

# Endbericht



**28. Februar 2018**

## **Micro-Monitoring-System für Flachdächer**

**Band 1**

**Projektnummer:  
WST3-F2-531692/004-2016**



**Projektname:**

Micro-Monitoring-System für Flachdächer

**Projektnummer:**

Antrag auf Wirtschafts- und Tourismusförderung in Niederösterreich  
WST3-F2-531692/004-2016

**Antragsteller:**

Pasteiner GmbH Tiroler Str. 6  
3105 St. Pölten

**Forschungspartner:**

IFB- Institut für Flachdachbau und Bauwerksabdichtung  
SV-Büro W.Hubner Sachverständigenbüro f. Feuchtigkeitsabdichtungstechnik im Hoch- u. Tiefbau  
Franz Meisslgasse 17, 2320 Mannswörth,

**Materialhersteller**

fp floor protector GmbH, Außermanzing 28  
A-3033 Altengbach

Ing. H. Gradwohl Ges.m.b.H, Bürgertalweg 2  
3390 Melk

**Ausführende Unternehmen**

Pasteiner GmbH Tiroler Str. 6  
3105 St. Pölten

**Datum:**

28.02.2018

**IFB**

INSTITUT FÜR  
FLACHDACHBAU UND  
BAUWERKSABDICHTUNG

# Endbericht

## *Micro-Monitoring-System für Flachdächer*

Herausgegeben durch das

IFB- Institut für Flachdachbau &  
Bauwerksabdichtung  
Branch Office  
Franz Meissl Gasse 17  
2320 Mannswörth/Schwechat

Ausgabe 01/2018

# INHALT

1	Allgemeines	5
2	Detaillierte Projektbeschreibung	6
3	Technische Ziele	7
4	Nutzen für die Baubranche	8
5	Volkswirtschaftliche und soziale Aspekte	9
6	Umweltrelevanz des Projektes	10
7	Marktsituation und Verwertung	11
7.1	Marktsituation	11
7.2	Verwertung	11
8	Technische Analyse von Informationen und Gutachten, schriftliche Dokumentation der schadenskausalen Ursachen für Feuchteschäden	13
8.1	Analyse feuchtegeschädigter Bauteile oder Baustoffe	14
9	Darstellung des Folgeschadensrisikos nach den Schadensfolgeklassen (EN 1990)	15
10	Vertiefte Erhebungen und Recherchen zum indirekten Feuchtemessverfahren	16
10.1	Recherche bekannter Feuchtemonitoringsysteme, Dichtheitsmonitoring und Leckortung	17
10.2	Gefahrenpotential durch den Einsatz des Feuchtemonitoringsystems	17
11	Recherche und Auswahl des Einsatzbereichs unterschiedlicher Micro-Monitoring-Systemkomponenten	19
11.1	Elektronische Bauteile	19
11.2	Prototyp Gehäuse	23
11.3	Marktreife Entwicklung des Micro Sensors inkl. Gehäuse	28
12	Erhebung von generellen baulichen Voraussetzungen sowie Vorleistungen welche am Bauwerk zutreffen	33
13	Recherche und Auswahl geeigneter Versuchsaufbauten	37
14	Aufbau eines 1:1 Prüfmodells inkl. Antenne sowie Inspektionsöffnung und Sensoreinheit	41
14.1	Kubus- Grundriss / Dachdraufsicht	42
14.2	Kubus-Seitenansicht	43
14.3	Sensor-Prototypenbau	44
14.4	Position der Sensoren im Dachaufbau des Kubuses	45
14.5	Standort des Kubuses	49
14.6	Kubus Montage	49
15	Prüfen der Datenübertragungsqualität in Abhängigkeit unterschiedlicher Dachaufbauten	104
15.1	Allgemeines	104
15.2	Beurteilung der Datenübertragungsqualität bei den im Forschungskubus verbauten Micro Sensoren	104
15.3	Datenübertragung und Qualität des Sendesignals in den Dachmodulen Nr. 1 bis Nr. 6 am Forschungskubus	105

15.4	Signalübertragung der Micro-Monitoringsensoren aus den gebauten und genutzten Dächern	108
16	Prüfung der Komponenten durch Stauwasser (Simulation eines Wassereintrittes im Kubus Dachmodul)	112
16.1	Sensornummern und Sensorpositionen	112
16.2	Gesendete Messdaten der Micro Sensoren von Dachmodul Nr. 1	115
17	Prüfen, analysieren und bewerten der über den Projektverlauf gewonnenen Daten aus den IFB-Testreihen und den mit Micro-Monitoring-Systemkomponenten bestückten Kubus Dachmodulen	124
17.1	IFB- Testreihen	125
17.2	Micro Monitoring – Dachmodule - Forschungskubus	135
18	Einbau der Micro-Monitoring-Systemkomponenten in gebaute und genutzte Dächer	170
19	Prüfen, analysieren und bewerten der über den Projektverlauf gewonnenen Daten aus den mit Micro-Monitoring-Systemkomponenten bestückten Dächern	188
20	Zusammenfassender Vergleich und Analyse über die einerseits baupraktisch gewonnenen Erkenntnisse und bauphysikalisch berechneten Daten	207
20.1	Bauphysikalische Grundlagen für das Micro-Monitoring System	207
20.2	Wissenschaftliche Betrachtungsweise	209
20.3	Bewertung der Messergebnisse	209
20.4	Bauphysikalische Berechnungsmethode	211
21	Eruierung Anzahl der einzubauenden Sensoren und deren Einbauposition	242
22	Angaben zur Wartung, Lagerung und Aufbewahrung der Micro-Monitoring-Systemkomponenten	245
22.1	Lagerung der Micro-Monitoringsensoren	245
22.2	Wartung der Micro-Monitoringsensoren	245
22.3	Lagerung der Einbring-/Durchgriffsöffnung	246
22.4	Wartung der Einbring-/Durchgriffsöffnung	246
23	Erfassung der Schnittstellen zu anderen Gewerken (Anschlüsse, Detailausbildungen, etc.)	247
24	Prototyp Inspektionsöffnung	248
25	Haftfestigkeitsbeurteilung unterschiedlicher Dachabdichtungsmaterialien auf dem Flansch der Inspektionsöffnung	256
26	Planungscheckliste	271
27	Ausführungscheckliste	273
28	Qualifikation der planenden und ausführenden Personen	275
29	Dissemination der Ergebnisse	277
30	Zusammenfassung	278
	Anhang	280

# 1 ALLGEMEINES

Im vorliegenden Forschungsprojekt soll ein Micro-Monitoring-System für Flachdächer entwickelt werden, um den allgemeinen Zustands des Daches zu verifizieren bzw. Schadensfälle frühzeitig anzuzeigen.

Aufgrund der verdichteten Bauweise, speziell im urbanen Raum wurde und werden verstärkt Dachformen gewählt, die stark von den traditionellen mehr oder weniger stark geneigten Dachformen abweichen.

Um alle Möglichkeiten der Bebauungsmöglichkeiten auszuschöpfen wurde daher verstärkt auf die Bauform von Flachdächern zurückgegriffen. Hohe Grundstückskosten sowie die Nutzbarmachung bereits bestehender Flächen (z.B. Urban Gardening) ist eine Konsequenz dieser Entwicklung. Diese Flächen werden z.B. in der Grünraumanalyse/Dachbegrünung der Stadt Wien abgebildet. Beispielsweise werden alleine nur für Wien 256 ha Gründachflächen genannt. Andere, genutzte aber auch nicht genutzte Flachdachflächen sind in dieser Studie nicht inkludiert. Gründachflächen unterliegen naturgemäß einem etwas höheren Schadensrisiko als beispielweise nicht genutzte Dachflächen und sind prädestiniert für die Anwendung des Micro-Monitorings.

Auch die zukünftige verstärkte Nachfrage nach Klimapufferzonen – um z.B. die sommerliche Überwärmung im städtischen Bereich zu dämpfen – wird die Nachfrage nach genutzten Flachdächern zudem erhöhen.

Die größtenteils verbauten Flachdachkonstruktionen hierzulande wurden ohne den in der aktuellen ÖNORM B3691 „Planung und Ausführung von Dachabdichtungen“ geforderten Zusatzmaßnahmen (z.B. Abschottungen) ausgeführt wodurch eine Wasserausbreitung innerhalb der Flachdachkonstruktion durchaus großflächig erfolgen kann.

Folgen von Feuchtigkeitsschäden im Flachdach können sein:

- Reduktion der statischen Tragfähigkeit der Dachkonstruktion
- Korrosion von Stahlbauteilen
- Reduktion der Wärmdämmeigenschaften des Aufbaus
- Optische Verfärbung von Innenanstrichen
- Schimmelbildung
- Ungezieferbefall
- Hausschwammbildung
- Geruchsbelästigung
- Frostschäden

Um nicht sämtliche Flachdächer bei der Vermutung von Feuchteschäden gleich großflächig öffnen zu müssen, sind in Zukunft Monitoring-Maßnahmen unerlässlich. Diese Maßnahmen können bei der Neuerstellung mitgeplant oder für Bestandsbauten nachgerüstet werden.

Derartige Monitoring-Maßnahmen sollen beispielsweise bei genutzten Flachdächern wie z.B. Terrassen möglichst nicht sichtbar im Dachaufbau platziert werden, damit auch bei genutzten Konstruktionen das Auftreten von Feuchtigkeit innerhalb des Flachdachaufbaus frühzeitig erkannt und verhindert werden kann.

Ziel des vorliegenden Forschungs- und Entwicklungsprojekts ist die Entwicklung eines Micro-Monitoring-Systems das nach Auswertung der Messergebnisse eine Einschätzung über den allgemeinen Zustand des Daches zulässt bzw. seinen Reparaturbedarf rechtzeitig anzeigt.

## 2 DETAILLIERTE PROJEKTBE SCHREIBUNG

Für die Detektion von Feuchtigkeit in Bauteilschichten existieren am Markt überwiegend jene Systeme, welche primär auf die Dichtheitsüberprüfung von Abdichtungen fokussiert sind in dem sie das Vorhandensein von flüssigem Wasser im Dachschichtenaufbau anzeigen. Weiters sind Systeme bekannt, welche unter Zuhilfenahme von Indikatoren (Stoffe die Feuchtigkeit absorbieren) und durch elektrische Messverfahren Rückschlüsse auf den Feuchtegehalt im Dachschichtenaufbau zulassen. Reine Materialfeuchtemessungen sind nach heutigem Erfahrungsstand für eine valide Feuchtigkeitsmessung eines gesamten Dachschichtenaufbaus nicht aussagekräftig.

Das Forschungsprojekt Micro-Monitoring beschäftigt sich mit Feuchtigkeits- und Temperatursensorik, deren Gehäuse so klein dimensioniert sind, dass auch ein Einbau in Terrassenkonstruktionen, wo im Regelfall keine Einbauteile über den Terrassengehbelag ragen sollen, möglich ist. Sensorgehäuse oberhalb des Terrassenbelags, oder Teile davon, würde nicht nur optische Einschränkungen für den Nutzer darstellen, auch beim Begehen stellen diese eine Stolpergefahr dar.

Die zu entwickelnde Micro-Monitoring-Sensorik wird über Einbringöffnungen (siehe Prototyp Inspektionsöffnung Punkt 24) in den Dachschichtenaufbau eingebracht (die Bezeichnung „Inspektionsöffnung“ ist gleichzusetzen mit dem Begriff „Einbring-/Durchgriffsöffnung“).

Die vertikale Position im Dachschichtenaufbau ist je nach Projekt und Dachaufbau variabel möglich. Durch das eingebaute GSM-Sendemodul werden von jedem einzelnen eingebauten Sensor Messdaten an den GSM-Netzbetreiber gesendet, der diese wiederum an die in der Cloud befindliche Messdatenplattform zur Auswertung der Messdaten weiterleitet. Jede Stunde wird vom Micro-Sensor automatisch der Feuchtigkeits- und Temperaturwert gemessen und einmal am Tag werden die Messergebnisse über das GSM-Sendemodul versendet.

Alternativ können die im Micro –Sensor gespeicherte Messdaten auch über eine Bluetoothverbindung ausgelesen werden.

Die Energieversorgung des Micro-Sensors erfolgt über ein Batterie-Pack, das nach Angaben der Hersteller jedenfalls bis zu 3 Jahre im Micro-Sensorgehäuse verbleiben kann. Wenn die Kapazität des Batterie-Packs zu Ende geht, wird automatisch eine Warnmeldung an den Messdatenempfang gesendet, damit im Zuge der nächsten Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten der Dachfläche die Batterien getauscht werden können.

Die Einbringöffnungen in der Dachfläche sind jederzeit zugänglich, sodass keine zerstörenden Eingriffe in den Dachschichtenaufbau vorgenommen werden müssen.

Die Neuheit der zu entwickelnden Micro-Sensorik besteht darin, dass mit vergleichsweise geringem Aufwand gewährleistet wird, Temperatur- und Feuchteänderungen im Dachschichtenaufbau zu registrieren, diese über eine Auswertsoftware zu verifizieren, um bei dem Dachschichtenaufbau schädigenden Entwicklungen rechtzeitig reagieren zu können. Über die Inspektions-/Einbringöffnung kann jederzeit in den Dachschichtenaufbau zugegriffen werden um bspw. den Micro-Sensor auszubauen, oder anderwärtige Tätigkeiten wie z.B. Aussaugen von eingetretenem flüssigen Wasser, Einbau von Zwangslüfter und dgl. durchzuführen.

### 3 TECHNISCHE ZIELE

Ziel des vorliegenden Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines Micro-Monitoring-Systems für Flachdächer. Dieses soll möglichst unauffällig im Dachaufbau platziert werden und nach Auswertung der Messergebnisse Schlussfolgerungen über den allgemeinen Zustand des Daches zulassen um die Lebensdauer abschätzen zu können bzw. Schadensfälle anzeigen. Damit kann ohne eine kostenintensive Öffnung des Daches der Reparaturbedarf ermittelt werden wodurch die Unterhalts- und Sanierungskosten reduziert werden.

Exemplarisch aufgelistete Projektinhalte:

1. Entwicklung eines möglichst kleinen Einbauteils (Prototyp) für das Flachdach, der die Aufnahme eines Micro-Monitors für eine Outdooranwendung zulässt.
2. Untersuchung des Prototypen hinsichtlich Wasserdichtheit, Luftdichtheit, Belastbarkeit durch Begehen, Temperatur- und UV-Beständigkeit.
3. Entwicklung der Sensorik für das Flachdach Monitoring-System mit entsprechender Datenübertragung mittels Bluetooth 4.0
4. Einbeziehung der bauphysikalischen Nutzerdaten (Temperatur + Feuchte) des darunterliegenden Raumes für die Ermittlung der Schwellenwerte des Sensors.
5. Einbeziehung der meteorologischen Daten in die Ermittlung der Schwellenwerte des Sensors.
6. Erforschung der Anzahl und Einbaulage des Sensors z.B. auf der Dampfsperre, in der Wärmedämmung, direkt unter der Feuchtigkeitsisolierung).
7. Erstellung einer Richtlinie für die Auslegung (Planung) für bestimmte Flachdachtypen.
8. Erstellung einer Eingabedatenmatrix für die relevanten Eckdaten für die Berechnung der bauphysikalischen „Komfortklimazone“ des Dachaufbaues (z.B. Dachaufbau, Meteo-Daten, GPS-Daten, Auflast, Nutzung, Raumklima, Einbaulage).

## 4 NUTZEN FÜR DIE BAUBRANCHE

Der Nutzen für die Baubranche besteht zunächst darin, Planungs- und Ausführungsregeln zur Verfügung zu haben, welche die Projektierung von Micro-Monitoring Maßnahmen unterstützt sowie deren Einbindung in die bestehende Bausubstanz erklärt. Weiters werden Checklisten für die objektspezifische Planung und Ausführung erarbeitet.

Die Rechtssicherheit zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer wird insofern gestärkt, da eine Dachfläche ab dem Zeitpunkt der Leistungserbringung (durch den Auftragnehmer), transparent, objektiv und unbeeinflussbar Messdaten liefert, wodurch eine feuchtetechnische Bewertung der Dachkonstruktion möglich wird. Zeitliche und quantitative Änderungen in den Messergebnissen werden erfasst und lassen somit bspw. Beschädigungen in der Abdichtung die wiederum zu Wassereintritte führen, rekonstruieren und zugordnen. Das bedeutet, dass die in der Baupraxis häufig anzutreffende Diskussion, ob Feuchtigkeit im Zuge der Errichtungsphase eingeschlossen wurde oder ob diese bspw. durch nachträgliche Arbeiten am Dachschichtenaufbau, wo die Leistungen des Bauwerksabdichters bereits abgeschlossen waren, eingetreten sind, nun klar abgegrenzt werden kann.

Das zu entwickelnde Micro-Monitoring-System ermöglicht insbesondere in der Nutzungsphase eine rasche Beurteilung der Flachdachkonstruktion wodurch frühzeitig erkannt werden kann, ob der Dachschichtenaufbau ein langfristig verträgliches Maß an Feuchtigkeit beinhaltet.

Der wissenschaftliche Nutzen von den generierten Messwerten, welche sich über Gesamtösterreich erstrecken ist enorm, kann dadurch erstmals der tatsächliche **Ist-Zustand** eines Gebäudes mit dem in der Planung definierten **Soll-Zustand** verglichen werden. Es ist nicht auszuschließen, dass aufgrund der praktisch ermittelten Messwerte Anpassungen an bauphysikalischen Berechnungsprogrammen erfolgen werden. Dies optimiert die Planung und in weiterer Folge Ausführungssicherheit.

Aufbauend auf die generierten und nun vorliegenden technischen Erkenntnisse können Qualifizierungsmaßnahmen für ausführende Betriebe erfolgen.

## 5 VOLKSWIRTSCHAFTLICHE UND SOZIALE ASPEKTE

Bauschäden führen generell zu einer hohen Belastung der Volkswirtschaft. Die Feuchteschäden von Gebäuden verursacht dabei besonders hohe Schadensfolge- und Sanierungskosten, da nicht nur die Dachbaustoffe, sondern im Regelfall auch die Baukonstruktion beschädigt wird. Daraus resultieren Schadensersatzforderungen an Versicherungen, hohe Sanierungskosten für Hausbesitzer, bei öffentlichen Bauwerken des Staatsbudgets durch die Inanspruchnahme von Steuergeld, etc. Zudem gehen von Schäden betroffene Personen zumindest einige Tage ihrer Arbeit nicht nach da sie sich um die Schadensregulierung kümmern müssen.

Neben den erwähnten Beschädigungen von Dachbaustoffen und Baukonstruktionen infolge von Feuchteschäden sind psychische Belastungen der Bewohner mit Verlust der Lebensqualität ein immaterieller Schaden.

Mit dem im Rahmen dieses Projektes zu erarbeitenden System könnten in vielen Fällen die Schäden durch Feuchtigkeit und deren Folgen reduziert werden.

Sowohl die Häufigkeit des Eintretens von Feuchteschäden als auch die Schwere der Ereignisse folgen im globalen Maßstab einem ansteigenden Trend. Aufgrund des Klimawandels könnten Häufigkeit und Schwere der klimabedingten Starkregenereignisse, Sturmböen zunehmen.

Es stellt sich häufig die Frage, wie private Personen und öffentliche Stellen ihre Pläne und ihr Verhalten anpassen sollen, um das Schadenpotential zu senken. Die Antwort ist, bereits in der Phase vor dem Schadeneintritt durch bauvorsorgliche Planung und vorausblickende Nutzung das potentielle Schadenniveau gering zu halten. Durch die Reduktion von immer engeren Bauzeiten in angepasstes Bauen kann der potentielle Schaden stark begrenzt werden.

Zielgruppe für das zu entwickelnde Micro-Monitoring System sind alle Eigentümer, Betreiber und Nutzer von Flachdächern.

Mögliche Kunden sind:

- Unternehmen die sich mit der Errichtung von Flachdächern beschäftigen.
- Wohnungsgenossenschaften, Immobilienverwalter, Bauträger die Flachdachanteile in ihrem Portfolio haben.
- Sachverständige die Ursachenforschung betreiben in Schadensfällen
- Versicherungen die bei Mitinstallierung oder Nachrüstung Prämienvergütungen gewähren.
- Zivilingenieurbüros

Die Vorteile für den Kunden sind:

- Frühzeitige Beurteilung über den technischen Zustand des Dachaufbaus
- Beurteilung des Lebenszyklus des Dachaufbaus
- Alarmierung bei Erreichung von kritischen bauphysikalischen Werten
- Verlängerung der Lebensdauer des Dachaufbaus.
- Geringere Wartungs- und Sanierungskosten des Daches.

## 6 UMWELTRELEVANZ DES PROJEKTES

Neben den individuellen und volkswirtschaftlichen Nachteilen die durch Feuchteschäden verursacht werden, sind vor allem die umweltrelevanten Folgen von Bedeutung.

Der Feuchteschutz von Baukonstruktionen wird in Zukunft aus mehreren Gründen wichtiger werden. Durch den Klimawandel werden nicht nur Starkregenereignisse und damit verbundene lokale Überschwemmungen häufiger auftreten. Die prognostizierte zunehmende Erwärmung wird zu einem verstärkten Einsatz von Klimageräten führen, wodurch ein Temperatur- und somit auch Dampfdruckgefälle von außen nach innen entsteht. Probleme mit der Sommerkondensation, die eher Keller unter Niveau zeigten, werden häufiger und können dann auch in anderen Räumen auftreten, wenn keine entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden. Auch müsste sich das Nutzerverhalten auf diese Klimaveränderung anpassen.

Die Beschädigung einer Bausubstanz erfordert einen erheblichen Material-, Arbeits- und Geräteaufwand für die Sanierung sowie hohen Energieaufwand für die Trocknung durchnässter Bauteile. Bei durch Feuchtigkeit provoziert, pilzkontaminierten Holzbauteilen ist zudem eine entsprechende Entsorgung notwendig.

Jeder nicht eingetretene Schadensfall wirkt sich positiv auf die CO<sup>2</sup> Bilanz aus. Die Höhe der Einsparung ist jedoch im Zuge dieser Forschungsarbeit nicht beurteilbar. Sicher ist jedoch, dass wir die weltweiten Ziele zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen nur dann erreichen können, wenn wir Baustoffe die unter hohem Energieaufwand produzierte werden, wie z.B. Aluminium, Stahl, Beton, Ziegel, etc. verstärkt durch Baustoffe aus nachwachsenden Rohstoffen ersetzen. Da nachwachsende Baustoffe jedoch i.d.R. eine gewisse Feuchteempfindlichkeit aufweisen wird auch dem Feuchteschutz eine größere Bedeutung zukommen. Das gilt nicht nur für die Planungs- und Ausführungsphase, sondern auch für die gesamte Nutzungszeit des Gebäudes. Mängel müssen rasch erkannt werden, was eine Überwachung der Bauteile z.B. durch Feuchtesensoren voraussetzt. Solche Feuchtesensoren können dann auch eventuelle Planungs- Ausführungsfehler oder Nutzerdefizite schneller identifizieren. Der Nutzer hat eine größere Sicherheit vor Bau- oder Wartungsmängeln bekommen was die Dauerhaftigkeit des Gebäudes und damit seinen ökologischen und ökonomischen Wert insgesamt steigert.

Schadensfälle bei Flachdächern können mit dem zu entwickelnden Micro-Monitoring-System frühzeitig erkannt und Sanierungen mit hohem Kostenaufwand rechtzeitig abgewendet werden. Es sind keine negativen Umweltauswirkungen zu erwarten.

## 7 MARKTSITUATION UND VERWERTUNG

### 7.1 Marktsituation

Eigenschaften des zu entwickelnden Micro-Monitoringsystems

1. Keinerlei optische störende Einflüsse auf die Umgebung.
2. Kein vergleichbares Produkt am Markt erhältlich.
3. Die ausgelesenen Messdaten werden extern von ASMME (Association of Moisture Monitoring & Engineering) interpretiert, um eine fundierte wissenschaftliche Auswertung zu erhalten.
4. Einbeziehung der bauphysikalischen Nutzerdaten (Temperatur + Feuchte) des darunterliegenden Raumes für die Ermittlung der Schwellenwerte des Sensors.
5. Einbeziehung der Nutzerdaten.
6. Einbeziehung der meteorologischen Daten in die Ermittlung der Schwellenwerte des Sensors.
7. Erstellung Richtlinie für die Auslegung (Planung) für bestimmte Flachdachtypen.

### 7.2 Verwertung

Basierend auf den Marktdaten wie beispielsweise relevante Flachdachflächen, Qualifizierung ausführender Unternehmen und Planer sowie dem Sensibilisierungsumfang der Projekteigentümer oder deren Verwaltungen ergeben sich folgende Annahmen zu den absetzbaren Stückzahlen:

Marktpotential Österreich /Jahr: ca. 5000 ST

Österreich Jahr 1 nach Markteinführung: 500 ST

Österreich Jahr 2 nach Markteinführung 850 ST

Österreich Jahr 3 nach Markteinführung 1300 ST

Marktpotential Deutschland: 25000 ST/Jahr

Es liegen uns keine validen Daten bezüglich Marktanteile und Umsatz für Monitoring-Systeme vor. Der wirtschaftliche Vorteil liegt in der Erschließung eines zukunftssträchtigen, dauerhaften Marktsegmentes.

Folgende Angaben sind Schätzungen zum österreichischen und deutschen Flachdachmarkt über die bereits vorhandenen Flachdachmengen, sowie die jährlich zu erwartenden Mengen. (Quellen: Kreuzer/Bedachungsindustrie/Fachhandel)

Bestandsflächen Österreich:	~ 150 mio m <sup>2</sup>
Neuflächen /Jahr/Österreich:	~ 12 mio m <sup>2</sup>
Bestandsflächen Deutschland:	~ 1500 mio m <sup>2</sup>
Neuflächen/Jahr/Deutschland:	~ 120 mio m <sup>2</sup>

Unter dem Begriff „Kunden“ lassen sich zwei generelle „Kundensegmente“ ableiten.

Endkunden werden im wesentlichen Projekt Eigentümer sein, welche ihre bauliche Substanz gegenüber Feuchtigkeit schützen wollen. Der Endkunde wird die Micro-Sensoren nicht direkt erwerben können, da der Einbau in Flachdachkonstruktionen spezielle Fähigkeiten erfordert. Der Endkunde kann jedoch Zugang zur Webplattform, wo die bereits interpretierten Messergebnisse (für den Endkunden verständlich aufbereitet) dargestellt werden, erhalten.

Personengruppen welche Micro-Monitoring-Systeme in Flachdachkonstruktionen planen, wie bspw. Architekten, Zivilingenieure, Baumeister, HKLS-Planer, etc., zählen zu jenem Kundensegment, welche im Planungsprozess Feuchtemonitoringsysteme berücksichtigen und Dächer daraufhin gestalten. In den meisten Fällen werden die „Planer von Feuchtemonitoringsystemen“ über den Projektnutzungszeitraum nicht mit der Datenauswertung konfrontiert werden.

Der Professionist als Kunde wird die wichtigste Zielgruppe sein, da dieser die Micro-Monitoring-Sensoren einkaufen und diese im Dachaufbau einbauen wird. Weiters wird sich der Professionist mit der Messdatenbank und der Auswertung der Messergebnisse beschäftigen. Der Professionist kann dem Endkunden auch eine erweiterte Dienstleistung anbieten, indem es nach Auswertung der Messergebnisse erforderliche Maßnahmen am Dach durchgeführt. Diese könnten bspw. parallel im Zuge von obligatorischen Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten von Dächern erfolgen. Zu den Professionisten als Kunden zählen Bauwerksabdichter, Dachdecker, Spengler, Haustechnikunternehmen und Firmen welche sich auf bautechnischen Gebäudeschutz spezialisiert haben.

## **8 TECHNISCHE ANALYSE VON INFORMATIONEN UND GUTACHTEN, SCHRIFTLICHE DOKUMENTATION DER SCHADENSKAUSALEN URSACHEN FÜR FEUCHTESCHÄDEN**

Der Feuchteschutz von Baukonstruktionen ist ein zentrales Thema, da ein Großteil der Bauschäden weltweit auf Feuchte zurückzuführen ist. Auch sind unter dem Aspekt im Gebäudebereich Energie einzusparen die Herausforderungen an den Feuchteschutz weiter gewachsen. Die Hauptursache für die Feuchteschäden sind Leckagen im Bereich der Abdichtungen wodurch von außen Niederschlagswasser in den Dachschichtenaufbau gelangen kann.

Die Erhöhung der Wärmedämmstärke und die Optimierung der Gebäudedichtheit bergen neue Feuchteschadensrisiken. Das liegt einerseits an der tendenziell höheren Raumluftheuchte in luftdichten Gebäuden sowie den größeren Temperaturunterschieden zwischen innerer und äußerer Bauteiloberfläche. Da weniger Wärme aus dem Rauminnen bis zur äußeren Gebäudehülle ankommt, kann weniger Wasser verdunsten, wodurch z.B. Tauwasser ein größeres Problem als in der Vergangenheit darstellt.

Neben der Dampfdiffusion aus dem Raum, deren Auswirkungen inzwischen hinlänglich bekannt sind, spielen für das Feuchteverhalten von Baukonstruktionen auch andere, häufig weniger beachtete, Feuchtequellen eine entscheidende Rolle.

Die Wasserdampfkonvektion, d.h. das Einströmen feuchter Raumlufte in ein Bauteil hat eine wesentlich höhere Auswirkung als die Dampfdiffusion und wurde lange Zeit wenig beachtet und unterschätzt. Die Folgen jedoch, insbesondere bei organischen Baustoffen sind jedoch verheerend. Sie ist dann ein veritables Problem, wenn sie so viel Feuchte mit sich führt, dass es zur Tauwasserbildung auf der Kaltseite des Bauteils kommt.

Große Bedeutung hat dabei auch der thermische Auftrieb im beheizten Innenraum. Erwärmte Luft hat die Tendenz im Raum nach oben zu steigen da sie von der einströmenden kälteren und damit schwereren Luft verdrängt wird. Der im oberen Bereich des Gebäudes entstehende Überdruck steigt proportional mit der Höhe des zusammenhängenden Luftraums und der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen. Warme und hohe Gebäude sind potentiell stärker von konvektionsbedingten Problemen betroffen als niedrige oder kühlere.

Der konvektive Eintrag von Feuchte über Fehlstellen in der rauminenseitig angeordneten Luftdichtheitsebene ist ein komplexer interdisziplinärer Vorgang der zur Berechnung eine hygrothermische Simulation erforderlich macht.

Es gibt auch eine Vielzahl von Beispielen aus der Praxis, bei denen der entstandene Schaden von der Einbaufeuchte herrührt. Allerdings wird das häufig verdrängt oder nicht erkannt und nach anderen Ursachen gesucht. Neben möglichen Schäden oder hygienischen Problemen (z.B. Schimmelpilzwachstum), können auch zusätzliche Wärmeverluste auftreten.

Die Bauphysik hat sich im Wesentlichen aus experimentellen Untersuchungen und empirischen Erfahrungen entwickelt.

Das bekannteste Verfahren ist das sogenannte „Glaser-Verfahren“ das jedoch z.B. mehrdimensionale

Austrocknungsberechnung nicht ermöglicht. Deshalb wird zur Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen immer häufiger die hygrothermische Simulation angewendet.

Die Feuchteschutzbeurteilung von Baukonstruktionen hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht. Zum einen hat die Akzeptanz von hygrothermischen Simulationsverfahren deutlich zugenommen zum anderen sind die instationären Berechnungsmodelle selbst, durch die Berücksichtigung unvermeidbarer Leckagen, praxisgerechter und ihre Aussagen zuverlässiger geworden.

## 8.1 Analyse feuchtegeschädigter Bauteile oder Baustoffe

Die Kriterien zur Beurteilung der Verletzbarkeit typischer Baustoffe durch unzulässige Feuchtigkeitswirkungen sind vielfältig und umfassen unter anderem:

- Beständigkeit der Baustoffe im Hinblick auf ihre Festigkeitseigenschaften
- Beeinflussung des Wärmedämmverhaltens
- Änderungen in der Diffusionseigenschaften
- Beeinflussung von Klebeverbindungen
- Begünstigung der Korrosion
- Geruchentwicklung nach längerem Feuchtigkeitskontakt
- Form- und Volumenbeständigkeit nach länger andauernden Feuchteinwirkung
- Widerstandsfähigkeit gegenüber pflanzlichem oder tierischem Schädlingsbefall infolge langfristig hoher Durchfeuchtung
- Widerstandsfähigkeit gegenüber Frostschäden als sekundären Schadensmechanismus
- Eignung zur natürlichen oder technischen Bautrocknung vor Ort

Bauteile aus organischen Baustoffen (z.B. Holz) sind nach einem über einen längeren Zeitraum andauernden veritablen Feuchtigkeitseintritt umgehend freizulegen und auszutrocknen, was stets mit umfangreichem Rückbau von Dachabdichtung, Dachaufbauschichten oder rauminnenseitigen Bekleidungen und anderen umgebenden Bauteilen verbunden ist.

Trotz der weitestgehend nicht hygroskopischen Dämmstoffe (z.B. Hartschäume, Mineralwolle) werden Baustoffe mit einer gewissen Anfangsfeuchte auf die Baustelle geliefert. Im günstigsten Fall ist der Baustoff „lufttrocken“, d.h. seine Anfangsfeuchte entspricht seiner hygroskopischen Gleichgewichtsfeuchte. Der Feuchtegehalt der Baustoffe passt sich bei Lagerung im Freien (z.B. am Dach) an die Außenluftbedingungen an. Niederschlagsbeanspruchung erhöht bei vielen Baustoffen die Feuchteaufnahme.

Die Unterkonstruktion aus mineralischen Baustoffen ist hinsichtlich Feuchtefolgeschäden relativ tolerant, bringt jedoch extrem viel Feuchtigkeit in den Dachaufbau ein. Beispielsweise auf der Baustelle erstellter Ortbeton (80 – 120 kg/m<sup>3</sup>), Estriche (bis 150 kg/m<sup>3</sup>) Wasser. Niederschläge während der Rohbauphase tragen ebenfalls häufig zu einer weiteren Erhöhung der Ausgangsfeuchte bei. Wird der frisch betonierete Deckenbeton zum Witterungsschutz mit Polyethylenfolie oder Bitumenbahn überdeckt, bleibt diese hohe Feuchte über die Bauphase hinaus vorhanden.

## 9 DARSTELLUNG DES FOLGESCHADENSRIKOS NACH DEN SCHADENSFOLGEKLASSEN (EN 1990)

Die Kriterien des konstruktiven Feuchteschutz eines Gebäudes sind im Wesentlichen von der Art der Nutzung und der geplanten Nutzungsdauer abhängig. Der konstruktive Feuchteschutz lässt nicht unbedingt Rückschlüsse auf die Qualität der eingebauten Materialien zu, eher auf die Risikoabschätzung welche Folgeschäden eintreten können bspw. bei Wassereintritten in einen Dachschichtenaufbau. Demzufolge definiert die Art der Nutzung die Schadensfolgeklasse. Es ist allgemein verständlich, dass bspw. eine Lagerhalle in der feuchtigkeitsunempfindliche Produkte gelagert werden und möglicherweise das Objekt nur eine kurze Bestandsdauer haben soll, geringere Anforderungen an das Folgeschadensrisiko im Zuge von Feuchtigkeitseintritten stellt, als bspw. ein Flachdach oberhalb eines Krankenhauses, wo sich rauminnenseitig und unterhalb der Flachdachkonstruktion Operationssäle befinden.

Die geplante Nutzungsdauer hat überwiegend Einfluss auf die Auswahl der Baustoffqualität.

Die Standsicherheit eines Objektes, welches für das Leben von Menschen wichtig ist, darf in keinem Fall durch Feuchteeinwirkung reduziert werden. Unter diesem Gesichtspunkt werden 3 Schadensfolgeklassen in der europäischen Normung verwendet.

### Schadensfolgeklasse analog ON EN 1990

- CC 1** Geringe oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Bauwerksabdichtung zB: Lagergebäude ohne besondere Güter
- CC 2** beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen der Bauwerksabdichtung zB: Wohn- und Bürogebäude
- CC 3** sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen bei Versagen Bauwerksabdichtung zB: Konzerthalle, Krankenhaus, Kraftwerk, Museen

Bei Gebäuden der Schadensfolgeklasse **CC1** werden höchstwahrscheinlich Monitoringmaßnahmen wie im gegenständlichen Forschungsprojekt erarbeitet eher seltener zur Anwendung kommen.

Gebäude der Schadensfolgeklasse **CC2** sind, sofern die baugeometrischen Aspekte es zulassen, mit dem im gegenständlichen Forschungsprojekt erarbeiteten Monitoringmaßnahmen vor Folgeschäden aufgrund unzulässigen Feuchtigkeitseinfluss zu schützen.

Bei Gebäuden der Schadensfolgeklasse **CC3** werden Monitoringmaßnahmen am Objekt, wie im gegenständlichen Forschungsprojekt erarbeitet eingesetzt um das Risikopotential zur Gänze abzudecken. Die Anzahl und somit Dichte der Sensorik ist gegenüber Gebäuden der Schadensfolgeklasse CC2 im geeigneten Umfang zu erhöhen.

## 10 VERTIEFTE ERHEBUNGEN UND RECHERCHEN ZUM INDIREKTEN FEUCHTEMESSVERFAHREN

### Indirekte Feuchtemessverfahren

Grundsätzlich ist der Einsatz von Feuchtemessverfahren in Dachkonstruktionen nicht unbekannt, wurden diese in der Vergangenheit jedoch überwiegend zur sogenannten Leckortung, also dem Aufspüren von Undichtheiten in Dachabdichtungen angewendet. Dazu sind bereits seit Jahren unterschiedliche, überwiegend auf elektrischer Leitfähigkeit basierender Systeme am Markt bekannt. Positive Aspekte vieler Leckortungssysteme ist, dass mit relativ hoher Genauigkeit die Funktionstauglichkeit der Dachabdichtung überprüft werden kann.

Einige Systeme lassen auch eine Lokalisation einer etwaigen Fehlstelle zu.

Nachteil der bekannten Systeme war, dass im Regelfall Feuchtigkeit welche bspw. während der Bauphase in den Dachaufbau eingeschlossen wurde, oder Feuchtigkeit welche sich aufgrund bauphysikalischer Einflüsse im Dachschichtenaufbau bildete, nicht detektiert werden konnte. Weiters sind Leckortungssysteme im Regelfall nicht dazu konzipiert, eine fortlaufende Überwachung eines Flachdachaufbaus zu ermöglichen.

Überwiegend werden diese Systeme dann eingesetzt, wenn bereits ein Feuchteschaden entstanden ist.

Dieser Umstand wurde von einigen Unternehmen erkannt und es entwickelten sich in den vergangenen Jahren sogenannte „Dichtheitsmonitoringsysteme“, welche über elektrische Messverfahren die Wasserdichtheit der Dachabdichtung regelmäßig überwachen und dadurch Änderungen innerhalb der Dachabdichtung durch bspw. Wassereintritte meist unverzüglich detektieren können. Dadurch kann bereits das Folgeschadensrisiko deutlich reduziert werden. Nachteil dieser Systeme ist jedoch, dass im Regelfall eingeschlossenen Baufeuchtigkeit oder Wasser aus der Bauphase sowie bauphysikalische Feuchteanreicherungen im Dachschichtenaufbau nicht aufgezeigt werden.

Feuchtemonitoring-Systeme, so wie sie die vorliegende Entwicklung darstellt und Systeme mit ähnlichem Nutzen, welche im nachfolgenden aufgelistet wurden haben den Vorteil, dass sie Wassereintritte im Dachschichtenaufbau, unabhängig ob dieser durch Undichtheiten in der Dachabdichtung oder bspw. Fehler und somit Wassereintritte über An- und Abschlusskonstruktionen sowie Feuchtigkeit aus der Bauphase, aber auch Feuchteanreicherung durch bauphysikalische Zustände erkennen, regelmäßig aufzeichnen und somit Tendenzen erkennen lassen. Eine geeignete Auswertsoftware ermöglicht fachlich kompetenten Personen eine Beurteilung und Schlussfolgerung ob und wenn ja welche Maßnahmen zu treffen sind.

Unterschieden werden bei diesen Systemen kabelgebundene Systeme, wo die Feuchtesensorik über elektrische Leitungen mit einer Speicher- oder Steuereinheit verbunden sind, sowie kabellose Systeme, welche über eine im Sensorgehäuse integrierte Sendeeinheit Daten an eine Speichereinheit oder Auswertelektronik weiterleitet.

Die vorliegende Entwicklung befasst sich mit kabelloser, durch Bluetooth und GSM-Technologie ausgerüstete Mess- und Sendeelektronik mit sehr kleinen, optimierten Abmessungen.

### **Direkte Feuchtemessverfahren**

Unter direktem Feuchtemessverfahren wird verstanden, dass über Öffnungen in der Dachfläche Handmessgeräte den Feuchtigkeitsgehalt der Dachbaustoffe ermitteln.

#### 10.1 Recherche bekannter Feuchtemonitoringsysteme, Dichtheitsmonitoring und Leckortung (exemplarische Auflistung)

##### **Roofprotector**

Aktuelle Funktionsbeschreibung siehe Systemhersteller

##### **Fraunhofer IPMS System**

Aktuelle Funktionsbeschreibung siehe Systemhersteller

##### **ild-group.de**

Aktuelle Funktionsbeschreibung siehe Systemhersteller

##### **Optidry-Monitoring-System**

Aktuelle Funktionsbeschreibung siehe Systemhersteller

#### 10.2 Gefahrenpotential durch den Einsatz des Feuchtemonitoringsystems

Ein grundsätzliches Gefahrenpotential, welches durch den Einsatz von Feuchtemonitoringsystemen besteht, ist in der Literatur nicht beschrieben.

##### **Das direkte Gefahrenpotential**

Speziell bei kabelgebundenen Systemen ist eine Abschirmung gegenüber Blitzschlag erforderlich um zum einen die Feuchtemonitoringanlage selbst nicht zu zerstören oder gegebenenfalls durch Blitzeinschlag entstehende

Kabelbrände zu vermeiden. Die Funktionsweis der Sendeeinheit GSM und Bluetooth sind auf die Nutzung des Projektes abzustimmen damit eine Funktionsstörung anderer Anlagen oder Geräte ausgeschlossen werden kann.

### **Das indirekte Gefahrenpotential**

Das indirekte Gefahrenpotential ist insofern zu berücksichtigen, als dass Feuchtemonitoringsysteme Messwerte liefern, denen ein hohes Vertrauen entgegengebracht wird. Sollte bspw. eine defekte Messeinheit Werte immer im „für das Projekt positiven Bereich“ liefern, es baupraktisch aber bereits zu Feuchteschäden gekommen ist, welche möglicherweise unbemerkt bleiben, ist der Feuchtefolgeschaden für ein Objekt hoch. Dieses indirekte Gefahrenpotential kann insofern reduziert respektive vermieden werden, in dem wie in gegenständlicher Entwicklung umgesetzt, Feuchtesensoren über sogenannte Einbring- oder Inspektionsöffnungen in den Dachaufbau eingebaut werden, wo sie im Zuge von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten der Dachflächen zumindest stichprobenartig auf Funktionstauglichkeit hin überprüft werden können.

## 11 RECHERCHE UND AUSWAHL DES EINSATZBEREICHS UNTERSCHIEDLICHER MICRO-MONITORING- SYSTEMKOMPONENTEN

Die Neuheit des zu entwickelnden Micro-Monitoring-Systems besteht zum einen in der geringen Größe, damit ein Einsatzbereich in Flachdachkonstruktionen mit geringer Aufbauhöhe oder in genutzten Flachdächern, wie z.B. Terrassen möglich wird und andererseits eine Messdatenübertragung hergestellt wird, wo keine kabelgebundenen Speicher oder Sendeeinheiten notwendig sind. Jeder Microsensor soll autonom Feuchtigkeit und Temperatur messen, die Daten speichern, im vorgegebenen Intervall an den Netzbetreiber die Daten übermitteln, wo sie dann auf die Auswertelektronik in der Cloud weitergeleitet werden. Ein weiterer Vorteil der GSM-Technologie ist, dass der Standort und die Position des Sensors automatisch erfasst werden kann und somit eine für die bauphysikalische Beurteilung wichtige Standortposition automatisch mit einbezogen werden kann. Weiteres Ziel in der Entwicklung des Micro-Monitoring-Systems war es, ein Mess- und Sendesystem zu schaffen, das nur im Zuge von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten vor Ort kontrolliert werden muss.

Alternativ können die im Micro – Sensor gespeicherte Messdaten auch über eine Bluetoothverbindung ausgelesen werden.

### 11.1 Elektronische Bauteile

#### Funktionsbeschreibung des Micro-Sensors

Der Microsensor besteht aus einem schlagfesten Kunststoffgehäuse mit einem Durchmesser von ca. 60 mm und einer Höhe ~ 90 mm. In diesem Gehäuse befinden sich Temperatur und Feuchtigkeitssensoren, welche lokal die relative Luftfeuchtigkeit und die Temperatur im Dachaufbau messen. Weiters befinden sich das Energiepack (Batterien), die Bluetooth Übertragungseinheit sowie das GSM Modul inkl. Antenne im Gehäuse des Micro-Sensors.

Basisfunktionen:

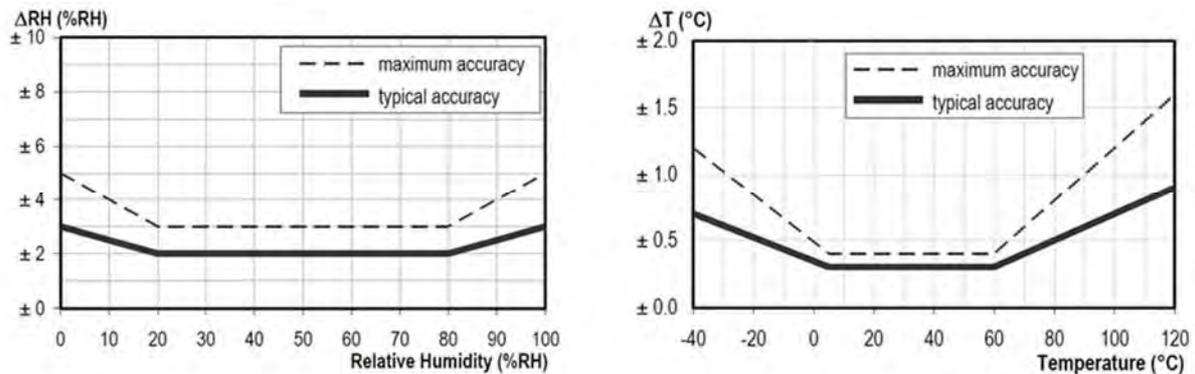
- Durchführung von Messungen (je nach eingestelltem Messintervall) und lokales Speichern im Flash-Speicher.
- Bluetooth Verbindung mit Smartphone/Tablet App ermöglichen das Auslesen der Messdaten, deren grafische Darstellung sowie die Konfiguration von Einstellungen.

Weiter Funktionsumfang der Firmware:

- Über eine serielle Schnittstelle des GSM Moduls können ausgelesene Messdaten an einen Server versandt werden. Im Regelfall sind die GSM Übertragungskosten Kosten für die Laufzeit von 3 Jahren im künftig am Markt angebotenen Basispaket enthalten.

Exemplarisch abgebildetes Profil (siehe Skizze 1) der getesteten Feuchte und Temperatursensoren. Die möglichen Abweichungen sind im Berechnungsmodell der Auswertsoftware zu berücksichtigen.

## Skizze 1



Die Micro Sensoreinheit verfügt über zwei Sendetechniken, GSM- Technologie wo auf jeder Sensorplatine ein Mikrochip oder Simkarte eingebaut ist, oder alternativ die Bluetooth-Sendetechnologie, wo von allen Sensoren mit Bluetooth auf ein externes GSM-Modul Daten übertragen und von diesem die Daten dann weiter an eine Empfangseinheit oder den Datenspeicher gesendet werden. Die Bluetooth-Sendestärke der im Dachaufbau eingebauten Sensoren inkl. Bluetoothfunktion kann mit einer Smartphon App festgestellt werden. Dies ist insofern relevant, da bei der Bluetooth Sendetechnologie bspw. flächig im Dachaufbau verlegte Metalle die Sendeleistung negativ beeinflussen können. Würde nun ein Sensor mit Bluetoothfunktion unter bspw. metallischen Haustechnikanlagen eingebaut werden, könnte dies die Reichweite der Sendeleistung reduzieren.

Der Micro-Monitoring Sensor kann in zwei unterschiedlichen Zuständen ausgeliefert werden:

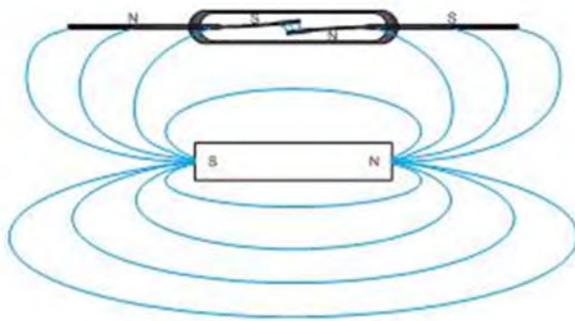
1. Bluetoothfunktion ausgeschaltet (Lager Modus): Das Gerät kann so mehrere Jahre ohne nennenswerten Energieverlust auf Lager liegen.
2. Bluetooth eingeschaltet (Standard Modus oder 2min-Modus): Hier wacht das Gerät alle 2min für 30s auf und kann per Bluetooth verbunden werden.

Um die Sensoren aus dem „Schlummerzustand“ (Lager Modus mit ausgeschalteter Bluetoothfunktion) aufzuwecken sind sie mit einem Magnet zu aktivieren. Die Angabe der Magnetfeldstärke in Tesla oder Gauss ist nicht relevant, einfach ausgedrückt sollte ein Magnet mit mind. 1kg Haftkraft am Sensorgehäuse im oberen Drittel berührend am Umfang entlang bewegt werden. In der Praxis werden durch die Bewegung des Magneten viele Bereiche des Magnetfeldes den Reedkontakt kreuzen. Bei jedem Kontaktwechsel offen -> geschlossen -> offen, wird das Gerät zurückgesetzt. Nach dem Reset ist es dann für 30 Sekunden wach. Deshalb ist ein schnelles Bewegen des Magneten wichtig, wodurch ein mehrmaliges Auslösen und damit einen Abbruch einer bereits gestarteten Synchronisierung über Bluetooth verhindert wird. Die Ausrichtung des Magnetes hinsichtlich Nord- oder Südpol ist nicht relevant.

### Funktionsweise des Magnetschalters im Detail:

Der verwendete Reedkontakt hat die Kontakt-Ausführung normally open (A). Der Reedkontakt selbst hat keinen Magnet, die flexiblen Kontakte bestehen aus einer Nickel Eisen Legierung - d.h. die Orientierung und Richtung des Magnetfeldes ist egal. Horizontale Magnetfeldlinien im Reedkontakt sind besonders effizient. Verwendet wird der Reed Kontakt „MDSM-10R-20-25“ mit einem Schaltbereich von 20 - 25 AT (Ampere Turns).

### **Skizze 2**



Vor der erstmaligen Verwendung muss die Sensoreinheit einem Konto in der Auswertesoftware, welche sich vorzugsweise in der Cloud befindet, zugeordnet werden. Das soll sicherstellen, dass nur der Benutzer Zugang zu den Daten hat und er tatsächlich im Besitz der Sensoreinheit ist. Das Hinzufügen erfordert deshalb das Wissen der Serien-Nr. der Sensoreinheit und eine Bluetooth Verbindung (d.h. die Sensoreinheit befindet sich innerhalb von 10 Meter zum Benutzer). Wenn sich das Gerät im 2min-Modus befindet, wird kein Magnet benötigt - man wartet aber bis zu 2min auf eine erfolgreiche Verbindung. Um die Wartezeit zu verkürzen, kann natürlich trotzdem der Magnet verwendet werden. Geräte im Lager-Modus müssen mit Magnet geweckt werden.

Um zu kontrollieren ob der Sensor tatsächlich aktiviert wurde, sollte auf der Webapplikation nachgesehen werden, ob sich der Sensor auch gemeldet hat. Das erfordert, dass nach dem Hinzufügen der Sensoreinheit auf einem Konto in der Webapplikation (Auswertesoftware in der Cloud) die Sensoreinheit auch aktiviert werden muss („Messung starten“). Dabei können verschiedene Parameter eingestellt werden. Die Aktivierung kann nur per Bluetooth Verbindung erfolgen. Generell sollte die Sensoreinheit immer im Dach eingebauten Zustand aktiviert werden, weil so der Benutzer 2 Minuten später in der App sieht, ob die Kommunikation über das Mobilfunknetz funktioniert.

Das Zeitintervall zwischen dem „aufwecken“ und „erkennen“ des Sensors in der Webapplikation ist unterschiedlich. Das „Aufwecken“ bezeichnet die „Messung wird gestartet“. Danach ist die Sensoreinheit aktiv und führt Messungen und Mobilfunkübertragungen durch. Wenn die Sensoreinheit vor Ort aktiviert wird, hat man nach 2 Minuten die Kontrolle und Meldung an die Webapplikation. Wenn die Sensoreinheit schon aktiv ist und erst später an einem anderen Ort installiert wird, muss man für eine Bestätigung bis zur nächsten Mobilfunkübertragung warten (bis zu 12h derzeit).

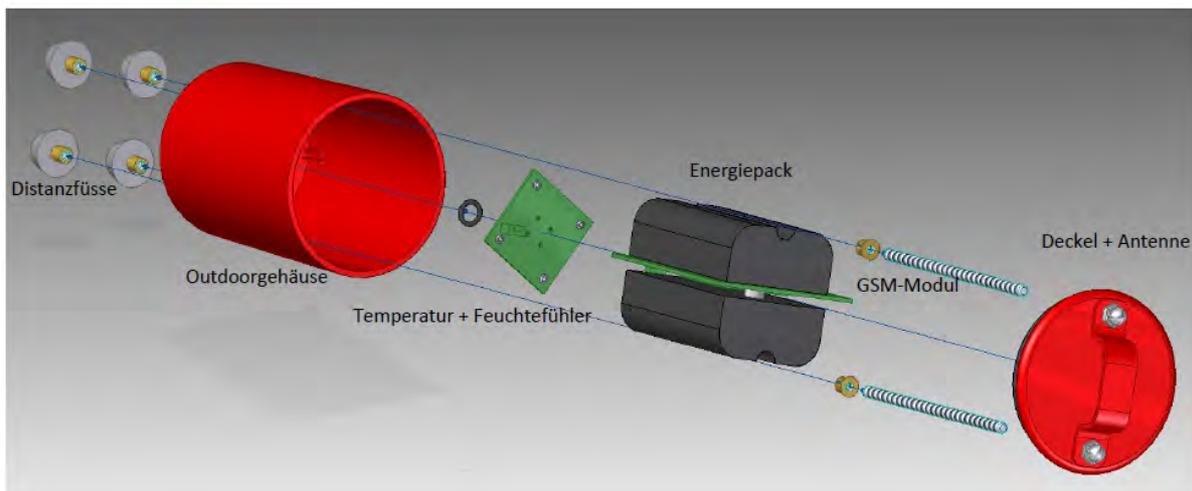
Derzeit ist das Messintervall auf 1h eingestellt, d.h. 24 Messungen pro Tag. Der Speicher im Gerät erlaubt nun 144k Messungen, das entspricht einem Messzeitraum von über 16 Jahren. Die Messdaten werden derzeit alle 12h über das Mobilfunknetz übertragen.

SIM-Chips können nach der Aktivierung vorübergehend gesperrt werden (Sleep-Modus). In diesem Modus fallen keine Kosten für den SIM-Chip an. Innerhalb von 36 Monaten ist nach dem Wechsel in den Sleep-Modus eine Wiederaktivierung möglich. Danach wird der Chip automatisch terminiert und kann nicht mehr verwendet werden.

Hinsichtlich einem elektrischen Kurzschluss an den Sensorkomponenten oder dem Batteriepack ist keine Brandgefahr zu befürchten, da handelsübliche AAA oder AA Batterien eingebaut werden.

### Skizze 3

Darstellung der Sensorsystemkomponenten



Eine Sensoreinheit besteht aus einem Sensorgehäuse, welches an der Unterseite Distanzfüße aufweist. Das zylinderförmige Sensorgehäuse hat an der Unterseite eine Bohrung über der direkt im Gehäuse innenseitig der Temperatur- und Feuchtefühler sitzt. Damit bei etwaigen Wasseranstau im Dachschichtenaufbau Stauwasser nicht in das Sensorgehäuse eindringt, werden Temperatur- und Feuchtefühler mit geeigneten Dichtungen zum Sensorgehäuse abgedichtet. Oberhalb der Platine, in der Temperatur- und Feuchtefühler eingebaut sind, befindet sich eine weitere mit elektronischen Bauteilen bestückte Platine, welche auch das GSM-Modul beinhaltet. Flankiert wird diese Platine vom Energiepack in dem 4 Stück AAA-Batterien eingebaut sind. Den oberseitigen Abschluss stellt ein Kunststoffdeckel mit Schraubverschluss dar. Im Kunststoffdeckel ist auch die Antenneneinheit zur Datenübertragung integriert.

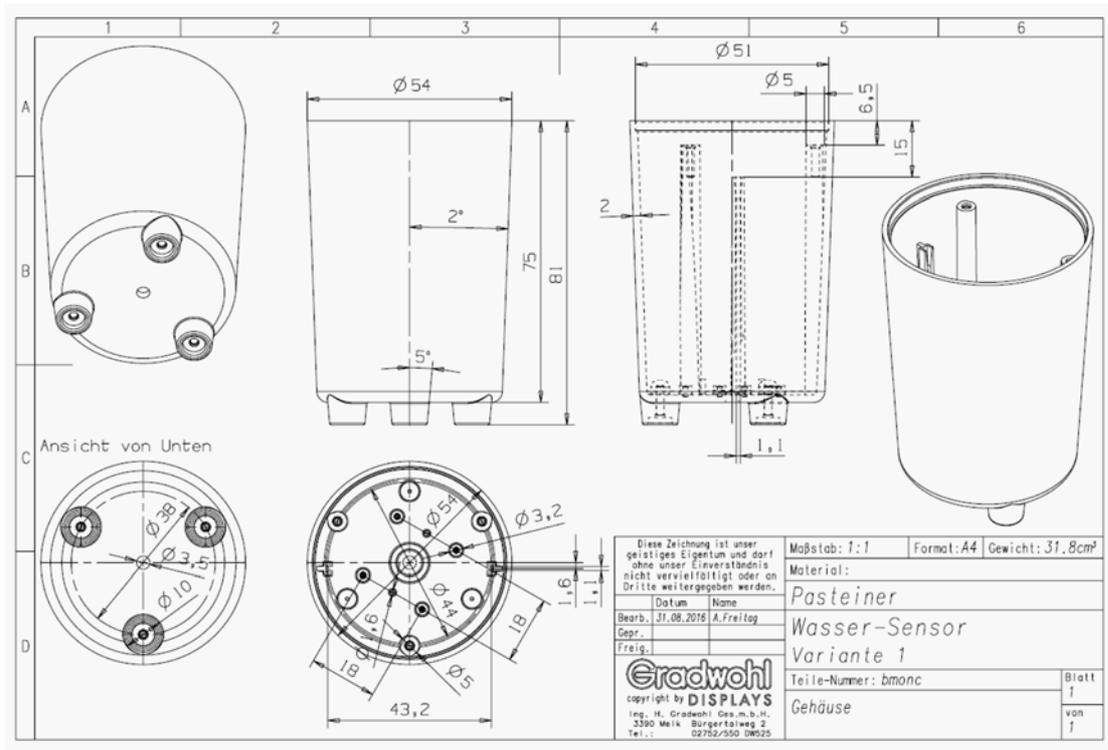
### 11.2 Prototyp Gehäuse

In der Prototypenstudie wurden 2 Gehäusevarianten geprüft.

#### Variante 1

Bei Gehäusevariante 1 wurde eine leicht konische, aber glatte Sensorgehäuseoberfläche vorgesehen, wo die Hülsen der Schraubbefestigung, welche mit den Distanzfüßen in Verbindung stehen, ausschließlich innerhalb des Sensorgehäuses vorgesehen wurden. In den weiteren Versuchen hat sich jedoch der dadurch begrenzte Platzbedarf innerhalb des Sensorgehäuses als nachteilig für die Konfiguration der Sensorplatinen mit dem Energiepack dargestellt.

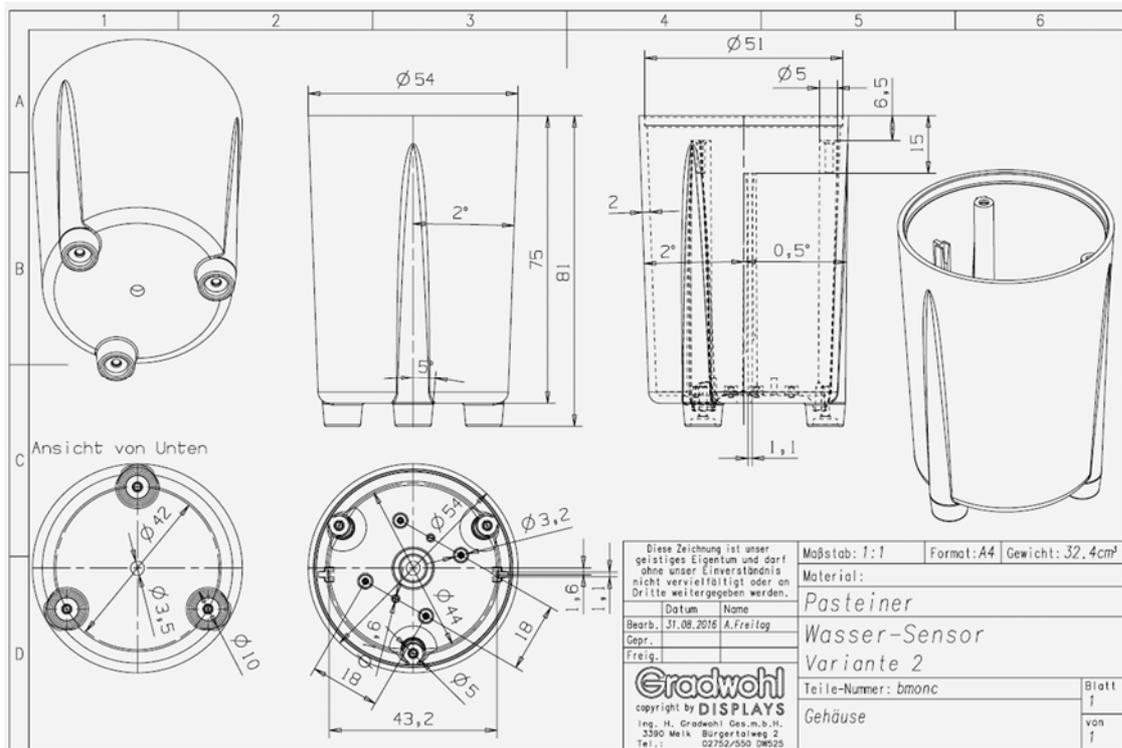
#### Skizze 4



**Variante 2**

In Variante 2 wurde ein Teil der 3 Hülsen, welche die Verschraubung des Deckels ermöglichen, in die Sensorgehäusehülle verlegt, wodurch 3 vertikale Profilierungen der Sensorgehäuseaußenoberfläche entstanden sind. In diesem Prototyp konnte die Platine mit Temperatur- und Feuchtesensor sowie die Sendeplatine inkl. Energiepack ohne Platzprobleme integriert werden.

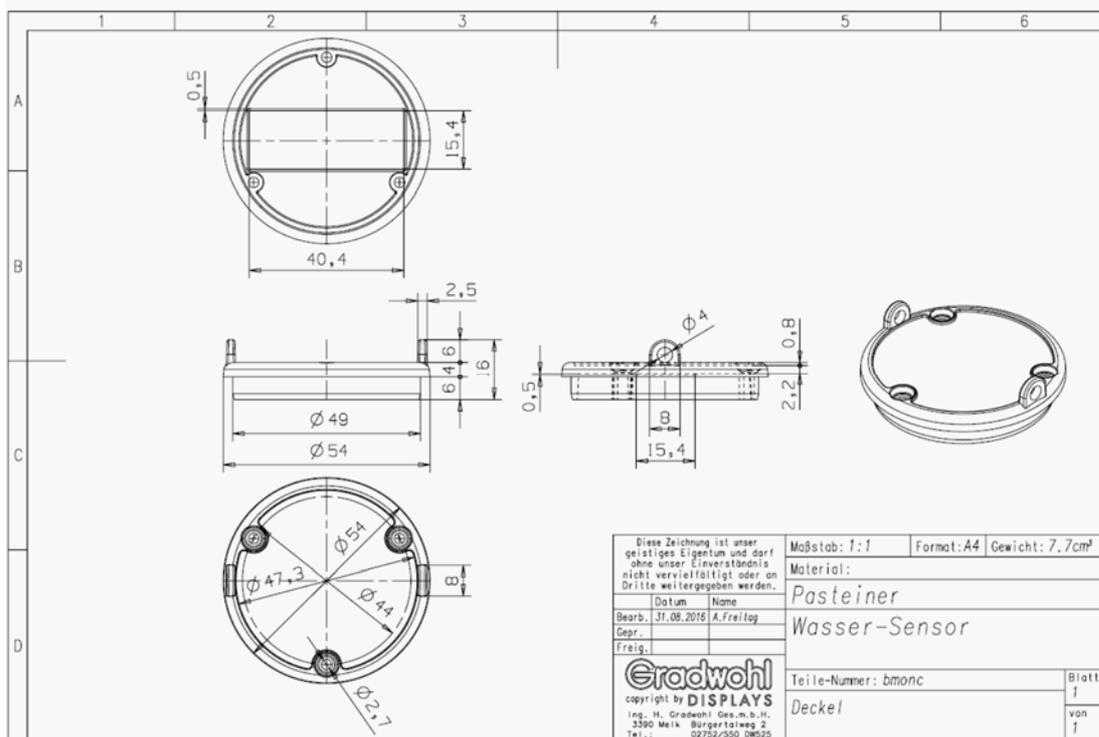
**Skizze 5**



**Deckel**

Der oberseitige Sensorgehäusedeckel konnte sowohl bei Variante 1 als auch bei Variante 2 umgesetzt werden. Über 3 Bohrlöcher am äußeren Umfang des Deckels werden Befestigungsschrauben mit einem Durchmesser von 2,5 mm zur Verschraubung des Deckels in das Sensorgehäuse geführt. Am äußeren Umfang ist an der Deckelunterseite eine Kunststoffdichtung eingebaut, die eine stauwasserdichte Verbindung zwischen Sensorgehäusedeckel und Sensorgehäuse sicherstellt. Beim Lösen dieser Schraubverbindung im Zuge von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten kann die Batterieeinheit des Microsensors getauscht bzw. Reparaturmaßnahmen am Sensor vorgenommen werden. Über 2 stehend angeordnete Laschen am Sensordeckel kann mit einer geeigneten Halte- und Greifvorrichtung das Sensorgehäuse im Zuge des Dacheinbaus in der Wärmedämmung versenkt werden.

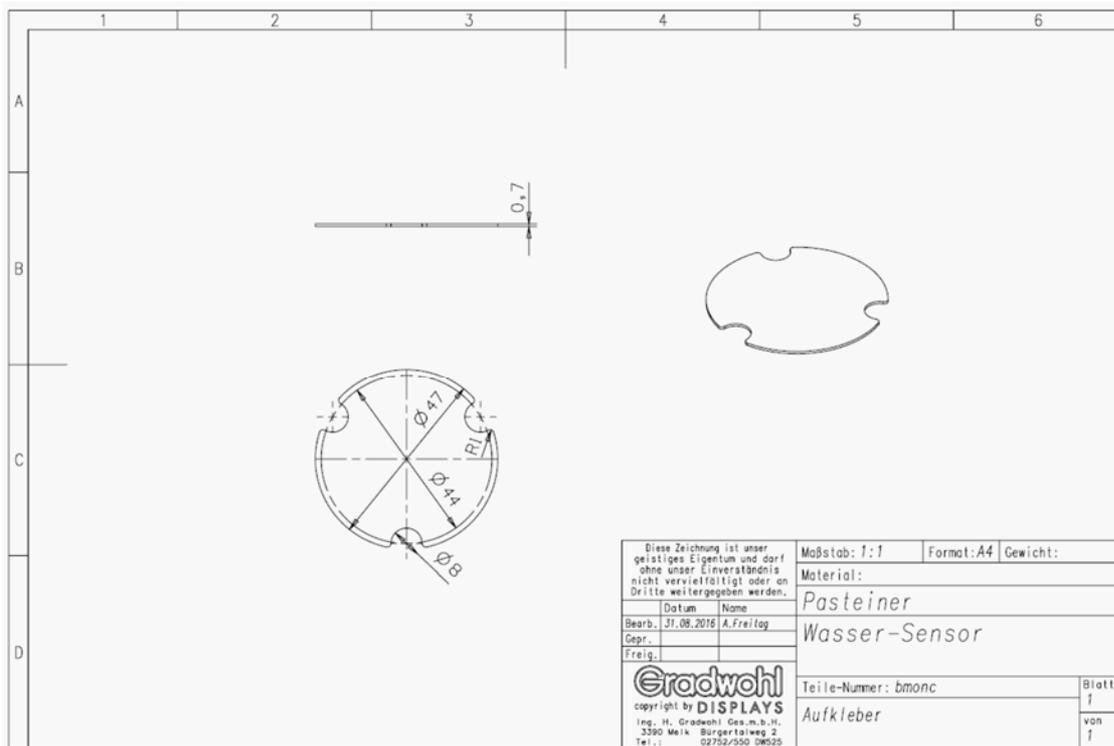
**Skizze 6**



**Etikette (Aufkleber)**

Auf der Deckeloberfläche wird ein einseitig selbstklebend kaschierter Aufkleber vorgesehen, auf dem produktspezifische Informationen wie Firmennamen, Microsensor, Chargen- und Seriennummer, CE-Kennzeichnung und Funkzertifizierungsnummern aufgedruckt werden.

**Skizze 7**



**Abb. 1**

Gehäuse Prototyp aus einem 3D Drucker



Für die Entwicklung des Sensorgehäuses bis hin zur Serienreife wurden einige Sensorgehäuseprototypen aus einem 3D Drucker hergestellt. Die Kunststoffbasis auf MABS (Methylmethacrylat- Acrylnitril-Butadien-Styrol) weist ausreichende Eigenschaften auf, um daraus Erkenntnisse für die Kunststofftype, welche zukünftig im marktreifen Produkt eingesetzt wird, zu erlangen. Wie in der Skizze 4 - Variante 1, Skizze 6 - Deckel, Skizze 7 - Aufkleber dargestellt, wurde ein Sensorgehäuse mit integriertem Feuchte- und Temperaturfühler, Sendeplatine, Energiepack und innenseitig am Deckel montierter Antenne hergestellt. Die Oberfläche des Kunststoffprototypen aus dem 3D Drucker ist relativ rau, diese Eigenschaft wird in späterer Folge beim marktreifen Produkt vermieden.

### 11.3 Marktreife Entwicklung des Micro Sensors inkl. Gehäuse

Die Zertifizierung der Elektronischen Bauteile werden in Europa, Amerika und Kanada erforderlich, es ist eine eigene ID-Nummer zu beantragen.

Beispielhafte Nummernfolge:

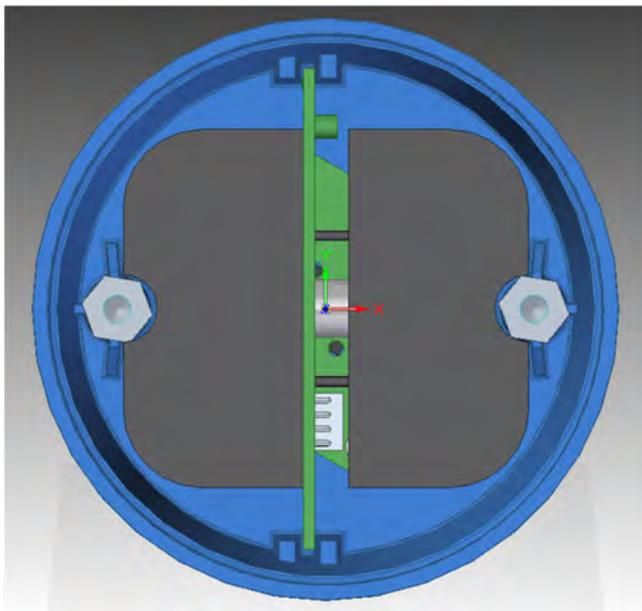
FCC-ID (amerikanische ID): 2AD:.....  
IC-ID (kanadische ID): 12:.....

Die Dokumentation für diversen Behörden und CE - Europäische Zertifizierung umfasst:

- Die Etikette am Deckel des Sensorgehäuses (Geräte Label in USA/Kanada)
- Das Label muss folgende Angaben enthalten (siehe Etikette Abb.5):
  - a) FCC ID:XXXXXXX
  - b) Statement FCC 15.19, wenn Gerät größer als Handfläche ist.
  - c) Model: XXX (Modellbezeichnung)
  - d) IC: XXXXXXX
  - e) Platzierung des Labels auf dem Gerät muss durch Foto oder Zeichnung gezeigt werden.

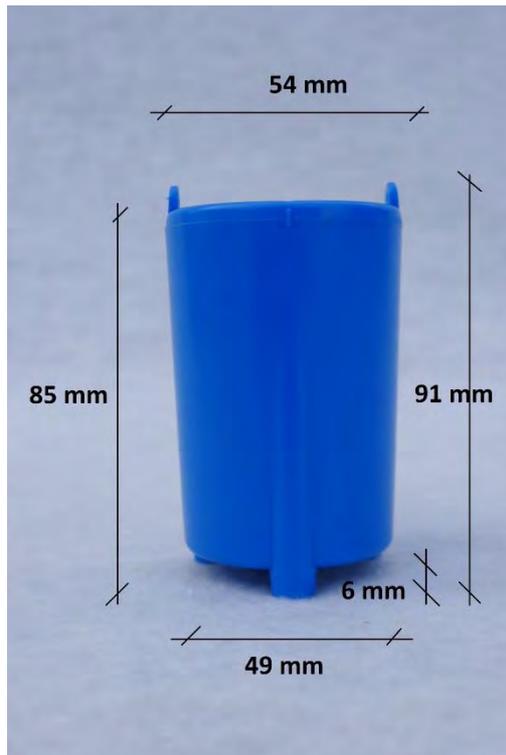
Ansicht in den Innenraum des Sensorgehäuses. Die in der Skizze 8 mittig in grün dargestellte Sensorplatine beinhaltet elektronische Bauteile sowie die GSM-Sendeeinrichtung des Sensors. Flankiert wird diese Platine durch 2 in dunkelgrauer Farbe dargestellte Batteriepacks, in denen jeweils 2 Stück AAA-Batterien eingebaut sind. Damit die Komponenten im Innenraum des Microsensors bei Erschütterung nicht in Bewegung geraten, werden diese beidseitig durch eine Schraube fixiert.

#### Skizze 8



Das marktreife Sensorgehäuse wird im Spritzgussverfahren hergestellt. Bei den ersten Gehäuseproduktionen wurde der Kunststoff Polypropylen verwendet. Die Höhe inkl. der Hebelaschen und den Standfüßen beträgt 91 mm. Die größte Breite des Sensors am Deckelumfang beträgt 54 mm. Am Sensorboden liegt eine Breite von 49 mm vor. Die keilförmige Form des Sensorgehäuses verhindert ein „Verkeilen“ des in der Wärmedämmung im Dachaufbau eingeführten Sensors, wodurch auch der Ausbau ohne Kraftaufwand möglich ist.

**Abb. 2**



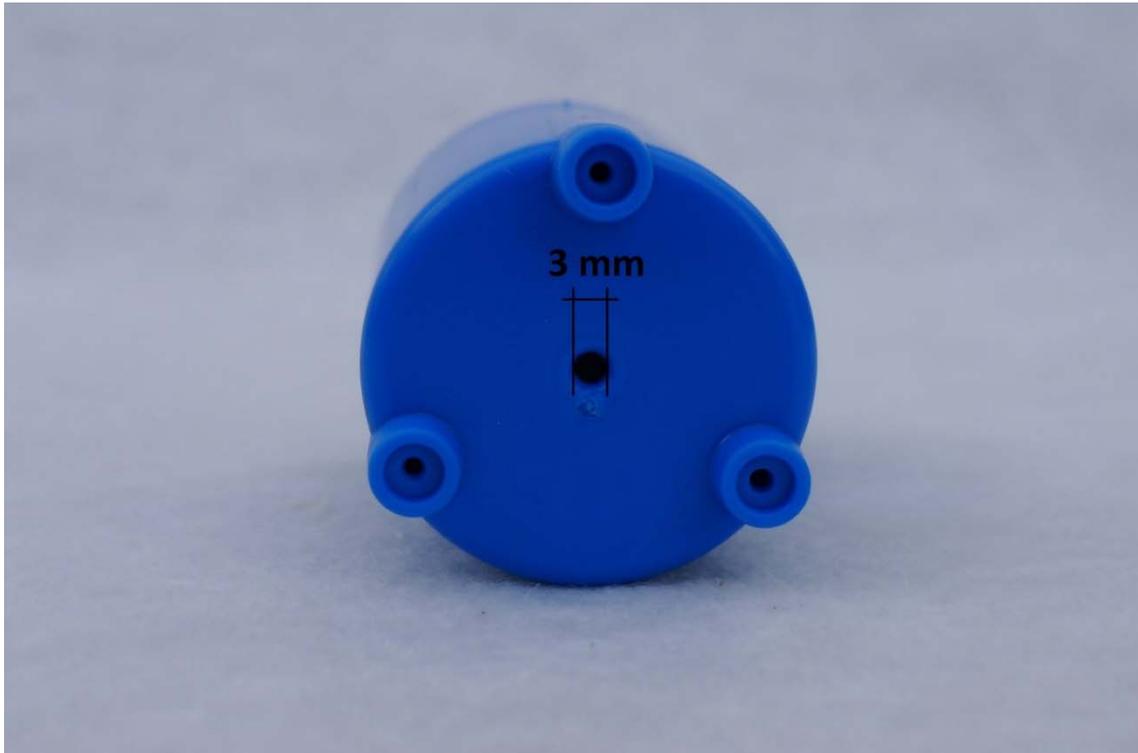
An der Unterseite des Sensorgehäuses sind 3 Distanzfüße in Höhe von 6 mm vorhanden. Diese Distanzierung hat die Aufgabe, den Sensorboden ausreichend von der Einbauoberfläche im Dachaufbau zu distanzieren, damit der Feuchte- und Temperatursensor nicht bei jedem geringfügigen Wassereintritt in den Dachschichtenaufbau und dadurch entstehendes Stauwasser auf der Einbauoberfläche, im Stauwasser steht. Weiters wird durch die 6 mm hohe Distanzierung ein Luftraum geschaffen, der durch weitere unvermeidbare Fugen im Dachschichtenaufbau eine gewisse Konvektion zulässt.

**Abb. 3**



Mittig am Sensorgehäuseboden ist eine Bohrung von 3 mm hergestellt worden. Dahinter befindet sich im Sensorgehäuseinneren der Feuchtigkeits- und Temperatursensor. Die Platine ist mit einem Dichtring versehen, sodass im Falle des Überstauens mit Wasser der 6 mm hohen Distanzfüße es zu keinem Wassereintritt innerhalb des Sensorgehäuses kommt und so Schaden an den elektronischen Bauteilen bewirken könnte.

**Abb. 4**



Für den marktreifen Einsatz wurde ein Etikett entwickelt, welches auf der Rückseite selbstklebende Eigenschaften aufweist. Auf dem Etikett ist das Logo **bmonc Building Monitoring Components** erkennbar. Die für die Zertifizierung des Microsensors erforderlichen Angaben am Etikett sind die →Chargennummer sowie die →CE-Kennzeichnung und die Darstellung in Form von →Buchstaben- und Nummerncodes der Sendeeinheiten.

**Abb. 5**

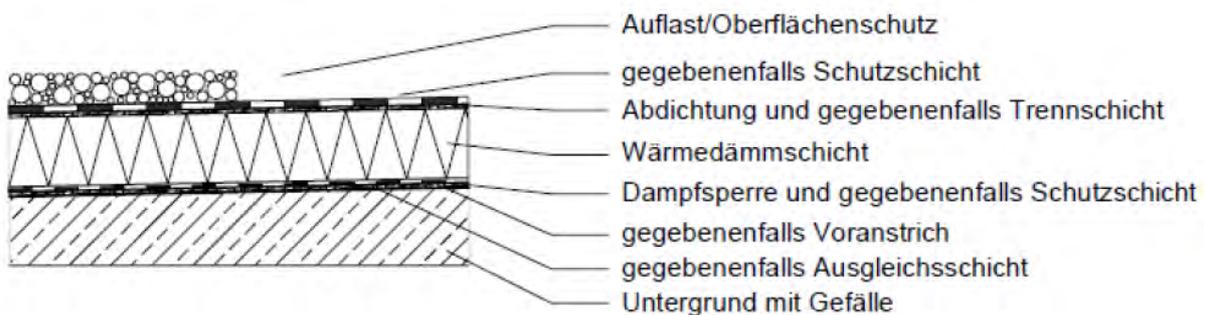


## 12 ERHEBUNG VON GENERELLEN BAULICHEN VORAUSSETZUNGEN SOWIE VORLEISTUNGEN WELCHE AM BAUWERK ZUTREFFEN.

Das zu entwickelnde Micro-Monitoring-System wird vorzugsweise in genutzte Dächer wie z.B. Terrassen, Gründächer, befahrbare Flächen als auch nicht genutzte Dächer bspw. Wohnhausdächer, Bürogebäude, Lagerhallen eingesetzt. Auf Technikdächern, die bspw. mit Haustechnikanlagen belegt werden, Photovoltaikanlagen positioniert sind oder ähnliche Anlagen, ist Feuchtemonitoring eigentlich unerlässlich.

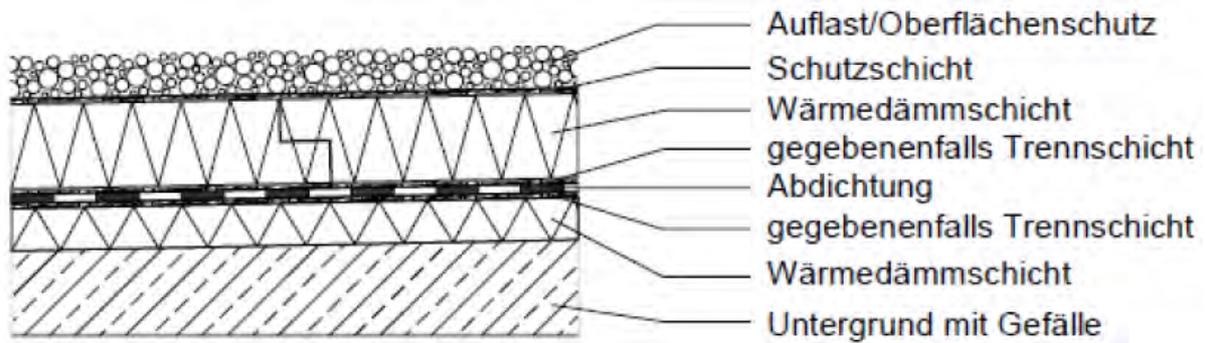
Die zu entwickelnden Sensoren können jedoch nur in jenen Flachdachschichtenaufbau angewendet werden, wo planmäßig kein Niederschlagswasser anfällt. Vorzugsweise werden nachfolgend dargestellte Flachdachschichtaufbauten mit Feuchtesensoren bestückt.

**Skizze 9** Nicht belüfteter Warmdachaufbau



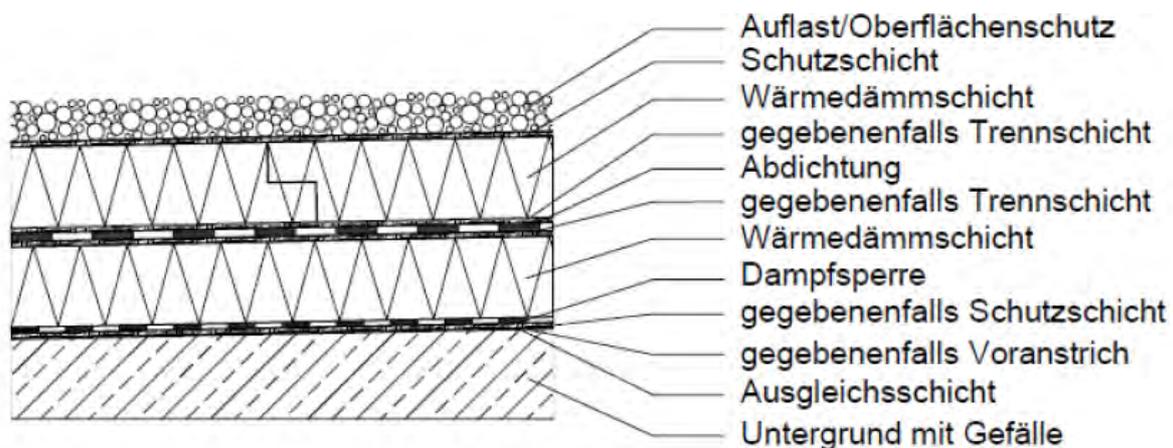
Von oben nach unten beschrieben besteht der nicht belüftete Warmdachaufbau aus einer Dachabdichtung, welche den darunter liegenden Schichtaufbau vor Wassereintritten schützt. In die Wärmedämmebene wird auf projektspezifisch zu definierender Position der Feuchtesensor platziert. Unterhalb der Wärmedämmung und als baukonstruktiv abschließende Schicht liegt die diffusionshemmende Schicht. Bei vielen künftigen Anwendungen werden die Distanzfüße des Micro-Sensors auf der Oberfläche der diffusionshemmenden Schicht stehen.

**Skizze 10** Nicht belüftetes Dach - Duodachaufbau



Von oben nach unten beschrieben besteht diese Dachform aus einem Oberflächenschutz mit geeigneter Schutzschicht. Darunter befindet sich die 1. Wärmedämmschicht, die im Regelfall aus wasserresistenten XPS-Wärmedämmplatten besteht. Darunter angeordnet ist die Feuchtigkeitsabdichtung, welche die weiteren Schichten vor Niederschlagswassereintritten schützt. Die Wärmedämmung unterhalb der Feuchtigkeitsschicht liegt direkt auf der Unterkonstruktion auf. Eine diffusionshemmende Schicht wie bspw. beim Warmdachaufbau kommt beim Duodachaufbau nicht zur Anwendung. Der zu entwickelnde Feuchtigkeits- und Temperatursensor wird in die Wärmedämmschicht, welche sich unterhalb der Abdichtung befindet, eingebaut. Anhand dieses Dachaufbaus ist der Vorteil des Micro-Monitoring-Sensors erkennbar, da aufgrund der geringen Wärmedämmdicke nur ein relativ kleines Sensorgehäuse mit geringer Höhe eingebaut werden kann.

**Skizze 11** Nicht belüftetes Dach - Plusdachaufbau

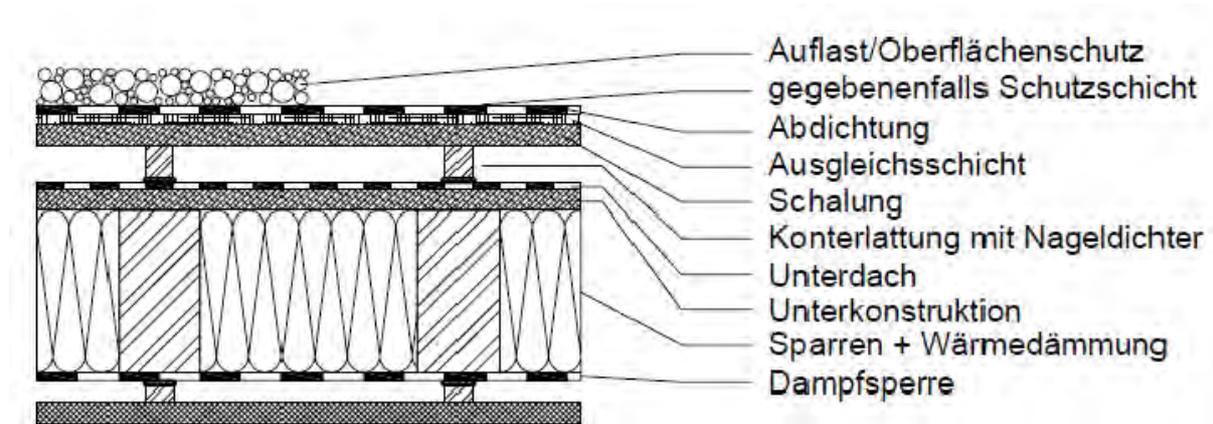


Von oben nach unten beschrieben setzt sich dieser Dachaufbau aus einem Oberflächenschutz inkl. Schutzschicht und wasserresistenter XPS-Wärmedämmung zusammen. Darunter befindet sich die Dachabdichtung, welche die Niederschlagswasserdichtheit des gesamten Gebäudes sowie des darunter liegenden Flachdachschichtenaufbaus sicherstellt. Auch die Wärmedämmung unterhalb der Abdichtung ist somit vor Feuchtigkeit geschützt und wird in diese der Micro-Monitoring-Sensor eingebaut. Die

diffusionshemmende Schicht schließt den Dachschichtenaufbau gegenüber der Unterkonstruktion ab. Die Position des Micro-Sensors innerhalb der Wärmedämmschicht ist projektspezifisch festzulegen, werden in vielen Fällen jedoch die Distanzfüße des Micro-Sensorgehäuses auf der Oberfläche der diffusionshemmenden Schicht aufliegen.

Skizze 12

Belüftetes Dach mit Unterdach



Im belüfteten Flachdachaufbau stellt die Niederschlagwasserdichtheit entweder eine frei bewitterte oder unter Oberflächenschutz situierte Dachabdichtung dar. Darunter befindet sich eine Tragkonstruktion inklusive Belüftungsebene. Zwischen Belüftungsebene und statisch tragender Dachkonstruktion inkl. der Wärmedämmung wird eine Unterdachbahn eingesetzt, welche nur unter besonderen Witterungsbedingungen (z.B. Flugschnee) mit Flüssigkeiten in Berührung kommt. Darunter befindet sich die, in vielen Fällen aus Holzwerkstoffen hergestellte Dachtragkonstruktion mit dazwischenliegender Wärmedämmung. Rauminnenseitig wird dieser Dachschichtenaufbau durch eine diffusionshemmende Schicht abgegrenzt. Die Feuchte- und Temperatursensoren werden in der Wärmedämmschicht, welche sich zwischen Unterdachbahn und diffusionshemmender Schicht befindet, in projektspezifischer Position eingebaut.

Die ÖNORM B3691 Dächer mit Abdichtungen sieht bei sogenannten K3-Dächern (Schadensfolgeklasse 3, also bspw. Spitäler, Museen und dgl.) und einem Nutzungszeitraum von 30 Jahren sogenannte „Zusatzmaßnahmen zur Folgeschadensreduktion“ vor. Eine Zusatzmaßnahme ist bspw. der Einbau von Abschottungen sowie flächige Detektionssystemen im Dachschichtenaufbau, die bspw. der vorliegenden Entwicklung entsprechen. Bezüglich den Abschottungen sind dies Vorkehrungen insbesondere im nicht belüfteten Warmdachaufbau, wo Einzelfelder im Dachschichtenaufbau hergestellt werden. Dies bedeutet, dass die diffusionshemmende Schicht (im Regelfall auf der Oberfläche der Unterkonstruktion situiert) mit der Dachabdichtung wasserdicht verbunden wird. Dies erfordert, dass in der Dicke der Wärmedämmung ein Abdichtungsstreifen anzubringen ist und wenn dieser allseitig durchgeführt wird, sich ein wasserdichtes Dachmodul ergibt. Um nun ohne einer laufenden Dachbegehung kontrollieren zu können, ob in ein Dachmodul Wasser eingedrungen ist, soll der zu entwickelnde Feuchte-Temperatursensor eingebaut werden. Aufgrund der gelieferten und analysierten Messdaten kann in Zukunft rechtzeitig reagiert werden um etwaige Folgeschäden durch Wassereintritte zu reduzieren.

Sofern die Unterkonstruktion des nicht belüfteten Warmdachschichtaufbaus im Gefälle hergestellt wird, ist folglich auch die diffusionshemmende Schicht mit einem Oberflächengefälle versehen. In diesem Fall empfiehlt es sich die Micro-Monitoring-Sensoren jedenfalls am Tiefpunkt zu positionieren, da sich bspw. bei einem Wassereintritt in den Dachschichtenaufbau Niederschlagswasser auf der diffusionshemmenden Schicht in Richtung Tiefpunkt bewegen wird. In diesem Fall müssten im Bereich des Tiefpunktes höhere Feuchtigkeitswerte gemessen werden, bei am Hochpunkt eingebauten Micro-Monitoring-Sensoren geringere Feuchtewerte.

Zu beachten ist ferner, ob die in den Dachabschnitten eingebauten Feuchte-Temperatursensoren je nach Sonnenstand im besonnten oder beschatteten Bereich positioniert sind. Dachaufbauten welche durch die Sonne beschienen werden, weisen im Inneren andere Temperatur- und relative Luftfeuchtigkeitswerte auf, als jene Dachflächen welche sich im beschatteten Bereich befinden.

Baukonstruktiv sollte vorgesehen werden, dass Micro-Monitoring-Sensoren nahe an Problemzonen, wie dies bspw. Portal-, Tür- und Fassadenanschlüssen darstellen, zu positionieren sind. Speziell in diesen An- und Abschlussbereichen ist die Wahrscheinlichkeit für Wassereintritte in Dachaufbauten am höchsten.

Die Niederschlagsentwässerung von Flachdächern kann über im Flachdachschichtaufbau eingelegte Entwässerungsrinnen erfolgen. Baukonstruktiv wäre hier so vorzusehen, dass zumindest an den Tiefpunkten der Entwässerungsrinnen ein Micro-Monitoring-Sensoren eingebaut wird, um gegebenenfalls Fehlstellen in der Rinnenkonstruktion, die das Einsickern von Niederschlagswasser in die darunter liegenden Schichten zu Folge haben, festzustellen.

Baukonstruktiv sind Wärmebrücken im Hochbau nicht gänzlich zu vermeiden. Wärmebrücken können bspw. gebäudeauskragende und mit Feuchtigkeitsabdichtung versehene Konstruktionen beinhalten. In den neuralgischen Schnittstellen sind Feuchte- und Temperatursensoren gemäß der vorliegenden Entwicklung vorzusehen.

Beim Einbau der Micro-Monitoring-Sensoren ist darauf zu achten, dass innerhalb der Einbauöffnungen keine Verschmutzungen wie bspw. Polystyrolkügelchen (von der zylinderförmigen Ausnehmung) innerhalb der Wärmedämmung vorliegen.

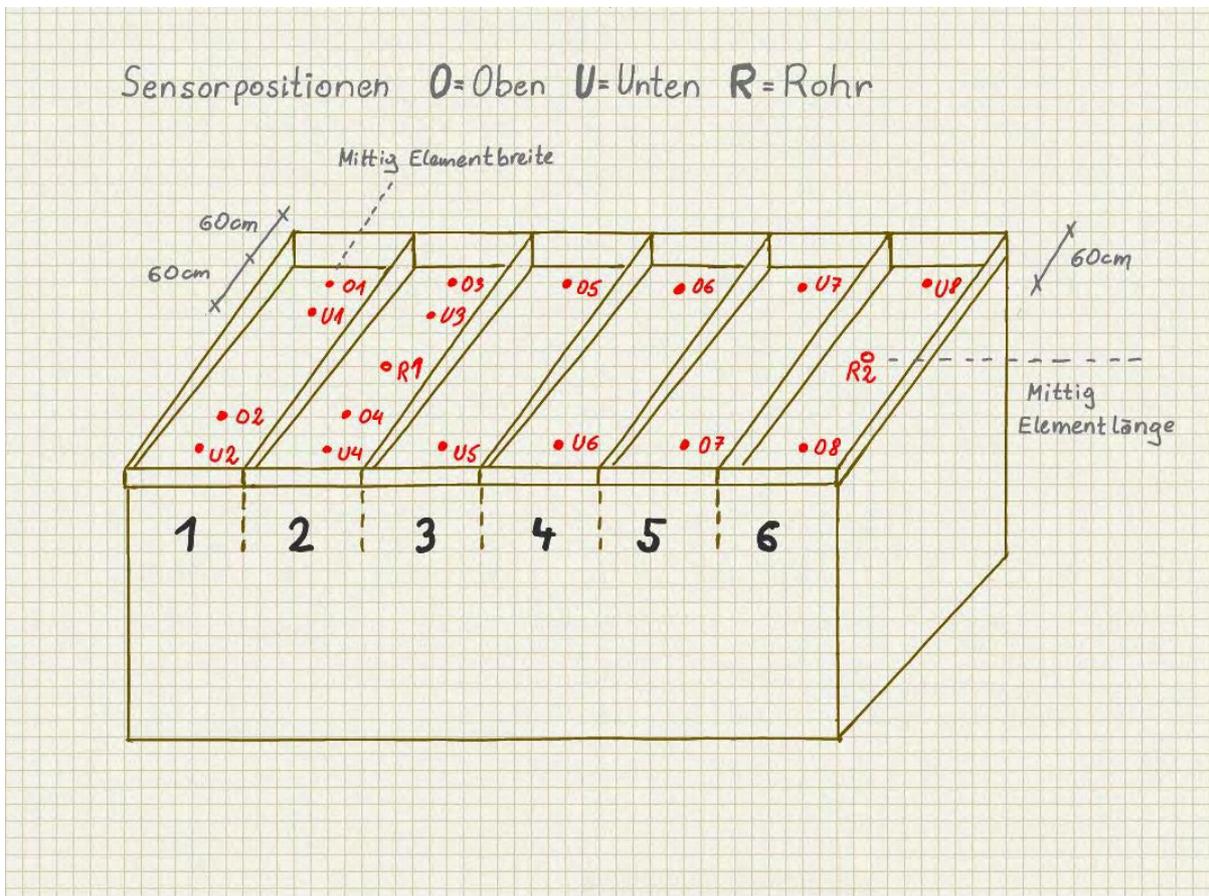
Flüssigwasser ist zumindest zum Zeitpunkt der Sensormontage aus dem Dachaufbau zu entfernen.

Da die Micro-Monitoring-Sensoren in vorgefertigte Einbringöffnungen, welche im Dachschichtenaufbau einzubauen sind versenkt werden, sind im Regelfall keine weiteren baukonstruktiven Vorleistungen notwendig. Eine projektspezifische Prüfung ist jedoch jedenfalls vorzunehmen.

## 13 RECHERCHE UND AUSWAHL GEEIGNETER VERSUCHSAUFBAUTEN

Im Zuge mehrfacher Gespräche mit Experten aus der Dachabdichtungsbranche, Physiker der TU Wien, Mitarbeiter von Bauphysikbüros wurden gemeinsam die Dachaufbauten der Dachmodule 1 – 6 ausgewählt. Ziel war es, mit jenen Baustoffen zu arbeiten, welche am häufigsten in der Baupraxis angewendet werden. Dazu waren mehrfache Umfragen bei ausführenden Unternehmen wie z.B. Dachdecker, Spengler und Bauwerksabdichter notwendig, aber auch auf Statistikdaten der herstellenden Industrie konnte zurückgegriffen werden.

### Skizze 13



Generelle Konfiguration der unterschiedlichen Dachschichtenaufbauten (von unten nach oben):

### **Dachelement Modul 1**

4 Sensoren, 4 Einbringöffnungen + Simulation einer Leckage  
(Dachaufbau von unten nach oben)

- Dampfsperre E- KV Alu
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- 1. Lage Dachabdichtung E-KV 4mm sk
- 2. Lage Dachabdichtung E-KV 5mm

### **Dachelement Modul 2**

5 Sensoren, 4 Einbringöffnungen, 1 Rohr + Simulation einer Leckage  
(Dachaufbau von unten nach oben)

- Dampfsperre E- KV Alu
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- 1. Lage Dachabdichtung E-KV 4mm sk
- 2. Lage Dachabdichtung E-KV 5mm
- Dachauflast Kies

### **Dachelement Modul 3**

2 Sensoren, 2 Einbringöffnungen  
(Dachaufbau von unten nach oben)

- Dampfsperre E- KV Alu
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- 1. Lage Dachabdichtung E-KV sk
- 2. Lage Dachabdichtung wurzelfest E-CU
- Dachauflast Gründachaufbau

### **Dachelement Modul 4**

2 Sensoren, 2 Einbringöffnungen  
(Dachaufbau von unten nach oben)

- Dampfsperre E- KV 4mm
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- 1. Lage Dachabdichtung E-KV 4mm sk
- 2. Lage Dachabdichtung E-KV 5mm
- Dachauflast Kies

**Dachelement Modul 5**

2 Sensoren, 2 Einbringöffnungen  
(Dachaufbau von unten nach oben)

- Dampfsperre E- KV 4mm
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- 1. Lage Dachabdichtung E-KV 4mm sk
- 2. Lage Dachabdichtung E-KV 5mm

**Dachelement Modul 6**

3 Sensoren, 2 Einbringöffnungen, 1 Rohr  
(Dachaufbau von unten nach oben)

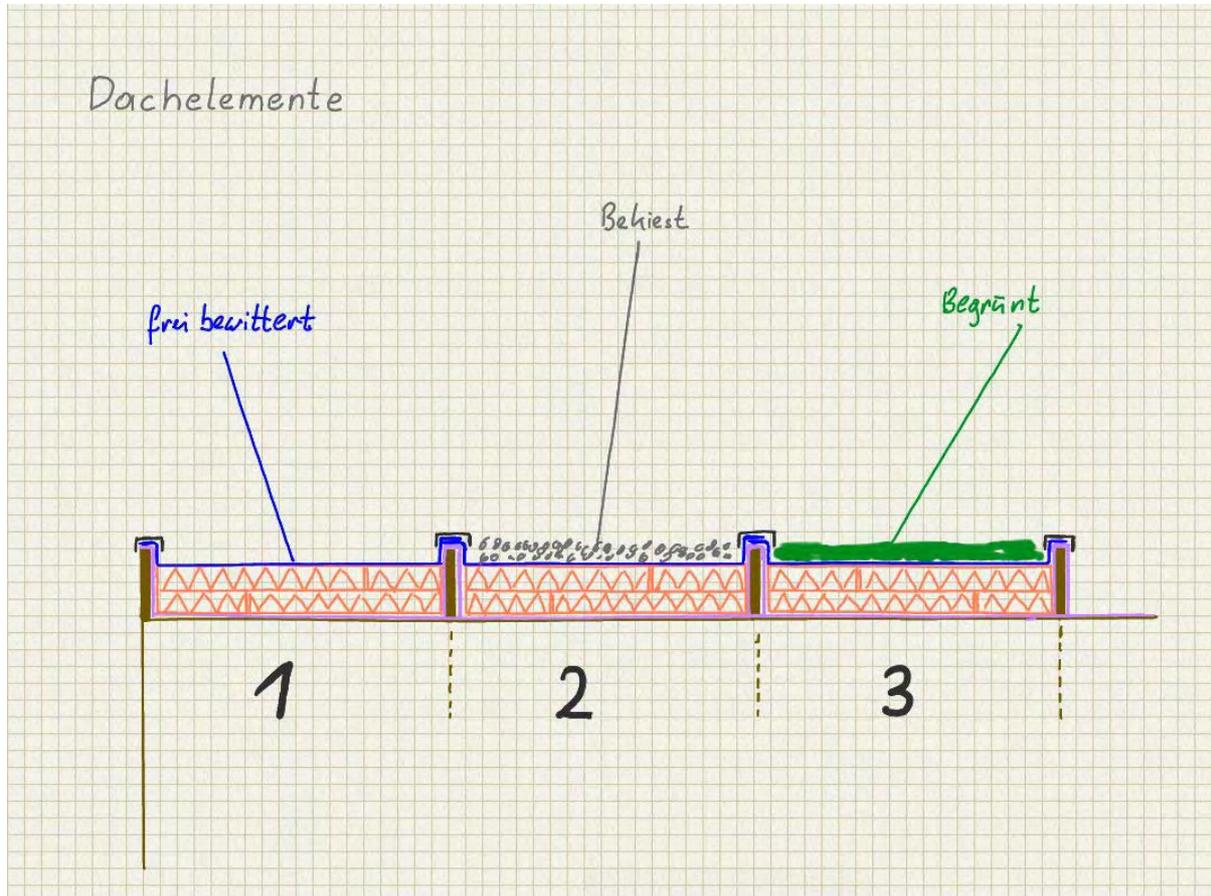
- Dampfbremse PAE Folie 0,2mm
- Wärmedämmung EPS W 20 Dicke 20 cm
- einlagige Dachabdichtung FPO 1,8mm
- Dachauflast Kies

**In Summe:**

- 18 Sensoren
- 16 Einbringöffnungen
- 2 Kontrollrohre (z.B. Bauder)

Die Einzelfelder der Dachkonstruktion müssen untereinander wasserdicht und strömungsdicht (gilt sowohl für die Dampfsperre als auch für die Dachabdichtung) verbunden respektive verklebt werden.

#### Skizze 14



## 14 AUFBAU EINES 1:1 PRÜFMODELLS INKL. ANTENNE SOWIE INSPEKTIONSÖFFNUNG UND SENSOREINHEIT

### Geplante Konfiguration des Kubuses vor Projektbeginn:

- *Jedes Dachmodul hat eine Größe von  $\approx 6 \text{ m}^2$  aufzuweisen wodurch repräsentative und praxisgerechte Messergebnisse ermittelt werden können.*
- *Wand- und Bodenelemente sind wärmezudämmen*
- *luftdicht (Konvektion) verschlossene Holzriegelkonstruktion*
- *Kubusinnenatmosphäre muss klimatisierbar sein*  
*Vorläufige Werte für Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit:*  
*Sommer: Lufttemperatur: 22°C, Luftfeuchtigkeit: 65%*  
*Winter: Lufttemperatur: 24°C, Luftfeuchtigkeit: 50%*
- *Ideale Ausrichtung der Dachfläche:*  
*Traufe: Richtung Süden*  
*First: Richtung Norden*

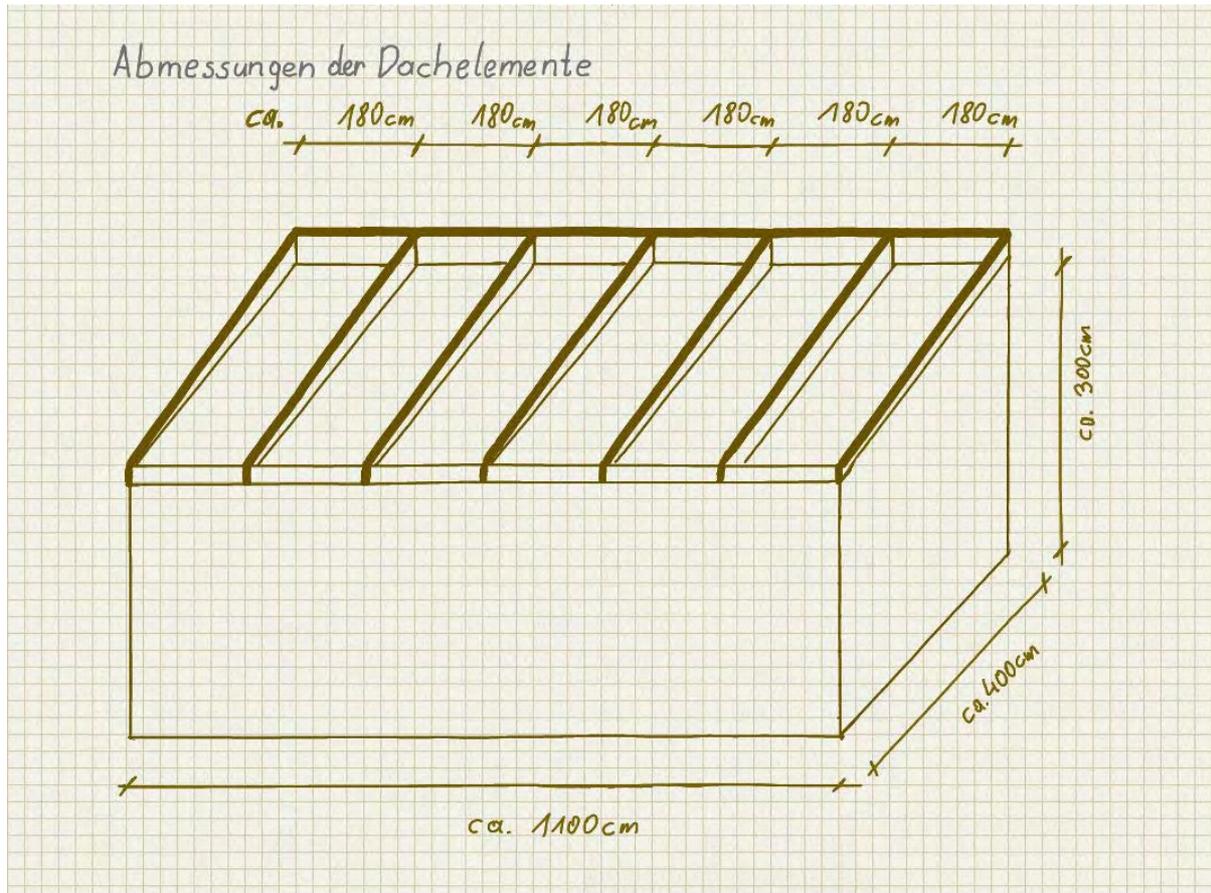
### Tatsächliche Konfiguration des Kubuses:

Die konstruktiven Anforderungen an den Forschungskubus waren eine einfache und schnelle Montage vor Ort zu gewährleisten. Anstatt der Holzriegelkonstruktion wurden für die Decken- und Wandelemente 12 cm und für die Bodenelemente 16 cm dicke Brettsperrholzplatten verwendet. Das Flachdach wurde in insgesamt 6 Module aufgeteilt, wo jedes Dachmodul durch eine Z-förmig gekantete Metallkonstruktion umschlossen wurde. Die einzelnen Dachmodule unterscheiden sich im Dachschichtenaufbau und/oder in den verwendeten Dachabdichtungsbahnen und/oder Dampfsperren/Dampfbremsen. Lediglich die Wärmedämmung bestand immer aus EPS W20. Um ein für die Micro Monitoring Sensoren repräsentatives Messverfahren sicherzustellen muss mittels einer Elektroheizung (im Winter) ein geeignetes Rauminnenklima im Kubusinneren erzeugt werden. Fassadenaußenseitig kommt ein hinterlüftetes, wärmegeprägtes Fassadensystem zur Anwendung. Türe und Fenster wurden mit geeignetem Wärmedämmwert ausgewählt und konvektionsdicht in die Holzwandkonstruktion eingebaut.

### 14.1 Kubus- Grundriss / Dachdraufsicht

- Boden, Wände, Decke aus Brettsper Holz
- 6 Dachabschnitte-Module
- Vorgehängte Fassade

#### Skizze 15

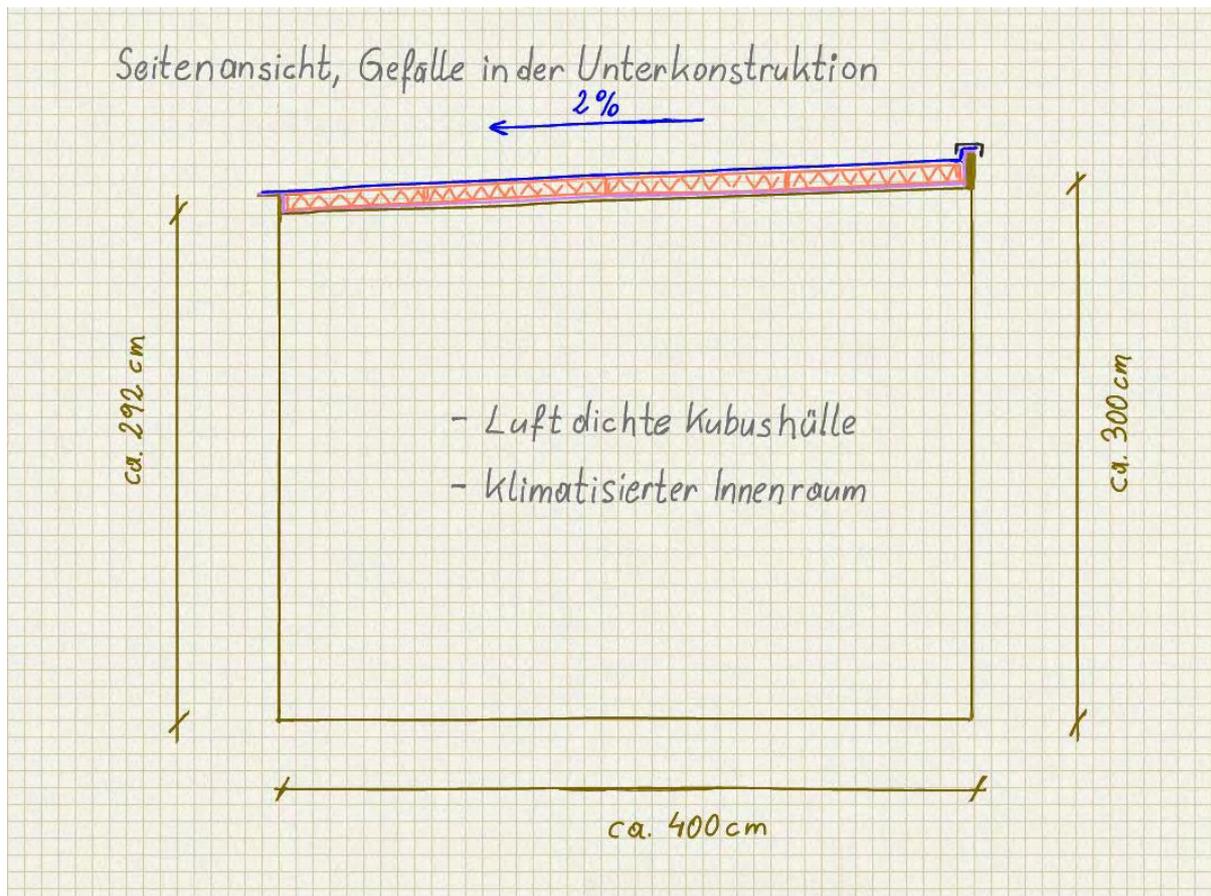


## 14.2 Kubus-Seitenansicht

Die je nach Dachmodulaufbau unterschiedlichen Dampfsperribahnen werden jeweils in der Fläche und am Hochzug verlegt.

Die Dachkonstruktion wird in der Dampfsperreebene mit einem Gefälle von 2% geneigt hergestellt, demnach kommt keine Gefällewärmedämmung zur Anwendung.

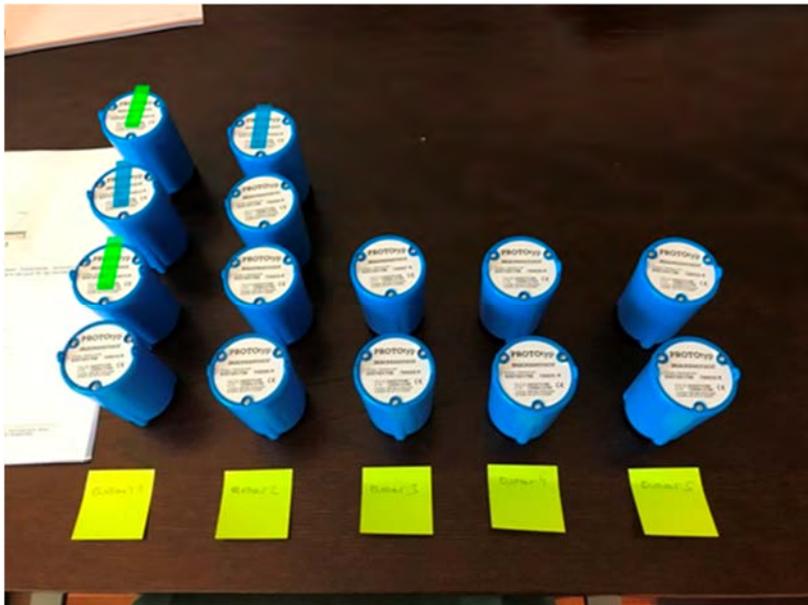
### Skizze 16



### 14.3 Sensor-Prototypenbau

Die Sensorprototypen sind bereits für den Serieneinsatz geeignet. Im vorliegenden Forschungskubus wurden Sensoren mit aufgeklebten Schildern, wo die Bezeichnung Prototyp vermerkt wurde, verwendet.

**Abb. 6**



#### 14.4 Position der Sensoren im Dachaufbau des Kubus

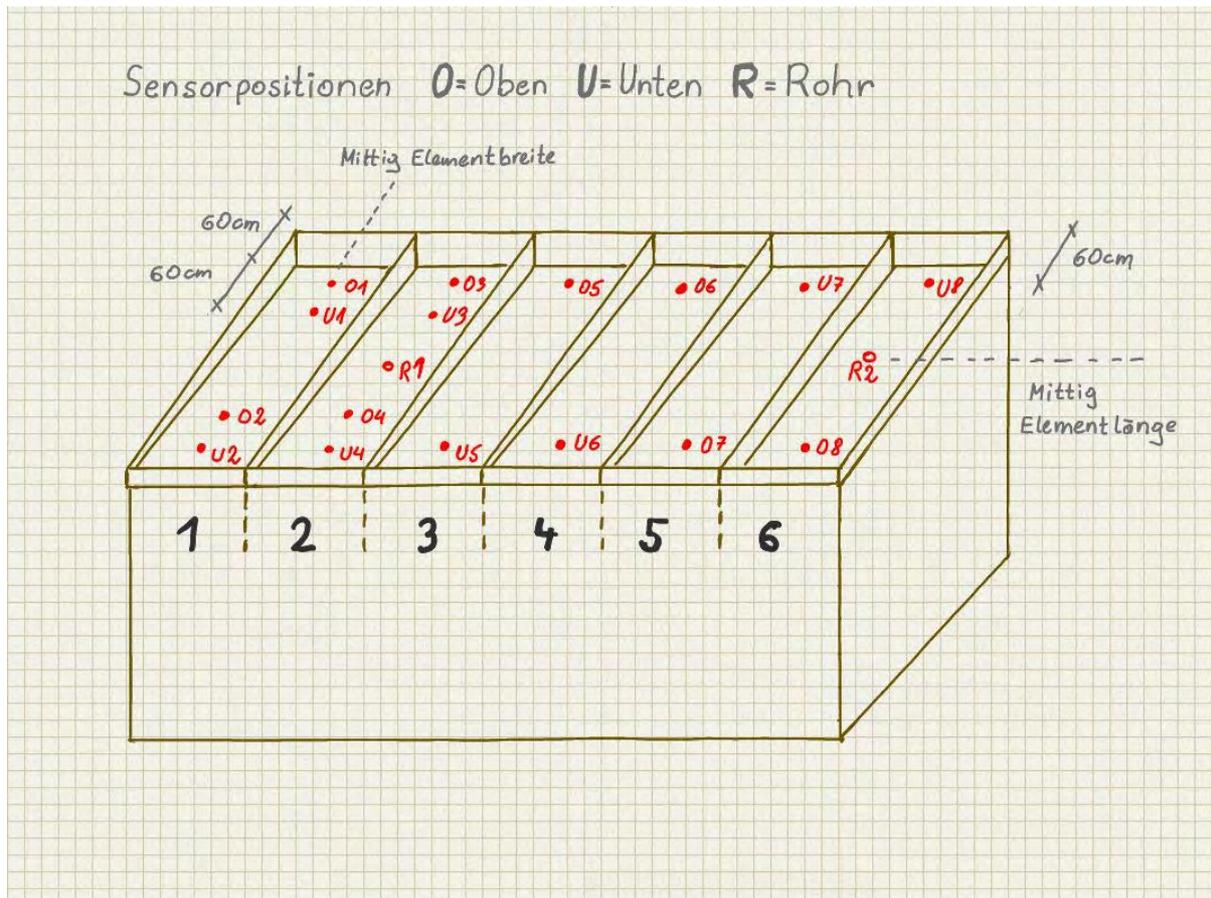
O = Sensorposition OBEN (siehe auch Skizze Kubus 5)

U = Sensorposition UNTEN (siehe auch Skizze Kubus 6)

R = Sensorposition unten im ROHR (siehe auch Skizze Kubus 7)

O1 = Sensor Nr. 1 mit Position Oben

#### Skizze 17



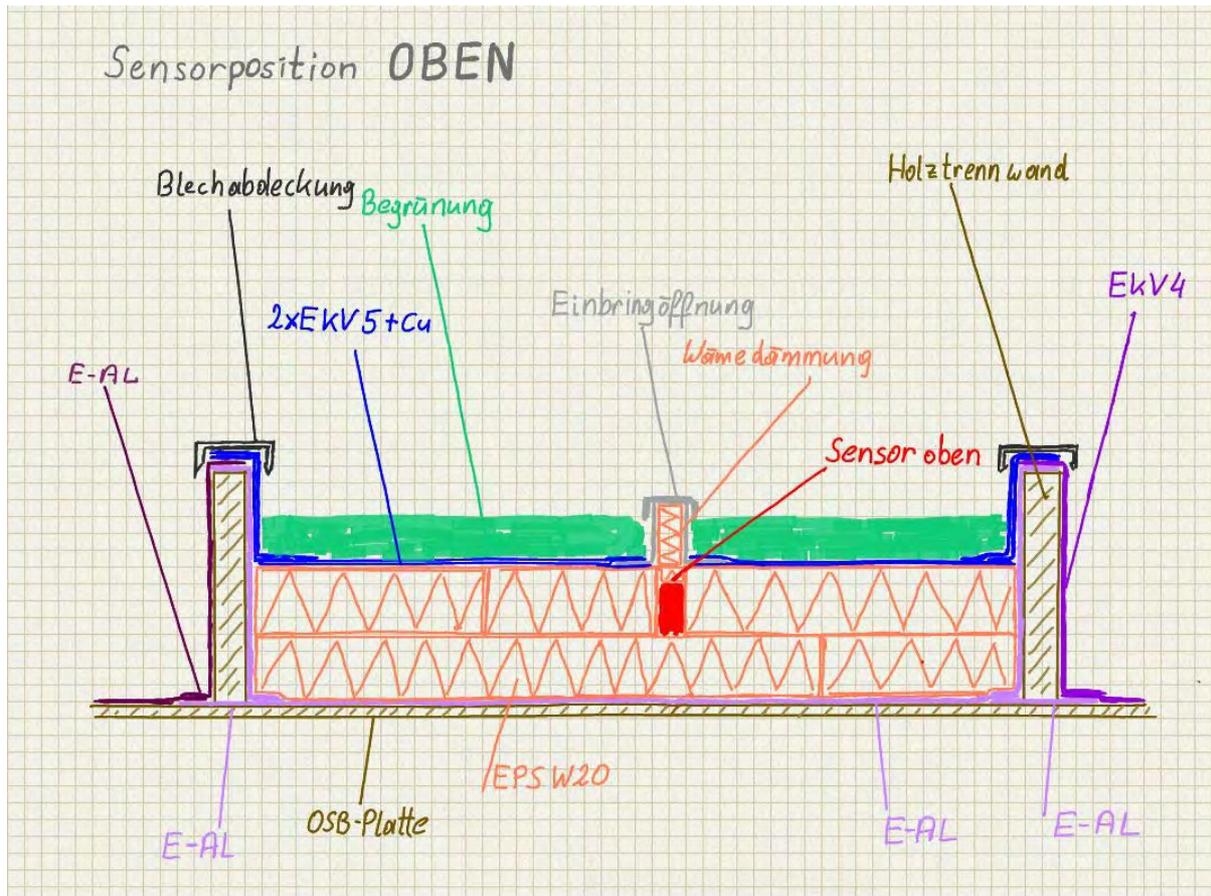
Exemplarische Darstellung, gilt sinngemäß auch für alle übrigen Dachaufbauten.

Strömungsdichte Verarbeitung der Dampfsperre und Dachabdichtung unbedingt notwendig!

Unterhalb den Holztrennwänden muss immer ein Streifen Elastomerbitumen E-AL verlegt sein!

Die Micro Monitoring Sensorfüße stehen auf der unteren EPS – Dämmplattenoberfläche.

### Skizze 18



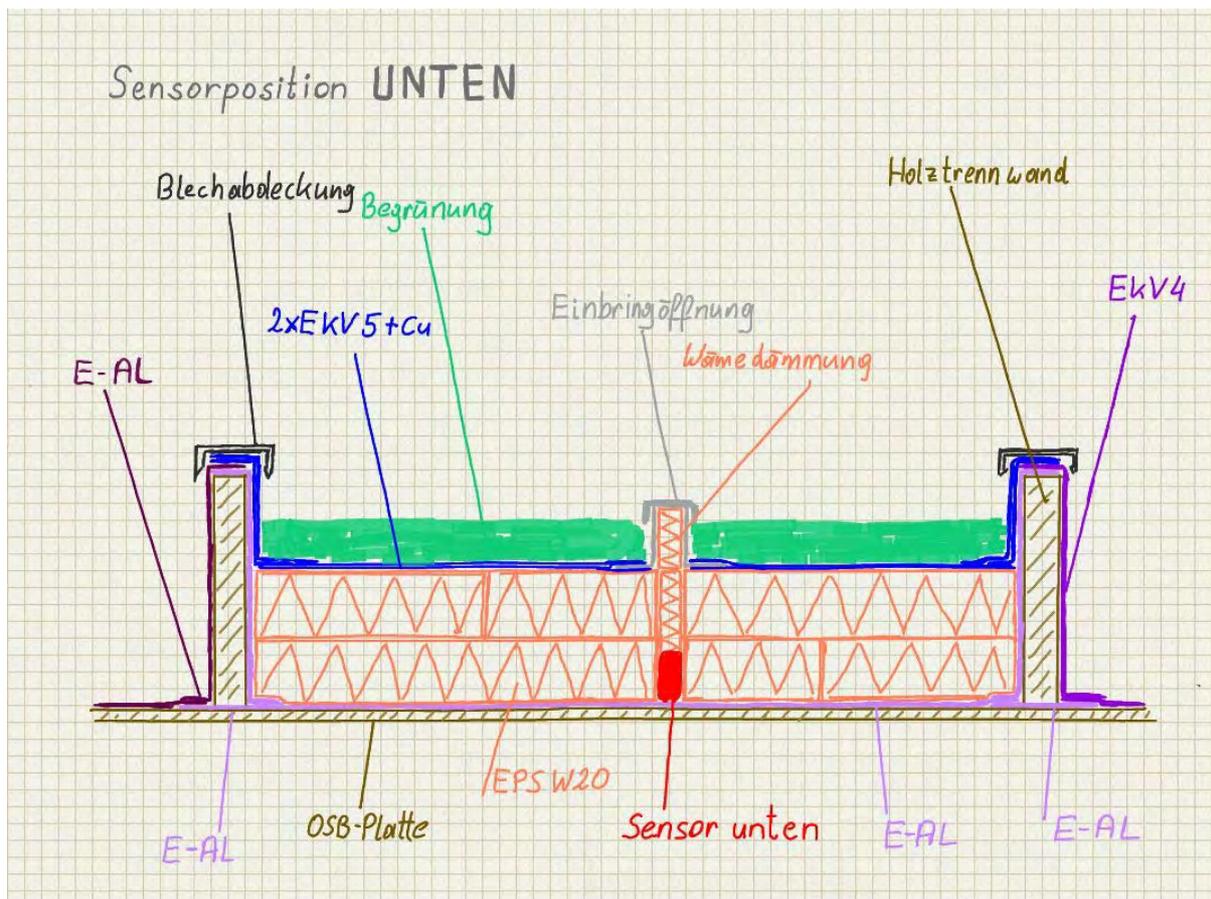
Exemplarische Darstellung, gilt sinngemäß auch für alle übrigen Dachaufbauten.

Strömungsdichte Verarbeitung der Dampfsperre und Dachabdichtung unbedingt notwendig!

Unterhalb den Holztrennwänden muss immer ein Streifen Elastomerbitumen E-AL verlegt sein!

Die Micro Monitoring Sensorfüße stehen auf der Dampfsperroberfläche.

### Skizze 19



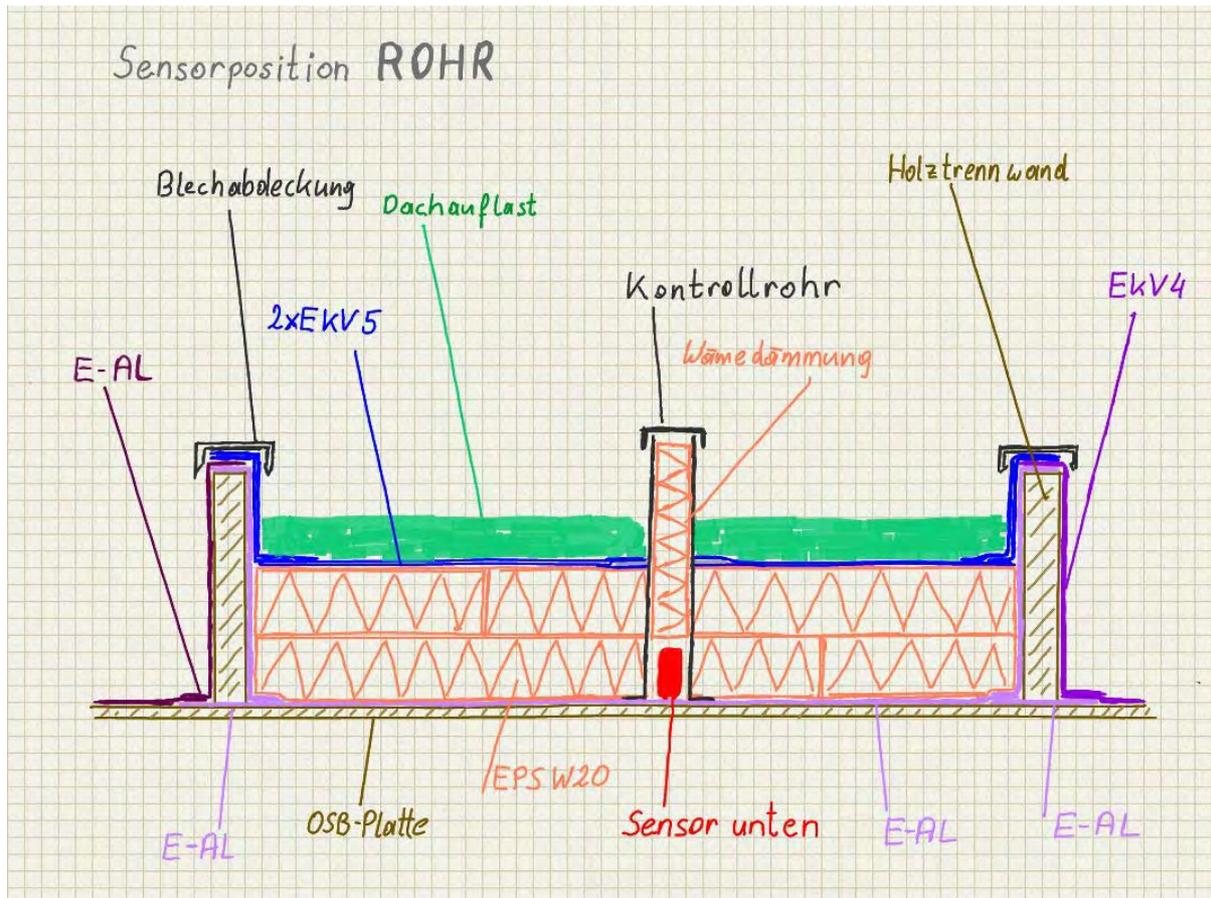
Exemplarische Darstellung, gilt sinngemäß auch für alle übrigen Dachaufbauten.

Strömungsdichte Verarbeitung der Dampfsperre und Dachabdichtung unbedingt notwendig!

Unterhalb den Holztrennwänden muss immer ein Streifen Elastomerbitumen E-AL verlegt sein!

Das Kontrollrohr reicht bis zur Dampfsperroberfläche auf der auch die Micro Monitoring Sensorfüße stehen.

### Skizze 20



## 14.5 Standort des Kubuses

Der Kubus wurde am Gelände der Firma Pasteiner GmbH, Tiroler Straße 6 in 3105 St. Pölten errichtet. Die Dachfläche des Kubuses wird durch keine angrenzenden Bauwerke verschattet. Seehöhe 283 m.

**Abb. 7**



## 14.6 Kubus Montage

Die Lieferung und Montage des Holz Kubuses erfolgte in der Lohnwoche 21 im Jahr 2017.

In den Monaten Juni bis September 2017 erfolgte die Herstellung der:

- Dachmodulaufbauten
- hinterlüfteten Fassade
- Fenster und Tür
- Heizung
- Bestückung der Dachmodule mit den Sensoren

**Abb. K1**

Der Forschungskubus wurde im Mai 2017 geliefert und am Gelände der Firma Pasteiner GmbH errichtet. Als vorübergehender Witterungsschutz wurde die Dachkonstruktion mit einer Plane abgedeckt.

#### Abmessungen

Länge: 1100cm  
Breite: 400cm  
Höhe: 300cm

**Abb. K2**

Die mechanische Befestigung der Schutzplane mittels Holzstreifen stellte eine windsichere Verankerung dar.

**Abb. K3**

Innenansicht des gelieferten Forschungskubuses.

**Abb. K4**

Dicke der Brettsperrholzwände und Decke 12 cm. Die Verbindungsfuge zwischen den Wandelementen wurde mit Dichtstoffen verschlossen.

**Abb. K5**

Die Dicke der Fußbodenkonstruktion betrug 16 cm. Die Fuge zwischen Wand- und Fußboden- sowie Deckenkonstruktion wurde mit geeigneten Dichtmitteln strömungsdicht verschlossen.

**Abb. K6**

Die Dachfläche des Forschungskubuses wies ein Gefälle von 2% vom Dachfirst zur Dachtraufe (Leiter im Bild) auf.

**Abb. K7**

Der erste Arbeitsschritt war, die Dachoberfläche zu reinigen und die unterschiedlichen Dampfspermaterialien auf die Dachfläche befördert.

**Abb. K8**

Ansicht der Dachtraufe (Tiefpunkt) vor der Verlegung der unterschiedlichen Dampfsperbahnen.

**Abb. K9**

Die Traufe der Kubusdachkonstruktion war Richtung Südwesten ausgerichtet.  
Der genaue Standort Lat 48°26'10N'' Lon 15°68'49E''. Seehöhe 283 m.

**Abb. K10**

Aufflämmen einer Lage E-KV-4 als Dampfsperre im Dachmodul Nr. 4.

Abb. K11



Die Dampfsperre wurde mit einem Gasflämmer weitestgehend vollflächig am Holzuntergrund aufgeflämmt. Die Verbindung zwischen der Dampfsperre E-KV-4 des Dachmoduls Nr. 4 mit der Dampfsperre E-KV-4 AL vom Dachmodul Nr. 3 war als *konvektionsdicht verklebt* zu bezeichnen.

Abb. K12



Die Breite der applizierten bituminösen Dampfsperrlage (E-KV-4 oder E-KV-AL) betrug  $\approx 90$  cm. Die fabrikmäßig ausgelieferte Rollenbreite betrug 100 cm. Die Bitumendampfsperrenbahnen wurden überlappend mit einer Nahtüberdeckung von 10 cm mit der benachbarten Dampfsperrenbahn verklebt.

**Abb. K13**

Die Überlappung zwischen den einzelnen Dampfsperrbahnen betrug 10 cm. Am Dampfsperrrand war augenscheinlich deutlich ein Bitumenmassenausstritt zu erkennen, was auf eine funktionstaugliche Verbindung beider Dampfsperrbahnenlängsränder schließen lässt.

**Abb. K14**

Vom First zur Traufe konnte der Gefälleverlauf der Dampfsperroberfläche mit 2% gemessen werden.

**Abb. K15**

Im Dachrandbereich sowie zwischen den einzelnen Dachmodulen wurden 40 cm hohe Metall-Z-Profile montiert.

**Abb. K16**

Blechdicke des Metallprofils 1 mm.

**Abb. K17**



Höhe des Z-förmig gekanteten Metallprofils 40 cm.

**Abb. K18**



Obere Breite des gekanteten Blechstreifens ~15 cm.

Abb. K19



Untere Breite des Metallstreifens  $\sim 12$  cm. Dieser Winkel stellt gleichzeitig den Klebeflansch für die Dampfsperre dar.

Abb. K20



Als Dampfbremse wurde im Dachmodul Nr. 6 eine PE-Baufolie der Firma Coreth in einer Dicke von 0,2 mm verlegt.

**Abb. K21**

Vor der Applikation der PE-Baufolie (Dampfbremse) wurden im Dachrandbereich des Dachmoduls Nr. 6 sowie im Dachmodulmittenbereich 2 Streifen eines doppelseitig klebenden Klebebands aufgebracht. Somit konnte die PE-Folie am Untergrund fixiert werden und war weitestgehend windgesichert.

**Abb. K22**

Aufkleben des doppelseitigen Klebebandes auch auf die im Dachmodul Nr. 5 befindliche E-KV-4 Dampfsperrbahn. Zu beachten war, dass zwischen PE-Folie (Dampfbremse) Dachmodul Nr. 6 und bituminöser Dampfsperre (E-KV-4) Dachmodul Nr. 5 eine konvektionsdichte Verbindung hergestellt wird.

**Abb. K23**

Die Applikation der PE-Folie erfolgte direkt auf der Holzdeckenoberfläche. Damit die Verklebung zwischen doppelseitigem Klebeband und der PE-Folie erfolgen konnte, musste vom Klebeband der Schutzstreifen entfernt werden.

**Abb. K24**

Am Dachrandbereich war die PE-Folie ~ 15 cm auf die Wandoberfläche tiefgezogen und mit einem doppelseitigen Klebeband verklebt worden.

**Abb. K25**

Im Bildvordergrund ist Dachmodul Nr. 6 mit der 0,2 mm dicken PE-Dampfbremse zu erkennen. Anschließend folgt Dachmodul Nr.5, dann Dachmodul Nr. 4, Dachmodul Nr. 3, Dachmodul Nr. 2 und Dachmodul Nr. 1.

**Abb. K26**

An sämtlichen traufenseitigen Dachmodulrändern wurden die Dampfsperrbahnen  $\approx 30$  cm tiefgezogen und provisorisch mit der Wandkonstruktion verklebt. Im Zuge der weiteren Fassadenmontage erfolgte eine Kürzung der Dampfsperrtieflüge.

**Abb. K27**

Exemplarisch dargestelltes Z-förmig gekantetes Metallprofil welches am Dachrand montiert war. Dieses Z-förmige Dachrandprofil stellt auch einen Teil der Dachrandattikakonstruktion dar.

**Abb. K28**

Innenansicht des Forschungskubuses mit bereits eingebauten Kunststofffenstern.

**Abb. K29**

Weitere Innenansicht des Forschungskubuses mit bereits eingebauten Kunststofffenstern und Kunststofftür.

**Abb. K30**

Die Kunststoffenster wurden rauminnenseitig konvektionsdicht mit der Holzwandoberfläche verklebt.

**Abb. K31**

Typenbezeichnung der Kunststoff-Fensterprofile:

- Winkhaus TL1
- GAK7/10
- G210
- FFH
- 460-710
- U-Wert 1,1 W/m<sup>2</sup>K
- 2 x VSG Glas
- Montage gem. ON B5320

**Abb. K32**

Montage an der südseitigen Kubuslängsfront der vertikalen Grundprofile für die Fassadenkonstruktion.

**Abb. K33**

Darstellung der fertiggestellten senkrechten Metallprofile mit einem Abstand zueinander von  $\approx 110$  cm. Diese Metallprofile stellen die Unterkonstruktion der hinterlüfteten Fassade dar.

**Abb. K34**

Am traufenseitigen Dachrandbereich wurde als obere Abdeckung der Fassadendämmplatten auf die Dachkonstruktion ein auskragendes Winkelblech montiert.

**Abb. K35**

Um den Fenster- und Türrahmen wurden Metalllaibungsprofile, passend zum hinterlüfteten Fassadensystem montiert.

**Abb. K36**

Diese Abbildung zeigt die untere Begrenzung des hinterlüfteten Fassadensystems.

**Abb. K37**

In dieser Detaildarstellung ist das unterste Begrenzungsprofil der hinterlüfteten Fassade erkennbar. Die schlitzförmigen Ausnehmungen stellen die Zuluftöffnungen der hinterlüfteten Fassade dar.

**Abb. K38**

An den Kubusbreitseiten wird die hinterlüftete Fassade bis zur Attikaoberkante fortgeführt.

**Abb. K39**

Detailansicht von Abbildung 34. Herstellen der traufenseitigen Dachflächenauskragung als obere Begrenzung für das hinterlüftete Fassadensystem.