allgemein

Die Potentialmessung bietet – durch Band- bzw. Netz-/Vliessensoren – eine grossflächige Überwachung. Je nach Trägermaterial der Sensoren reagieren sie auf Änderungen der Luftfeuchte oder auf das Vorhandensein von freiem Wasser.

8.3.2 Funktionsweise

Potentialmessungen sind vor allem im Hochbau bei Überwachung von Flachdächern im Einsatz. Die Potentialmessung wird zwischen zwei Drähten im Sensorband durchgeführt. Das Vorhandensein von Wasser führt dazu, dass der elektrische Widerstand sinkt. Mit Sensorbändern ist es möglich, linienförmig hohe Feuchten respektive Nässe zu detektieren. Bandsensoren bestehen aus Papier- oder Kunststoffgewebe und Edelstahldrähten. Da die Sensorbänder mit Papierge webe bereits eine Messung aufgrund erhöhter Luftfeuchte ermöglichen, wird diese Messung hier – zum besseren Verständnis – als «indirekte» Potentialmessung bezeichnet. Sensorbänder oder Vliese mit Kunststoffgewebe geben erst beim Vorhandensein von freiem Wasser eine Potentialänderung an, womit dort von «direkter» Potentialmessung gesprochen werden kann.

Flächige Bauteile können auch durch ein leitfähiges Glasvlies überwacht werden. Zusätzlich zum Glasvlies wird ein Raster von Flachkabeln installiert, die den ersten Pol des Messsystems bilden. Oberhalb der Abdichtung wird mittels einer Kontaktplatte der zweite Pol gesetzt (Abbildung 19). Bei Vorhandensein von Wasser ändert sich das elektrische Potential. Mit dieser Potentialmessung können keine genauen Werte der Luftfeuchte gemessen werden. Anhand des Kabelrasters ist es möglich, den Potentialverlauf in der Fläche darzustellen und die Position festzustellen.

Das Messsystem kann sowohl mit einer fix installierten Messeinheit inkl. Sendung der Daten an einem Cloudserver oder auch für regelmässige Inspektionen der Abdichtung mit mobilen Messgeräten betrieben werden.

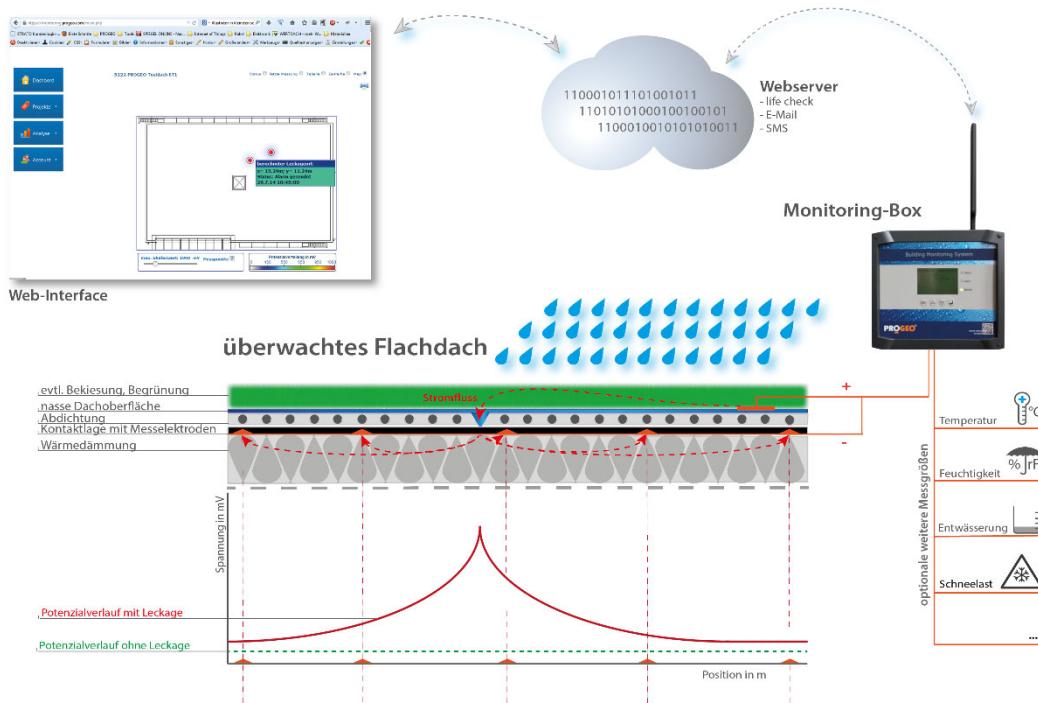


Abbildung 19: Prinzip Aufbau eines flächigen Monitoring-System: Messung des Potentials in Anwendung eines Monitoring-systems der Firma ProGeo GmbH, Quelle: Progeo GmbH

8.3.3 Anbieter Messtechnik

In den folgenden Kapiteln ist eine Auswahl von Herstellern bzw. Systemanbietern aufgeführt. In Tabelle 11 finden sich zu allen genannten Anbietern nähere Angaben wie ein exemplarischer Sensor, eine Abbildung aus der jeweiligen Software etc.. Weitergehende Informationen zu den einzelnen Systemen mit Angaben von Kosten (Stand August 2022), Systemkonfigurationen und Informationen zu den einzelnen Komponenten finden sich im Anhang B.

Progeo

Die in Deutschland ansässige Firma Progeo bietet Messtechnik zur indirekten Potentialmessung via Luftfeuchteänderung zur direkten Potentialmessung via vorhandenem freien Wasser an. Die Installation erfolgt bauseits durch den Nutzer; gemäss Firmenangaben betragen die Installationskosten ca. 25 % der Materialkosten. Das Datenmanagement erfolgt via den Server des Anbieters, wo Grenzwerte definiert werden, und ist mit Vorhandensein eines WLAN-Routers ohne monatliche Gebühren inklusive.

RPM

Bei dem österreichischen Anbieter RPM kann die Installation mit Hilfe eines Montage-Partners (Firma Koga, CH) erfolgen.

Das Datenmanagement erfolgt via den Server des Anbieters, die Software bietet die Möglichkeit die gewonnenen Daten via Smartphone, Tablet oder PC auszuwerten. Die Systemlösung ermöglicht einen permanenten Fernzugriff zu den verbauten Sensoren und Geräten; über definierte Grenzwerte gibt das System sofort Alarm und informiert via E-Mail über die Feuchtigkeits- und Temperatursituation am Einbauort. Durch den integrierten GPS-Tracker kann das Gerät auch exakt lokalisiert werden. Das Datenmanagement ist mit Vorhandensein eines WLAN-Routers für 5 Jahre inklusive.

Sihga

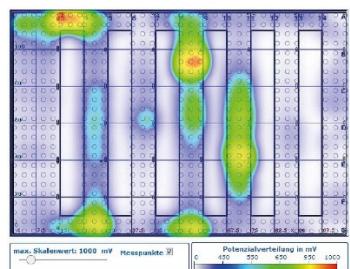
Bei dem österreichischen Anbieter Sihga erfolgt die Installation mit Hilfe eines Montage-Partners. Die Sensoren senden ihre Messwerte ununterbrochen an ein Terminal, das sich geschützt in einem Technikraum befindet. Hier werden die Daten ausgewertet. Über ein Ampelsystem kann der Besitzer sofort den aktuellen Stand einsehen – bei einem Schaden wird die genaue Lage und der Zeitpunkt des Schadeneintritts gemeldet. Detaillierte, auch historische Daten können über einen Cloudserver abgerufen werden. Das Datenmanagement ist mit Vorhandensein eines WLAN-Routers für 1 Jahr inklusive.

Optidry

Der österreichischen Anbieter Optidry hat Schweizer Partnerfirma Weiss Bau und Beratung AG in Thalwil. Die Installation kann mit Hilfe der Partnerfirma erfolgen.

Die Messeinheit wertet die Daten aus und leitet sie an die Optidry Zentrale weiter, welche die Daten verarbeitet und im Problemfall Alarm schlägt per akustischem Signal und Verbindung zu einem definierten Mobiltelefon. Die Smartphone-App visualisiert die Alarne, erstellt Statistiken und ermöglicht einen Live-Zugriff auf die Daten der Sensoren.

Tabelle 11: Anbieter Potentialmessungen

Anbieter	Firmensitz, Support	Sensor Flächenmessung	Software
Progeo	Deutschland https://progeo.com/	<p>smartex dm</p>  <p>smartex sp</p> 	<p>Server</p> 
RPM (Kopa)	Österreich (Schweiz) https://www.kopa.ch/ https://www.gebaeudemonitoring.at/	Roof Protector	<p>Server</p> 
SIHGA	Österreich https://feuchtemonitoring.sihga.com/	Monitorix Guard	<p>Server</p> 

Optidry (Weiss)	Österreich (Schweiz)	Flächensor FS10/15 	
--------------------	-------------------------	---	--

8.4 RFID-Tags

8.4.1 Funktionsweise

Die Radio Frequency Identification (RFID) - Tags sind kleine Geräte, die Radiowellen mit geringer Leistung nutzen, um Daten zu empfangen, zu speichern und an Lesegeräte in der Nähe zu übertragen. Die Grundtypen von RFID-Tags sind passiv, aktiv und semi-passiv oder batteriestützt passiv (BAP), (Smiley, 2019). Passive RFID-Tags haben keine interne Stromquelle, sondern werden durch die elektromagnetische Energie, die von einem RFID-Lesegerät übertragen wird, gespeist. Aktive RFID-Tags verfügen über einen eigenen Sender und eine eigene Stromquelle an Bord des Tags. Semipassive oder batteriestützte passive (BAP) Tags bestehen aus einer Stromquelle, die in eine passive Tag-Konfiguration integriert ist.

Darüber hinaus arbeiten RFID-Tags in drei Frequenzbereichen:

- Ultra-High Frequency (Ultrahochfrequenz, UHF),
- High Frequency (Hochfrequenz, HF) und
- Low Frequency (Niederfrequenz, LF).

RFID-Tags können auf einer Vielzahl von Oberflächen angebracht werden und sind in verschiedenen Größen und Ausführungen erhältlich. Die Abmessungen variieren von einigen Millimetern bis zu mehreren Zentimetern. Der Einbau von RFID-Tags ist kostengünstig und kabellos. Passive RFID-Tags brauchen keine externe Stromversorgung oder Batterie und sind somit für viele Anwendungen nutzbar.

Bei den RFID-Tags handelt es sich um ein punktuelles Messsystem, die Messungen erfolgen nicht automatisch, sie erfordern die händische Auslesung mittels Lesegerät. Somit ist dies Methode nicht für das automatisierte Monitoring geeignet; zu Informations- und Vergleichszwecken sei es hier aber gleichwohl aufgeführt.

8.4.1 Anbieter Messtechnik

In diesem Kapitel ist ein Hersteller aufgeführt. In finden sich zu allen genannten Anbietern nähere Angaben wie ein exemplarischer Sensor, eine Abbildung aus der jeweiligen Software etc.. Weitergehende Informationen zu den einzelnen Systemen mit Angaben von Kosten(Stand August 2022), Systemkonfigurationen und Informationen zu den einzelnen Komponenten finden sich im Anhang B.

HUM-ID

Die Firma HUM-ID aus Deutschland bietet die Sensoren «WD1» und «KD1» für den Einsatz in Flachdächern, Nasszellen oder Schächten an.



Abbildung 20: WD1, Quelle: <https://www.hum-id.com/uber-hum-id-2/sensoren/>



Abbildung 21: KD1, Quelle: <https://www.hum-id.com/uber-hum-id-2/sensoren/>

8.5 Elektrische Widerstandsmessung

8.5.1 Funktionsweise

Bei der elektrischen Widerstandsmessung wird der vorhandene elektrische Widerstand zwischen zwei in die Probe eingeführte Elektroden gemessen. Dieser Wert wird entsprechend der vorhandenen Temperatur kompensiert und später in Feuchtigkeitswerte (M% oder Gw% = Massenprozent oder Gewichtsprozent) umgerechnet. Zur Messung sollten isolierte Elektroden zu verwenden. Mit diesen können Messungen in unterschiedlichen Tiefen des Holzbauteils (z. B. 10 mm, 25 mm, 40 mm) erfolgen. Dadurch kann ein etwaiger Auffeuchtungs- oder späterer Trocknungsprozess genau verfolgt werden. Die Widerstandsmessmethode ist technisch sehr einfach und robust. Für imprägniertes Holz ist die elektrischen Widerstandsmessung nicht geeignet.



Abbildung 22: links: Funktionsweise Elektrisches Widerstandsverfahren, rechts: Sensoren im Bauteil, Quelle: (Franke, Schiere, Franke, & Müller, 2021)

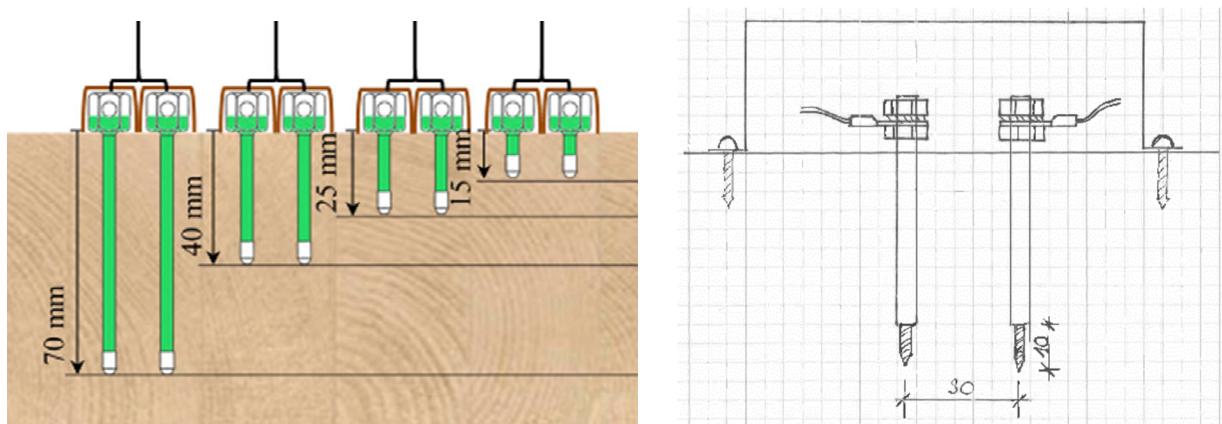


Abbildung 23: links: Einschlagelektroden aus V2A, teflonisiert, rechts: Edelstahlschrauben, mit Schrumpfschlauch isoliert, Quelle: (Müller, Angst, Bueche, Schiere, & Bonifacio, 2021)

Für eine automatische Datenerfassung und -speicherung über längere Zeiträume sind verschiedene Geräte mit Datenloggerfunktion verfügbar. Einige Hersteller bieten eine Übertragung per Funknetz bzw. LORA WAN.

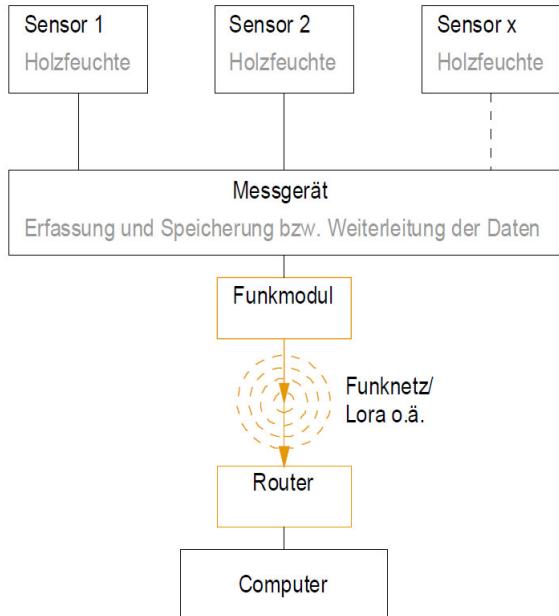


Abbildung 24: Messschema zur Langzeit-Messung Holzfeuchte mit Funkübertragung

8.5.2 Anbieter Messtechnik

In den folgenden Kapiteln ist eine Auswahl von Herstellern bzw. Systemanbietern aufgeführt. In Tabelle 12 finden sich zu allen genannten Anbietern nähere Angaben wie ein exemplarischer Sensor, eine Abbildung aus der jeweiligen Software etc.. Weitergehende Informationen zu den einzelnen Systemen mit Angaben von Kosten (Stand August 2022), Systemkonfigurationen und Informationen zu den einzelnen Komponenten finden sich im Anhang B.

Scanntronik

Der deutsche Messtechnik Anbieter ist Hersteller und Lieferant aller erforderlichen Kabel und Geräte, die Installation und das Datenmanagement erfolgt durch den Nutzer. Isolierte Edelstahlschrauben können ebenfalls bezogen werden.

Mittels dem Bus-System «Gigamodul», Datenlogger «Materialfox» und Funkmodul «Remotefox» können die Messwerte per E-Mail empfangen werden. Ein Einlesen in die Software «Softfox» ist möglich. Mittels der Software werden ebenfalls das Bus-System und die Datenlogger konfiguriert. Das Funkmodul «Remotefox» arbeitet derzeit noch mit der 2G- und 3G-Technologie, ab 2023 soll dies serienmäßig mit 4G-Technologie arbeiten. Aufgrund der manuellen Auswertung der Messdaten ist nur ein teilautomatisiertes Monitoring möglich.

Omnisense

Omnisense ist Hersteller und Lieferant Cloud-basierter Echtzeit-Fernüberwachungslösungen mit Sitz in den USA. Die Installation erfolgt durch den Nutzer, der Support und die Konfiguration der Logger erfolgt über den Hersteller.

Mittels dem drahtlosen Sensor «TS-11 Wireless T, %RH, ME Sensor» und dem ebenfalls drahtlosen Datenlogger «S-2 Wireless Sensor» und dem Funkmodul «G-4 Wireless Gateway» können die Messwerte auf den Omnisense-Server gesendet, dort grafisch dargestellt und Schwellwerte festgelegt werden. Das Funkmodul arbeitet mit der 4G-Technologie.

Mageba SA

Mageba SA
Die Firma Mageba SA mit Hauptsitz in der Schweiz und Niederlassungen in 16 Ländern ist unter anderem ein Anbieter von Bauwerksüberwachung im Infrastruktur-, Hochbau- und Industriesektor.

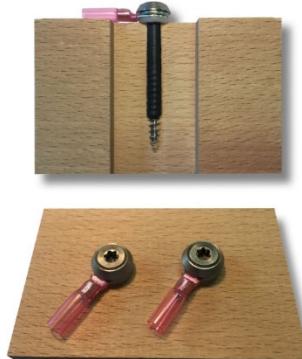
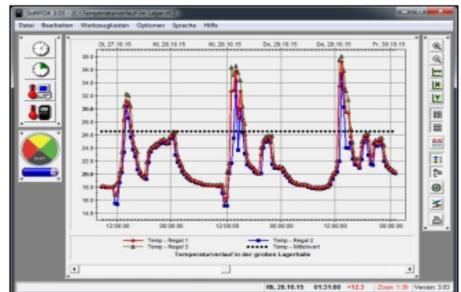
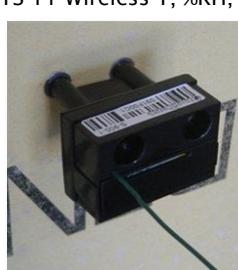
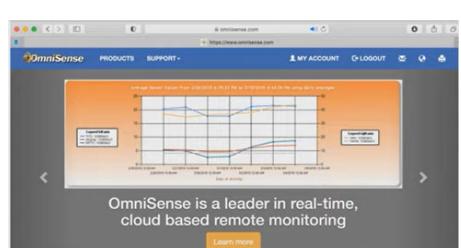
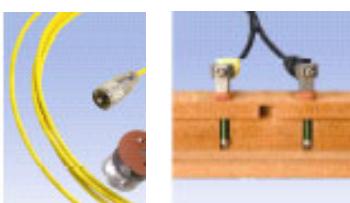
Mageba SA ist ein Anbieter von Komplettlösungen, welche Lieferung und Montage sowie Datenmanagement beinhaltet.

Für Elektrische Widerstandsmessungen z.B. der Sensor «2-E / H» oder handelsübliche Core & Shell pins in Verbindung mit eigenem Logger- und Datenübertragungssystem ROBO®CONTROL verwendet. Standard-Visualisierungen mit einfachen Diagrammen sind in den Standard-Paketen möglich und inklusiv. Weitergehende Datenverarbeitungen und -Berechnungen können angefragt werden.

Terra Vermessungen AG

Terra mit Sitz in der Schweiz ist ein Anbieter und Entwickler von Komplettsystemen für grossflächige Monitoringkonzepte, welche Lieferung und Montage sowie Datenmanagement beinhaltet. Terra® verfügt mit swissMon® über ein eigenes System, mit dem eine Vielzahl von unterschiedlichen Sensoren hochautomatisiert gesteuert und überwacht werden können. Die digitale und cloudbasierte Plattform swissMon® verarbeitet in Echtzeit grosse Datenmengen.

Tabelle 12: Anbieter Elektrische Widerstandsmessungen

Anbieter	Firmensitz, Support	Sensor Luftfeuchtemessung	Software
Scantronik	Deutschland https://www.scantronik.de/	Edelstahlschrauben, mit Schrumpfschlauch isoliert 	Softfox 
OmniSense	USA https://www.omnisense.com/	TS-11 Wireless T, %RH, ME Sensor 	Omnisense Web Monitoring Service 
Mageba SA	Schweiz https://www.mageba-group.com/ch/de/	2-E / H Core & Shell pins 	ROBO®CONTROL

			
Terra Vermessungen AG	Schweiz https://terra.ch/	nicht spezifiziert	swissMon® 

8.6 Sorptionsisothermenmessung

8.6.1 Einleitung

Die Sorptionsisothermenmessung stellt im Vergleich zur Elektrischen Widerstandsmethode eine genauere Messung dar. Zudem misst sie unabhängig von Klebefugen und etwaigen Holzinhaltsstoffen.

8.6.2 Funktionsweise

Eine weitere Möglichkeit zur Holzfeuchtemessung bietet die Sorptionsisothermen-Methode. Diese sieht die Messung von Lufttemperatur und relativer Feuchte in einem kleinen versiegelten Hohlraum im Holz vor, vgl. Abbildung 25. Klebefugen oder Imprägnierung haben – im Gegensatz zur Widerstandsmethode – keinen Einfluss auf die Messungen mit Sorptionsisothermenmethode. Zum anderen wird diese Methode bei Monitoring-Objekten eingesetzt, bei denen mit langanhaltenden Temperaturen unterhalb von 0 – 5°C gerechnet wird.

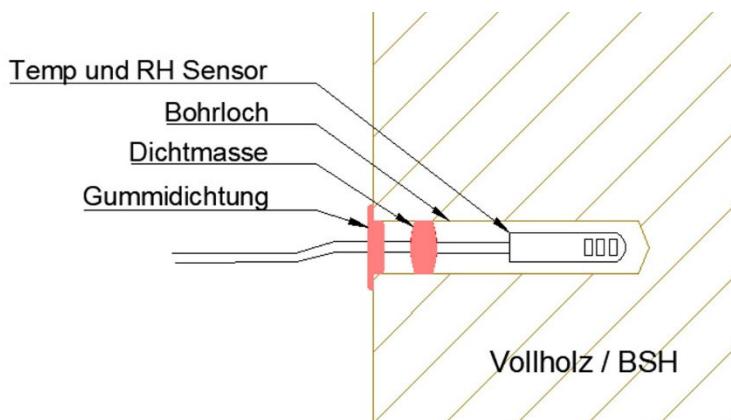


Abbildung 25: Einbau Lufttemperatur- und relative Feuchte-Sensor für die Sorptionsisothermen-Methode (Müller, Angst, Bueche, Schiere, & Bonifacio, 2021)

Die Ermittlung der Holzfeuchte erfolgt mit Holzarten spezifischen Modellen, die den Zusammenhang zwischen den zwei gemessenen Parametern beschreiben, z.B. für Fichtenholz nach (Simpson, 1973). Dabei wird die Temperatur in °C und die relative Luftfeuchtigkeit in [%/100] verwendet. Eine grobe

Abschätzung kann mittels dem Diagramm nach Loughborough und Keylwerth in (Niemz, 1993) durchgeführt werden, siehe Abbildung 26. Die Sorptionsmethode erfasst die Werte mit einer hohen Genauigkeit.

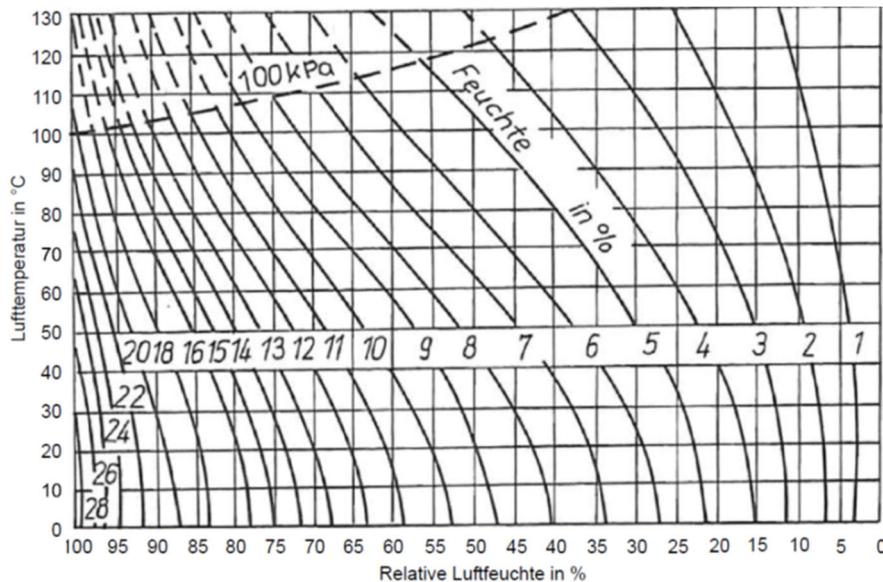


Abbildung 26: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur nach Loughborough und Keylwerth in (Niemz, 1993)

8.6.3 Messtechnik

Zur Erfassung von Messwerten in der Sorptionsisothermenmethode wird grundsätzlich die gleiche Messtechnik wie zur Luftfeuchte-/ Temperaturmessung benutzt. Die entsprechende Auswahl der Anbieter findet sich unter Kapitel 8.2.2. Falls die Temperaturmessung nicht im jeweiligen Sensor integriert ist, ist ein entsprechender Sensor noch zu installieren.

8.7 Einbau eines Monitoring-Systems am Real-Objekt

Im folgenden Kapitel ist der im Rahmen des Forschungsprojektes erfolgte Einbau eines Monitoring-Systems zur Leckage-Erkennung am Real-Objekt dargestellt.

Als eines der wichtigsten Auswahlkriterien wurde definiert, dass die Sensoren eine möglichst grosse Fläche bei möglichst geringen Kosten überwachen sollen. Zudem soll die Auslesung der Messdaten automatisiert erfolgen. Aus diesen Gründen wurde sich für die Methode der Potentialmessung entschieden. Es wurden die Bandsensoren Smartex dm der Firma Progeo, welche mittels Potentialmessverfahren arbeiten, in vier Nasszellen des Objekt Mehrfamilienhaus «Maison Climat» in Biel direkt auf die Deckenkonstruktion(140 mm BSH, siehe Abbildung 27) installiert und an ein Online-Monitoring-System der Firma Progeo angeschlossen. Dieses System löst eine Alarrrmeldung aus, wenn die Feuchtigkeit einen festgelegten Schwellwert überschreitet. Der Serverdienst ist bei Progeo inklusiv, löst also keine monatlichen Folgekosten aus und es besteht keine Vertragsbindung; zudem können die Messdaten für eigene Auswertungen exportiert werden. Im MFH Tschudi wurden die Sensoren losgelöst von der Haustechnik - als Inselanlage - installiert. Allerdings wäre es generell möglich die Auswerteeinheit von PROGEO mit anderen Komponenten der Haustechnik zu kombinieren und damit eine umfassendere Fernüberwachung zu gewährleisten.

Bodenaufbau 1 von oben nach unten in mm

Detail	Bauteil und Funktion	Massgebender Parameter für den Schallschutz	Produkt	Dimension in mm	Kosten m ² in CHF
	Fussbodenoberbelag	-	PU	2	-
	Gipsfaser Estrich-Element als Trägerschicht des Bodenbelags	Rohdichte 1200 kg/m ³	Knauf Brio	23	18.9
	Lava-Basalt Formplatte zur Führung der Bodenheizungsrohre	Rohdichte 1500 kg/m ³	Lithotherm	45	39.95
	Holzfaserplatte als Trittschalldämmung	Dynamische Steifigkeit s' ≤ 30	Gutex Thermofloor	20/22	5.7
	Grobspanplatte als Abdeckung der Splittschicht	Rohdichte 600 kg/m ³	OSB 3 E0	22	7
	Kalksplitt als Beschwerung der Rohdecke mit eingelegten Latten als Montagegrundlage für Grobspanplatte	Rohdichte 1400 kg/m ³	-	78	19.25
	Brettschichtholz als Tragwerk	Rohdichte 450 kg/m ³	-	140	-
Total				330	90.8

Abbildung 27: Bodenaufbau Maison Climat, Quelle: (Beer, 2022)

8.7.1 Verlegung der Sensoren

Die Verlegung der Sensorbänder Smartex dm der Firma PROGEO erfolgte am 02.06.2021; die Dauer der Verlegung betrug ca. 30 Minuten. Der Verlegeplan wurde so erstellt, dass eine einfache Verlegung möglich ist (siehe Abbildung 28).

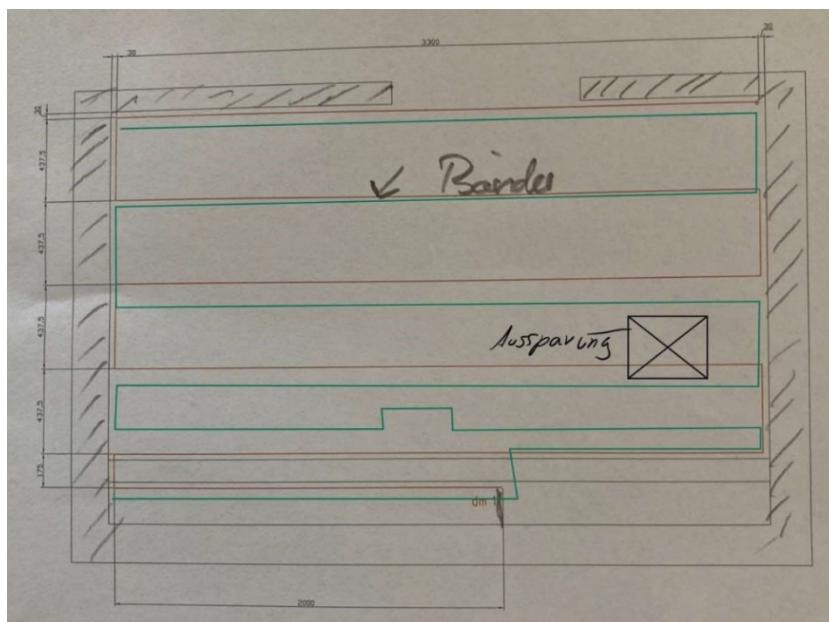


Abbildung 28: abgeändertes Verlegemuster in Grün, Original Verlegemuster in Rot

Abbildung 28 zeigt den Verlegeplan. ES wurde genügend Platz für das Abwasserrohr gelassen. Die Bänder wurden hinter der Vormauerung mit Klebeband befestigt, vor der Vormauerung mit Heftklammern. Dabei ist es sinnvoll, die Bänder im Installationsschacht in etwas längeren Schlaufen zu verlegen, um den Anschluss der Installationsleitungen auf der Baustelle nicht zu behindern (siehe Abbildung 29, gelber Kreis).

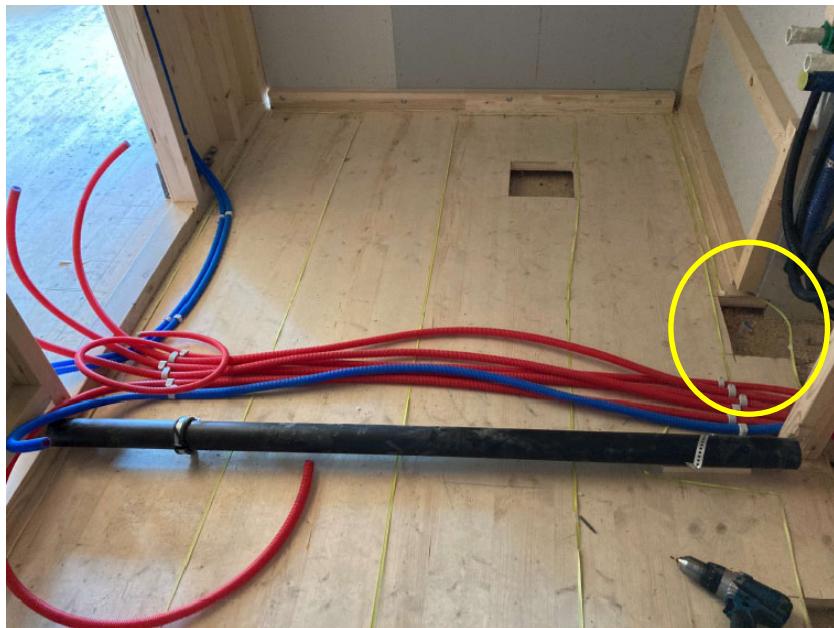


Abbildung 29: Fertig verlegtes (gelbes) Sensorband und Sensorschlaufe für vereinfachte Installation der Leitungen bei baulichen Abweichungen (gelber Kreis)



Abbildung 30: Raum wie vorherige Abbildung, andere Perspektive



Abbildung 31: Sensorbänder mit grauem Verbindungskabel zur Auswerteinheit



Abbildung 32: Verlegung der Sensorbänder im Steigschacht



Abbildung 33: Diverse Installationen und graues Anschlusskabel des Sensorbandes



Abbildung 34: Diverse Installationen und graues Anschlusskabel des Sensorbandes



Abbildung 35: Parallelle Befestigung des Sensorbandes mit Heftklammer, kein Kontakt zu den äusseren Sensorleitern

Während der Installation ist darauf zu achten, dass die Sensorbänder keinen direkten metallischen Kontakt haben. Das bedeutet, dass bei der Befestigung mit Heftklammern darauf geachtet werden muss, dass diese parallel und mittig zwischen den Sensorleitern fixiert werden, siehe Abbildung 35. Der sonst entstehende Kurzschluss der Leiter würde «Feuchte» signalisieren. An Ecken kann das Band vorsichtig um 90° abgeknickt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass dies mit Vorsicht und nicht in wiederholtem Male geschieht, um ein Bruch der Leiter zu vermeiden. Eine Zwischenlage ist gemäss Hersteller nicht notwendig, siehe auch Abbildung 36.

Falsch befestigte Heftklammern können wieder entfernt werden. Die Schadstelle sollte mit Klebeband überklebt werden, um ein Freiliegen der metallischen Sensorbänder zu verhindern, siehe dazu Abbildung 37 (roter Kreis).



Abbildung 36: Darstellung des Verlegens des Sensorbandes über eine Ecke



Abbildung 37: Reparatur von beschädigten Sensorbändern mit Klebeband

Gemäss Installationsanleitung von PROGEO sollte vor der Installation der Sensorbänder eine Referenz-Widerstandsmessung erfolgen. Nach dem Verlegen der Bänder soll dies wiederholt werden, um eventuelle Beschädigungen der Sensorleiter während des Verlegens erkennen zu können. Die Messung vor der Installation wurde aus organisatorischen Gründen in diesem Fall nicht durchgeführt.

8.7.2 Messungen der PROGEO-Feuchtesensoren

Nach Installation der Auswerteeinheit smartex® microBOX wurden am 25.11.2021 Widerstandsmessungen an den verlegten Sensorkabeln vorgenommen.

Die manuelle Messung mit dem Multimeter zeigte am 25.11.2021 folgende elektrische Widerstände:
Nr. 1: 1870 Ohm

Nr. 2: 1781 Ohm
 Nr. 3: nicht angeschlossen
 Nr. 4: 1753 Ohm.

Laut technischer Dokumentation der Sensoren bzw. der Auswerteeinheit sollte der Widerstand bei über 5'000 Ohm liegen. Da die Vergleichswerte während der Installation der Sensoren in der Werkstatt fehlen, kann hier nur vermutet werden, dass die Werte auf eine etwaige Restfeuchte im Bodenaufbau aufgrund des Unterlagsbodens schliessen lassen.

Laut Informationen von PROGEO (Telefonat am 10.12.2021 mit Hr. Rödel) sind diese Werte eher tief und zeigen damit eine hohe Luftfeuchtigkeit in der Messumgebung. Dies ist zurückzuführen auf die momentane Austrocknung des Unterlagsbodens. Es wird grundsätzlich empfohlen, die Auswerteeinheit immer baldmöglichst an das WLAN anzuschliessen, damit die Entwicklung der Werte dokumentiert werden kann.

Nach Anschluss der Auswerteeinheit an die Elektroinstallation am 14.02.2022 wurde die Registrierung vorgenommen. Die Einheit der Auswerteeinheit ist Millivolt. Es wurden die folgende Messwerte angezeigt:

Nr. 1: 12 mV(MP 1)
 Nr. 2: 18 mV(MP 2)
 Nr. 3: 9 mV(MP 4)
 Nr. 4: 14 mV(MP 3)

Die Online-Darstellung der Firma Progeo zeigte am 02.05.2022 die Messwerte seit der Installation am 14.02.2022 an, wobei der ausgefallene Sensor MP 4 gut zu erkennen ist:

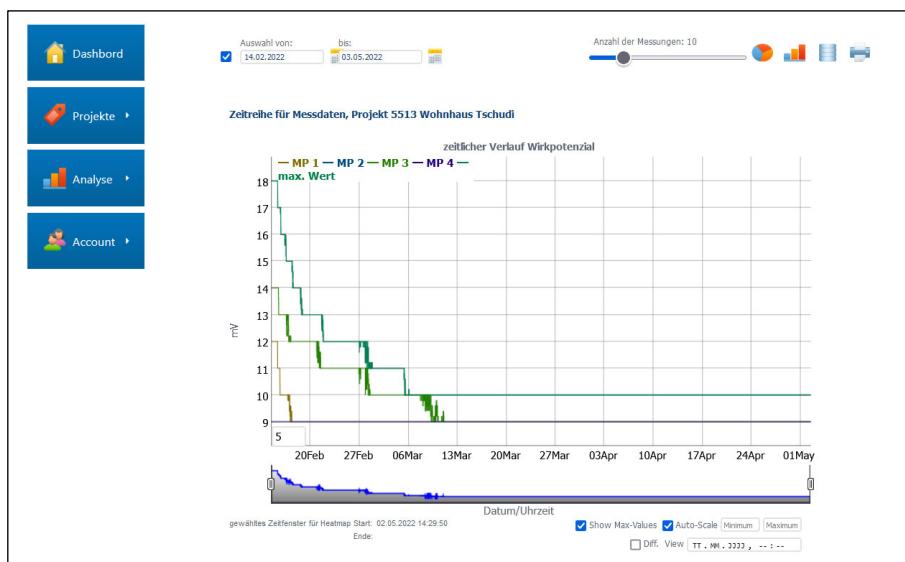


Abbildung 38: Dashboard von Progeo mit Messwerten; MP 4 ausgefallen während Bauphase



Abbildung 39: Position der PROGEO-Auswerteinheit smartex® microBOX im Technikraum



Abbildung 40: Anschluss der Sensorbänder 1, 2 und 4 an die Auswerteinheit



Abbildung 41: «Innenleben» der Auswerteinheit

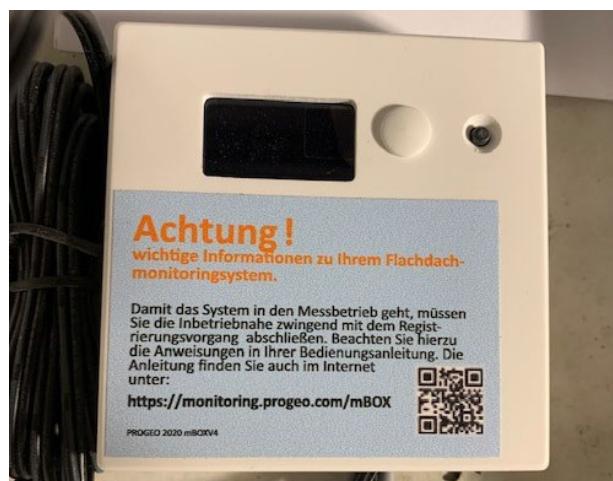


Abbildung 42: QR-Kennung der Auswerteinheit

8.7.1 Fazit Sensorverlegung am Objekt

Es kann zusammengefasst werden, dass mit dem System smartex®dm in Verbindung mit der smartex® microBOX ein einfach zu verlegendes, anzuschliessendes und auswertbares System handelt.

Die vorgängige Verlegung der Sensorbänder in der Werkstatt des Holzbau-Unternehmers erfordert keine speziellen Kenntnisse. Der Anschluss der Bänder an die Auswerteinheit erfolgt vor Ort via Elektromonteur. Die Datenauslesung erfolgt nach Registrierung entweder punktuell vor Ort oder via WLAN-Router automatisiert. Leckage-Alarm- und Störungsmeldungen werden auf einer selbst definierten E-Mail-Adresse angezeigt.

Durch die eher späte Aktivierung der Sensoren während der Ausbauphase konnten die Messwerte seit dem Verlegen der Sensoren nicht durchgängig erfasst werden. Um eine bessere Beurteilung der Messwerte machen zu können, sollten die Messungen ab dem Verlege-Zeitpunkt starten.

8.8 Zusammenfassung

Für die Leckageortung im Bodenaufbau von Nasszellen-Modulen stehen eine Vielzahl an Messverfahren und entsprechenden Herstellern bzw. Systemlieferanten zur Auswahl.

Es sollte ein System gewählt werden, welches eine etwaige Leckage frühestmöglich «erkennt» und eine grosse Fläche mithilfe weniger Sensoren erfassen kann. Aus diesem Grund werden Systeme auf Basis der Potentialmessung empfohlen.

Ein Vergleich der Messtechniken bzw. Anbieter ist aufgrund der unterschiedlichen Liefer-, Installations- und Auswertungsumfänge nur bedingt möglich. Der Leistungsumfang der Anbieter reicht von reiner Materiallieferung bis hin zu Komplettlösungen inklusive Installation und Datenauswertung. Vor dem

Entscheid für ein System sind daher die Bereitschaft bzw. Befähigung zur Installation der Messtechnik und zur Datenauswertung abzufragen.

Grundsätzlich wird empfohlen, die Messungen möglichst früh zu starten. Messwerte während der Montage in der Werkstatt geben ideale Vergleichswerte für alle folgenden Messungen. Da bei der im Maison Climat verwendeten Messtechnik eine Anbindung an einen WLAN-Router nötig ist, ist dies grundsätzlich (mittels Anbindung an den WLAN-Router in der Werkstatt) möglich.

Je nach Bedürfnissen der Eigentümer und Organisation des Facility Managements sind Art und Adressat der Alarmierung zu definieren.

Der Vor-Ort Einbau am Maison Climat, bei welchem mehrere Nasszellenmodule mit Bandsensoren ausgestattet wurden, zeigte, dass mit geringem finanziellem und personellem Aufwand ein bereits bewährtes Messsystem installiert und Daten komfortabel ausgelesen werden können. Das System smartex®dm der Firma Progeo zeigte sich als ein einfach zu verlegendes, anzuschliessendes und auswertbares System. Dieses System stellt einen «guten Mittelweg» zwischen reinen Lieferanten von Messtechnik und den Anbietern von Komplettlösungen dar.

8.9 Empfehlungen und Ausblick

Mit dem im Maison Climat installierten Feuchtemonitoringsystem konnten erste Erkenntnisse zur Installation und zum Datenmanagement gewonnen werden.

Ein Feuchtemonitoring empfiehlt sich sowohl bei vorgefertigten Nasszellen in Holzbauweise als auch – oder vor allem – bei herkömmlichen – auf der Baustelle errichteten – Nasszellen, da dort die Installationen nicht unter den idealen Bedingungen der Werkstatt montiert werden können. Ebenfalls sind Feuchtemonitoringsysteme in Flachdachaufbauten empfohlen.

Ein Monitoringsystems entlastet den Holzbau-Unternehmer während der Gewährleistungsfrist und in der weiteren Gebäudenutzung die Eigentümerschaft durch frühzeitige Erkennung und Ortung eines Feuchteintrages, verursacht durch etwaige Schäden an Installationen oder Abdichtungen. Es bietet eine wirtschaftliche Möglichkeit den etwaigen Schaden zu orten und gezielt zu beheben.

Es empfiehlt sich, dass Holzbau-Unternehmen und Investoren sich frühzeitig mit der Thematik Monitoring auseinander setzen und entstehende Investitionskosten entsprechend einplanen.

9 Zusammenfassung und Ausblick

9.1 Zusammenfassung

Durch die Vorfertigung von Nasszellenmodulen unter kontrollierten Bedingungen können die Bauzeiten eines Bauprojekts verkürzt und eine hohe Ausführungsqualität des Badmoduls gewährleistet werden. Anhand des Referenzobjekts Maison Climat, ein mehrgeschossiger Holzelementbau mit vorgefertigten Nasszellenmodulen, wurden kritische Erfolgsfaktoren abgeleitet, welche das Wertschöpfungsnetzwerk stärken und zur Effizienzsteigerung bei der Umsetzung von solch Nasszellenprojekten beitragen. Die Ist-Analyse des Bauobjekts Maison Climat erfolgte als qualitative, Leitfaden-Interviewstudie mit anschließender Ergebnisvalidierung durch Expert*innengespräche. Erfolgsfaktoren wie eine effiziente Koordination der Haustechnik, eine frühzeitige Einbeziehung der Fachkompetenzen, eine kooperative Unternehmens- und Projektkultur, eine Datendurchgängigkeit und ein effizienter Informations- und Datenaustausch tragen zu einer Effizienzsteigerung und somit einer erfolgreichen Umsetzung von Modulprojekten bei.

Mit einer Kombination von Massivholz- und Holzrahmenbauwänden wird eine optimale Raumnutzung und Ressourceneffizienz erreicht, da die Seitenwände statisch in das Elementbausystem des Gebäudes integriert werden können. Die statisch und bauphysikalisch intelligente, vertikale Anordnung der Nasszellenmodule im Maison Climat minimiert die Gesamtkosten. Die hohe Vorfertigung stellt erhöhte Anforderungen an die Sorgfalt aller Beteiligten während dem Transport und auf der Baustelle. Eine genaue Terminplanung der Montageabläufe ist von zentraler Bedeutung, um aufwändiges Handling und Zwischenlagern der Module zu vermeiden.

Die Installationsebenen als Vorsatzschalen bei Decken und Wänden, die Vorsatzschale des Bodens als Trockenestrich sowie die Trennfugen zwischen Nasszellen und Nebenwohnungen sind wirkungsvolle Massnahmen für die Einhaltung der Anforderungen an Luft- und Trittschall. Ebenfalls von grosser Bedeutung ist die Anordnung unterschiedlicher Räume. Entscheidend ist die Lärmempfindlichkeit der Immissionsräume. Ist der Immissionsraum ein Schlafzimmer, Wohnzimmer oder eine Wohnküche, gilt eine mittlere Lärmempfindlichkeit. Bei der vertikalen Anordnung der Nasszellen im Maison Climat wird die Lärmempfindlichkeit des Immissionsraums für den kritischen, vertikalen Übertragungsweg nach SIA 181 als gering eingestuft.

Für die Leckageortung im Bodenaufbau von Nasszellen-Modulen stehen eine Vielzahl an Messverfahren und entsprechenden Herstellern bzw. Systemlieferanten zur Auswahl.

Es sollte ein System gewählt werden, welches eine etwaige Leckage frühestmöglich eine grosse Fläche mithilfe weniger Sensoren erfassen kann. Aus diesem Grund werden Systeme auf Basis der Potentialmessung empfohlen. Der Leistungsumfang der Anbieter reicht von reiner Materiallieferung bis hin zu Komplettlösungen inklusive Installation und Datenauswertung.

Bei Versuchen am Maison Climat wurde mit dem System smartex®-dm der Firma Progeo ein einfach zu verlegendes, anzuschliessendes und auswertbares System gefunden. Dieses System stellt einen «guten Mittelweg» zwischen reinen Lieferanten von Messtechnik und den Anbietern von Komplettlösungen dar.

9.2 Empfehlungen und Ausblick

Der Einsatz der digitalen Arbeitsmethode Building Information Modeling (BIM) kann den erhöhten Koordinationsaufwand der HLKS-Schnittstelle reduzieren. Für zukünftige Untersuchungen empfiehlt sich, gezielt die Vorteile von der digitalen Arbeitsmethode BIM mit den Vorteilen der Planung und Fertigung von modularen Nasszellen zu untersuchen und zu verknüpfen, da hier ein großes Potenzial zur Effizienzsteigerung liegt.

Mit der verbauten Konstruktion konnten die Anforderungen an den Luft- und Trittschall erreicht werden. Bei den Benutzergeräuschen der Dusche besteht allgemeiner Optimierungsbedarf, da im Bereich einer Schwellenfreien Duschtasse die Vorsatzschale als Unterlagsboden oder Trockenestrich durchdrungen wird. Die für den Massivbau ausgelegten Lagerungen der Duschtasse können den Schallschutz bei den meisten Holzkonstruktionen nicht gewährleisten. Aktuell kann keine quantitative Aussage bezüglich der Verbesserung des Schallschutzes einzelner Massnahmen gemacht werden. Dies müsste experimentell mit Schallmessungen im Prüfstand festgestellt werden. Für den Schall relevante Massnahmen sind:

- Möglichst hohe Masse der Duschtasse
- Lagerung mit einer minimalen Eigenfrequenz
- Hohlraum zwischen Duschtasse und Rohdecke mit Mineralwolle dämmen
- Vorsatzschale zwischen Lagerung und Rohdecke
- Rohdecke beschweren

Mit dem im Maison Climat installierten Feuchtemonitoringsystem konnten erste Erkenntnisse zur Installation und zum Datenmanagement gewonnen werden. Da ein derartiges System sowohl Unternehmer als auch Eigentümerschaft entlasten sollten für weitergehende Erkenntnisse weitere Objekte mit diesem oder ähnlichen Systemen ausgestattet werden, dies sowohl in modularen Nasszellen, vor allem in vor Ort installierten Bädern und in Flachdächern.

10 Bestimmungen zum vorliegenden Bericht und Umfang

Dieser Bericht darf nicht ohne Genehmigung der Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau auszugsweise vervielfältigt werden. Jegliche Veröffentlichung des Berichts oder von Teilen davon bedarf der schriftlichen Zustimmung der Fachhochschule. Ein Original dieses Berichts wird für 5 Jahre aufbewahrt. Dieser Bericht ist nur mit den Unterschriften des Institutsleiters für Holzbau, Tragwerke und Architektur und des Projektverantwortlichen gültig.

Dieser Bericht besteht aus 90 Seiten inkl. Anhang.

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Maison Climat: Ansicht; Quelle: (Beer, 2022)	8
Abbildung 2: Maison Climat: Querschnitt; Quelle: (Beer, 2022)	9
Abbildung 3: Maison Climat: Grundriss mit Wandscheiben der Nasszellenmodule; Quelle: (Beer, 2022)	9
Abbildung 4: Projektablauf ohne Projektverlängerung	10
Abbildung 5: Ablaufmodell der explorativen Untersuchung	11
Abbildung 6: Einbezug der Fachkompetenzen nach den Projektphasen SIA 112 Modell Bauplanung (vgl. Zölling, 2016, S.10)	13
Abbildung 7: Einbezug der Fachkompetenzen angepasst an den Anforderungen des vorgefertigten Holzbaus (vgl. (Zöllig, 2016), S.10)	13
Abbildung 8: Einflüsse der Modularisierung von modularen Nasszellen auf die jeweilige Bauphase nach SIA 112 (eigene Darstellung)	15
Abbildung 9: Modultypen (proHolz Austria, 2017, S.6)	17
Abbildung 10: Vertikale Anordnung der Nasszellen	18
Abbildung 11: 3D Modell der Nasszelle mit integrierter Installations- und Gebäudetechnik	19
Abbildung 12: Position des Krans beim Maison Climat	19
Abbildung 13: Anschluss der Haustechnik nach der Montage(Maison Climat)	19
Abbildung 14: Horizontalmessungen im 2.Obergeschoss (LS für Luftschall)	21
Abbildung 15: Vertikalmessungen vom 2.Obergeschoss in das 1. Obergeschoss. Die Abkürzung FG steht für Funktionsgeräusch; BG für Benutzergeräusch; LS für Luftschall und TS für Trittschall	21
Abbildung 16: Stellen der Feuchtemessungen von Luftfeuchte, Oberflächenfeuchte und Bauteilfeuchte	26
Abbildung 17: «Reaktionszeit» verschiedener Messverfahren	27
Abbildung 18: Übersicht Messstelle, Messverfahren und Beispiele für entsprechende Sensoren	27
Abbildung 19: Prinzip Aufbau eines flächigen Monitoringsystem: Messung des Potentials in Anwendung eines Monitoringsystems der Firma ProGeo GmbH, Quelle: Progeo GmbH	31
Abbildung 20: WD1, Quelle: https://www.hum-id.com/uber-hum-id-2/sensoren/	33
Abbildung 21: KD1, Quelle: https://www.hum-id.com/uber-hum-id-2/sensoren/	34
Abbildung 22: links: Funktionsweise Elektrisches Widerstandsverfahren, rechts: Sensoren im Bauteil, Quelle: (Franke, Schiere, Franke, & Müller, 2021)	34
Abbildung 23: links: Einschlagelektroden aus V2A, teflonisiert, rechts: Edelstahlschrauben, mit Schrumpfschlauch isoliert, Quelle: (Müller, Angst, Bueche, Schiere, & Bonifacio, 2021)	34
Abbildung 24: Messschema zur Langzeit-Messung Holzfeuchte mit Funkübertragung	35
Abbildung 25: Einbau Lufttemperatur- und relative Feuchte-Sensor für die Sorptionsisothermen-Methode (Müller, Angst, Bueche, Schiere, & Bonifacio, 2021)	37
Abbildung 26: Hygroskopisches Gleichgewicht von Sitka-Fichte in Abhängigkeit von der Temperatur nach Loughborough und Keylwerth in (Niemz, 1993)	38
Abbildung 27: Bodenaufbau Maison Climat, Quelle: (Beer, 2022)	39
Abbildung 28: abgeändertes Verlegemuster in Grün, Original Verlegemuster in Rot	39
Abbildung 29: Fertig verlegtes (gelbes) Sensorband und Sensorschlaufe für vereinfache Installation der Leitungen bei baulichen Abweichungen (gelber Kreis)	40
Abbildung 30: Raum wie vorherige Abbildung, andere Perspektive	40
Abbildung 31: Sensorbänder mit grauem Verbindungskabel zur Auswerteinheit	40
Abbildung 32: Verlegung der Sensorbänder im Steigschacht	40
Abbildung 33: Diverse Installationen und graues Anschlusskabel des Sensorbandes	40
Abbildung 34: Diverse Installationen und graues Anschlusskabel des Sensorbandes	41

Abbildung 35: Parallele Befestigung des Sensorbandes mit Heftklammer, kein Kontakt zu den äusseren Sensorleitern	41
Abbildung 36: Darstellung des Verlegens des Sensorbandes über eine Ecke	41
Abbildung 37: Reparatur von beschädigten Sensorbändern mit Klebeband	41
Abbildung 38: Dashboard von Progeo mit Messwerten; MP 4 ausgefallen während Bauphase	42
Abbildung 39: Position der PROGEO-Auswerteinheit smartex® microBOX im Technikraum	43
Abbildung 40: Anschluss der Sensorbänder 1, 2 und 4 an die Auswerteinheit	43
Abbildung 41: «Innenleben» der Auswerteinheit	43
Abbildung 42: QR-Kennung der Auswerteinheit	43
Abbildung 43: Bodenaufbau 1	52
Abbildung 44: Bodenaufbau 2	52
Abbildung 45: Einteilung der Geräusche in Einzelgeräusche und Dauergeräusche nach SIA 181	55
Abbildung 46: Anforderungen an die Schalldruckpegel von Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen	56
Abbildung 47: Korrekturfaktor K_4 nach SIA 181 bei Verwendung des Empa-Fallhammers	57
Abbildung 48: Bild links: Horizontalschlag des Fallhammers an senkrechter Fläche (SIA 181) Bild Rechts: Vertikalschlag des Fallhammers an horizontaler Fläche (SIA 181 2020)	58
Abbildung 49: Standard-Schallpegeldifferenz nach ISO 16283-1	59
Abbildung 50: Standard-Trittschallpegel nach ISO 16283-2	60
Abbildung 51: Messung der Geräusche von Wasserinstallationen nach SIA 181 und SN EN ISO 16032	61
Abbildung 52: Diverse Feuchtemonitoringlösungen von Progeo Monitoring GmbH (Quelle: https://progeo.com/monitoring/ , Zugriff ; 26.08.2022)	81
Abbildung 53: smartex dm Sensorband von PROGEO	83
Abbildung 54: smartex sp Vlies von PROGEO (Abbildung aus dem Produktdatenblatt von PROGEO) ..	84
Abbildung 55: Sensorband von RPM; Quelle: Produktdatenblatt RPM	84
Abbildung 56: Komponenten des Monitrix-Systems	87
Abbildung 57: Datenmanagement des Monitorix-Systems	87

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der befragten Unternehmen	11
Tabelle 2: Übersicht der interviewten Expert*innen zur Ergebnisvalidierung	11
Tabelle 3: Volumen der Räume und Fläche des Trennbauteils für die durchgeführten Messungen	20
Tabelle 4: Ergebnisse der Luftschallmessung	22
Tabelle 5: Einzahlwerte und Spektrumsanpassungswerte der Luftschalldämmung	22
Tabelle 6: Gegenüberstellung der Messergebnisse des Luftschallschutzes mit den Mindest- und den erhöhten Anforderungen nach SIA 181:2020; Ziffer 3.2.1	22
Tabelle 7: Ergebnisse der Trittschallmessung	23
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Messergebnisse des Trittschallschutzes mit den Mindest- und den erhöhten Anforderungen nach SIA 181:2020; Ziffer 3.3.1	23
Tabelle 9: Ergebnisse der Installationsgeräusche	23
Tabelle 10: Anbieter Luftfeuchtemessungen	29
Tabelle 11: Anbieter Potentialmessungen	32
Tabelle 12: Anbieter Elektrische Widerstandsmessungen	36
Tabelle 13: Zusammenstellung der verwandten Messgeräte	51
Tabelle 14: Kosten Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen	62
Tabelle 15: Kosten Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen	63
Tabelle 16: Kosten Sorptionsmethode – 10 Mess-Stellen	64
Tabelle 17: Konzeption Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen	64
Tabelle 18: Konzeption Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen	65
Tabelle 19: Konzeption Sorptionisothermenmethode an 10 Mess-Stellen	66
Tabelle 20: Hauptkomponenten	66
Tabelle 21: Kostenübersicht Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen	69
Tabelle 22: Kostenübersicht Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen	69
Tabelle 23: Kostenübersicht Sorptionsmethode – 10 Mess-Stellen	70
Tabelle 24: Kostenübersicht Sorptionsmethode – 30 Mess-Stellen	70
Tabelle 25: Omnisense System mit 10 Feuchtesensoren	70
Tabelle 26: Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionisothermenmethode	71
Tabelle 27: Kostenübersicht Sorptionisothermenmethode – 09 Mess-Stellen	72
Tabelle 28: Kostenübersicht Sorptionisothermenmethode – 29 Mess-Stellen	72
Tabelle 29: Ahlborn System mit 9 Feuchte-/ Temperatursensoren	73
Tabelle 30: Ahlborn System mit 29 Feuchte-/ Temperatursensoren	73
Tabelle 31: Hauptkomponenten Sorptionisothermenmethode	73
Tabelle 32: Kostenübersicht – 10 Mess-Stellen	75
Tabelle 33: Kostenübersicht – 30 Mess-Stellen	75
Tabelle 34: Komponenten Mageba SA	76
Tabelle 35: Kostenübersicht Sorptionisothermenmethode – 10 Mess-Stellen	77
Tabelle 36: Kostenübersicht Sorptionisothermenmethode 30 Mess-Stellen	78
Tabelle 37: Quadratmeterpreise von unterschiedlichen Systemen	79
Tabelle 38: Kostenübersicht System smartex dm	79
Tabelle 39: Kostenübersicht System smartex sp	80
Tabelle 40: Systemkomponenten	81
Tabelle 41: Kostenübersicht	85
Tabelle 42: Übersicht der einzelnen Systemkomponenten	85
Tabelle 43: Kostenübersicht	87

Tabelle 44: Systemkomponenten	88
Tabelle 45: Kostenübersicht.....	89
Tabelle 46: Systemkomponenten	89

13 Literaturverzeichnis

- Bauart Architekten und Planer AG. (2022). *modulart - Labor für modulares Bauen*. Abgerufen am 13. 02 2022 von <https://www.modulart.ch/mehr-gerechtigkeit-dank-vorfabrikation/>
- Bauart Architekten und Planer AG. (2022). *modulart - Labor für modulares Bauen*. Abgerufen am 13. 03 2022 von <https://www.modulart.ch/faq-haeufige-fragen/glossar/>
- Beer, S. (1-2. 06 2022). Küchen und Badmodule mit statischem Ansatz. 2. *Internationaler Kongress HolzBau / Technik & Wirtschaft (HTW)*, S. 141-148.
- Blödt, A., & Rabold, A. (2019). *Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung*. Berlin: Holzbau Deutschland-Institut e.V.
- Burger, K., Elter, P., & Kämmer, U. (2018). Das dichte Flachdach: Leckortungsmethoden im Schadensfall und Prüfung des Schadensumfangs Schadenvermeidung durch Dichtheitsprüfung und Deichtheitsüberwachung (Monitoring). *Bauphysik Kalender 2018: Feuchteschutz und Bauwerksabdichtung 18*, S. 335-360.
- Busch, A., Franken, B., Geuder, T., Jacob-Freitag, S., Jakob, T., Jösch, G., . . . Wessely, H. (2019). *Planen und Bauen mit Raummodulen und vorgefertigten Elementen - Erfahrungen aus der Praxis für die Praxis* (1 Ausg.). München: DETAIL Business Information GmbH.
- Esmaeili, B., Pellicer, E., & Molenaar, K. R. (2016). *Critical Success Factors for Construction Projects*. Switzerland: Springer International Publishing .
- Franke, B., Müller, A., Franke, S., Bonifacio, S., & Schiere, M. (2021). *Monitoring von Tragwerken und Brücken in Holz, in: Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken*. Biel: Berner Fachhochschule.
- Franke, B., Schiere, M., Franke, S., & Müller, A. (2021). *Bewertung der Holzfeuchte und deren Auswirkungen, in: Zustandserfassung und Erhaltung von Holztragwerken*. Biel: Berner Fachhochschule.
- Geier, S., & Keikut, F. (2017). *leanWOOD Buch 2 - Rahmenbedingungen. Teil A und B: Analysen und Praxisspiegel*. Luzern: Hochschule Luzern.
- Geier, S., Huß, W., Keikut, F., Lattke, F., Schuster, S., & Stieglmeier, M. (2017). *leanWOOD - Planen und Kooperieren für den vorgefertigten Holzbau*. Luzern: Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP).
- Humm, O. (2016). *Swissbau Blog*. Abgerufen am 16. 07 2022 von <https://www.swissbau.ch/fr/node/745>
- Kaufmann, H., Krötsch, S., & Winter, S. (2021). *Atlas Mehrgeschossiger Holzbau* (3. Ausg.). München: Detail Business Information GmbH.
- Mayring, P. (2015). *Qualitative Inhaltsanalyse - Grundlagen und Techniken* (12 Ausg.). Weinheim und Basel: Beltz Verlag.
- Müller, A., Angst, C., Bueche, N., Schiere, M., & Bonifacio, S. (2021). *Asphaltbeläge auf Holzbrücken, Synthesebericht der Versuche und Untersuchungen*. Biel: Forschungsbericht BFH-AHB, Bericht Nr. R.009301-10-74FE-01.
- Niemz, P. (1993). *Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe*. DWR Verlag.

proHolz Austria. (September 2017). Zuschnitt Zeitschrift über Holz als Werkstoff und Werke in Holz. *Zuschnitt 67*, S. 10-12.

Simpson, W. (1973). Predicting equilibrium moisture content of wood by mathematical models. *Wood and Fiber*, 5(1), S. 41-49.

Smiley, S. (01. May 2019). *A Tag, A Label, An Inlay*. Abgerufen am 26. 08 2022 von AtlasRFIDstore: www.atlasrfidstore.com/rfid-insider/a-tag-a-label-an-inlay

Zöllig, S. (16. Dezember 2016). Der Holzbauingenieur - die prozessoptimierende Schnittstelle. 22. *Internationales Holzbau-Forum*, S. 10.

Anhang A: Schallschutz

1 Messgeräte

Die Messungen wurden mit folgenden Messgeräten durchgeführt:

Tabelle 13: Zusammenstellung der verwandten Messgeräte

	Hersteller	Typ	Serien-Nr	Eichung/ Prüfung
Schallkalibrator	Norsonic	Typ 1251, Klasse 1	18561	METAS 28.07.2020
Empfangsraum				
Schallpegelmesser	Norsonic	NOR 140	1406644	METAS 28.07.2020
Mikrophon	Norsonic	NOR 1225	251400	
Lautsprecher	Norsonic	NOR 229	18459	METAS 28.11.2017
Verstärker	Norsonic	NOR 280	2804348	-
Senderaum				
Schallpegelmesser	Norsonic	NOR 118	31628	METAS 28.07.2020
Mikrophon	Norsonic	NOR 1220	27260	
Verstärker	Norsonic	NOR 280	2804348	-
Lautsprecher	Norsonic	NOR 229	18459	METAS 29.11.2017
Normhammerwerk	Norsonic	211	16162	METAS 29.11.2016
Pendelfallhammer	Empa	E2	4/05	-

2 Massgebende Bauteile

Bodenaufbau 1 von oben nach unten in mm					
Detail	Bauteil und Funktion	Massgebender Parameter für den Schallschutz	Produkt	Dimension in mm	Kosten m ² in CHF
	Fussbodenoberbelag	-	PU	2	-
	Gipsfaser Estrich-Element als Trägerschicht des Bodenbelags	Rohdichte 1200 kg/m ³	Knauf Brio	23	18.9
	Lava-Basalt Formplatte zur Führung der Bodenheizungsrohre	Rohdichte 1500 kg/m ³	Lithotherm	45	39.95
	Holzfaserplatte als Trittschalldämmung	Dynamische Steifigkeit s' ≤ 30	Gutex Thermofloor	20/22	5.7
	Grobspanplatte als Abdeckung der Splittschicht	Rohdichte 600 kg/m ³	OSB 3 EO	22	7
	Kalksplitt als Beschwerung der Rohdecke mit eingelegten Latten als Montagegrundlage für Grobspanplatte	Rohdichte 1400 kg/m ³	-	78	19.25
	Brettschichtholz als Tragwerk	Rohdichte 450 kg/m ³	-	140	-
Total				330	90.8

Abbildung 43: Bodenaufbau 1

Bodenaufbau 2 von oben nach unten in mm					
Detail	Bauteil und Funktion	Massgebender Parameter für den Schallschutz	Produkt	Dimension in mm	Kosten m ² in CHF
	Fussbodenoberbelag	-	PU	2	-
	Gipsfaserplatte als Trägerschicht des Bodenbelags	Rohdichte 1200 kg/m ³	Fermacell SK	12.5	5.9
	Gipsfaser Estrich-Element zur Führung der Bodenheizungsrohre	Rohdichte 1200 kg/m ³	Fermacell Therm 25	25	60.1
	Mineralfaserplatte aus Steinwolle als Trittschalldämmung	Dynamische Steifigkeit unbekannt	Flumroc 341	20	12.7
	Grobspanplatte als Abdeckung der Splittschicht	Rohdichte 600 kg/m ³	OSB 3 EO	22	7
	Kalksplitt als Beschwerung der Rohdecke mit eingelegten Latten als Montagegrundlage für Grobspanplatte	Rohdichte 1400 kg/m ³	-	108.5	19.25
	Brettschichtholz als Tragwerk	Rohdichte 450 kg/m ³	-	140	-
Total				330	104.95

Abbildung 44: Bodenaufbau 2

3 Messung der Nachhallzeit

Die Bestimmung der Nachhallzeit im Empfangsraum erfolgt nach der Methode des abgeschalteten Rausschens der EN ISO 3382-2². Es wird für jeden Empfangsraum für mindestens 6 Mikrofonpositionen ein Abklingvorgang bestimmt. Nach mindestens drei Mikrofonpositionen wird die Lage des Lautsprechers im Raum verändert. Die äquivalente Schallabsorptionsfläche A im Empfangsraum wird nach folgender Gleichung aus der gemessenen Nachhallzeit bestimmt:

$$A = 0,16 \frac{s}{m} \cdot \frac{V}{T}$$

Hier bezeichnet

V das Volumen des Empfangsraums in m³
T die Nachhallzeit im Empfangsraum in s.

² SN EN ISO 3382-2 *Akustik - Messung von Parametern der Raumakustik- Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen*, Ausgabe 2008

4 Luftschalldämmung

Zur Beschreibung der Luftschalldämmung zwischen Räumen wird das Bau-Schalldämmmass, R' , verwendet. Dabei wird das zu untersuchende Bauteil mit einem Dodekaeder beschallt und die Schallpegeldifferenz zwischen Sende- und Empfangsraum gemessen.

Die Eignung des Lautsprechersystems, die Anzahl und die Positionen der Lautsprecher und die Messdurchführung entsprechen den Anforderungen der SN EN ISO 16283-1³. Die Messgeräte werden vor und nach jeder Messung mit einem geeichten Schallkalibrator überprüft. Die Schallanregung erfolgt bei den Luftschallmessungen mit einem Dodekaeder-Lautsprecher, der mit einem breitbandigen Rauschsignal (rosa Rauschen) gespeist wird.

Die Messungen des Sende- und Empfangsraumpegels erfolgen mit einem festen Mikrofon an jeweils mindestens sechs Positionen im Sende- und Empfangsraum für zwei verschiedene Lautsprecherpositionen im Senderaum. Für jede Messung beträgt die Messdauer 15 s.

Schalldämmmass nach SN EN ISO 16283-1

Das Schalldämmmass zwischen zwei Räumen, R' , ergibt sich nach SN EN ISO 16283-1 wie folgt:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{A} \right) \text{dB}$$

Dabei steht:

L_1 für den mittleren Schalldruckpegel im Senderaum in dB

L_2 für den mittleren Schalldruckpegel im Empfangsraum in dB

S für die Fläche des Trennbauteils zwischen Sende- und Empfangsraum in m^2

A für die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum in m^2

Die Standard-Schallpegeldifferenz D_{nT} , wird aus dem Schalldämmmass, R' , mit folgender Formel berechnet:

$$D_{nT} = R' - 10 \cdot \lg \left(\frac{S \cdot T_0}{0.16 \frac{m}{s} \cdot V} \right) \text{ in dB}$$

Dabei steht:

R' für das Schalldämmmass in dB

S für die Fläche des Trennbauteils in m^2

T_0 für die Bezugs-Nachhallzeit in s; $T_0 = 0.5$ s

V für das Volumen des Empfangsraums in m^3

5 Trittschalldämmung

Zur Beschreibung des Trittschallschutzes zwischen den Räumen wird der sogenannte Normtrittschallpegel L'_{nT} verwendet. Dabei wird das zu untersuchende Bauteil mit einem Normhammerwerk beklopft und der Schallpegel des Geräusches im Sende- und im Empfangsraum mit Mikrofonen gemessen.

Trittschallpegel nach EN ISO 16283-2

Die Messung der Trittschalldämmung zwischen den Räumen erfolgt nach SN EN ISO 16283-2⁴. Der Standard-Trittschallpegel, L'_{nT} , wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$L'_{nT} = L_i + 10 \cdot \lg \left(\frac{T}{T_0} \right) \text{ dB}$$

³ SN EN ISO 16283-1 *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau- Teil 1: Luftschalldämmung*, Ausgabe 2014

⁴ SN EN ISO 16283-2, *Akustik – Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau- Teil 2: Trittschalldämmung*, Ausgabe 2016

Dabei steht:

- L_i für den mittleren Trittschallpegel je Terz im Empfangsraum in dB
 T für die Nachhallzeit im Empfangsraum in s
 T_0 für die Bezugs-Nachhallzeit in s. $T_0 = 0.5$ s

Es wird keine Luftschallkorrektur der Trittschallmessungen durchgeführt, da dies in der Schweiz bisher nicht üblich ist. Damit liegen die Ergebnisse für die Trittschallmessungen auf der «sicheren Seite». Die Anzahl und die Auswahl der Hammerwerkspositionen erfolgen gemäss den Anforderungen von SN EN ISO 16283-2. Es werden 8 Normhammerwerkpositionen verwandt. Für jede Messung beträgt die Messdauer 15 s.

6 Bestimmung der Einzahlangaben

Aus den in den Terzbändern gemessenen Schalldämmmassen bzw. den Standard-Trittschallpegeln werden Einzahlwerte gebildet.

6.1 Bestimmung des bewerteten Schalldämmmasses

Die Einzahlangabe des bewerteten Schalldämmmasses berechnen wir für jede Messung nach SN EN ISO 717 – 1⁵, durch Vergleich der Messwerte mit einer Bezugskurve.

Die Bezugskurve wird so lange um 0.1 dB verschoben, bis die mittlere ungünstige Abweichung gerade noch kleiner oder gleich 32.0 dB ist. Als bewertetes Schalldämmmass wird dann der Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz abgelesen. Das bewertete Schalldämmmass wird mit einem Index w, also R'_w gekennzeichnet.

Darüber hinaus werden die Spektrumanpassungswerte C , C_{tr} , $C_{50-3150}$, $C_{tr, 50-3150}$, $C_{50-5000}$, $C_{tr, 50-5000}$, $C_{100-5000}$ und $C_{tr, 100-5000}$ nach SN EN ISO 717-1:2013 ermittelt.

Die Einzahlangabe der Standard-Schallpegeldifferenz $D_{nT,w}$ und die zugehörigen Spektrum-anpassungswerte berechnen wir in einem analogen Verfahren. Demnach wird die Bezugskurve so lange um 0.1 dB verschoben, bis die mittlere ungünstige Abweichung gerade noch kleiner oder gleich 32.0 dB ist.

6.2 Bestimmung des bewerteten Standard- Trittschallpegels

Die Einzahlangabe des bewerteten Standard-Trittschallpegels berechnen wir für jede Messung nach SN EN ISO 717-2⁶, durch Vergleich der Messwerte mit einer Bezugskurve.

Die Bezugskurve wird so lange um 0.1 dB verschoben, bis die mittlere ungünstige Abweichung gerade noch kleiner oder gleich 32.0 dB ist.

Als bewerteter Standard-Trittschallpegel wird dann der Wert der verschobenen Bezugskurve bei 500 Hz abgelesen. Der bewertete Standard-Trittschallpegel wird mit einem Index w, also $L'_{nT,w}$ gekennzeichnet. Darüber hinaus werden die Spektrumanpassungswerte C_i und $C_{i,50-2500}$ nach SN EN ISO 717-2 ermittelt.

7 Fremdgeräuschkorrektur

Bei jeder Luft- und Trittschallmessung wird der Fremdgeräuschpegel im Empfangsraum bestimmt. Mit diesem Fremdgeräuschpegel wird der gemessene Empfangsraumpegel nach SN EN ISO 16283-1 korrigiert:

$$L = \begin{cases} L_{sb} & \text{für } L_{sb} - L_b \geq 10 \text{ dB} \\ 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{sb}}{10}} - 10^{\frac{L_b}{10}} \right) \text{ dB} & \text{für } 6 \text{ dB} < L_{sb} - L_b < 10 \text{ dB} \\ L_{sb} - 1.3 \text{ dB} & \text{für } L_{sb} - L_b \leq 6 \text{ dB} \end{cases}$$

Hier bezeichnet:

⁵ SN EN ISO 717-1 "Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung", Ausgabe 2013

⁶ SN EN ISO 717-2 Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 2: Trittschalldämmung, Ausgabe 2013

- L den korrigierten Schallpegel des Messsignals in Dezibel
 L_{sb} den Schallpegel des Messsignals einschliesslich Fremdgeräuschpegel in Dezibel
 L_b den Fremdgeräuschpegel in Dezibel

Die Korrektur kann nur vorgenommen werden, wenn die Differenz zwischen dem Schallpegel des Messsignals einschliesslich Fremdgeräuschpegel, L_{sb} , und dem Fremdgeräuschpegel, L_b , grösser als 6 dB ist. Bei kleinerem Abstand zwischen Empfangsraumpegel und Fremdgeräusch wird der Empfangsraumpegel mit 1,3 dB korrigiert. Das jeweilige Schalldämm-Mass wird mit einem „>“- Zeichen, der jeweilige Trittschallpegel wird mit einem „<“- Zeichen markiert.

8 Immissionsgeräusche

Zur Beurteilung der Geräusche haustechnischer Anlagen dient der Beurteilungspegel L_H . Dabei ist methodisch zwischen Einzel- und Dauergeräuschen zu unterscheiden.

Wobei als Einzelgeräusch das Geräusch eines Ereignisses mit einer Dauer von maximal 3 Minuten verstanden wird.

Darüber hinaus werden noch Funktions- und Benutzungsgeräusche unterschieden. Die Einteilung der Geräusche in die verschiedenen Kategorien erfolgt gemäss Tabelle 7, SIA-181.

Tabelle 7 Beispiele der Zuordnung von Geräuschen zu Geräuscharten

Einzel-geräusche	Funktionsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch) Waschtisch, Spülbecken und Badewanne füllen bzw. auslaufen lassen; WC spülen inklusive Spülvorgang auslösen (ohne Feststoffanteile); Betriebsgeräusche von Wasser- und Abwasserinstallationen; An-, Um-, Abstellen von Ventilen und sonstigen Armaturen; Aufzugsanlagen; Geräusche automatisch betätigter Garagentore, automatische Türschliesser und Storenanlagen; Schaltgeräusche elektrischer Anlagen
	Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch) Manuelles Betätigen von Duschtrennwänden, Garagentoren, Storen und Rollläden, Hauseingangs- und Abschlusstüren, Schiebetüren und -fenstern
	Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Empa-Pendelfallhammer) Nutzen von Badewanne, Duschtasse und bodenebene Duschfläche, WC, Waschtisch, Waschtischkombination, Bidet, Spülbecken, Arbeitsfläche in Küche, Schrank, Unter- und Oberbau, Spiegelschrank
Dauer-geräusche	Funktionsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch) Betrieb von Lüftungs- und Klimaanlage, Geschirrspüler, Waschmaschine, Tumbler, Kühlanlage, Ventilator, Heizung, Kompressor, Wärmepumpe, Whirlpool, Dachentwässerung
	Benutzungsgeräusche (Nachweis mit Originalgeräusch) Geräusche industrieller oder gewerblicher Einrichtungen mit manueller Betätigung

Abbildung 45: Einteilung der Geräusche in Einzelgeräusche und Dauergeräusche nach SIA 181

Die Mindestanforderungen an die Schalldruckpegel finden sich SIA 181, Tab. 6 (Abbildung 49)

Tabelle 6 Mindestanforderungen L_H an den Schutz gegenüber Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

Emissionsseitige Geräuschart (Senderaum)	Einzelgeräusche		Dauergeräusche
	Funktionsgeräusche	Benutzungsgeräusche	Funktions- oder Benutzungsgeräusche
Lärmempfindlichkeit	Anforderungswerte L_H		
gering	38 dB	43 dB	33 dB
mittel	33 dB	38 dB	28 dB
hoch	28 dB	33 dB	25 dB

Für die erhöhten Anforderungen gelten die um 4 dB verringerten Werte gegenüber den Werten nach Tabelle 6. Dabei gilt 25 dB als Kleinstwert.

Abbildung 46: Anforderungen an die Schalldruckpegel von Geräuschen gebäudetechnischer Anlagen und fester Einrichtungen

Messmethode von Einzelgeräuschen

Die Beurteilung von Einzelgeräuschen basiert auf dem Mittelwert des A-bewerteten Schalldruckpegels $L_{AF,max}$ im Empfangsraum. Zur Auswertung der Messergebnisse ist

- das arithmetische Mittel der Maximalschallpegel bei Benutzungsgeräuschen

$$L_{AF,max} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n L_{AF,max,i} \text{ in } dB(A)$$

- das energetische Mittel der Maximalschallpegel bei Funktionsgeräuschen

$$L_{AF,max} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{AF,max,i}}{10dB(A)}} \right) \text{ in } dB(A)$$

massgebend.

Gemessen wird an Orten, an denen sich normalerweise Personen aufhalten, und zwar die A-bewerteten Maximalschallpegel $L_{AF,max}$, gemessen mit der Zeitkonstanten FAST. Es sind mindestens zwei Mikrofonpositionen vorzusehen.

Für den Gesamtwert $L_{H,tot}$ der Einzelgeräusche haustechnischer Anlagen gilt:

$$L_{H,tot} = L_{AF,max} + K_1 + K_4 \text{ in } dB(A)$$

Dabei steht:

$L_{AF,max}$ für den mittleren Wert des A-bewerteten maximalen Schallpegels, gemessen mit der Zeitkonstante FAST in dB(A), arithmetisch bzw. energetisch gemittelt

K_1 für die Pegelkorrektur zur Berücksichtigung der Schallabsorption im Raum in dB

$$K_1 = \begin{cases} 0 \text{ dB für Räume mit stark absorbierender Ausstattung} \\ -1 \text{ dB für Räume mit gering absorbierender Ausstattung} \\ -2 \text{ dB für Räume ohne absorbierende Ausstattung} \end{cases}$$

K_4 Pegelkorrektur für den Nachweis mit dem Empa-Pendelfallhammer für Benutzungsgeräusche nach Tabelle 8, SIA 181

In der nachfolgenden Abbildung sind Ausschnittskopien der Tabelle 8 aus SIA 181 dargestellt.

Tabelle 8 Nachweis von Benutzungsgeräuschen mit dem Empa-Pendelfallhammer

Bauteil	Anregung	Beschreibung der Messung	Pegel-korrektur K_4 , in dB
Badewanne	Horizontal- und Vertikalschlag	Die Badewanne wird auf den drei Prüfbereichen Boden, Wände und Rand an jeweils mindestens 6 zufällig verteilten Punkten angeregt. Die arithmetischen Mittelwerte der Maximalpegel der drei Prüfbereiche werden arithmetisch gemittelt.	-12
Duschtasse und bodenebene Duschfläche	Vertikalschlag	Die Dusche wird ausschliesslich auf dem Boden an mindestens 6 zufällig verteilten Punkten angeregt. Bei bodenebenen Duschen gilt die Fläche des Duschbereichs.	-12

Tabelle 8 (Fortsetzung)

Bauteil	Anregung	Beschreibung der Messung	Pegel-korrektur K_4 , in dB
WC*	Vertikalschlag	Es wird die vordere Seite der WC-Schüssel (von der Wand entfernt) mindestens 4-mal angeregt.	-7
Bidet	Vertikalschlag	Es wird an mindestens 6 zufällig verteilten Punkten angeregt.	-12
Waschtisch, Waschtischkombination inkl. Unterbau*	Vertikalschlag		
Spülbecken, Arbeitsfläche, Schrank*, Unter- und Oberbau* (Küche)	Vertikalschlag	Es wird an mindestens 6 zufällig verteilten Punkten angeregt. Abstellflächen in Schränken werden einzeln gemessen.	-10
Spiegelschrank*			

* Bei dauerhaft wirksamen Dämpfungseinrichtungen gelten die Anforderungen für die entsprechenden Benutzungsgeräusche ohne Prüfung als erfüllt. Beispiele: Absenkautomatik bei WC, Rollstoppbeschläge bei Schubladen.

Abbildung 47: Korrekturfaktor K_4 nach SIA 181 bei Verwendung des Empa-Fallhammers

8.1.1 Erzeugung von Funktionsgeräuschen

Funktionsgeräusche haustechnischer Anlagen sind so zu erzeugen, wie sie bei bestimmungsgemässem Gebrauch auftreten können. Die Beurteilung erfolgt für Einzelgeräusche nach SIA 181⁷.

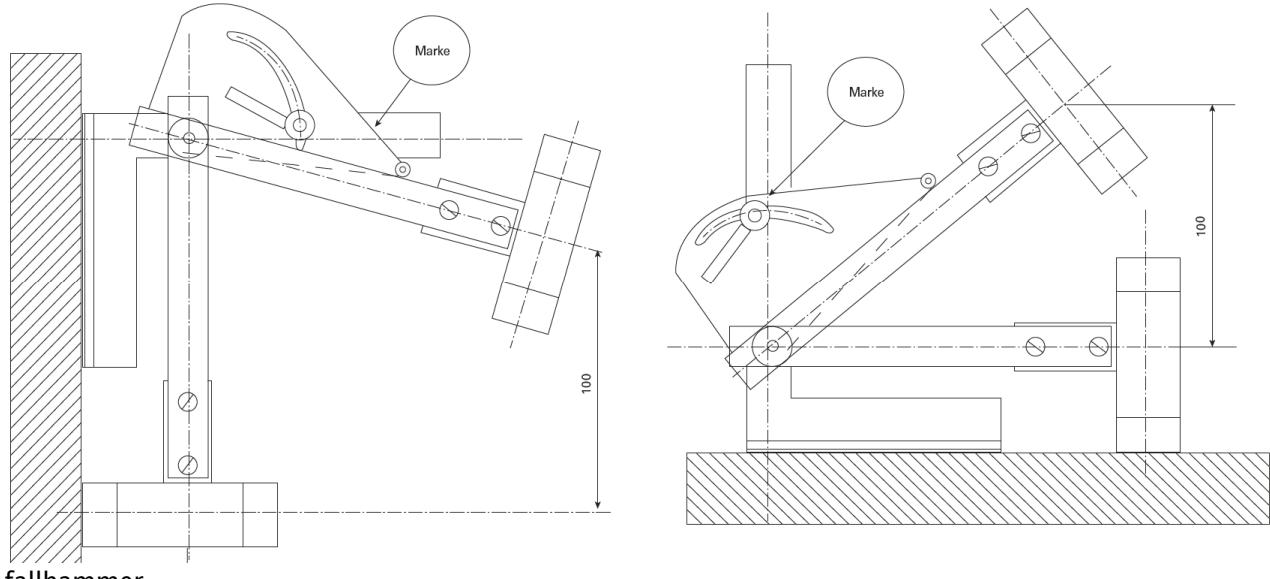
Zur Festlegung der massgebenden Betriebszustände kann SN EN ISO 16032 beigezogen werden. Die WC-Spülung erfolgt für die Messung unter Vernachlässigung von Feststoffanteilen.

Bei Einzelgeräuschen sind mindestens 3 Ereignisse pro Mikrofonposition zu messen.

Die Messdauer der Geräusche der Duscharmatur ist 70 s, worin die Öffnungs- und die Schließvorgänge enthalten sind. Die Messdauer der Messung der WC-Spülung beträgt 70 s.

8.1.2 Erzeugung von Benutzungsgeräuschen

Erzeugung mit Originalgeräuschen: Benutzungsgeräusche sind so zu erzeugen, dass diese der Nutzung bzw. dem üblichen Betrieb der gebäudetechnischen Anlagen und festen Einrichtungen entsprechen. Bei Einzelgeräuschen sind mindestens 6 Ereignisse pro Mikrofonposition zu messen. Die Körperschallanregung der in Tabelle 8 (Abbildung 47) aufgeführten Benutzungsgeräusche erfolgt mit dem Empa-Pendelfallhammer.



fallhammer.

Abbildung 48: Bild links: Horizontalschlag des Fallhammers an senkrechter Fläche (SIA 181) Bild Rechts: Vertikalschlag des Fallhammers an horizontaler Fläche (SIA 181 2020)

Für jede Geräuschquelle werden mindestens 6 Geräuschereignisse berücksichtigt, von denen jede an verschiedenen Mikrofonpositionen im Empfangsraum gemessen werden. Die Messdauer der Messungen ist 15 s.

9 Exemplarische Messergebnisse

Weitere Auswertungen auf Anfrage.

9.1 Luftschalldämmung

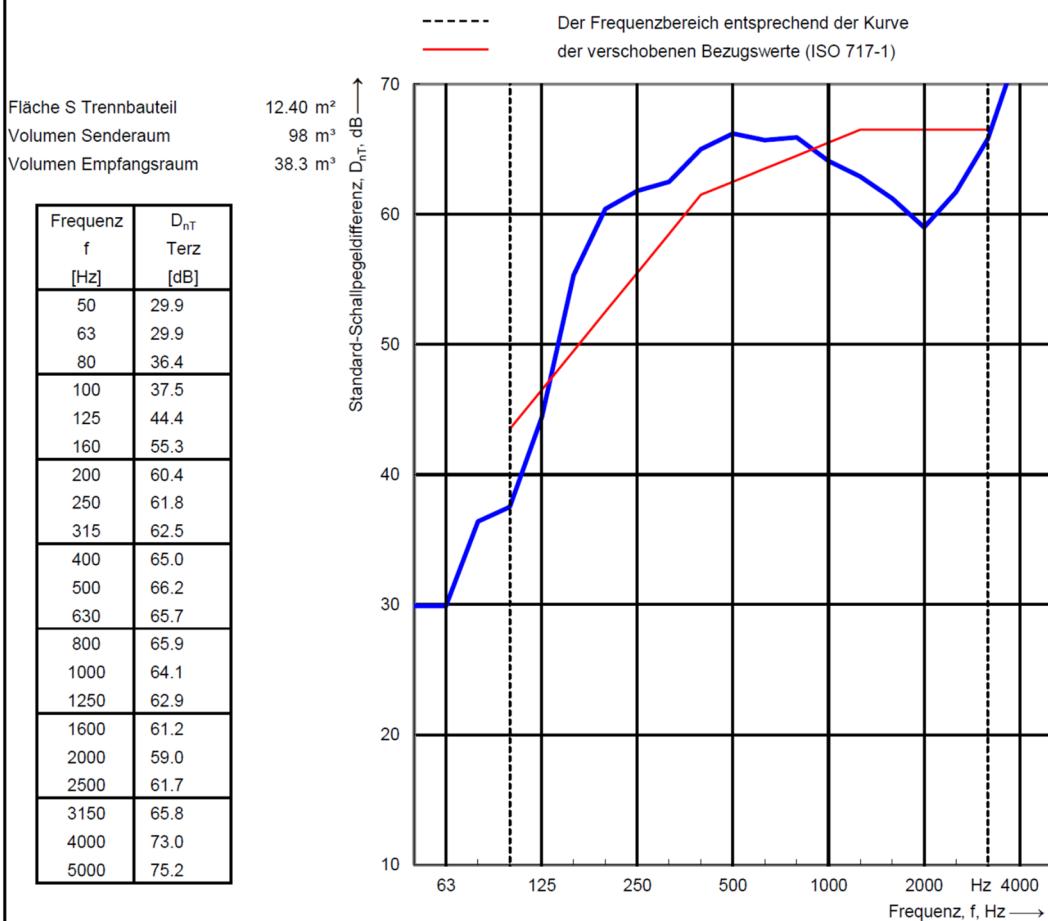
Standard-Schallpegeldifferenz nach ISO 16283-1

Messung der Luftschalldämmung zwischen Räumen in Gebäuden

Auftraggeber: BAFU, Beer Holzbau AG, Röthlisberger Schreinereimanufaktur AG
Prüfdatum: 15.02.2022
Aufbau: Wandaufbau gemäss Grundriss

Flankierende Bauteile gemäss Grundriss und Anhang

Objekt: MFH maison-climat, Bodenaufbau Nasszelle 2.OG
Senderaum: Nasszelle 2.OG Wohnung 3
Empfangsraum: Schlafzimmer 2.OG Wohnung 4



Bewertung nach ISO 717-1

$$D_{nT,w}(C;C_{tr}) = 62.5 \quad (-2 \quad ; \quad -6) \text{ dB}$$

Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen, die in Terzbändern gewonnen wurden.

$$C_{50-3150} = -3 \text{ dB} \quad C_{50-5000} = -2 \text{ dB} \quad C_{100-5000} = -1 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -13 \text{ dB} \quad C_{tr,50-5000} = -13 \text{ dB} \quad C_{tr,100-5000} = -6 \text{ dB}$$

Company: Berner Fachhochschule

Nr. des Prüfberichtes: LS01

Datum: 23.03.2022

Unterschrift: Joel Burkhalter

Abbildung 49: Standard-Schallpegeldifferenz nach ISO 16283-1

9.2 Trittschalldämmung

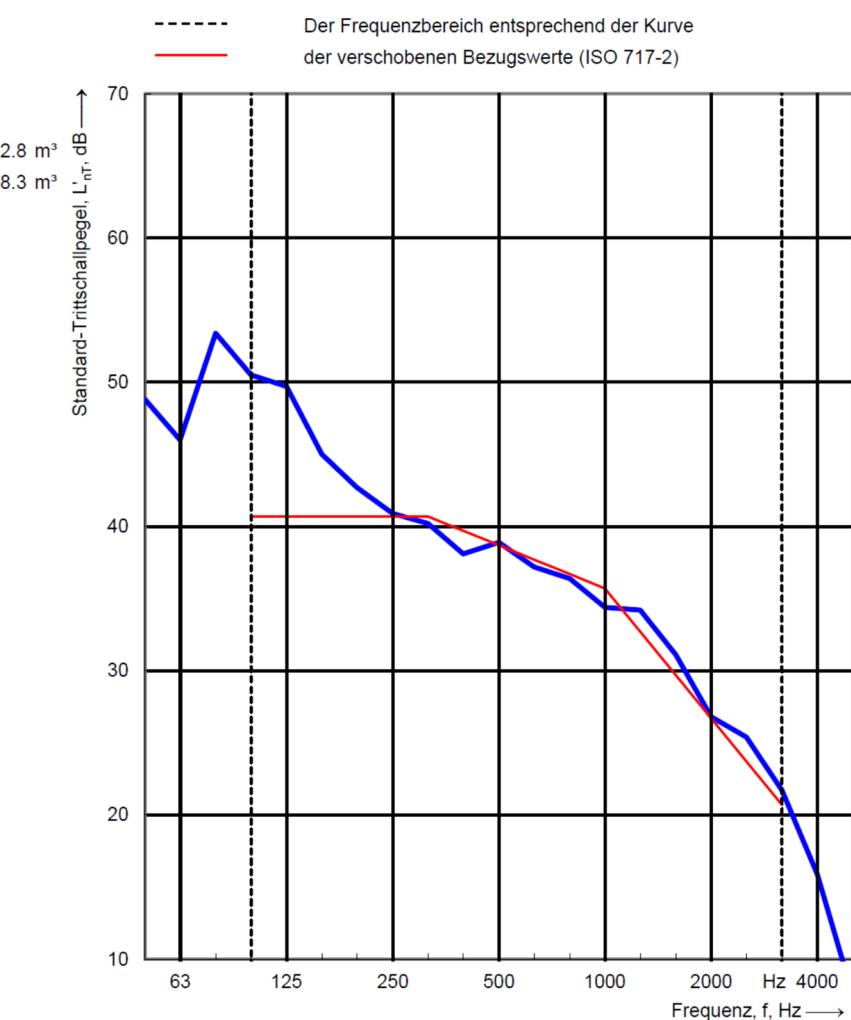
Standard-Trittschallpegel nach ISO 16283-2

Messung der Trittschalldämmung von Decken in Gebäuden

Auftraggeber: BAFU, Beer Holzbau AG
 Aufbau: Bodenaufbau 1 gemäss Tabelle 1
 Flankierende Bauteile gemäss Grundriss und Anhang
 Objekt: MFH maison-climat, Bodenaufbau Nasszelle 2.0G
 Senderaum: Nasszelle 2.0G Wohnung 4
 Empfangsraum: Schlafzimmer 1.0G Wohnung 4

Volumen des Senderaumes: 12.8 m³
 Volumen des Empfangsraum: 38.3 m³

Frequenz f [Hz]	L'nt Terz [dB]
50	48.8
63	46.0
80	53.4
100	50.5
125	49.7
160	45.0
200	42.7
250	40.9
315	40.2
400	38.1
500	38.9
630	37.2
800	36.4
1000	34.4
1250	34.2
1600	31.1
2000	26.8
2500	25.4
3150	21.7
4000	15.9
5000	7.5



Bewertung nach ISO 717-2

$L'nt,w(C_i) = 38.7$ (1) dB
 Die Ermittlung basiert auf Gebäude-Messungen,
 die in Terzbändern gewonnen wurden.

$C_{1.50-2500} = 4$ dB

Company: Berner Fachhochschule

Nr. des Prüfberichtes: TS02

Datum: 17.02.2022

Unterschrift: Joel Burkhalter

Abbildung 50: Standard-Trittschallpegel nach ISO 16283-2

9.3 Haustechnische Anlagen

Messung der Geräusche von Wasserinstallationen nach SIA 181 und SN EN ISO 16032

Objekt:	Seelandweg 17, Biel/Bienne					
Messtermin:	14.02.2022					
Richtung:	senkrecht nach unten					
Senderaum:	Nasszelle im 2.OG Whg. 04					
Empfangsraum:	Nasszelle im 1.OG Whg. 04					
mittlere Nachhallzeit	$T_{500 \text{ Hz bis } 2 \text{ kHz}} : 0.76 \text{ s}$ Schutzbedürftigkeit gering Raum gering absorbierende Ausstattung					
Volumen	13.9 m ³ Äqu. Absorptionsfläche: 2.9 m ²					
Stand: 01.05.2021	Messung	Messwert	Fremdgeräusch	Fremdgeräusch-korrigierter Messwert	Gesamtwert LH,tot der Einzelgeräusche	Standard-Schalldruckpegel
Lärmquelle		$L_{AF,max,ges}^{1)}$ dB(A)	$L_{Aeq}^{2)}$ dB(A)	$L_{AF,max}^{3)}$ ΔL dB(A)	$K_1^{4)}$ -1 dB	$L_{AF,max,nT}^{5)}$ dB(A)
WC	1	36.3	20.1	36.3		
	2	36.0	19.6	36.0		
	3	38.0	23.2	38.0		
	4	38.1	21.0	38.1		
	5	40.2	21.1	40.2		
	6	36.4	22.2	36.4		
Energetischer Mittelwert				37.8	36.8	35.9
+/- 1.07 80.0%				SIA 181: ≤ 38	dB eingehalten	
Dusche	1	35.4	21.2	35.4		
	2	35.7	19.8	35.7		
	3	37.2	21.7	37.2		
	4	36.2	22.8	36.2		
	5	37.6	20.0	37.6		
	6	37.1	20.2	37.1		
	7	33.4	21.1	33.4		
Energetischer Mittelwert				36.3	35.3	34.4
+/- 1.17 95.0%				SIA 181: ≤ 38.0	dB eingehalten	
Lavabo	1	29.8	23.2	28.7 -1.1		
	2	33.2	21.3	33.2		
	3	26.5	20.1	25.4 -1.1		
Energetischer Mittelwert				30.3	29.3	28.4
+/- 6.31 90.0%				SIA 181: ≤ 38.0	dB eingehalten	

1) Gesamtschalldruckpegel, Anlagengeräusch und Fremdgeräusch, Messwert

2) äquivalenter Fremdgeräuschpegel, Messwert

3) Anlagengeräuschpegel, korrigiert um den Fremdgeräuschpegel nach SIA 181

4) nach SIA 181

5) Installations-Schalldruckpegel bezogen auf die Bezugs-Nachhallzeit $T_0 = 0.5 \text{ s}$

Abbildung 51: Messung der Geräusche von Wasserinstallationen nach SIA 181 und SN EN ISO 16032

Anhang B: Feuchtemonitoring

1 Scanntronik

1.1 Kosten Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 14: Kosten Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen

KOSTEN: SCANNTRONIK SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
	Produkt	Menge	Einzelpreis (EUR)	Totalpreis (EUR)
1	Themofox Universal Datenlogger inkl. internem Temperatur-Sensor + Speicher für 64000 Messwerte.	1	400.-	400.-
2	Materialfox Universal Datenlogger und Speicher für 64000 Messwerte.	1	275.-	275.-
3	Materialeucht Gigamodul 8 x Kanal – Erweiterungsmodul.	1	485.-	485.-
4	Softfox für die detaillierte Datenanalyse. Inklusive USB-Interfacekabel. Sprache: Deutsch und Englisch.	1	75.-	75.-
5	Remotefox Zentrale für die mobile GPRS-Datenfernübertragung sowie Alarmierung via E-Mail und SMS für ausgewählte Datenlogger.	1	895.-	895.-
6	Yallo Prepaid** SIM Karte	1	0	0
7	Netzteil zum Remotefox Geregeltes 12V-Netzteil für den Dauerbetrieb des Remotefoxes.	1	45.-	45.-
8	Batterie zum Remotefox 1,5V Batterie - Typ: Baby - C	6	2.-	12.-
9	Installationsbox (Größe 3) Außenmaße: 400 x 500 x 175 mm Innenmaße: 344 x 451 x 151 mm inkl. Trocknungsbeutel (3er-Pack).	1	120.-	120.-
10	Gigamodul Messleitung BNC auf 2 x 4mm Büschelstecker Leitungslänge: 5m.	10	47.50	475.-
11	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 20mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.	2	15.-	30.-
12	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 60mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.	2	20.-	40.-
13	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 100mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.	2	25.-	50.-
14	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 150mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.	2	30.-	60.-
15	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 200mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.	2	35.-	70.-
16	NTC-Temperatursensoren Leitungslänge: 6,0m	10	35.-	350.21
17	Versandkostens Gewicht bis 31.5 Kg	1	23.-	23.01

					TOTAL EUR	3'407.04
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT						
	Produkt	Tag	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)	
18	SMS Tarife**	30	-	0.25	7.50	
					TOTAL CHF	7.50

1.2 Kosten Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen

Tabelle 15: Kosten Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen

KOSTEN: SCANNTRONIK SYSTEM MIT 30 FEUCHTESENSOREN						
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.						
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN						
	Produkt			Menge	Einzelpreis (EUR)	Totalpreis (EUR)
1	Themofox Universal Datenlogger inkl. internem Temperatur-Sensor + Speicher für 64000 Messwerte.			3	400.-	1'200.-
2	Materialfox Universal Datenlogger und Speicher für 64000 Messwerte.			3	275.-	825.-
3	Materialeucht Gigamodul 8 x Kanal – Erweiterungsmodul.			3	485.-	1'455.-
4	Softfox für die detaillierte Datenanalyse. Inklusive USB Interfacekabel. Sprache: Deutsch und Englisch.			1	75.-	75.-
5	Remotefox Zentrale für die mobile GPRS-Datenfernübertragung sowie Alarmierung via E-Mail und SMS für ausgewählte Datenlogger.			3	895.-	2'686.-
6	Yallo Prepaid** SIM Karte			3	0	0
7	Netzteil zum Remotefox Geregeltes 12V-Netzteil für den Dauerbetrieb des Remotefoxes.			3	45.-	135.-
8	Batterie zum Remotefox 1,5V Batterie - Typ: Baby - C			18	2.-	36.-
9	Installationsbox (Größe 3) Außenmaße: 400 x 500 x 175 mm Innenmaße: 344 x 451 x 151 mm inkl. Trocknungsbeutel (3er-Pack).			3	120.-	360.-
10	Gigamodul Messleitung BNC auf 2 x 4mm Büschelstecker Leitungslänge: 5m.			24	47.50	1'140.-
11	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 20mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.			6	15.-	90.-
12	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 60mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.			6	20.-	120.-
13	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 100mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.			6	25.-	150.-
14	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 150mm (isolierter Schaft) inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.			6	30.-	180.-
15	Isolierte Holz-Elektroden 2 x Edelstahl-Schraubkontakte L = 200mm (isolierter Schaft)			6	35.-	210.-

	inkl. Isolationsscheiben und Elektrodenkopf-Rosetten.			
16	NTC-Temperatursensoren Leitungslänge: 6,0m	30	35.-	1'050.-
17	Versandkosten Gewicht bis 31.5 Kg	1	23.-	23.-
			TOTAL EUR	9'739.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
Produkt	Tag	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
18 SMS-Tarife**	3 x 30	-	0.25	22.50
			TOTAL CHF	22.50

1.3 Kosten Sorptionsmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 16: Kosten Sorptionsmethode – 10 Mess-Stellen

KOSTEN: SCANNTRONIK SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
Produkt	Menge	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (EUR)
1 Materialfox Universal Datenlogger und Speicher für 64000 Messwerte.	10	275.-		2750.-
2 Softfox für die detaillierte Datenanalyse. Inklusive USB Interface-Kabel. Sprache: Deutsch und Englisch.	1	75.-		75.-
3 Remotefox Zentrale für die mobile GPRS-Datenfernübertragung sowie Alarmierung via E-Mail und SMS für ausgewählte Datenlogger.	5	895.-		4'475.-
4 Yallo Prepaid** SIM Karte	5	0		0
5 Netzteil zum Remotefox Geregeltes 12V-Netzteil für den Dauerbetrieb des Remotefoxes.	5	45.-		225.-
6 Batterie zum Remotefox 1,5V Batterie - Typ: Baby - C	30	2.-		60.-
7 Installationsbox (Größe 3) Außenmaße: 400 x 500 x 175 mm Innenmaße: 344 x 451 x 151 mm inkl. Trocknungsbeutel (3er-Pack).	5	120.-		600.-
8 °C / %rF - Stabsensor Stabfühler für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit	10	225.-		2250.-
9 Erhöhte Sensorgenaugigkeit Toleranz: 1,8%rF und 0,3°C	10	25.-		250.-
10 Versandkosten Gewicht bis 31.5 Kg	1	23.-		23.-
TOTAL CHF				10'713.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
Produkt	Tag	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
11 SMS Tarife**	5 x 30	-	0.25	37.50
			TOTAL CHF	37.50

1.4 Konzeption Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 17: Konzeption Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen

SCANNTRONIK SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.				
10 Feuchtesensoren.				
Apparat, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften.				
a) 2 x Holzfeuchtesensoren. Messbereich von 12 Gw% bis 90 Gw%. Materialfox Universal Datenlogger , siehe Tab. 1, Zl. 2.				

- b) **8 x Holzfeuchtesensoren.** Messbereich von 6 Gw% bis über 90 Gw%.
Materialfeuchte Gigamodul Universalsensor, siehe Tab. 1, Zl. 3.
- c) **10 x Isolierte Holz-Elektroden**, mit dem die Möglichkeit der Überwachung in 5 verschiedenen Tiefen besteht (20, 60, 100, 150 und 200mm Tiefen).

Gw% = Gewichtprozent.

10 Temperatursensoren.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften:

- a) **2 x Temperatursensoren.** Standardmessbereich von -30°C bis 120°C.
Thermofox Universal Datenlogger, siehe Tab. 1, Zl. 1.
- b) **8 x Temperatursensoren.** Standardmessbereich von -30°C bis 120°C.
Multisensor Temperatur, siehe Tab. 1, Zl. 4 und 5.

Temperatursensoren werden für Temperaturkompensation benutzt. °C = Celsius

2 Datenlogger.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **1 x Thermofox Universal Datenlogger**, siehe Tab. 1, Zl. 1.
- b) **1 x Materialfox Universal Datenlogger**, siehe Tab. 1, Zl. 2.

Bei diesem System ist der Speicher des Datenloggers auf eine Kapazität von 64'000 Messwerten ausgelegt.

1 Remote Datenübertragung.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **1 x Remotefox**, siehe Tab. 1, Zl. 8

1.5 Konzeption Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen

Tabelle 18: Konzeption Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen

SCANTRONIK SYSTEM MIT 30 FEUCHTESENSOREN

Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.

30 Feuchtesensoren.

Apparat, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften:

- a) **6 x Holzfeuchtesensoren.** Messbereich von 12 Gw% bis 90 Gw%.
Materialfox Universal Datenlogger, siehe Tab. 1, Zl. 2.
- b) **24 x Holzfeuchtesensoren.** Messbereich von 6 Gw% bis über 90 Gw%.
Materialfeuchte Gigamodul Universalsensor, siehe Tab. 1, Zl. 3.
- c) **30 x Isolierte Holz-Elektroden**, mit dem die Möglichkeit der Überwachung in 5 verschiedenen Tiefen besteht (20, 60, 100, 150 und 200 mm Tiefen).

Gw% = Gewichtprozent.

30 Temperatursensoren.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften:

- a) **6 x Temperatursensoren.** Standardmessbereich von -30°C bis 120°C.
Thermofox Universal Datenlogger, siehe Tab. 1, Zl. 1.
- b) **24 x Temperatursensoren.** Standardmessbereich von -30°C bis 120°C.
Multisensor Temperatur, siehe Tab. 1, Zl. 4 und 5.

Temperatursensoren werden für Temperaturkompensation benutzt.

6 Datenlogger.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **3 x Thermofox Universal Datenlogger**, siehe Tab. 1, Zl. 1.

b) 3 x Materialfox Universal Datenlogger, siehe Tab. 1, Zl. 2.

Bei diesem System ist der Speicher des Datenloggers auf eine Kapazität von 64'000 Messwerten ausgelegt.

3 Remote Datenübertragung.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

a) 3 x Remotefox, siehe Tab. 1, Zl. 8.

1.6 Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 19: Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen

SCANTRONIK SYSTEM MIT 10 FEUCHTE- TEMPERATURSENSOREN

Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung (%rF und T) generiert.

10 Feuchte- und Temperatursensoren

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **10 x Stabsensoren.** Luftfeuchte-Messbereich von 0 % rF bis 99% rF, Lufttemperatur-Messbereich von -20 bis +70°C. Siehe Tab. 1, Zl. 6.

%rF = relativ Feuchtigkeit. T = Temperatur.

10 Datenlogger

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **10 x Materialfox Universal Datenlogger**, siehe Tab. 1, Zl. 2.

Bei diesem System ist der Speicher des Datenloggers auf eine Kapazität von 64'000 Messwerten ausgelegt.

10 Erhöhte Sensorgenaugigkeit.

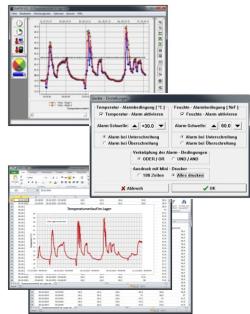
- a) **10 x Erhöhte Sensorgenaugigkeit.** Toleranz: 1,8% rF und 0,3°C.

1.7 Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionsisothermenmethode

Tabelle 20: Hauptkomponenten

Datenlogger	 A black digital data logger with a small LCD screen showing '18.5' and a keypad with four buttons. The brand name 'Thermofox' is printed on the front.	1	Thermofox Universal Datenlogger <ul style="list-style-type: none"> Zwei externe Temperatursensoren. Ein interner Temperatursensor. Speichervarianten für 4'000 bis 64'000 Messwerte.
Datenlogger	 A black digital data logger with a small LCD screen showing '10.8' and a keypad with four buttons. The brand name 'Materialfox' is printed on the front.	2	Materialfox Universal Datenlogger <ul style="list-style-type: none"> Zwei externe Feuchtigkeitsensoren: Messbereich für Kiefernholz zwischen 12% Gw bis 90 % Gw Messbereich für Holzfeuchteäquivalent zwischen 15% Gw bis 80% Gw. Ein interner Temperatursensor.

		<ul style="list-style-type: none"> • Speichervarianten für 4'000 bis 64'000 Messwerte.
Bus-System	3	<p>Materialfeuchte Gigamodul Universalsensor</p> <ul style="list-style-type: none"> • Messgröße: Elektrischer Widerstand. • Analyse von 8 x Material-, Bau- und Holzfeuchtigkeiten. • Resultate von Feuchtgehalt in Gewichtprozent (Gw%). • Wertbereich von Holzfeuchten von unter 6 Gw% bis über 90 Gw%. • Beilegendes Tabellenwerk, das ermöglicht, Aussagen über zahlreiche Baustoffe zu treffen, wie z.B. Fichte und Kiefer.
Bus-System	4	<p>Multisensor Temperatur</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acht NTC-Sensoren können direkt an der Buchsenleiste des Sensormoduls angeschlossen werden.
Temperatursensor	5	<p>NTC-Temperatursensoren</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standard-Sensoren von -30°C bis 120°C. • In verschiedenen Bauformen sowie Längen erhältlich. • Messung von außen-, Innen-, Oberflächen-, Wand-, Kern- und optional auch Flüssigkeitstemperaturen.
°C / %rF - Sensor	6	<p>Stabsensor - °C / %rF</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lufttemperatur-Messbereich: -20 bis +70°C. • Luftfeuchte-Messbereich: 0 bis 99%rF. • Sensorelement selbst austauschbar • Kalibrierzertifikat auf Anfrage erhältlich • Messfühler: ca. L = 25cm, D = 7mm • Gewicht: ca. 80g

Software	7	<p>SoftFox - Analysesoftware</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Software wurde speziell für Microsoft Windows entwickelt. Die Software ermöglicht der graphischen Analyse und Weiterverarbeitung der Messwerte. Möglichkeit einen beliebigen Messrhythmus einzustellen. Funktionen wie Kalibrierung und Geräteinformationen können hier abgefragt und verändert werden. Der Anschluss der Geräte an den Computer erfolgt über ein USB oder RS232 Interfacekabel. Ein Export der Messdaten in Excel Programme ist möglich. 
Datenübertragung/ Funkmodul	8	<p>Remotefox</p> <ul style="list-style-type: none"> Vollautomatische Übertragung von Messdaten via E-Mail. Zwei Eingänge für Alarmierung via E-Mail und / oder SMS. Unregelmäßiger Datenabruf via Telefonanruf auslösbar. Bis zu 10 x E-Mail-Empfängeradressen und 10 x Handynummern definierbar. SIM-Karten mit GPRS-Internetzugang verwendbar (Auch PrePaid SIM-Karten möglich). 

2 Omnisense

2.1 Kosten Widerstandsmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 21: Kostenübersicht Widerstandsmethode – 10 Mess-Stellen

KOSTEN: OMNISENSE SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN					
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.					
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN					
	Produkt	Menge	Einzelpreis (U\$)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
1	TS-11 Wireless T, %RH, WME Sensor.	10	84.-	86.72	867.22
2	G4 Wireless Gateway Datalogger	1	439.95	453.22	453.22
3	Internet** - TeleKing. Einmalige Setupgebühr.	1	-	50.-	50.-
4	Versandkosten	1	Keine Angabe		
TOTAL					1'370.44
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT					
	Produkt	Tage	Einzelpreis (U\$)	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
5	Internet**- TeleKing.-10 Mbits/S.	30	-	23.33	23.33
6	OmniSense web monitoring service	30	29.99	30.96	30.96
TOTAL					54.29

2.2 Kosten Widerstandsmethode an 30 Mess-Stellen

Tabelle 22: Kostenübersicht Widerstandsmethode – 30 Mess-Stellen

KOSTEN: OMNISENSE SYSTEM MIT 30 FEUCHTESENSOREN					
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen elektrischen Widerstandswerten generiert.					
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN					
	Produkt	Menge	Einzelpreis (U\$)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
1	TS-11 Wireless T, %RH, WME Sensor.	30	84.00	86.72	2601.65
2	Wireless Gateway Datalogger	1	439.00	453.22	453.22
3	Internet** - TeleKing. Einmalige Setupgebühr.	1	-	50.00	50.00
4	Versandkosten	1	Keine Angabe		
TOTAL CHF					3'104.87
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT					
	Produkt	Tage	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
5	Internet**- TeleKing. 10 Mbits/S.	30	-	23.33	23.33
6	OmniSense web monitoring service	30	29.99	30.96	30.96
TOTAL CHF					54.29

2.3 Kosten Sorptionsmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 23: Kostenübersicht Sorptionsmethode – 10 Mess-Stellen

KOSTEN: OMNISENSE SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsisothermen (%RH und T) generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
Produkt	Menge	Einzelpreis (U\$)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
1 A-1 HumiSense	10	49.95.-	51.60	516.-
2 S-2 Wireless Sensor	5	99.95.-	103.20	516.-
3 G-4 Wireless Gateway	1	440.-	454.-	454.-
4 Internet** - TeleKing. Einmalige Setupgebühr.	1	-	50.00	50.-
5 Versandkosten	1	Keine Angabe		
TOTAL CHF				1'536.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
Produkt	Tage	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
5 Internet**- TeleKing10 Mbits/S.	30	-	23.33	23.33
6 OmniSense web monitoring service	30	29.99	30.96	30.96
TOTAL PRO MONATE CHF				54.29

2.4 Kosten Sorptionsmethode an 30 Mess-Stellen

Tabelle 24: Kostenübersicht Sorptionsmethode – 30 Mess-Stellen

KOSTEN: OMNISENSE SYSTEM MIT 30 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsisothermen (%RH und T) generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
Produkt	Menge	Einzelpreis (U\$)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
1 A-1 HumiSense	30	49.95	51.60	1'548.-
2 S-2 Wireless Sensor	15	99.95	103.20	1'548.-
3 G-4 Wireless Gateway	1	440.-	454.-	454.-
4 Internet** - TeleKing. Einmalige Setupgebühr	1	-	50.-	50.-
5 Versandkosten	1	Keine Angabe		
TOTAL CHF				3'600.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
Produkt	Tage	Einzelpreis (EUR)	Einzelpreis (CHF)*	Totalpreis (CHF)
5 Internet**- TeleKing10 Mbits/S.	30	-	23.33	23.33
6 OmniSense web monitoring service	30	29.99	30.96	30.96
TOTAL CHF				54.29

2.5 Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 25: Omnisense System mit 10 Feuchtesensoren

OMNISENSE SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsisothermen (%RH und T) generiert.				
10 Feuchte- und Temperatursensoren				
Apparat, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften.				
a) 10 x A-1-200 HumiSense™ Temperatur- und Feuchtigkeitssonden Messbereich von 0 bis 100 % RH. Siehe Tab. 3, Zl. 3.				
%RH= relativ Feuchtigkeit und T=Temperatur °C.				
5 Datenlogger.				

Apparat, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften.

- a) **5 x S-2 Wireless Sensor.** mit 2 Anschlüssen für T und %RH, 64K Speicher und $\pm 0,3^{\circ}\text{C}/\pm 2,0\%\text{RH}$ Genauigkeit. Siehe Tab. 3, Zl. 4.

%RH= relativ Feuchtigkeit, T=Temperatur $^{\circ}\text{C}$ und K = Kilobyte.

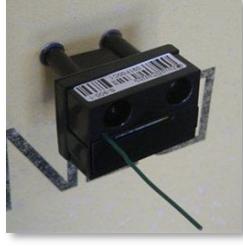
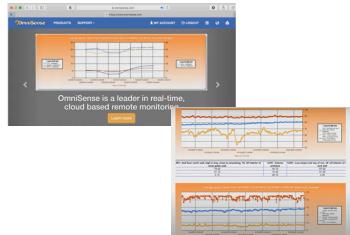
1 Remote Datenübertragung.

Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften

- a) **1 x G-4 Wireless Gateway** Siehe Tab. 3, Zl. 2.

2.6 Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionsisothermenmethode

Tabelle 26: Hauptkomponenten Widerstandsmethode und Sorptionsisothermenmethode

	<p>TS-11 Wireless T, %RH, ME Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> Standardgenauigkeit ($\pm 0,4^{\circ}\text{C}/\pm 3,5\%\text{RH}$) und kompakter Formfaktor von $2,25 \times 1,5 \times 1,0$ Zoll. Temperatur, %RH (Luftfeuchtigkeit) und WME (Holzfeuchte-Äquivalent) Sensor. Stromversorgung aus Lithium-Batterie, die eine typische Lebensdauer von mehr als 15 Jahren hat
	<p>G-4 Wireless Gateway</p> <ul style="list-style-type: none"> Die Anzahl der Sensoren, die an ein Gateway gemeldet werden können, ist nicht fest begrenzt. 4 GB FLASH-Speicher für die Datenaufzeichnung als Backup, falls die Internetverbindung nicht verfügbar ist oder unterbrochen wird. Die Messwerte werden automatisch auf unseren Server hochgeladen, wenn die Internetverbindung des Gateways verfügbar ist.
	<p>A-1-200 HumiSense T und %RH Sonde.</p> <ul style="list-style-type: none"> Bereich: 0-100%RH 2 m langes Kabel und eine 8 cm lange Sonde mit einem Sensor am Ende/Spitze der Sonde Der Sondendurchmesser beträgt 4,8 mm.
	<p>S-2 Wireless Sensor</p> <ul style="list-style-type: none"> 4 GB FLASH-Speicher für die Datenaufzeichnung als Backup, falls die Internetverbindung nicht verfügbar ist oder unterbrochen wird. Die Messwerte werden automatisch auf unseren Server hochgeladen, wenn die Internetverbindung des Gateways verfügbar ist.
	<p>OmniSense web monitoring service</p> <ul style="list-style-type: none"> Das Gateway leitet die Daten über das Internet an eine zentrale Datenbank weiter, wo die Überwachungsanwendung eine Vielzahl von Datenanalyse-, Protokollierungs- und Berichtsfunktionen durchführt. Die FMS-Website bietet eine benutzerfreundliche Schnittstelle zur Überwachungsanwendung. Über die FMS-Website können die Benutzer ihre Sensordaten in Echtzeit anzeigen, Alarmschwellen

	festlegen und Sensordatengrafiken anzeigen, um genau zu sehen, wann und wo ein Problem aufgetreten ist.
--	---

3 Ahlborn

3.1 Kosten Sorptionsisothermenmethode an 09 Mess-Stellen

Tabelle 27: Kostenübersicht Sorptionsisothermenmethode – 09 Mess-Stellen

KOSTEN: AHLBORN SYSTEM MIT 09 FEUCHTE- TEMPERATURSENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
	Produkt	Menge	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
1	Almemo ® D6 Digitaler Fühler für Luftfeuchte, Temperatur und Luftdruck, Multisensormodul in geschlitzter Sensorkappe, Steckeranschluss, inkl. ALMEMO® Anschlusskabel mit Kupplung und ALMEMO® D6-Stecker. Länger:10 Meter Best. Nr. FHAD46C2L10	9	242.-	2'178.-
2	Verlängerungsrohr Ø 8mm, Länge 97mm, steckbar, für FHAD 46-C2. Best. Nr. ZB0D462VR	9	72.-	648.-
3	Datenlogger ALMEMO® 809 V7 Best. Nr. MA809.	1	1'437.-	1'437.-
4	Software WinControl zur Messwerterfassung. Best. Nr. SW5600WC1	1	70.-	70.-
5	Ethernet-Datenkabel , galvanisch getrennt. Best. Nr. ZA1945DK	1	339.-	339.-
6	Internet* - TeleKing. Einmalige Setupgebühr. *	1	50.-	50.-
				TOTAL 4'722.-
				-5% 4'485.90
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
	Produkt	Tage	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
7	Internet - TeleKing.- 10Mbit/s.*	30	23.33	23.33
				TOTAL 23.33

3.2 Kosten Sorptionsisothermenmethode an 29 Mess-Stellen

Tabelle 28: Kostenübersicht Sorptionsisothermenmethode – 29 Mess-Stellen

KOSTEN: AHLBORN SYSTEM MIT 29 FEUCHTE- TEMPERATURSENSOREN				
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung generiert.				
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN				
	Produkt	Menge	Einzelpreis (CHF)	Totalpreis (CHF)
1	Almemo ® D6 Digitaler Fühler für Luftfeuchte, Temperatur und Luftdruck, Multisensormodul in geschlitzter Sensorkappe, Steckeranschluss, inkl. ALMEMO® Anschlusskabel mit Kupplung und ALMEMO® D6-Stecker. Länger:10 Meter Best. Nr. FHAD46C2L10	29	242.-	7'018.-
2	Verlängerungsrohr Ø 8mm, Länge 97mm, steckbar, für FHAD 46-C2. Best. Nr. ZB0D462VR	29	72.-	2'088.-
3	Datenlogger ALMEMO® 5690-1 Best. Nr. MA56901M09TG3	1	1'889.-	1'889.-
4	Software WinControl zur Messwerterfassung. Best. Nr. SW5600WC1	1	70.-	70.-
5	Interner Speicher Best. Nr. OA5690S	1	240.-	240.-

6	10 Eingänge für ALMEMO® Einzelstecker. Für flexible Anwendungen mit beliebigen, einzelnen Fühlern und Messsignalen. Best. Nr. ES5690UA10	2	832.-	1'664.-
7	Ethernet-Datenkabel , galvanisch getrennt Best. Nr. ZA1945DK	1	339.-	339.-
8	Internet - TeleKing. Einmalige Setupgebühr. *	1	50.-	50.-
			TOTAL	13'358.- -5% 12'690.10
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT				
9	Internet - TeleKing.- 10Mbit/s.*	30	23.33	23.33
			TOTAL	23.33

3.3 Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 9 Mess-Stellen

Tabelle 29: Ahlborn System mit 9 Feuchte-/ Temperatursensoren

AHLBORN SYSTEM MIT 9 FEUCHTE- TEMPERATURSENSOREN Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung (%rF und T) generiert.
9 Feuchte- Temperatursensoren Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> a) 9 x Digitaler Fühler für Luftfeuchte, Temperatur, Luftdruck FHAD 46-C2. Luftfeuchte-Messbereich von 5% rF bis 98 % rF, Lufttemperatur-Messbereich von -20 bis +60°C. Siehe Tab. 2, Zl. 1. <p style="text-align: right;">%rF = relativ Feuchtigkeit.</p>
1 Datenlogger Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> a) 1 x Datenlogger ALMEMO® 809 V7, siehe Tab. 2, Zl. 2. <p>Die Datenübertragung wird über Internet durchgeführt. Bei diesem System ist der Speicher des Datenloggers auf eine Kapazität von 400' 000 Messwerten ausgelegt.</p>

3.4 Konzeption Sorptionsisothermenmethode an 29 Mess-Stellen

Tabelle 30: Ahlborn System mit 29 Feuchte-/ Temperatursensoren

AHLBORN SYSTEM MIT 29 FEUCHTE- TEMPERATURSENSOREN Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsmessung (%rF und T) generiert.
29 Feuchte- Temperatursensoren Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> a) 29 x Digitaler Fühler für Luftfeuchte, Temperatur, Luftdruck FHAD 46-C2. Luftfeuchte-Messbereich von 5% rF bis 98 % rF, Lufttemperatur-Messbereich von -20 bis +60°C. Siehe Tab. 2, Zl. 1. <p style="text-align: right;">%rF = relativ Feuchtigkeit.</p>
1 Datenlogger Apparate, Menge und verfügbare/geforderte Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> a) 1 x Datenlogger ALMEMO® 5690-1, siehe Tab. 2, Zl. 3. <p>Die Datenübertragung wird über Internet durchgeführt. Bei diesem System ist der Speicher des Datenloggers auf eine Kapazität von 400' 000 Messwerten ausgelegt.</p>

3.5 Hauptkomponenten Sorptionsisothermenmethode

Tabelle 31: Hauptkomponenten Sorptionsisothermenmethode

	Almemo ® D6 Digitaler Fühler <ul style="list-style-type: none"> 4 Messkanäle sind programmiert (ab Werk): Temperatur (°C, T,t), relative Feuchte (%H, RH, Uw), Taupunkt (°C, DT, td), Luftdruck (mbar, AP, p). Temperatur: von -20.bis + 60°C. Luftfeucht: von 5 bis 98 % r.F. Breite: 8mm.
	Datenlogger ALMEMO® 809 V7. <ul style="list-style-type: none"> Präzisionsmessgerät, betrieb als Datenlogger oder PC-Interface. 9 Messeingänge für alle Fühler. Erhöhte Messgenauigkeit, schnelle Messrate, mit ALMEMO® D7-Fühler bis 1000 Messungen/s. Speicher: 8 MB FLASH (400' 000 bis zu 1,5 Mio. Messwerte).
	Datenlogger ALMEMO® 5690 <ul style="list-style-type: none"> ALMEMO® Datenlogger zur komplexen Messdatenerfassung. Präzisionsmessgerät mit umfangreichen Funktionen für alle Einsatzgebiete. erhöhte Messgenauigkeit, schnelle Messrate bis 99 bzw. 190 Messeingänge. Betrieb als Datenlogger oder PC-Interface. ausch mit großer grafischer Anzeige.
	Software AMR WinControl ALMEMO®. <ul style="list-style-type: none"> Software zur Erfassung, Darstellung und Verarbeitung von Messdaten von Messdaten der ALMEMO®-Geräteserie (V5, V6, V7, A500 und A470). Bequeme Programmierung und Bedienung der Geräte. Grafische Darstellung, mathematische Verarbeitung und Ausdruck (Messprotokoll) von aktuellen und gespeicherten Daten. Geeignet für Langzeitmessungen (GMP) oder für Kontroll- und Überwachungsaufgaben. Kann leicht an jedes Projekt angepasst werden. Schnelle Einarbeitung und sichere Bedienung durch die Windows.

4 Mageba

4.1 Kosten an 10 Mess-Stellen

Tabelle 32: Kostenübersicht – 10 Mess-Stellen

MAGEBA SYSTEM MIT 10 FEUCHTESENSOREN		
Das Messprinzip wurde von mageba SA nicht spezifiziert		
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN		
1	Kostenvorschlag für 10 Sensoren + Datenübertragungssystem.	Preis (CHF)
1	Kostenvorschlag für 10 Sensoren + Datenübertragungssystem.	23'000.-
2	Montage der Sensoren und Datenlogger am Holz-Bauwerk. *	3'450.-
	Total	26'450.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT		
3	Produkt	Preis (CHF)
3	Betrieb der Mess-, Datenübertragungstechnik	

**Die Kosten für Unterkunft und Transport sind nicht inbegriffen.*

4.2 Kosten an 30 Mess-Stellen

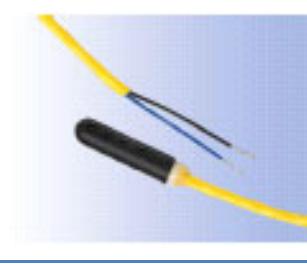
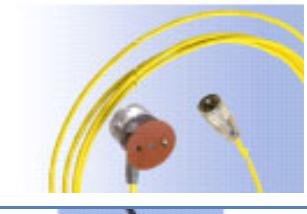
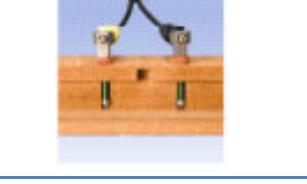
Tabelle 33: Kostenübersicht – 30 Mess-Stellen

MAGEBA SYSTEM MIT 30 SENSOREN		
Das Messprinzip wurde von mageba SA nicht spezifiziert		
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN		
1	Kostenvorschlag für 30 Sensoren + Datenübertragungssystem	52'000.-
2	Montage der Sensoren und Datenlogger am Holz-Bauwerk. *	9'200.-
	Total	61'200.-
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT		
3	Betrieb der Mess-, Datenübertragungstechnik oder Datenportal	

**Die Kosten für Unterkunft und Transport sind nicht inbegriffen.*

4.3 Komponenten der Mageba SA – Monitoringsysteme

Tabelle 34: Komponenten Mageba SA

	1	MTC - X	<ul style="list-style-type: none"> • Feuchtigkeitsbereich: 6% - 60% Holz. • Kalibrierungen: auf Anfrage. • Betriebstemperaturbereich: 0°-70°C (32°-158°F) (nominal). • Anzahl der Ausgänge: 1. • Leistungsbedarf: Gleichspannung zwischen 15 und 30 Volt. • Anschlussklemmen: A 2,5 mm (Center Positive) POWER JACK für POWER INPUT, TERMINAL STRIP und UHF-Anschluss für Feuchtigkeitseingang. 	
	2	HS-1	<ul style="list-style-type: none"> • Der HS-1 ist ein Feuchtigkeitssensor der direkt an das MTX-C angeschlossen und kann in Tiefen und in Bereichen, die unsere anderen Elektroden nicht erreichen. Der HS-1 ist ideal für die Langzeitüberwachung von Holzbauteilen, Pfählen und Wand und Mauerhohlräumen und wird standardmäßig mit einem 61 cm langen Kabel geliefert. 	
	3	2-E/H	<ul style="list-style-type: none"> • Die 2-E/H ist eine kompakte Elektrode für die Langzeit Überwachung von Holz, Trockenbauwänden, und Papierkernen. Diese Elektrode wird direkt an das MTX-C und wird standardmäßig mit 8mm Stiften und einem 300cm Kabel ausgestattet. 	
	4	Core & Shell pins	<ul style="list-style-type: none"> • Diese isolierten Stifte und robuste Kabel können in einer Vielzahl von Anwendungen für Langzeitüberwachung von Holz verwendet werden. 	
		Datenerfassungssysteme von Word Sensing		

5 Terra Vermessungen AG

BEMERKUNGEN UND ANNAHMEN VON TERRA VERMESSUNGEN AG FÜR SYTEME MIT 10 UND 30 SENSOREN:

- Die Firma hat einmal eine Betriebsdauer von 1 Jahr gerechnet. Die Betriebskosten sind so kalkuliert, dass diese Preise auch über eine längere Zeit gelten.
- Installationsort: Biel
- Zugang zum Holzbauwerk jederzeit möglich, keine Nacharbeit
- Installation durch 2 Mitarbeiter der Terra Vermessungen AG
- Eine möglicherweise erforderliche Hebebühne oder ein Gerüst sind nicht eingerechnet
- Alle Kanäle der Datenlogger werden voll ausgenutzt (minimale Anzahl an Datenloggern)
- Die Datenlogger und die Basisstation (Gateway) können nach einem Jahr übernommen werden und gehen dann in den Besitz des Auftraggebers über. Die Pos. 3 entfällt dann. Werden die Datenlogger und das Gateway nicht übernommen, so verbleiben diese im Eigentum der Terra Vermessungen AG.
- Regieleistungen: Abrechnung im ZMT, 130 CHF/Std

Die Komponenten wurden von Terra Vermessungen AG nicht spezifiziert.

5.1 Kosten Sorptionsisothermenmethode an 10 Mess-Stellen

Tabelle 35: Kostenübersicht Sorptionsisothermenmethode – 10 Mess-Stellen

TERRA VERMESSUNGEN AG SYSTEM MIT 10 SENSOREN					
Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsisothermen (%RH und T) generiert.					
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN					
Beschreibung		Einheit	Menge	Einzelpreis (CHF)	Gesamtpreis (CHF)
1	Material liefern inkl. Datenübertragungstechnik	Senso-ren	10*	470.-	4'700.-
2	Montage der Sensoren und Datenlogger am Holz-Bauwerk, Ein-richtung des Datenportals swissMon®.	Pau-schal	1	4'150.-	4'150.-
3	Rückbau der Mess- und Datenübertragungstechnik	Pau-schal	1	1'310.-	1'310.-
4	Option: Übernahme der Mess- und Datenübertragungstechnik nach 1 Jahr	Pau-schal	1	6'075.-	Option
				Total	10'160.-
				MwSt: 7.70%	782.32
				Total	10'942.32
LAUFENDEKOSTEN PRO MONAT					
Beschreibung		Einheit	Menge	Einzelpreis (CHF)	Gesamtpreis(CHF)
5	Betrieb der Mess- und Datenübertragungstechnik	Monate	12	190.-	2'280.-
6	Betrieb Datenportal swissMon®	Monate	12	260.-	3'120.-
				Total	5'400.-
				MwSt: 7.70%	415.80
				Total	5'815.80
				Total / Monat	484.65

* Diese Zahl kann je nach der Verteilung der Sensoren in den Räumen geändert werden.

5.2 Kosten Sorptionsisothermenmethode an 30 Mess-Stellen

Tabelle 36: Kostenübersicht Sorptionsisothermenmethode 30 Mess-Stellen

TERRA VERMESSUNGEN AG SYSTEM MIT 30 SENSOREN Die Feuchtwerte werden aus den gemessenen Sorptionsisothermen (%RH und T) generiert					
EINMALIGE ANSCHAFFUNGSKOSTEN					
Beschreibung		Einheit	Menge	Einzelpreis (CHF)	Gesamtpreis(CHF)
1	Material liefern inkl. Datenübertragungstechnik	Senso-ren	30*	380.00	11'400.00
2	Montage der Sensoren und Datenlogger am Holz-Bauwerk, Ein-richtung des Datenportals swissMon®.	Pau-schal	1	11'720.00	11'720.00
3	Rückbau der Mess- und Datenübertragungstechnik	Pau-schal	1	1'785.00	1'785.00
4	Option: Übernahme der Mess- und Datenübertragungstechnik nach 1 Jahr	Pau-schal	1	13'950.00	Option
				Total	24'905.00
				MwSt: 7.70%	1917.68
				Total	26'822.69
LAUFENDE KOSTEN PRO MONAT					
Beschreibung		Einheit	Menge	Einzelpreis (CHF)	Gesamtpreis(CHF)
5	Betrieb der Mess- und Datenübertragungstechnik	Monate	12	410.00	4'920.00
6	Betrieb Datenportal swissMon®	Monate	12	260.00	3'120.00
				Total	8'040.00
				MwSt: 7.70%	619.08
				Total	8'659.08
				Total / Monat	721.59

* Diese Zahl kann je nach der Verteilung der Sensoren in den Räumen geändert werden.

6 Progeo

6.1 Kosten

Die Kosten variieren von Anwendungsfall zu Anwendungsfall. Für eine erst Übersicht, zeigt nachfolgende Tabelle die Quadratmeter-Preise von unterschiedlichen Systemen (ohne Dachdecker):

Tabelle 37: Quadratmeterpreise von unterschiedlichen Systemen

SMARTEX TYP	MX	IS	DM	VT	VM
MESSPRINZIP	Direkte Leckage-Überwachung der Abdichtung	Direkte Leckage-Überwachung der Abdichtung	Nässe auf Dampfsperre	Wasserdampfgehalt im Luftvolumen	Direkte Leckage-Überwachung der Abdichtung
PREIS / M²	ab 16.- €	ab 10.- €	ab 6.- €	ab 6.- €	ab 4.- €

Für das System smartex dm, können folgende Kosten für das Referenzobjekt veranschlagt werden:

Tabelle 38: Kostenübersicht System smartex dm

Produkt		Anschaffungskosten (Einheiten: pro Stück / lfm / m ² / Jahr / ...)	Erforderliche Menge		Kosten Objekt	
			Anz. Nasszellen	Stk. à 10 m ²	Kosten Nasszellen	
1a	Bandsensoren (Smartex dm)	235€ / Stück (detaillierte Kosten siehe Kap. „Systemkomponenten“)	4 Stk.		940€	
1a	Bandsensoren (Smartex dm)	235€ / Stück (detaillierte Kosten siehe Kap. „Systemkomponenten“)		20 Stk.		4'700€
2	Mess- und Auswerteeinheit/ Monitoring Box	1'250 € / Stück	1	1	1'250€	
3	Erweiterungsplatine	185€ / Stück	1	1	185€	
4	Dienstleistungen		1	1	895€	
5	Verpackung & Versand		1	1	250€	
Total / Objekt					3'520.-€	7'280.-€
Total / m²					ca. 88€/m²	ca. 36€/m²

Für das System smartex sp, können folgende Kosten für das Referenzobjekt veranschlagt werden:

Tabelle 39: Kostenübersicht System smartex sp

Produkt		Anschaffungskosten (Einheiten: pro Stück / Ifm / m ² / Jahr /...)	Erforderliche Menge		Kosten Objekt	
			Anz. Nasszellen Stk. à 10 m ²	Kosten Nasszellen		
1a	Netzsensoren (Smartex sp)	500 € / Stück	4 Stk.		2'000€	
1a	Netzsensoren (Smartex sp)	500 € / Stück		20 Stk.		10'000€
2	Mess- und Auswerteeinheit/ Monitoring Box	1'250 € / Stück	1	1	1'250€	1'250€
3	Erweiterungsplatine	185€ / Stück	1	1	185€	185€
4	Dienstleistungen		1	1	895€	895€
5	Verpackung & Versand		1	1	250€	250€
Total / Objekt					4'580.- €	12'580.- €
Total / m²					ca. 115€/m²	ca. 63€/m²

6.2 Sensoren

Die Progeo Monitoring GmbH bietet diverse Lösungen für ein Feuchtemonitoring an:

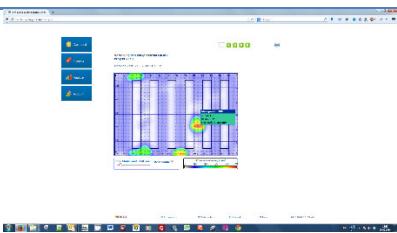
	smartex mx	smartex is	smartex dm	smartex vt	smartex id
Messprinzip	flächige Leckage-überwachung der Abdichtung	flächige Leckage-überwachung der Abdichtung	Nässe auf Dampfsperre oder Bauteilefeuchte	Wasser-dampfgehalt im Luftvolumen	Nässe am Punktsensor mittels passiv RFID
❖ Nutzen					
Leckageerkennung	sehr schnell	sehr schnell	mittel	langsam	langsam
automatische Alarmierung bei Leckage	★	★	★	★	—
automatische Ermittlung und Visualisierung der Leckageposition	★	—	★	★	—
Lokalisierung von Durchfeuchtungen	★	—	★	★	★
Online-Anbindung an PROGEO Cloud	★	★	★	★	nur offline
❖ Anwendung					
frei bewitterte Abdichtungen	★	★	★	★	★
abgedeckte Abdichtungen	★	★	★	★	★
Abdichtungen unter technischen Anlagen	★	★	★	★	—
Abdichtungen unter Aufbeton, Plattenbelägen	★	★	★	★	—
Steildach, harte Bedachung	—	—	★	★	—
Nassräume und Fussbodenaufläufen	—	—	★	★	★

Abbildung 52: Diverse Feuchtemonitoringlösungen von Progeo Monitoring GmbH (Quelle: <https://progeo.com/monitoring/>, Zugriff ; 26.08.2022)

6.3 Systemkomponenten

Tabelle 40: Systemkomponenten

Nr.	Darstellung	Information
1a		Smartex dm Schmalband-Feuchtesensor objektbezogen einbaufertig nach Verlegeplan vorkonfektioniert und geprüft, Sensorlänge bis max. 15 m, bestehend aus beschichtetem Kraftpapier mit integrierten Sensordrähten, Fühlerbruchüberwachung, Breite ca. 8 mm, Sensoranschlussset, LiYY-PVC-Anschlussleitung, 2 adrig, AWG 26 in erforderlicher Länge, bis max. 25 m, Aufmachung: Einwegspule; Das Sensorband kostet 2,85 €/m. Benötigt wird weiterhin ein Anschlussset pro Sensor mit Fühlerbruchüberwachung sowie 25 m Anschlussleitung für 40 €/Stk.

2		Smartex sp Flächensor 2-lagig Material: PP-PES Verbundvlies Breite: ca. 200cm Rollenlänge: ca. 100m
3		RFID Lesemodul
4		microBox Microcontroller gesteuerte Auswerteeinheit zur programmgesteuerten automatisierten Durchführung der Leckagekontrollmessungen an bis zu 16 Feuchtesensoren, mit Möglichkeit zur Anbindung an das ProGeo Monitoring-Portal über bauseits bereit gestellten Internetzugang, 4 zeiliges Display für Alarm- und Störungsmeldungen, Bedientaster, ABSKunststoffgehäuse, ca. 250x200x120mm (LxBxH), 230V Stromversorgung und WLAN-Zugang bauseits Die microBOX mit Möglichkeit zum Anschluss von 4 Sensoren kostet 295 €/Stk.
5		MONITORING-BOX für beliebig viele Sensoren Bei größeren Objekten kann die Monitoring-Box eingesetzt werden. Hier können 16 Sensoren angeschlossen werden. Der Preis beträgt 1.250 €/Stk.
6		Erweiterungsplatine Für bis zu 16 Feuchtesensoren Eine Erweiterungskarte für 16 weitere Sensoren kostet 185 €/Stk.
7		PROGEO Webserver Speicherung und Auswertung der Messdaten

6.4 Weitere Informationen zu Sensoren Smartex dm und Smartex sp

Im vorliegenden und auch in anderen Forschungsprojekten der BFH wurde erfolgreich die Messtechnik der Firma Progeo eingesetzt. Progeo bietet hauptsächlich zwei Messprinzipien an:

- a) Bandsensoren; Papier(Smartex dm) oder Kunststoffgeflecht(Smartex DM 1, DM 2)
- b) Vliesmatte(Smartex sp)

Der Papierträger bewirkt bereits bei einer Änderung der Luftfeuchte eine Potentialänderung. Das Kunststoffgeflecht benötigt materialbedingt freies Wasser, um eine Potentialänderung hervorzurufen.

6.4.1 Bandsensor «PROGEO Smartex dm»

Das System smartex dm von PROGEO ist ein schmales Band, welches in beliebiger Länge hergestellt werden kann. Bei diesem System sind zwei metallische Leiter (Drähte) in ein Spezialpapier eingeschweisst (siehe Abbildung 53). Das Papier dient hierbei als Leiter zwischen diesen beiden Drähten. Wenn sich die Feuchtigkeit erhöht, sinkt der Widerstand zwischen den Leitern und die Feuchtigkeit kann so ermittelt werden. Laut dem Hersteller kann das System nicht nur zwischen «nass» oder «trocken» unterscheiden, sondern auch die Feuchte genau bestimmen (feuchtesensibles Messband). Für die Anwendung in den Nasszellen wurde zunächst festgelegt, dass es ausreicht, einen Alarm auszulösen, wenn die Luftfeuchte 80% übersteigt; dieser Wert kann beliebig eingestellt werden.

Verlegt werden diese Bänder auf dem Modulboden, unter dem Fussbodenauflbau. Über die Bänder wird Dämmung, Unterlagsboden und Abdichtung eingebracht. Die Sensoren werden an einer zentralen Auswerteeinheit, z.B: smartex-dm microBox angeschlossen. Die Daten werden dort nicht geloggt, sondern können manuell ausgelesen oder online gesendet werden.

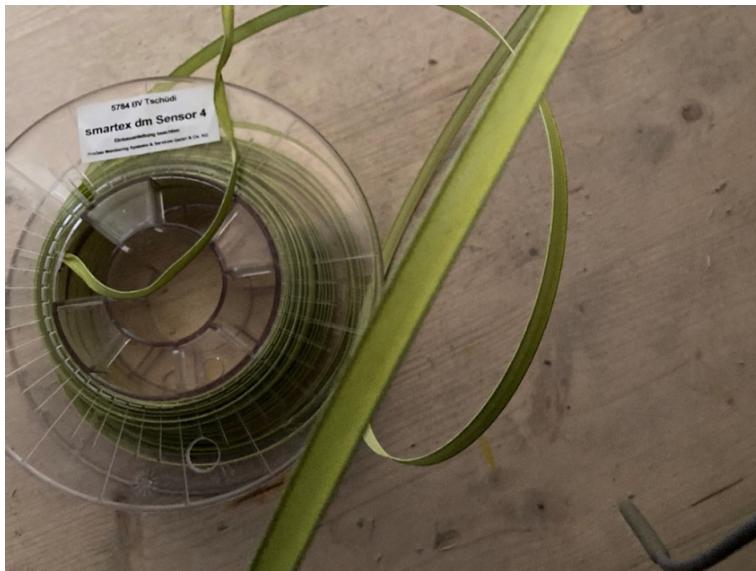


Abbildung 53: smartex dm Sensorband von PROGEO

6.4.2 Vliesmatte «PROGEO Smartex sp»

Zunächst stand die smartex sp vliesmatte von PROGEO zur Wahl. Diese Matte ist für den Einsatz zur Sicherung von Flachdach- und Deponieabdichtungen entwickelt worden. Der grosse Vorteil dieser Matte besteht darin, dass sehr grosse Flächen in Zonen eingeteilt werden können und lückenlos die Dichtigkeit der Abdichtung kontrolliert werden kann. Die Matte besteht aus einem Vlies, welches Feuchtigkeit besonders schnell leitet (siehe Abbildung 54). In dem Vlies sind Sensoren eingearbeitet, welche eine Durchfeuchtung erkennen und so ein Signal an die Auswerteeinheit weiterleiten.



Abbildung 54: smartex sp Vlies von PROGEO (Abbildung aus dem Produktdatenblatt von PROGEO)

7RPM

RPM bietet ebenfalls ein Sensorband (siehe Abbildung 55) an. Hier werden die Leiter mit einem Gewebe verbunden. Auch hier können Grenzwerte für die Alarmierung eingestellt werden und ein Alarm geschaltet werden. Ebenfalls bietet die Auswerteeinheit einen Anschluss an das Smart Home System.

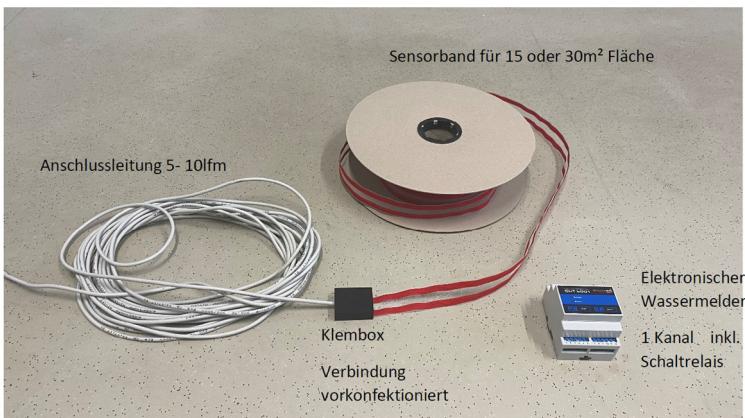


Abbildung 55: Sensorband von RPM; Quelle: Produktdatenblatt RPM

7.1 Kosten

Tabelle 41: Kostenübersicht

Produkt		Anschaffungskosten (Einheiten: pro Stück / lfm / m ² / Jahr / ...)	Erforderliche Menge			Kosten Objekt		
			Dach	Nasszellen	Objekt	Dach	Nasszellen	Objekt
1	Roof Protector	1'878 chf / Stück	3			5'700.-		
2	Kaltdachlüfter	148 chf / Stück						
3	Klembox							
4	Anschlusskabel							
5	Wassermeldeeinheit							
6	Montage	Durch Unternehmer						
7	Webportal	5 Jahre inbegriffen						
8	Systemwartung	450 chf / Jahr						
Total / Objekt						5'700.-		
Total / m²						12.-		

Anmerkungen

Ein Roof Protector wird für eine Fläche von 150-200m² empfohlen (mindestens 1 pro Abschottung). Die Monitoringlösung mit Sensorband ist im Test und voraussichtlich in einigen Monaten einsetzbar. Aktuell lassen sich die 2 Anwendungen für den Innenbereich und das Flachdach nicht kombinieren. Denkbar wäre, pro Nasszelle ein Mess- und Sendemodul der Roof Protector Serie zu verwenden.

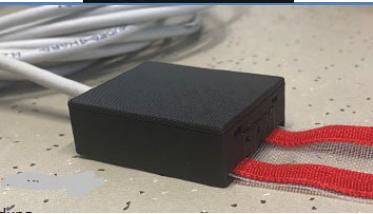
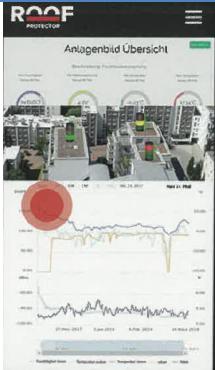
Nach 5 Jahren ist die Nutzung des Webportals nicht mehr inbegriffen und beträgt 60chf/Jahr.

7.2 Systemkomponenten

Nachfolgend eine Übersicht über die einzelnen Komponenten des Systems. Weitere Informationen können den technischen Datenblättern entnommen werden.

Tabelle 42: Übersicht der einzelnen Systemkomponenten

Nr.	Darstellung	Information
1		Roof Protector FTS 500 Zylinder mit 2 Sensoren auf Dampfbremse Empfohlener Bereich: 150-200m ² a
2		Sensorband FBS / FBS-T Typ: FBS / FBS-T (+ Temperaturwerte) Anschlüsse: IP67 Steckverbinder 6-polig M8 → Geräte Kompabilität: RP HM100 (Handmessgerät) RP FM (Funkmodul) RP STA (Stand Alone GSM Modul) RP ZAE (Auswerteelektronik) RP W500 (Wassermeldeelektronik)

3	 A black and red rectangular device with a QR code and the text 'ROOF PROTECTOR' and 'RPM' on it.	GSM Modul MMD-GSM Typ: RP STA Modul
4	 A black rectangular box with several ports and cables connected to it, sitting on a red mesh surface.	Klembox Verbindung vorkonfektioniert
5	 A coiled white cable with multiple wires.	Anschlussleitung 5-10lfm
6	 A grey control unit with a blue display screen and a keypad, with several blue cables connected to it.	Wassermeldeeinheit Typ: SHT Betriebsspannung 230V AC
7	 A screenshot of a web-based monitoring interface showing a 3D site map, various data graphs, and a red circular highlight on the map.	Webportal Kundenlogin mit Objektübersicht und Datenanalysetool

8 SIHGA Monitorix



Abbildung 56: Komponenten des Monitrix-Systems

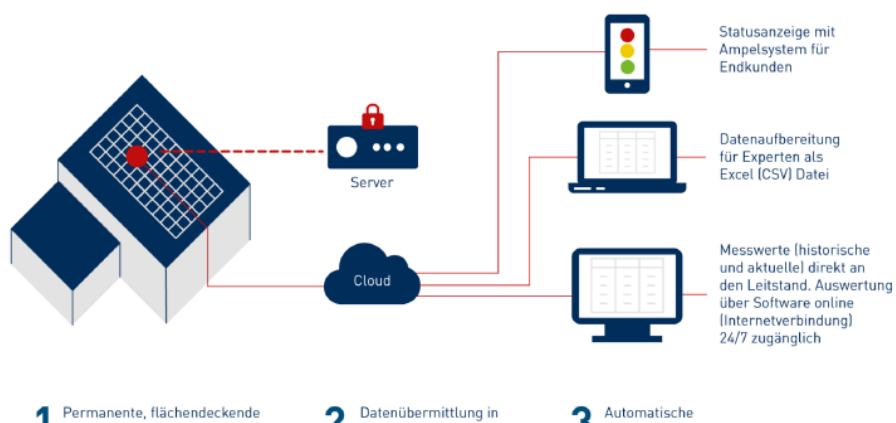


Abbildung 57: Datenmanagement des Monitrix-Systems

8.1 Kosten

Tabelle 43: Kostenübersicht

Produkt		Anschaffungskosten (Einheiten: pro m ² / Jahr / ...)	Erforderliche Menge	Kosten
			Objekt	Objekt
1	Guard		460 lfm	
2	Guard-Kabel		950 lfm	
3	BUS-Kabel		200 lfm	
4	Guard-Klemme		440 Stk	
5	Connector-Einheiten		5 Stk	
6	PU-Hauptprozessor inkl. Netzteil		1 Stk	
7	LAN-Modul	1 Stk		
8	12 Monate Datenspeicherung			
Total in [chf]		11 chf / m² *		7`749.43 €

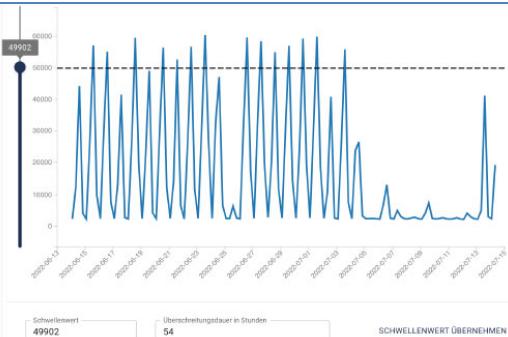
* + Installationskosten

Anmerkungen

SIHGA bietet lediglich Projektpreise und keine Aufschlüsselung der Kosten an.

8.1.1 Systemkomponenten

Tabelle 44: Systemkomponenten

Nr.	Darstellung	Information
1		Sensorbahn Aus Cellulose
2		BUS-Terminal + LAN-Modul
3		Software

9HUM-ID

9.1 Kosten und Systemkomponenten

Tabelle 45: Kostenübersicht

Produkt		Anschaffungskosten (Einheiten: pro Stück / lfm / m ² / Jahr / ..)	Erforderliche Menge			Kosten Objekt		
			Dach	Nasszellen	Objekt	Dach	Nasszellen	Objekt
1	Lesegerät	1800-2000 chf / Stück			1			1'800
2	Sensor	8-12 chf / Stück	500	200	700	5000	2000	7'000
	Total in [chf]	10 chf / m² *						8'900.00

* + Lesegerät (Miete möglich); Preis variiert je nach Abnahmemenge, exkl. Installation

Anmerkungen

Einfach zu installierendes System. Vorteilhaft für Fertigbauteile.

Für kleinere Flächen bis 1000m² ist eine Sensordichte von 1 Sensor pro m² sinnvoll. Bei mittleren Flächen kann 1 Sensor pro 2m² veranschlagt werden. Bei grossen Flächen ab 2000m² ist ein Sensor je 4m² ausreichend.

Es handelt sich um ein passives System. Die Überwachung erfolgt nicht automatisch.

Tabelle 46: Systemkomponenten

Nr.	Darstellung	Information
1		WD1 Sensor Für den Einsatz in Warmdächern, Retentionsdächern, Gründächern
2		KD1 Sensor (auf Spezialvlies) Für den Einsatz unter Estrich, bei Fußbodenheizungen, in Schächten/ Vorwandinstallationen und Kaldächern Ermöglicht Detektion von Kondenswasser
3		Scanner HDX3 Akku betrieben (USB-Anschluss) Lesereichweite bis zu 8m Abfrage des Nässezustands per RFID
4		Lesegerät HD EXA Lithium-Ionen Akku Kopplung per Bluetooth mit dem Mobiltelefon Steuerung per App
5		App