



APPLICA-THEMA

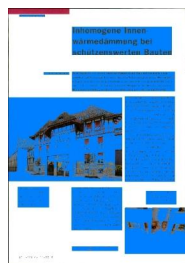
## Inhomogene Innen- wärmedämmung bei schützenswerten Bauten

Zwei Gebäude von hohem denkmalpflegerischem Wert sollten saniert und erweitert werden sowie den energetischen Anforderungen an den Wärmeschutz entsprechen. Der nachfolgende Beitrag aus dem ISK-Tagungsband 2017 ist in zwei Teile gegliedert: Erfahrungen aus der Bauphase und Auszüge aus einem Monitoring zur Erfassung der Temperatur sowie der relativen Luftfeuchte.

Text Roger Blaser Zürcher



Aussenansicht des  
Haupteingangs des Adolphe  
Merkle Institute der  
Universität de Fribourg.  
(Bild: Rainer Sohlbank)



Autor Roger Blaser Zürcher aus Kiesen BE ist Prof., Dipl.  
Arch., Dipl. Baul., Bauphys. M. BP

Im Jahre 2012 wurden in Fribourg zwei Gebäude von hohem denkmalpflegerischem Wert mittels Um- und Ausbau für eine neue Nutzung saniert und mit einem Neubau erweitert. Aufgrund kantonalen Vorschriften und Vorgaben der Bauträgerin *Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions* (DAEC) mussten die damaligen energetischen Anforderungen an den Wärmeschutz erfüllt werden.

Seitens des beauftragten Architekturbüros wurden die hieraus erforderlichen Wärmedämmmassnahmen als Innenwärmedämmung angedacht, damit den Aspekten und Forderungen der Denkmalpflege und schlussendlich auch der Nutzerin *Adolphe Merkle Institute der Université de Fribourg* Rechnung getragen werden konnte.

Aufgrund der bestehenden Bausubstanz an den Aussenwänden mit unterschiedlichen Konstruktionen und unebenen raumseitigen Oberflächen wurde eine inhomogene Innenwärmedämmung in Glaswolle geplant. Die Geschosstrenndecken waren in einer Holzbalkenlage mit stark differenzierenden Aufbauten (unter anderem mit/ohne schwimmenden Estrichen) gegeben. Aufgrund statischer Anforderungen und einer partiellen biogenen Schädigung mussten Teilbereiche der Balkenlagen der Geschosstrenndecken durch Stahleinlagen nachgebessert werden. Im Bereich der obersten Geschosstrenndecke erwies sich die Einbindung der Steildachkonstruktion, die im Fusspunkt teilweise bis in die Geschosstrenndecke geführt wurde, als erschwerend.

Aufgrund des baulichen Fortschrittes und der Jahreszeit konnten keine bauphysikalischen Messungen zur Bildung von Beurteilungsparametern oder Festlegung der Planungsrandbedingungen ausgeführt werden.

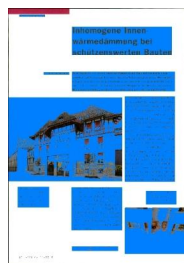
Um die Gefahr einer Durchfeuchtung des Bauteils innerhalb der Konstruktion zu vermeiden, müssen Bauteile, die verschiedene Luftzustände voneinander trennen, hinsichtlich unterschiedlicher Feuchtetransportvorgänge untersucht werden. Die damaligen normativen Anforderungen fokussierten sich hierbei auf Diffusionsströme.

#### **Bauphysikalische Ausgangslage**

Aus physikalischer Sicht mussten jedoch die Wärme- und Feuchtetransportvorgänge gekoppelt betrachtet werden. Die Grundlagen hierfür liegen in den physikalischen Randbedingungen beider Vorgänge. Das sind:

- gegenseitige Beeinflussung von Wärme- und Feuchtetransport
- Veränderung der Wärmeleitkoeffizienten je nach Feuchtezustand
- zusätzliche Wärmespeicherung in feuchten Baustoffen (Enthalpiezuwachs),
- Enthalpieströme durch Flüssigwassertransport in Kapillaren
- Enthalpieentzug oder Enthalpiezunahme durch Phasenänderung
- Änderung der Transportkoeffizienten aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Oberflächenspannung und Viskosität.

Die Berechnungen wurden mit dem Wufi-Berechnungsmodell erstellt (Wufi steht für «Wärme und Feuchte instationär»), herausgegeben vom Fraunhofer Institut



für Bauphysik.

## **Berechnungen der Aussenwände**

Für die Berechnungen der Aussenwände wurden die Erkenntnisse aus der örtlichen Inaugenscheinnahme und die Kennwerte aus dem Wärmeschutznachweis berücksichtigt. Da keine präzise Definition der jeweiligen Konstruktionen möglich war, berechnete man verschiedene Varianten zur Ermittlung des Istzustandes.

In einem weiteren Berechnungsschritt wurden unterschiedliche Materialien für die raumseitige Wärmedämmung berücksichtigt. Selbstverständlich erfolgte unter Berücksichtigung der jeweiligen Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffes eine Anpassung der Bauteilstärke, sodass die Anforderungen aus dem bewilligten Wärmeschutznachweis erfüllt werden konnten. Die Wärmedämmstärken wurden von 16 bis 30 cm berücksichtigt. Den Aufbau der schlussendlich ausgeführten Innenwärmedämmung zeigt die Skizze auf der Seite 27 oben auf. Der Schichtenaufbau (von innen nach aussen) kann wie folgt aufgeführt werden:

- 1. Gipsfaserplatte, 12,5 mm
- 2. Gipsfaserplatte, 12,5 mm
- 3. feuchteadaptive Dampfbremse
- 4. Wärmedämmung zwischen Metallständern, 100 mm
- 5. Wärmedämmung hinter Metallständer, > 60 mm
- 6. Innenputz, 20 mm
- 7. Mauerwerk, in der Stärke differenzierend,
- 8. Aussenputz, 20 mm.

Anhand der Grundlagenbearbeitung konnte definiert werden, dass beim Ge-

bäude A die Nord-Nordost-Orientierung die kritische Ausrichtung darstellt. Beim Gebäude B lag diese bei der Nordwest-Orientierung.

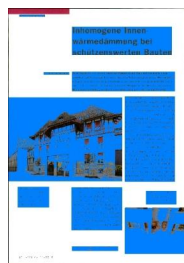
In einem weiteren Schritt musste sichergestellt werden, dass die Fassadenoberflächen einen ausreichenden Schlagregenschutz aufweisen. Dies wurde durch ein neues Putzsystem bewerkstelligt, mit dem ein zusätzlicher Feuchteintrag in die Konstruktion ausgeschlossen werden kann.

## **Geschosstrenndeckenaufleger**

Die Einbindung der Holzbalkenlagen in die Aussenwände hat seit jeher für Feuchteschäden in unterschiedlichen Formen, wie teilweise auch bei diesem Objekt, geführt. Im Zuge der verstärkten Wärmedämmmassnahmen, insbesondere bei der raumseitigen Platzierung, haben die Schadensfälle deutlich zugenommen. Ursache hierfür ist in der Regel eine dauerhaft hohe Luft- und/oder Materialfeuchte.

Damit das Austrocknungspotenzial über den berechneten gekoppelten Wärme- und Feuchtetransport genutzt werden kann, muss der Wärmedämmperimeter durch die Ausfachungen der Balkenlage geführt werden. Somit kann eine Temperatursenke an der raumseitigen Oberfläche des Mauerwerks verhindert werden, die ansonsten automatisch zu einem höheren Porenfüllgrad beziehungsweise einer Materialbefeuchtung führen würde.

Raumseitig, das heisst warmseitig der Wärmedämmung, wurde eine Luftdichtigkeitsschicht dauerhaft luftdicht an die Holzbalken angeschlossen. Somit können unkontrollierte Luftströmungen, welche konvektiv Feuchte mit-



führen, verhindert werden. Dies wurde durch die Ausbildung von Manschetten mit feuchteadaptiven Dampfbremsen und einer Verklebung mit Luftdichtigkeitsklebebandern ausgeführt. Die Luftspalten zwischen Mauerwerk und Holzbalken wurden vorgängig sorgfältig geschlossen.

Der nachfolgende Erfahrungsbericht wird in zwei Teile gegliedert. Während sich der erste Teil den Erfahrungen aus der Bauphase widmet, zeigt der zweite Teil Auszüge aus dem fünfjährigen Monitoring von installierten Funksensoren zur Erfassung der Temperatur und der relativen Luftfeuchte im Bauteilquerschnitt.

#### Die Bauausführung

Eine detaillierte Abnahme der raumseitigen Wärmedämmung und der Luftdichtigkeitsschicht in den kritischen Bereichen verschafft eine vergrösserte Sicherheit in Bezug auf Ausführungsfehler. Aufgrund der etappierten Ausführung musste jedoch auf eine Luftdurchlässigkeitsmessung verzichtet werden. Stattdessen wurden Vor-Ort-Begehungen durchgeführt. Dabei konnten einige Ausführungsmängel in Bezug auf Luftdurchlässigkeiten aufgrund unsorgfältiger Arbeitsweise aufgezeigt und eine entsprechende Nachbesserung konnte eingefordert werden. Im Zuge der weiteren Ausführungen wurde eine Sensibilisierung der am Bau Beteiligten festgestellt, wodurch die Ausführungsqualität fortlaufend gesteigert wurde. Trotzdem, und speziell aufgrund der komplexen Bauteilkonstruktionen, mussten bis zum Ende der Bauphase immer wieder Schwachstellen aufgezeigt werden.

#### Das Monitoring

Das Monitoring wurde seitens des Technischen Dienstes des Materiallieferanten Isover Saint-Gobain installiert. Auch die jährliche Datenauslesung erfolgt durch den Technischen Dienst.

Die Messungen werden mittels HL-RC-B-Funk-Datenlogger der Rotronic AG ausgeführt. Die Auslesung der Messwerte erfolgt durch einen entsprechenden USB-Funk-Adapter und wird uns zur Verfügung gestellt.

Die Funk-Datenlogger wurden im Zuge der baulichen Ausführungen verbaut. Sie wurden am 19. Juni 2013 gestartet und der nehmen alle acht Stunden einen Messwert der aktuellen Temperatur und relativen Luftfeuchte. Aufgrund der Installation kann somit eine Aussage zur Temperatur- und Feuchteentwicklung im Bauteilquerschnitt in den letzten vier Jahren erstellt werden. (In den nachfolgenden Messkurven sind erst drei Jahre abgebildet, da eine weitere Messdatenauslesung nach Erstpublikation dieses Berichts erfolgte.)

Die erste Messposition (Messkurve A) befindet sich im Erdgeschoss im Bereich der nordorientierten Aussenwand des Gebäudes A. Im Bauteilquerschnitt liegt die Messsonde in der Bauteilschichtgrenze zwischen dem Innenputz und der ersten Lage der Wärmedämmung (Bauteilschichten 5 und 6 in der Skizze auf Seite 27 oben). Wie den Messkurven (rote Kurve = Temperatur, blaue Kurve = relative Luftfeuchte) entnommen werden kann, liegt die Temperatur in den Sommermonaten für eine kurze Zeitspanne bei etwas mehr als 20 °C



und in den Wintermonaten mehrheitlich über 0 °C. Die relative Luftfeuchte liegt in den Sommermonaten zwischen 60 und 80%. In den Wintermonaten steigt diese auf 85 bis 95%, wobei die 95%-Grenze nicht überschritten wird.

Die zweite Messposition (Messkurve B, Seite 26) befindet sich im selben Gebäude und an derselben Aussenwand, jedoch im ersten Obergeschoss. Die Messposition liegt ebenfalls im Bauteilgrenzbereich zwischen Innenputz und erster Wärmedämmung (Bauteilschichten 5 und 6 in der Skizze auf Seite 27 oben). Im Gegensatz zur Messposition im Erdgeschoss kann im ersten Obergeschoss in der Zeitspanne vom 1. Februar 2015 bis zum 10. April 2015 ein mehrheitliches Überschreiten der relativen Luftfeuchte von 95% festgehalten werden.

Die dritte Messposition (Messkurve C) befindet sich im selben Raum wie die erste Messposition (somit im Erdgeschoss im Bereich des Gebäudes A), jedoch an der westorientierten Aussenwand. Im Bauteilquerschnitt liegt die Messsonde in der Bauteilschichtgrenze zwischen dem Innenputz und der ersten Lage der Wärmedämmung (Bauteilschichten 5 und 6 in der Skizze auf Seite 27 oben). Die westorientierte Aussenwand weist im Erdgeschoss augenscheinlich eine sehr hohe Übereinstimmung (etwas weniger hohe Feuchte) mit der nordorientierten Aussenwand im ersten Obergeschoss auf.

#### Vergleich der Messkurven

Werden die drei gemessenen Klimata (Messkurven A bis C) in den Bauteilkonstruktionen verglichen, so fällt auf, dass

die gemessene Temperatur im Grenzbereich der beiden Bauteilschichten 5 und 6 in der Skizze auf Seite 27 oben eine hohe Übereinstimmung aufweisen. Im Bereich der relativen Luftfeuchte sind jedoch Abweichungen gegeben. Die Differenzen liegen im Sommer und Herbst 2014 und im Frühling, Sommer und Spätsommer 2015 vor.

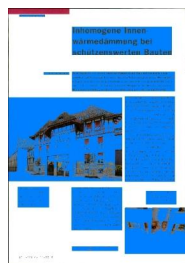
Auffällig ist, dass die nordorientierte Aussenwand im ersten Obergeschoss jeweils die tiefste relative Luftfeuchte und die westorientierte Aussenwand im Erdgeschoss die höchste relative Luftfeuchte aufweist.

#### Das Fazit

Werden die Messdaten aus dem Monitoring mit den Berechnungsergebnissen der gekoppelten Wärme- und Feuchteströme (erstellt mit WUFI des Fraunhofer Institutes für Bauphysik, siehe Grafik oben) verglichen, so kann ausgeführt werden, dass eine hohe Übereinstimmung im Erdgeschoss der nordorientierten Aussenwand gegeben ist.

Anhand der Berechnungs- und Messdaten kann ein nahezu identischer Temperaturverlauf in der Bauteilkonstruktion unabhängig von der Orientierung festgestellt werden.

Bei der relativen Luftfeuchte weisen die drei Messpositionen in unterschiedlichen Zeitspannen Differenzen auf. Wird der Ursache der Feuchtedifferenzen in den Bauteilkonstruktionen (Messwerte) nachgegangen, so kann aufgrund der Orientierung von äusseren Einflüssen (Niederschlag) ausgegangen werden. Damit Niederschläge auf die Aussenwand Einfluss nehmen können, muss eine bedingte Auffeuchtung



im Bereich des Aussenputzsystems gegeben sein. Werden die Niederschlagsmengen für die Zeitspanne von Anfang Sommer 2014 bis 2015 mit denjenigen für den Zeitraum 2016 bis 2017 verglichen (siehe Grafiken auf der linken Seite), so kann eine deutliche Differenz festgestellt werden. Der Bereich der deutlichen Feuchteschwankungen in den Bauteilkonstruktionen liegt im nässeren Jahr, womit die Schlagregensituation angesprochen werden muss.

Werden die Niederschläge in den Berechnungen berücksichtigt, kann eine Steigerung der relativen Luftfeuchte gegenüber dem Idealfall nachgewiesen werden. Diese fällt jedoch deutlich kleiner (keine relative Luftfeuchte von über 95%) aus, als dies in den Messungen gegeben ist. Resultierend muss zusätzlich von Luftdurchlässigkeiten im Bereich der Luftdichtigkeitsschicht ausgegangen werden. Je nach Berücksichtigung von Feuchtequellen in den Berechnungsmodellen kann die gemessene relative Luftfeuchte weitestgehend (mit unwesentlichen Abweichungen) nachgewiesen werden.

Rückblickend kann ausgeführt werden, dass mit den Berechnungen der gekoppelten Wärme- und Feuchtestrome eine praxisnahe Prognose für die Entwicklung der Temperatur und der relativen Luftfeuchte in den Bauteilkonstruktionen erstellt werden konnte. Die Komplexität derartiger Prognosemodelle ist jedoch nicht zu unterschätzen, da nebst der bebauten und unbebauten Umgebung auch die Witterungseinflüsse und die handwerkliche Umsetzung zu berücksichtigen sind.

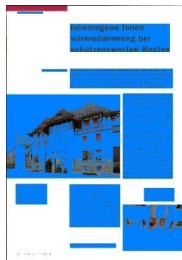
Um derartige Konstruktionen praxisnah simulieren zu können, müssen Luftdurchlässigkeiten mitberücksichtigt werden. Hierzu wird auf <sup>[1]</sup> verwiesen.

**Unproblematische relative Luftfeuchte**  
Schlussendlich bedarf es in der Prognose (wie auch im Zuge eines Monitorings) einer Aussage zur Funktionalität der zu beurteilenden Bauteilkonstruktionen. Für den vorliegenden Fall kann eine relative Luftfeuchte bis zu 95% für die Tragkonstruktion in Holz als unproblematisch taxiert werden. Kritische Holzfeuchten bezüglich biogener Schädigung ab einer relativen Luftfeuchte von 95% sind phasenweise (in Abhängigkeit von der Witterung) gegeben. Aufgrund der kurzen Zeitspanne der extremen Auffeuchtung und der Abtrocknung in den Sommermonaten können die Aussenwände trotzdem als in Ordnung bezeichnet werden.

<sup>[1]</sup> Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (Hrsg.): Leitfaden für hygrothermische Simulationsberechnungen München: Mai 2002 (WTA Merkblatt 6-1-01/D)

Ansicht der Balkenaufleger  
mit statischer Optimierung  
von unten. (Bild: zVg)

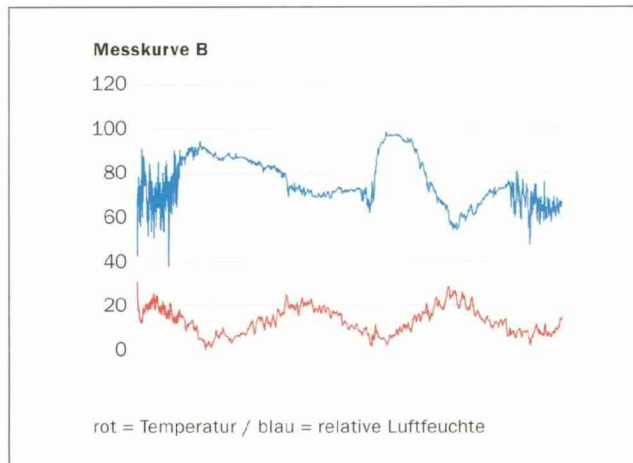
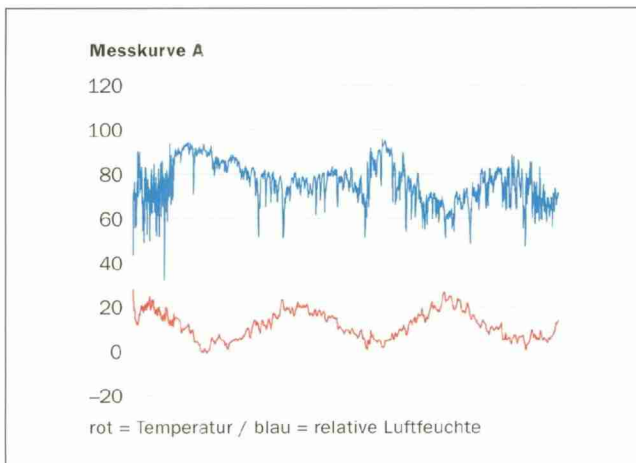


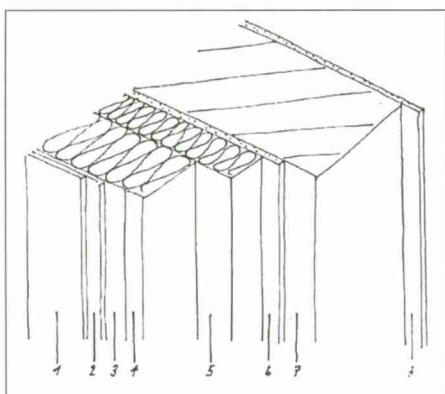


Aussenansicht des  
Nebeneingangs des Adolphe  
Merkle Institute in Fribourg.  
(Bildquelle: www.srf.ch)

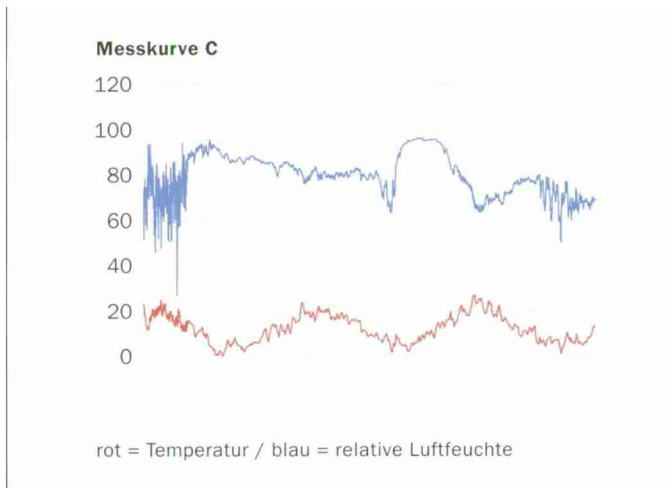
Messkurve A:  
Klimaentwicklung an der  
nordorientierten Aussen-  
wand im ersten Ober-  
geschoss des Gebäudes A  
vom 19.06.2013 bis  
28.06.2016.

Messkurve B:  
Klimaentwicklung an der  
nordorientierten Aussen-  
wand im zweiten Ober-  
geschoss des Gebäudes A  
vom 19.06.2013 bis  
28.06.2016.



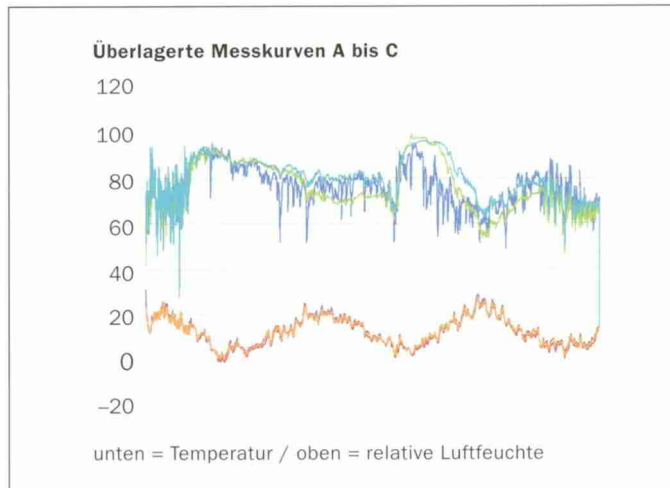


Skizze des ausgeführten  
Aussenwandaufbaus.



Messkurve C:  
Klimaentwicklung an der  
westorientierten Aussen-  
wand im Erdgeschoss  
des Gebäudes A vom  
19.06.2013 bis  
28.06.2016.

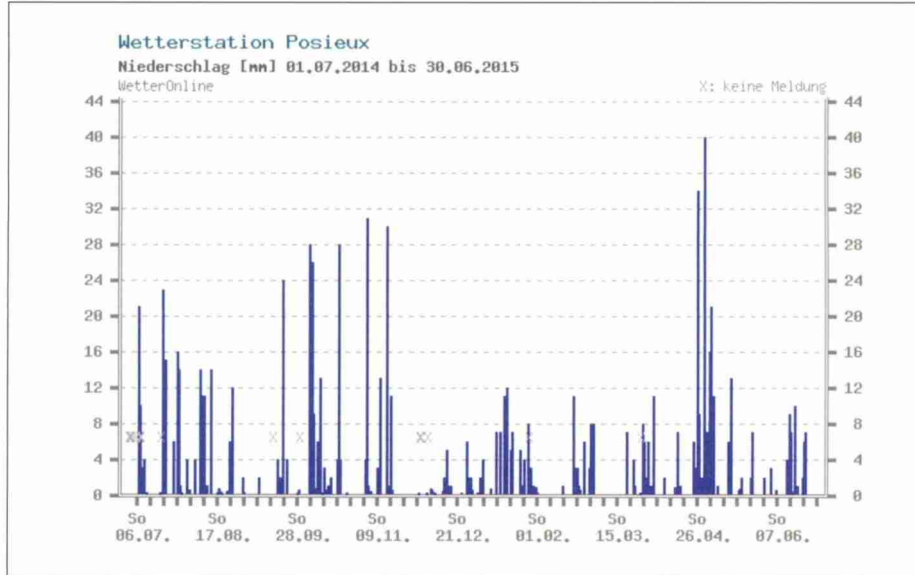
Überlagerte Messkurven  
A bis C: Klimata der drei  
Messpositionen vom  
19.06.2013 bis  
28.06.2016.



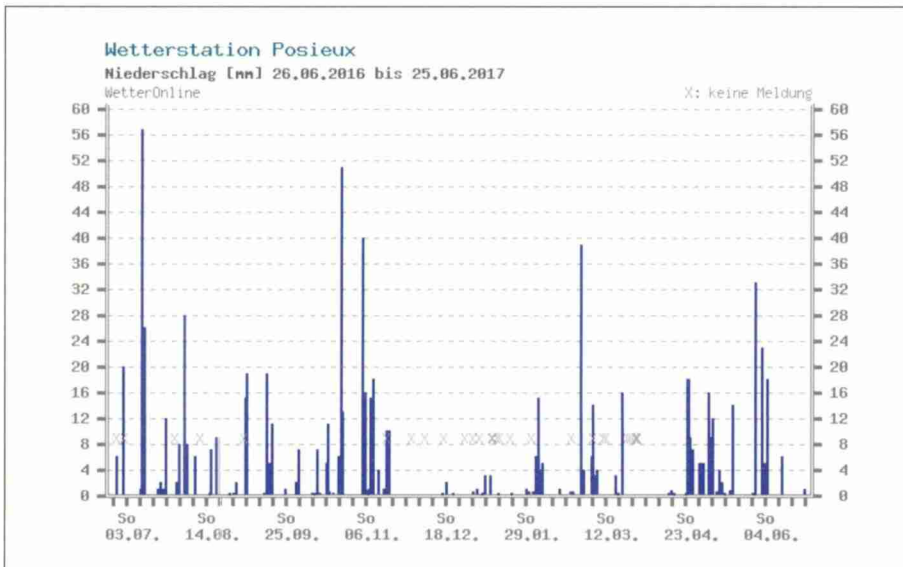


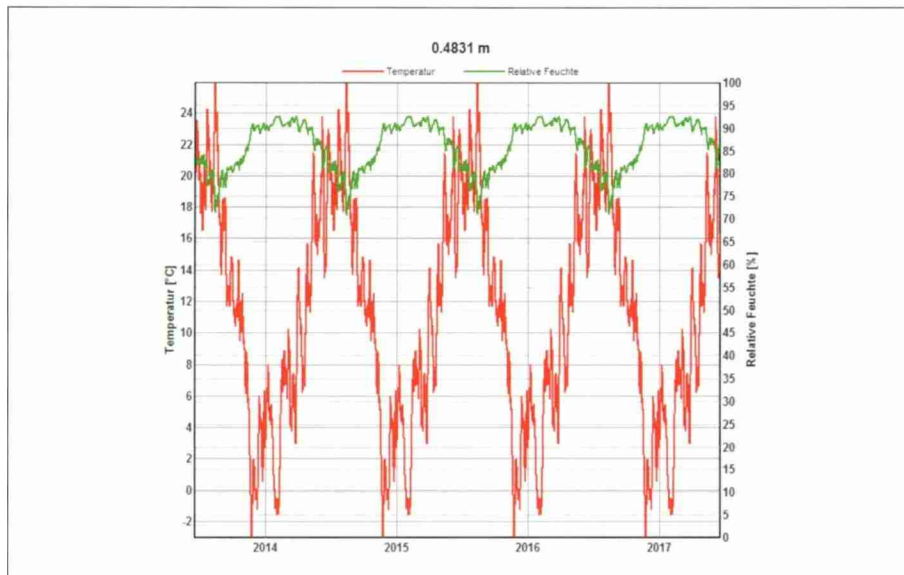
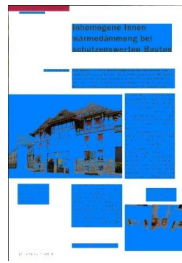


Niederschlagsmenge [mm],  
gemessen an der Klima-  
station Posieux (nahe von  
Fribourg) vom 1.7.2014 bis  
30.06.2015 (Bildquelle:  
www.wetteronline.ch)



Niederschlagsmenge [mm],  
gemessen an der  
Klimastation Posieux vom  
26.06.2016 bis  
25.06.2017 (Bildquelle:  
www.wetteronline.ch)





Berechnungen der zu erwartenden Temperatur (rote Kurve) und relativer Luftfeuchte (grüne Kurve) an der nordorientierten Aussenwand des Gebäudes A mit Start am 19.06.2013 und Ende am 19.06.2017.