# II Konstruktionskatalog

# 0 Übersicht über Wandaufbauten

## 0.1 Grundkonstruktionsvarianten

In den eindimensionalen Simulationen werden überwiegend einschalige Mauerwerke mit dem Wandbildner Altbauziegel getestet. Die Dämmsysteme werden in drei handelsüblichen Dicken mit jeweils zwei oder drei häufig vorkommenden Dicken für den statisch tragenden Wandbildner kombiniert. Punktuell kommen bei identischen Dämmvarianten andere tragende Baumaterialien zum Einsatz wie z.B. ein Norm-Vollziegel aus den 80-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts oder ein (künstlichen) Kalksandstein berechnet.

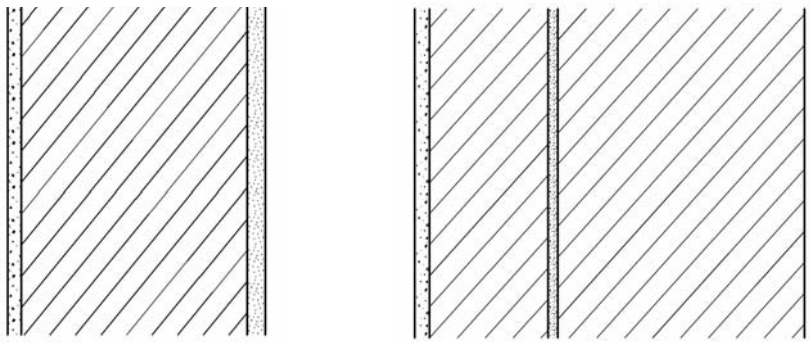


*Abb. 0.1: Schematischer Aufbau der bestehenden, ungedämmten Grundkonstruktion: Links mit einer Steinlänge (1 SL) beidseitig verputzt, rechts mit 1½ Steinlängen (1½ SL) außenseitig unverputzt*

Bei nur geringen Änderungen von sonst identischen Konstruktionen, z.B. nach dem Austausch des Dämmmaterials oder dem Hinzufügen einer hygrisch „dichten" Schicht Kunstharzputz, wurde nicht immer jede der oben beschriebenen Varianten durchexerziert, sondern nur „typische" Dicken, d.h. die geringste Mauerdicke mit der dünnsten Dämmdicke, eine Konstruktion mit einer mittleren Mauer- und Dämmschichtdicke sowie die breiteste Wanddicke mit der dicksten Dämmschichtdicke. In solchen Fällen wird immer auf die „Ursprungsvariante" oder ähnliche Konstruktionen am Ende der Besprechungsblätter verwiesen.

Bewusst werden Konstruktionsvarianten untersucht, die den Mindestwärmewiderstand oder andere Forderungen wie die der *EnEV* nicht erfüllen. Auf diese Weise kann dargestellt werden, wann der Einsatz eines fortgeschritteneren Verfahrens für einen sicheren Nachweis der Gebrauchstauglichkeit notwendig ist und wann eine Konstruktion tatsächlich nicht ausgeführt werden sollte. Zudem kommt es immer wieder vor, dass auf Grund von baupraktischen Einschränkungen Minimalforderungen wie der Mindestwärmewiderstand nicht erfüllt werden können, sodass auch problematische Konstruktionen ausgeführt werden. Immer wieder müssen derartige kritische, in der Vergangenheit ausgeführte Wand- und Dachaufbauten nachträglich bewertet werden.

# 0 Übersicht über Wandaufbauten

Im Besprechungsteil werden sanierte Konstruktionsvarianten mit der ungedämmten Wand verglichen. Diese ungedämmte Wand besteht nur aus dem Wandbildner, also Altbauziegel, Kalksandstein, etc., und gegebenenfalls einer vertikalen Mörtelschicht sowie Innen- und eventuell Außenputz. Bei den gedämmten Varianten wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass der alte Innenputz erhalten bleibt und lediglich überputzt wird. Da Außenputz höheren Belastungen ausgesetzt ist und weniger aufwändig zu entfernen ist, wurde hier angenommen, dass dieser im Laufe der Zeit ersetzt wurde. In fast allen Simulationen kommt deshalb derselbe Kalkzementputz als bekleidende Materialschicht zur Anwendung. Um die Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Konstruktionsvarianten zu vereinfachen wurde auch grundsätzlich davon ausgegangen, dass innen immer mindestens 5 mm Kalkputz aufgebracht wurden, der gegebenenfalls durch Spritzbewurf oder geeignete Anstriche an der darunter liegenden Schicht haftet.

Auf bestimmte konstruktive Besonderheiten wie z. B. Dübelverbindungen zur Fixierung von Dämmschichten, Mauerwerksanker oder eine exakte Mauerverfugung, mit Mauer- und Verfugungsmörtel, musste verzichtet werden. Zum einen lassen sich dreidimensionale Details derzeit noch nicht mit hygrothermischer Software handhaben, zum anderen wäre der Modellierungsaufwand sehr hoch und die Rechenzeiten würden sich extrem verlängern. Schließlich wird der Einfluss einzelner dreidimensionaler Konstruktionshilfsmittel wie Dübel oder Mauerwerksanker in *DIN 6946* unter bestimmten Voraussetzungen als vernachlässigbar angesehen. Bezüglich der Abbildung einer exakten Verfugung ist festzustellen, dass die durch die Fugen hervorgerufenen Veränderungen maßgeblich von den wärme- und feuchtetechnischen Eigenschaften des verwendeten Fugenmörtels abhängig sind. Die Verfugung kann sich sowohl positiv wie auch negativ auswirken.
Gemäß *DIN 6946* werden dagegen Trägerkonstruktionen von bekleidenden Schichten berücksichtigt, z. B. zur Fixierung von Gipskartonplatten bei einer Innendämmung mit Faserwerkstoffen wie Mineralwolle. In der Regel wurden hierfür Holzleisten mit einem Flächenanteil von 5% statt Aluprofile angenommen. Bei einem 1 m breiten Wandausschnitt würde sich folglich die Breite der Dämmschicht auf 0,95 m, die der Leiste auf 0,05 m belaufen.

## 0.2 Gestaltung des Gebäudewinkels

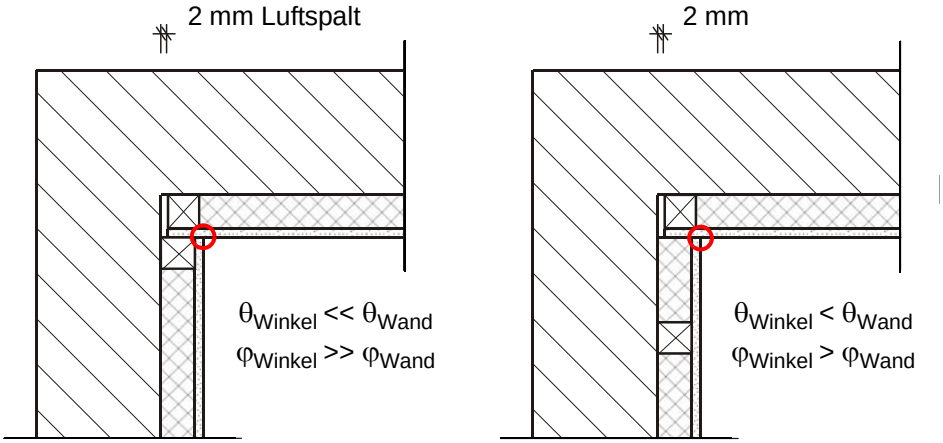



*Abb. 0.2: Schnitt durch den Gebäudewinkel bei einem Dämmsystemen mit einer Holzträgerkonstruktion. Mit beiden Holzleisten im Winkel (links) hat die Dämmwirkung des eigentlichen Wärmedämmstoffs nur geringen Einfluss auf die Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel, die Dämmwirkung der Holzleisten dominiert.*

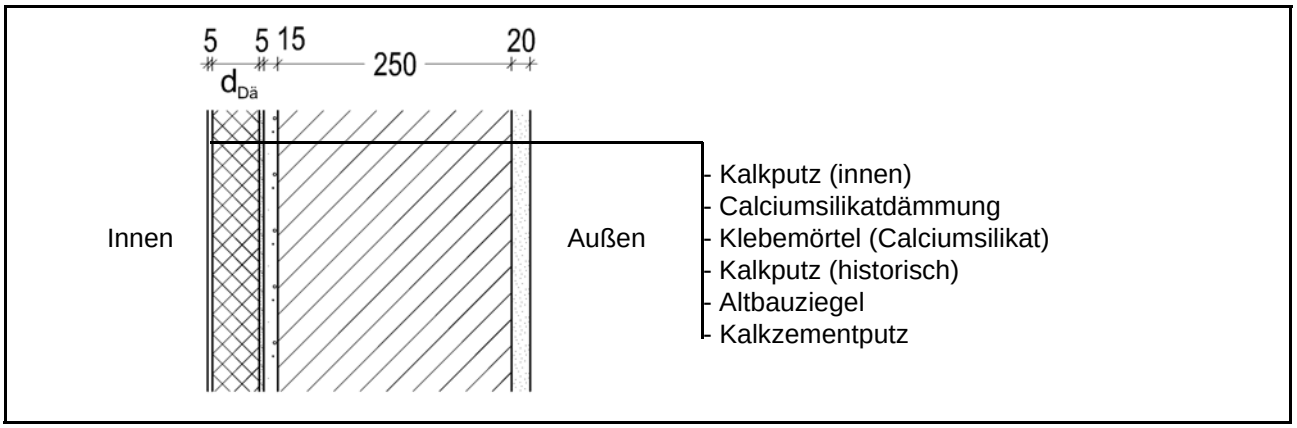
Für Holzständerkonstruktionen wurde in den Simulationen festgelegt, dass im Gebäudewinkel jeweils eine Leiste im Winkel befestigt wird, wobei ein kleiner Luftspalt von 2 mm Dicke zur Westseite verbleibt. In der Praxis kann es vorkommen, dass die erste Holzleiste auf der Westseite im unmittelbaren Anschluss wie in der linken Skizze in Abbildung  angebracht wird. Dies hätte sehr niedrige Oberflächentemperaturen im Vergleich zur „ungestörten“ eindimensionalen Wandoberfläche zur Folge: Die Wärmeleitfähigkeit von Konstruktionsholz wie Fichte ist mit $\lambda_R$= 0,13 W/m$^2$K weitaus höher als die Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe ($\lambda_R$ max. 0,07 W/m$^2$K). Bei Innendämmungen mit Holzständerkonstruktionen würde so die Oberflächentemperatur und Luftfeuchte in erster Linie von der Wärmeleitfähigkeit des Holzes und nicht von der des Dämmstoffes bestimmt, weshalb Eckdetails wie in der rechten Skizze in Abbildung  modelliert werden.

Die Dicke der Putz- oder Klebemörtelschichten wurde möglichst einheitlich gewählt bzw. sind sie dem jeweiligen Untergrund, dem verwendeten Dämmsystem oder der während der Bauzeit üblichen Bauweise angepasst. Die Formate der historischen Wandbildner aus Sandstein bzw. Altbauziegel (das so genannte „Reichsformat“) sind *Ahnert & Krause 2000* entnommen. Wenn die Möglichkeit besteht, ein Innendämmsystem mit Dübeln oder Kleber zu fixieren, wurde auf die Kleberschicht verzichtet, sofern sich dadurch die Ergebnisse auf der „sicheren Seite“ bewegen.

Die Konstruktionen im Besprechungsteil sind entsprechend der verwendeten Dämmung alphabetisch angeordnet.

# 1.1 Altbauziegel (250 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50 und 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

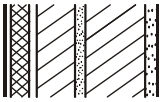
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | $m^2 \cdot K/W$ | 0,36 | 0,83 | 1,14 | 1,60 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | $W/m^2 \cdot K$ | 1,90 | 1,00 | 0,77 | 0,57 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | $kg/m^2$ | - | 2,397 | 2,160 | 1,741 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | $kg/m^2$ | - | 3,749 | 2,649 | 1,876 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,462 | 0,667 | 0,726 | 0,778 |

* mit $R_{si}$= 0,25 $m^2 \cdot K/W$ und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | $m^2 \cdot K/W$ | 0,36 | 0,81 | 1,09 | 1,53 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | $W/m^2 \cdot K$ | 1,90 | 1,02 | 0,79 | 0,59 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | $kg/m^2$ | - | 0,162 | 0,332 | 0,563 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | $kg/m^2$ | - | 3,749 | 2,649 | 1,876 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 80,2 | 64,2 | 60,6 | 57,7 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | $m^2 \cdot K/W$ | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.1 Altbauziegel (250 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



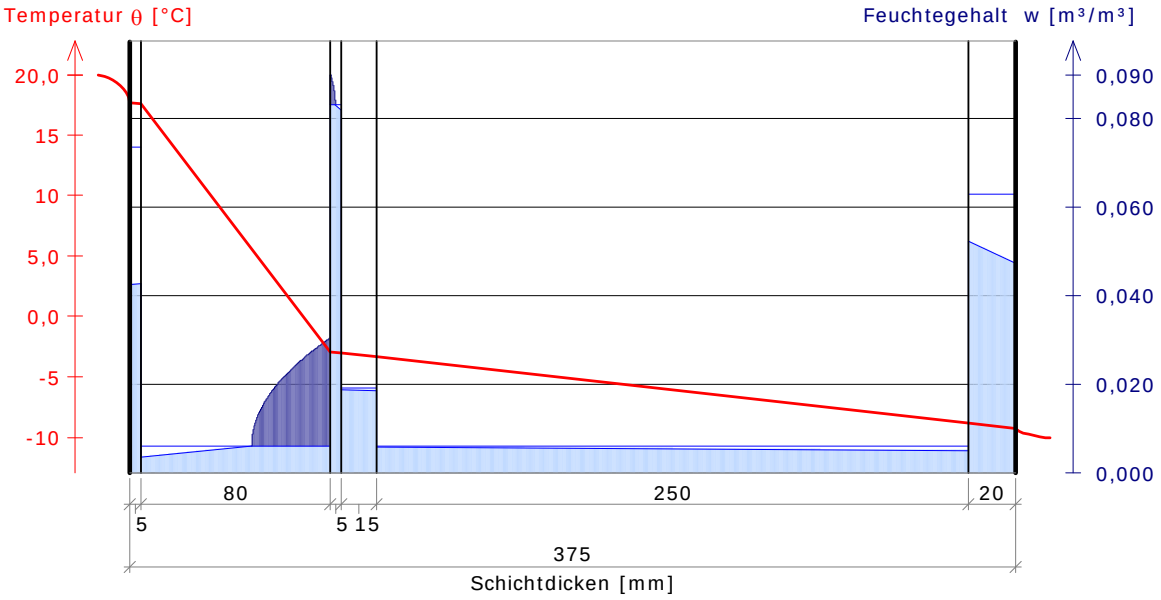
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,7 | 2026 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,043 | | |
| | | 17,6 | 2011 | 1163 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,031** | 33,7 | 0,55 |
| | | -2,9 | **479** | **479** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikat) | | | | **0,090** | 2,1 | 0,01 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | -3,0 | 476 | 469 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,018 | | |
| | | -3,3 | 463 | 450 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -8,9 | 288 | 239 | | | |
| 6 | Kalkzementputz | | | | 0,052 | | |
| | | | | | 0,047 | | |
| | | -9,3 | 277 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |

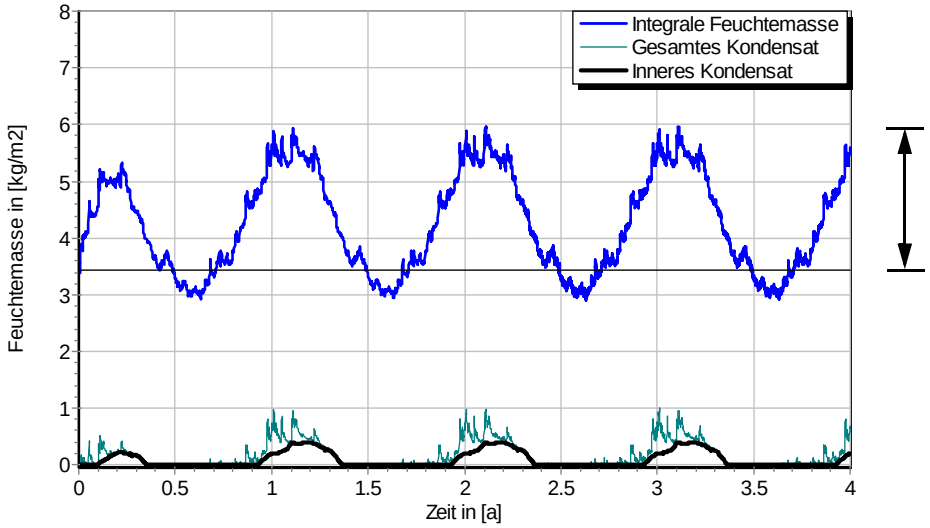


# 1.1 Altbauziegel (250 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 5 Simulationsergebnisse

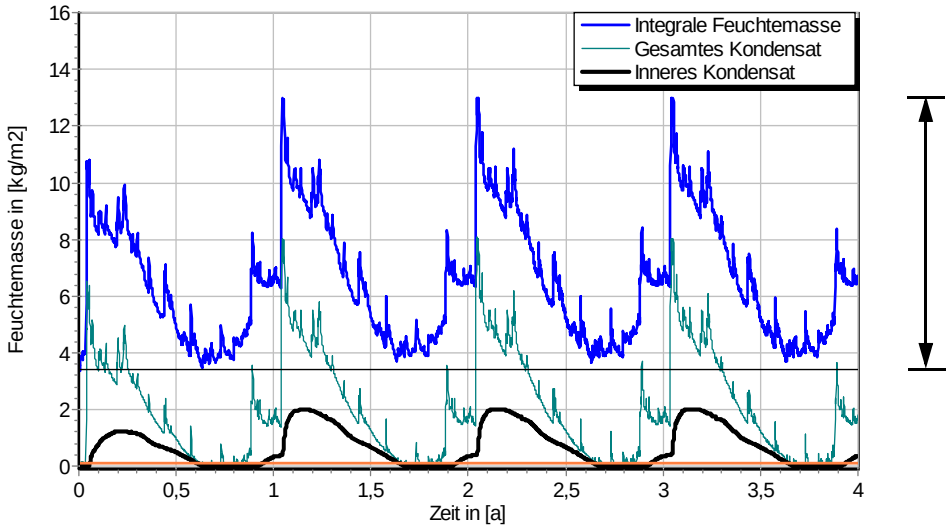
Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 13
Referenzstandort: Passau

### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen

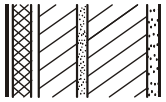
| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,727 | 1,800 | 2,200 | 2,527 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,166 | 0,270 | 0,398 |



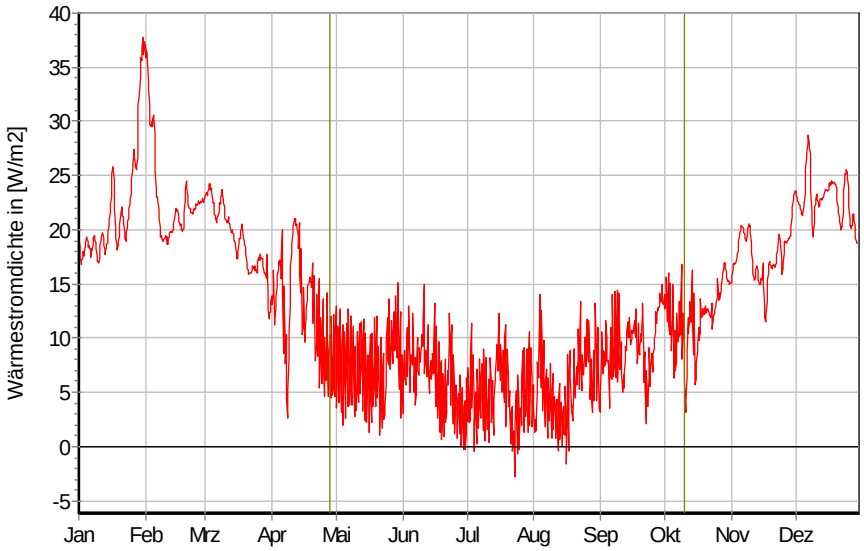

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante in orange

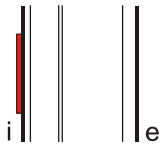
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,701 | 8,426 | 9,021 | 9,574 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,141 | 1,090* | 1,628* | 2,012* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



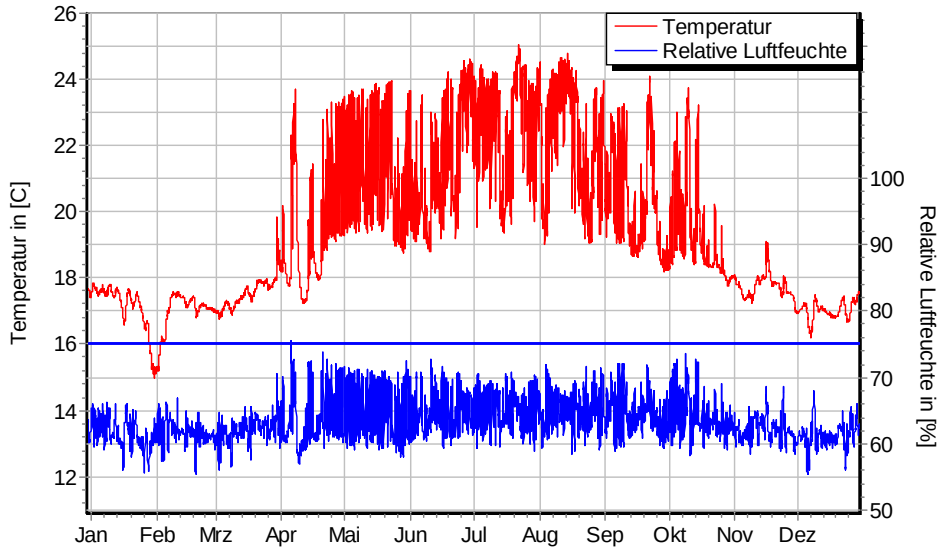



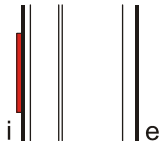

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,90 | 18,73 | 14,41 | 10,68 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,98 | 1,06 | 0,82 | 0,61 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,33 | 0,77 | 1,05 | 1,48 |

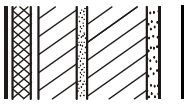
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,45 | 18,49 | 14,25 | 10,62 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,96 | 1,05 | 0,81 | 0,60 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,34 | 0,78 | 1,06 | 1,49 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

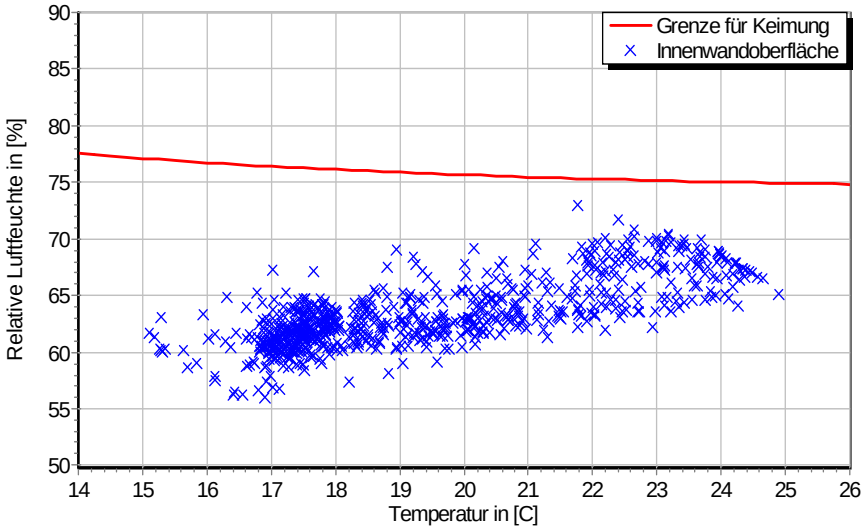


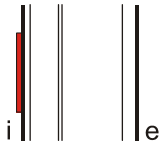




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

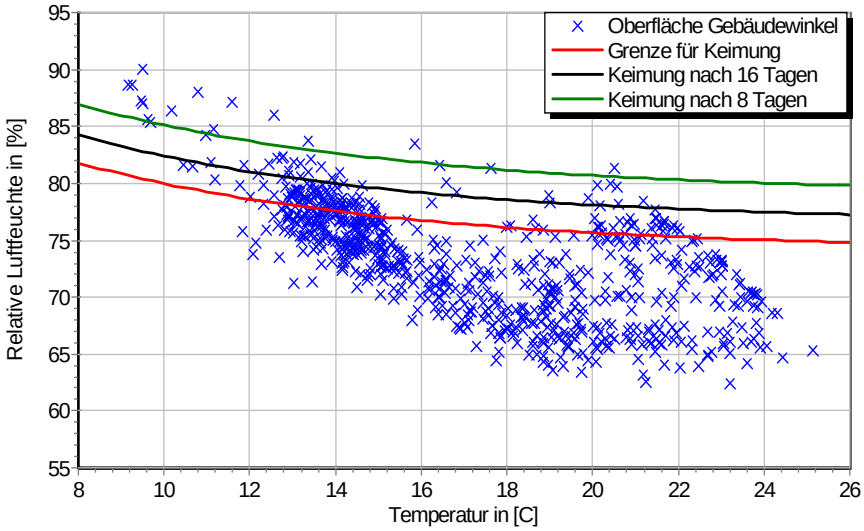


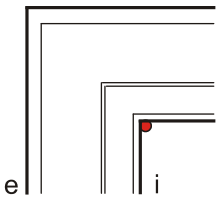
# 1.1 Altbauziegel (250 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



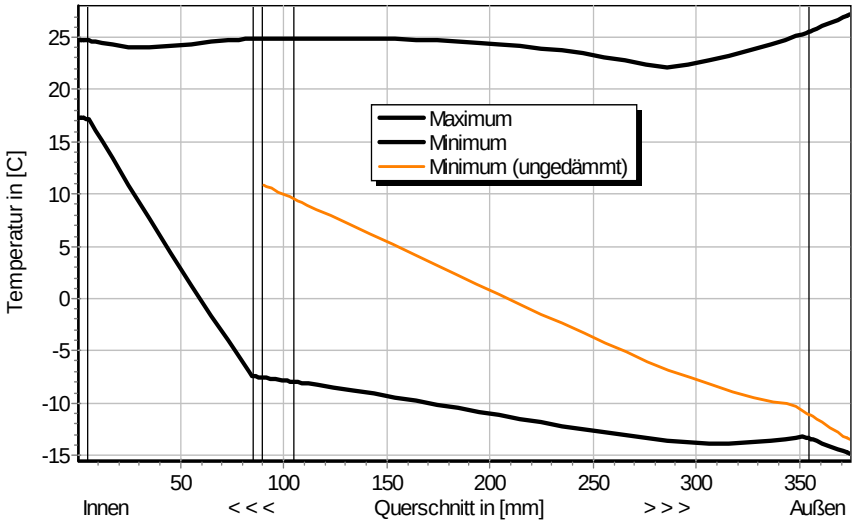

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



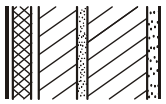

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

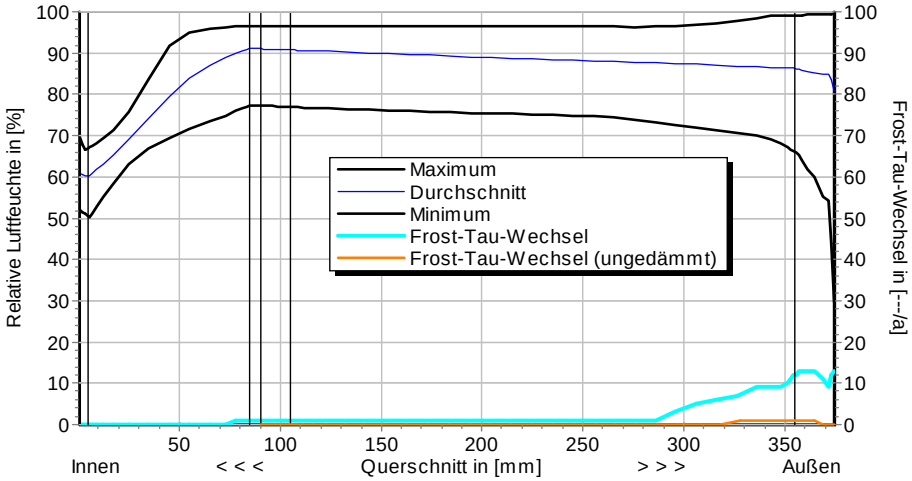
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

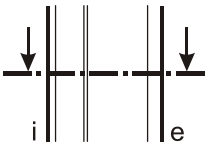


Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

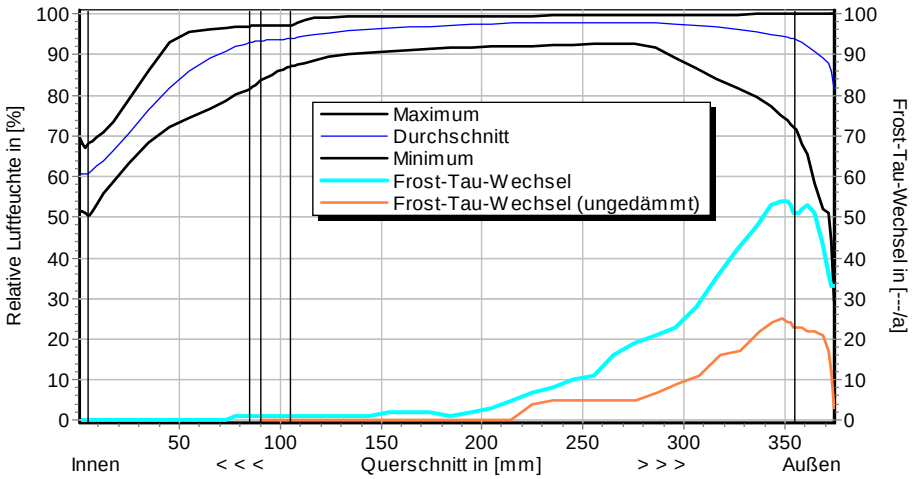
# 1.1 Altbauziegel (250 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

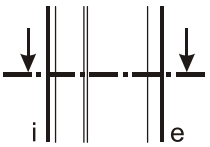





Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 1 | 13 | 20 | 28 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 97,4 | 96,8 | 96,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 92,6 | 88,3 | 84,0 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 103,9 | 103,6 | 103,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,8 | 97,5 | 96,0 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 24 | 40 | 48 | 53 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,1 | 97,5 | 96,4 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 105,4 | 107,1 | 108,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 98,3 | 97,2 | 96,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 106,4 | 109,1 | 109,2 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen und bis einschließlich 50 mm Dämmung wegen fehlendem Mindestwärmeschutz nicht.

COND: Nur die Variante mit 80 mm Dämmung erfüllt die DIN-Kriterien wegen nicht eingehaltener Mindestwärmeschutz. Die maximale Kondensatmenge und Verdunstung werden immer eingehalten.

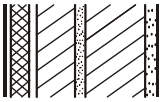
Simulation: Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gegeben. Ohne Schlagregen werden maximale innere Kondensatmenge und Verdunstung eingehalten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge zu hohe Kondensatmengen, die Verdunstung des Kondensats ist immer gewährleistet.
Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

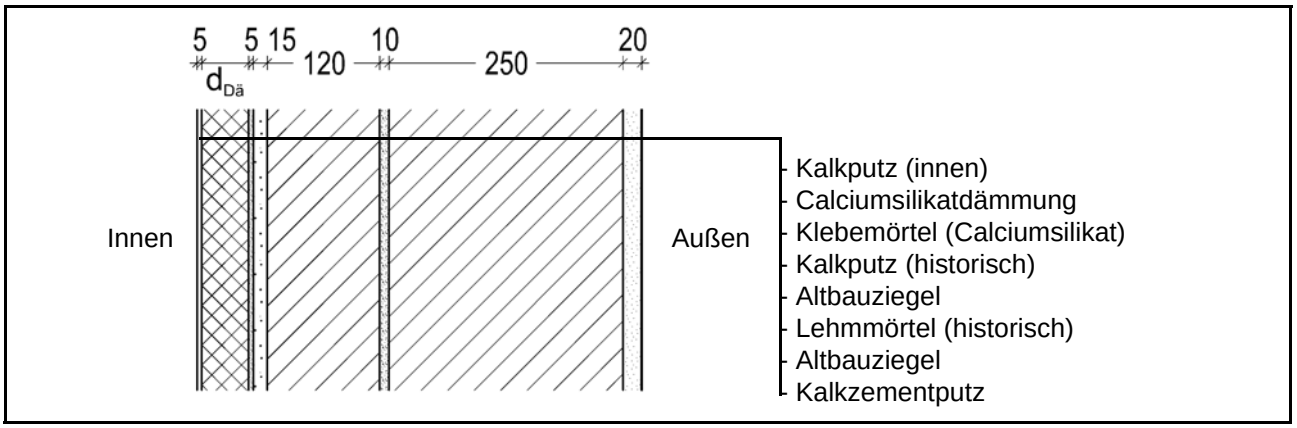
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.1
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.4
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.2 Altbauziegel (380 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50 und 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,52 | 0,99 | 1,30 | 1,76 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,45 | 0,86 | 0,68 | 0,52 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,637 | 1,749 | 1,525 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,770 | 2,585 | 1,811 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,537 | 0,696 | 0,745 | 0,790 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,52 | 0,98 | 1,27 | 1,70 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,45 | 0,87 | 0,70 | 0,53 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,196 | 0,264 | 0,477 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,770 | 2,585 | 1,811 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 71,5 | 61,9 | 59,2 | 56,9 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.2 Altbauziegel (380 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

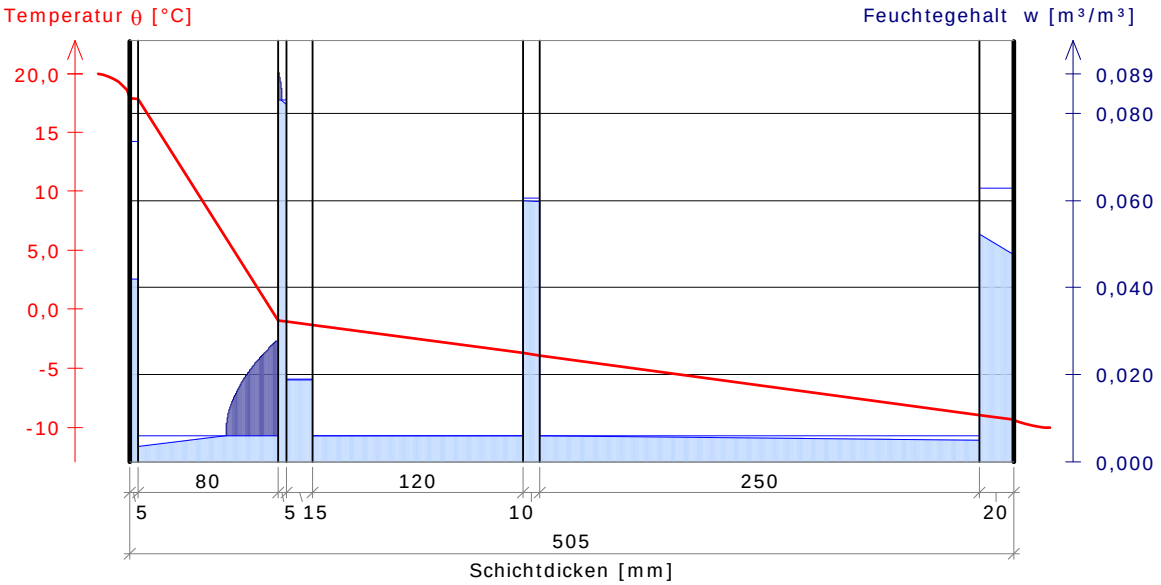
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R_{vorh} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

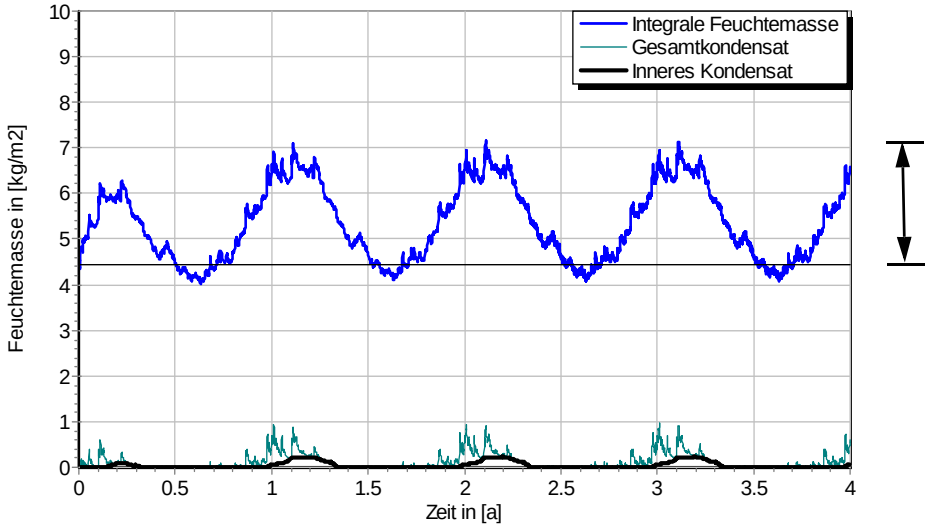
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,9 | 2054 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,042 | | |
| | | 17,8 | 2040 | 1164 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,028** | 30,6 | 0,46 |
| | | -1,0 | **566** | **566** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikat) | | | | **0,089** | 2,1 | 0,01 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | -1,0 | 562 | 555 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,019 | | |
| | | -1,3 | 548 | 538 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,006 | | |
| | | -3,7 | 448 | 444 | | | |
| 6 | Lehmmörtel (hist.) | | | | 0,060 | | |
| | | | | | 0,060 | | |
| | | -4,0 | 439 | 434 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,0 | 285 | 236 | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | 0,052 | | |
| | | | | | 0,048 | | |
| | | -9,4 | 275 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

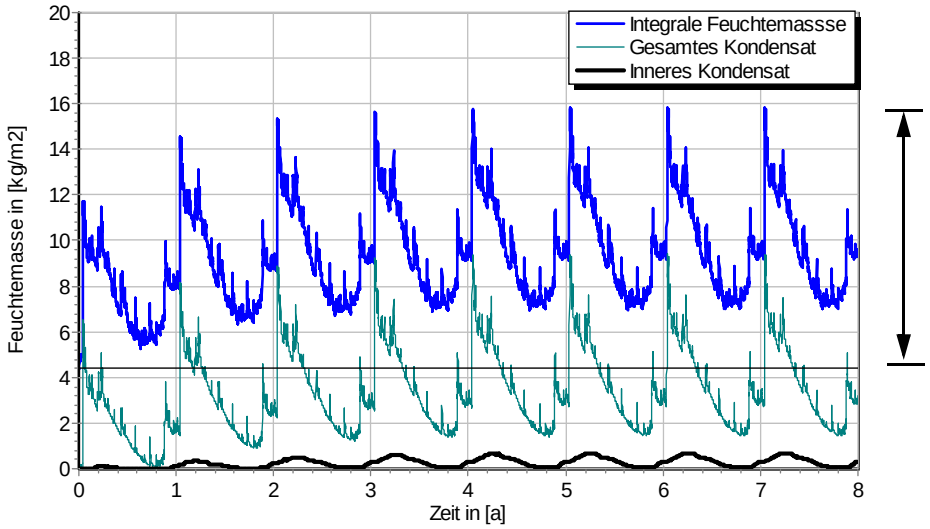
Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen

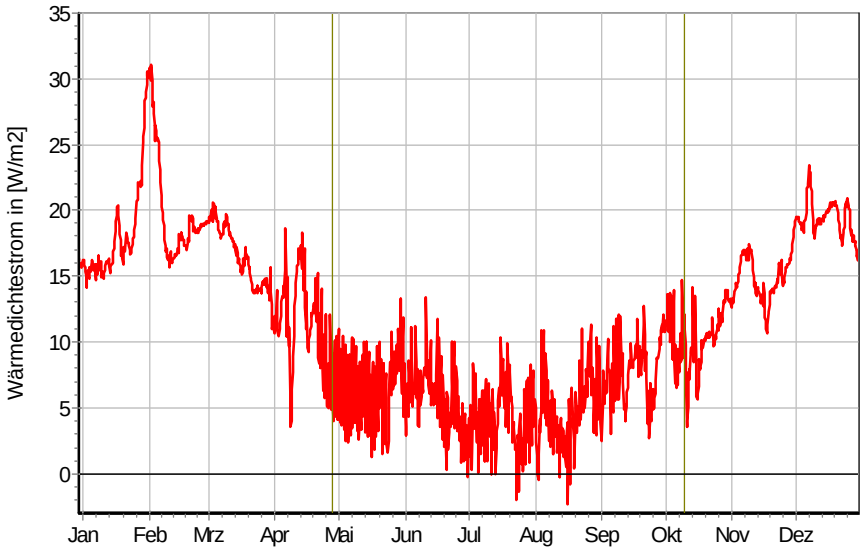
| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,935 | 1,791 | 2,320 | 2,717 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,002 | 0,137 | 0,227 |

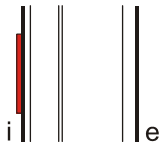



Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 7,372 | 8,830 | 10,104 | 11,420 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,037 | 0,255 | 0,688 |

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



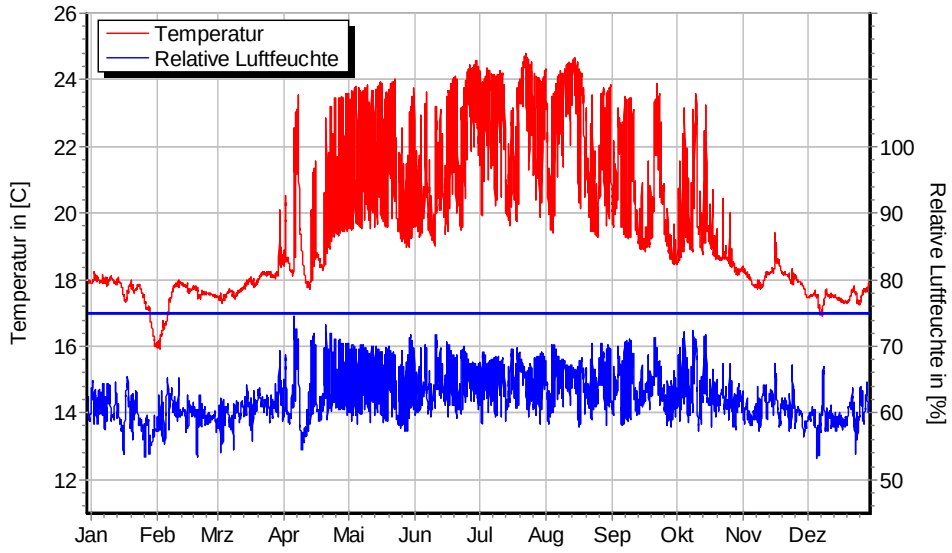



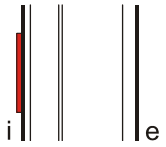

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 26,55 | 15,88 | 12,61 | 9,64 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,51 | 0,90 | 0,72 | 0,55 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,49 | 0,94 | 1,22 | 1,65 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 26,18 | 15,67 | 12,49 | 9,59 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,49 | 0,89 | 0,71 | 0,55 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,50 | 0,95 | 1,24 | 1,66 |

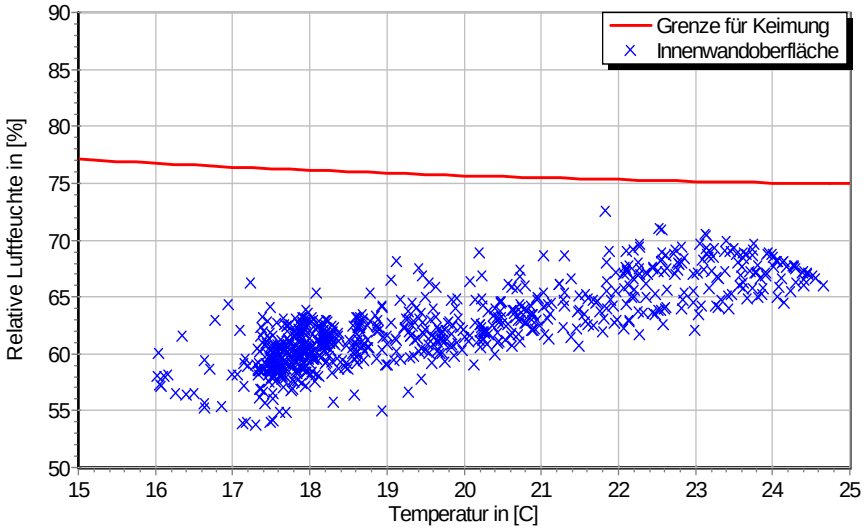
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

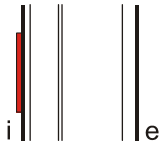


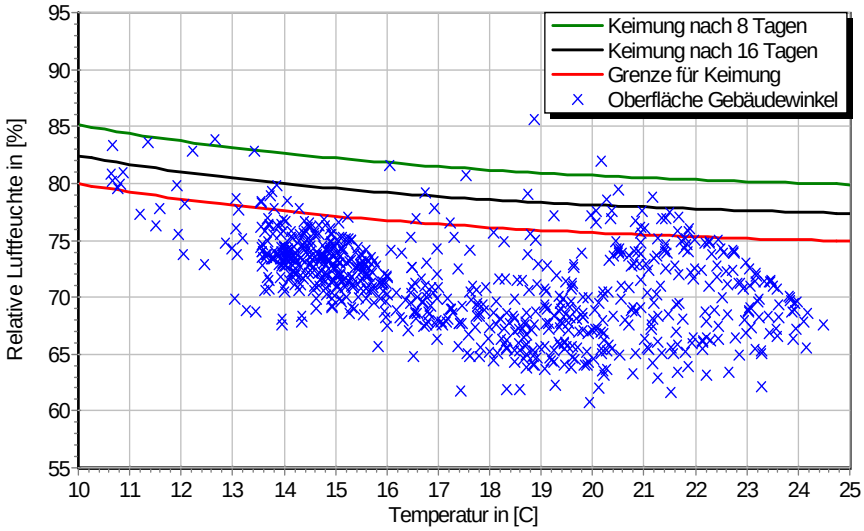

Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

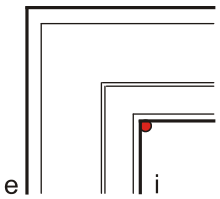
# 1.2 Altbauziegel (380 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



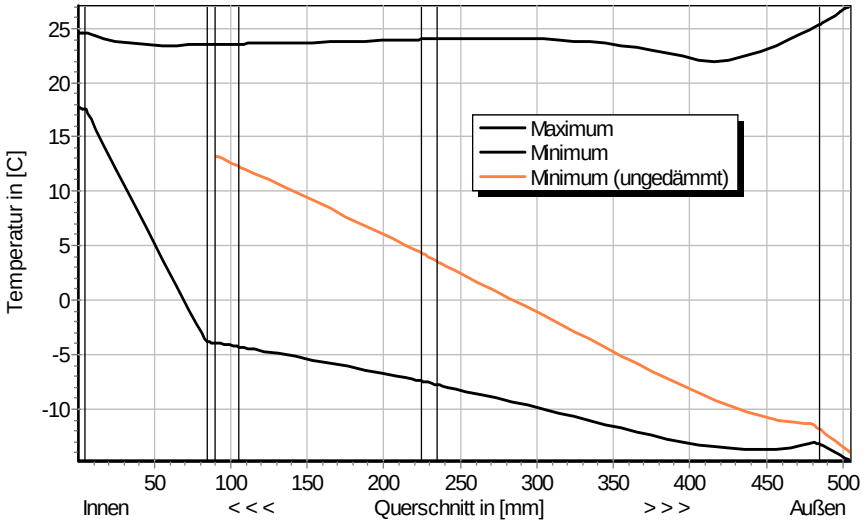

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



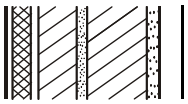




Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

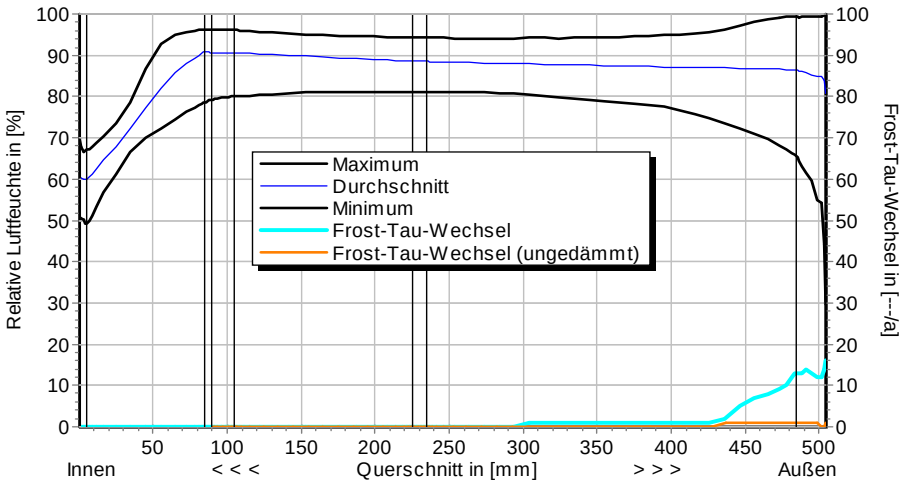
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

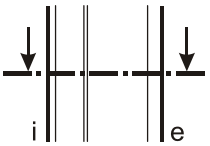


Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

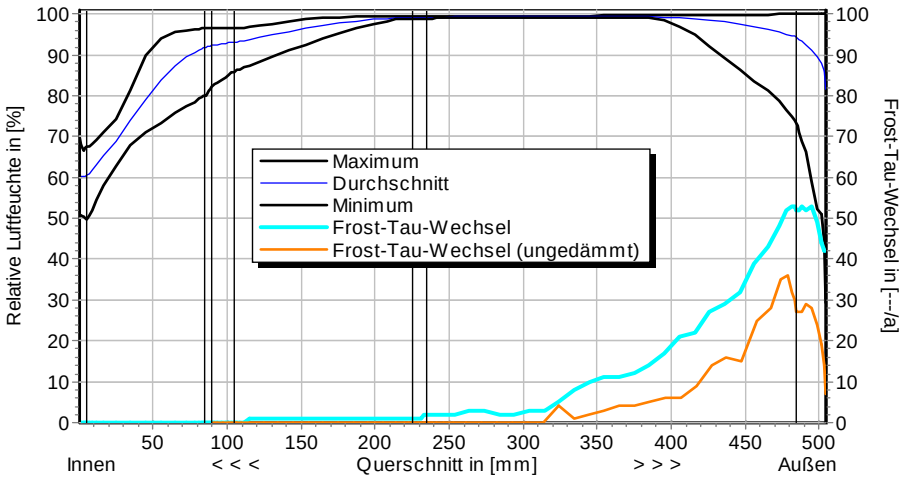


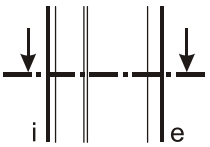
# 1.2 Altbauziegel (380 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)



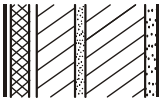




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 18 | 20 | 23 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,2 | 97,7 | 97,2 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 90,5 | 85,6 | 81,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 101,3 | 101,3 | 101,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,9 | 97,4 | 96,0 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 27 | 45 | 51 | 53 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,5 | 98,0 | 97,1 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 103,2 | 104,7 | 105,9 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 98,6 | 98,1 | 97,7 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 104,9 | 105,0 | 105,2 |



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | -Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien. Der Mindestwärmeschutz ist erst ab 50 mm Dämmung gegeben, die Kondensatmengen sind ab 50 mm Dämmung zu hoch.

COND: Nur die Variante mit 30 mm Dämmung erfüllt nicht die DIN-Kriterien wegen nicht eingehaltenem Mindestwärmeschutz.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gegeben. Ohne Schlagregeneinfluss werden die Kondensatmengen und Verdunstung eingehalten.
Bei schlagregenexponierten Konstruktionen verdunstet mit 80 mm Dämmung das innere Kondensat nicht vollständig.
Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

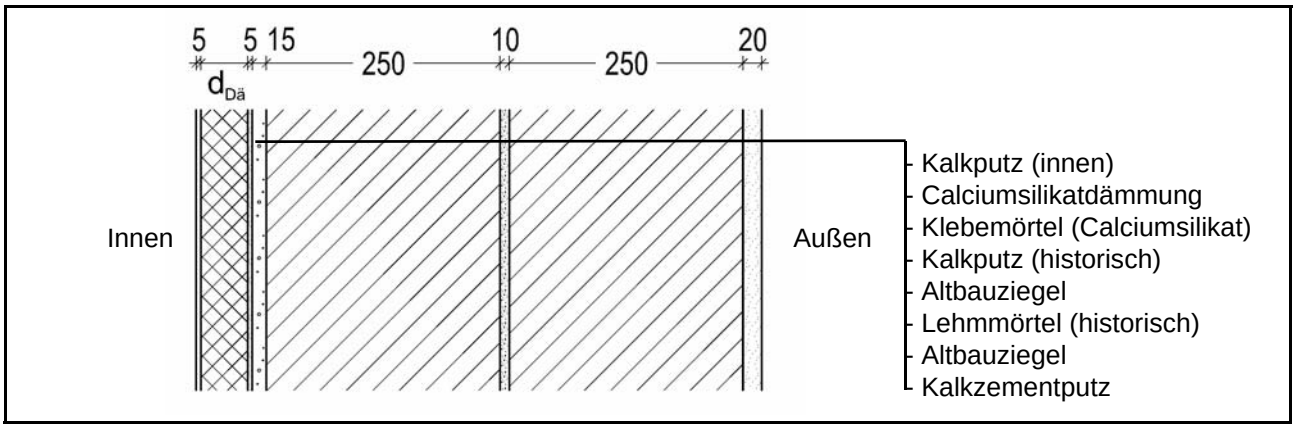
Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.2
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.2
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.5
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50 und 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | $kg/m^2s^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

### 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

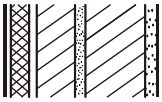
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | $m^2$·K/W | 0,68 | 1,16 | 1,46 | 1,93 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/$m^2$·K | 1,17 | 0,75 | 0,61 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/$m^2$ | - | 0,995 | 1,394 | 1,328 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/$m^2$ | - | 3,770 | 2,670 | 1,776 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,590 | 0,719 | 0,761 | 0,800 |

* mit $R_{si}$= 0,25 $m^2$·K/W und $\theta_e$= -5°C

### 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | $m^2$·K/W | 0,68 | 1,15 | 1,44 | 1,87 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/$m^2$·K | 1,17 | 0,76 | 0,62 | 0,49 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/$m^2$ | - | 0,474 | 0,422 | 0,419 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/$m^2$ | - | 3,770 | 2,670 | 1,776 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 66,7 | 60,2 | 58,2 | 56,3 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | $m^2$·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



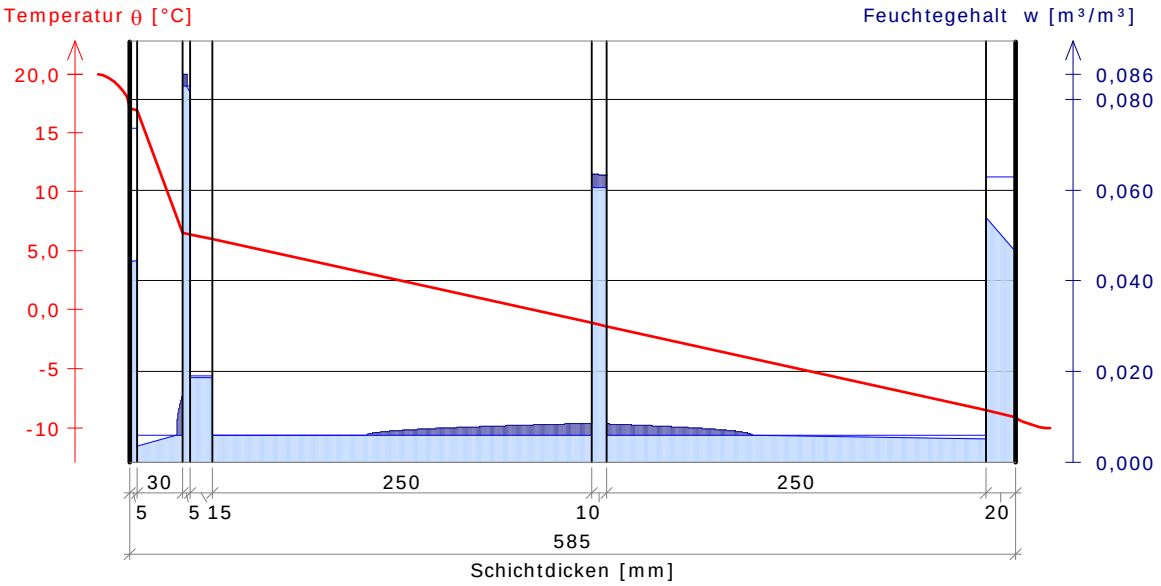
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,0 | 1943 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,044 | | |
| | | | | | 0,044 | | |
| | | 16,9 | 1925 | 1161 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,004 | | |
| | | | | | **0,016** | 4,7 | 0,03 |
| | | 6,5 | 970 | 970 | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikat) | | | | **0,086** | 0,4 | 0,00 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | 6,4 | 963 | 947 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,019 | | |
| | | 6,0 | 935 | 919 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | **0,009** | 148,6 | 0,26 |
| | | -1,1 | **558** | **558** | | | |
| 6 | Lehmmörtel (hist.) | | | | **0,063** | 10,0 | 0,03 |
| | | | | | **0,063** | | |
| | | -1,4 | **544** | **544** | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | **0,008** | 95,5 | 0,16 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -8,5 | 296 | 255 | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | 0,054 | | |
| | | | | | 0,046 | | |
| | | -9,1 | 282 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |

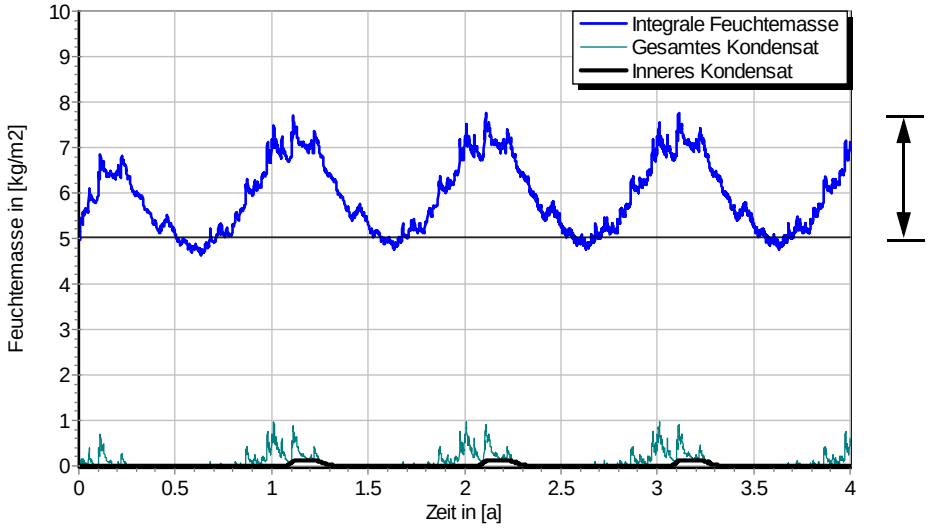


# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

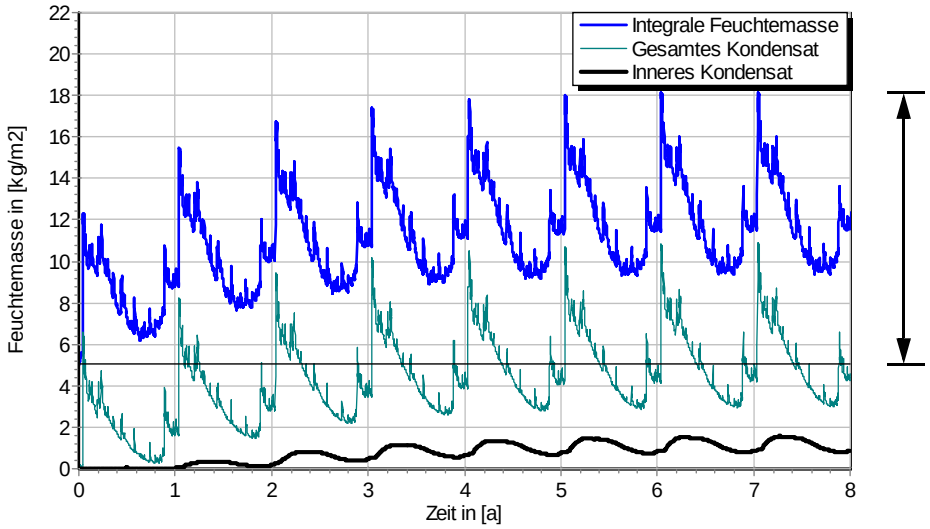
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen

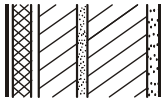
| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 1,130 | 1,446 | 2,218 | 2,704 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,005 | 0,145 |



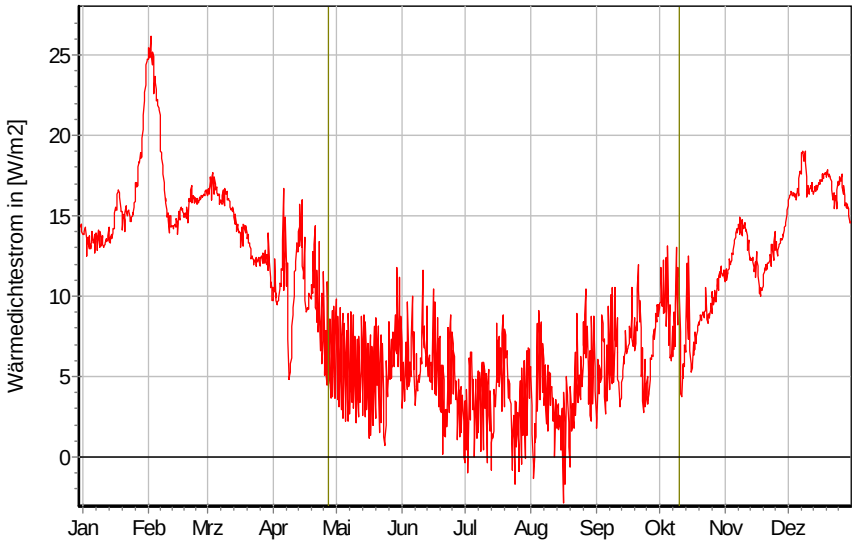

$\Delta m_{W,80}$

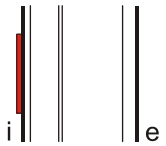
Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
schlagregenexponiert

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 7,857 | 10,450 | 11,539 | 13,179 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,545 | 0,791 | 1,605 |



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



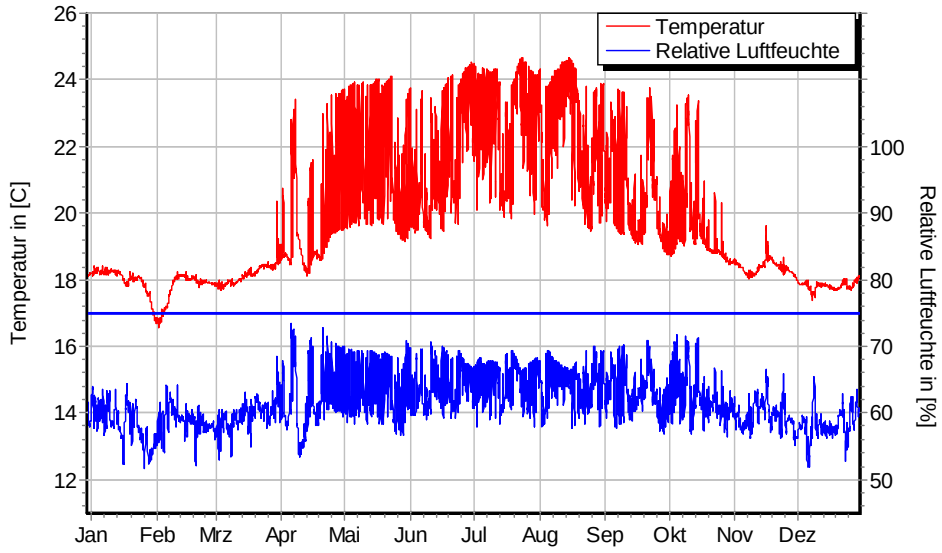



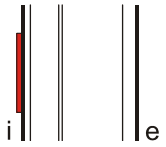

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 21,48 | 13,87 | 11,28 | 8,83 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,01 | 0,79 | 0,64 | 0,50 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,82 | 1,10 | 1,39 | 1,82 |

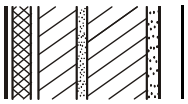
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 21,17 | 13,58 | 11,16 | 8,77 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,00 | 0,77 | 0,63 | 0,50 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,83 | 1,12 | 1,41 | 1,84 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

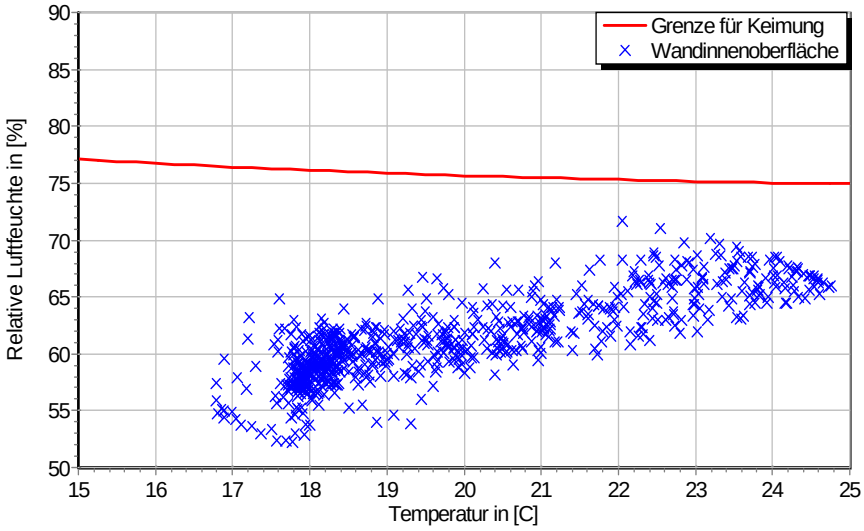


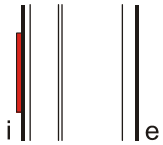




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

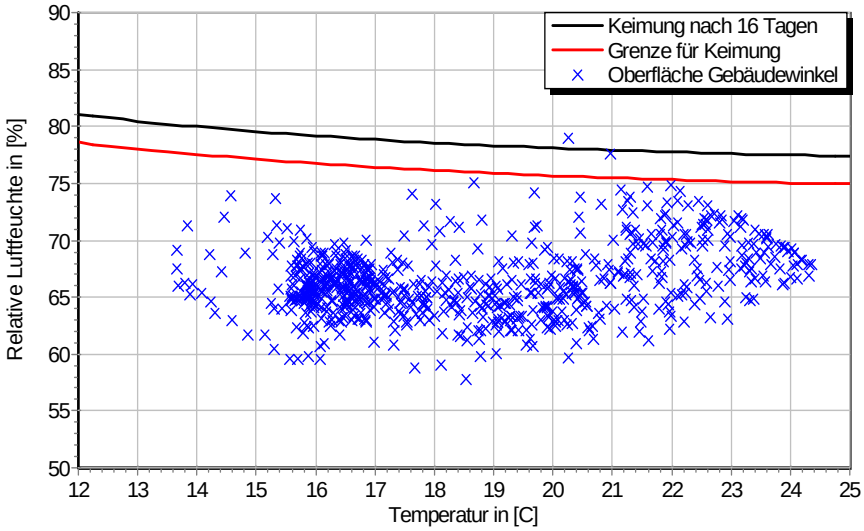


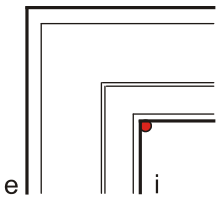
# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



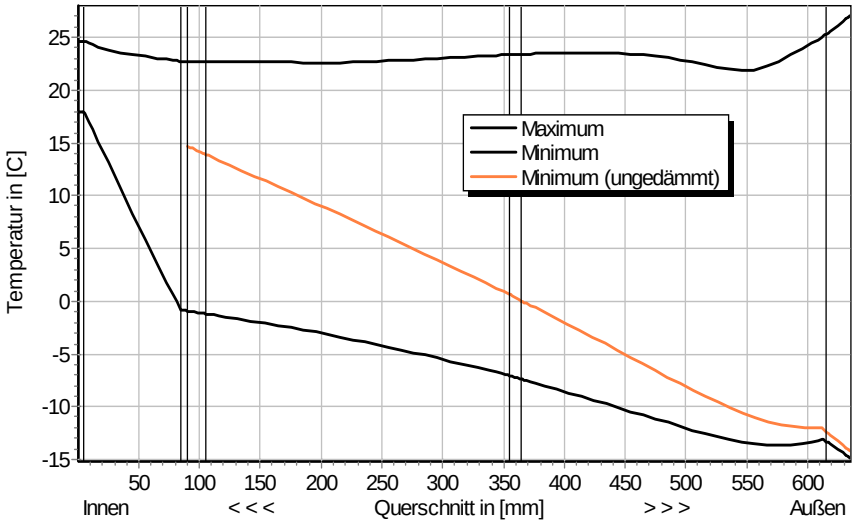

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



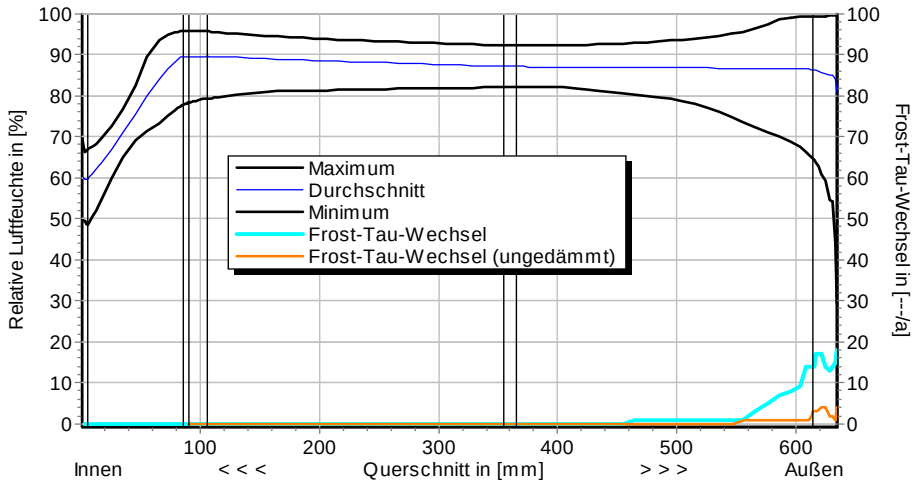

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

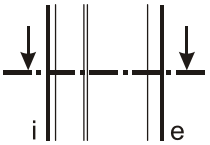
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



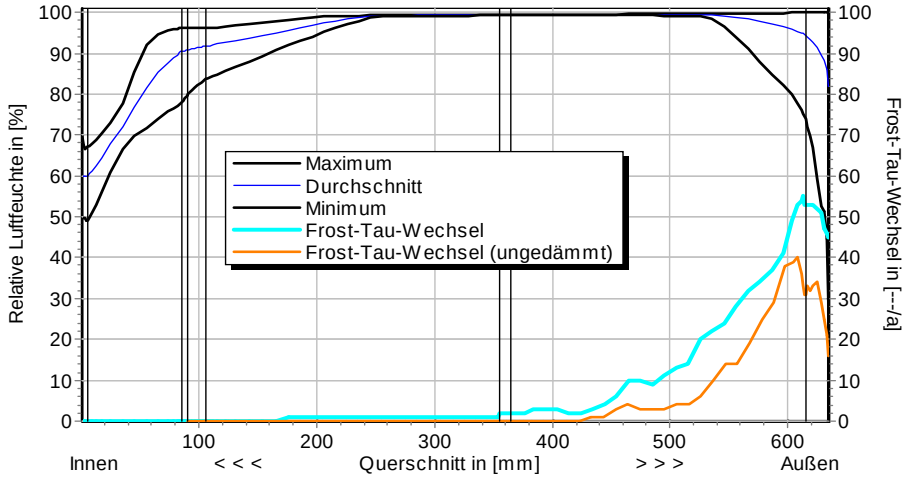
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

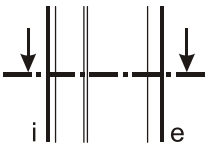
# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)



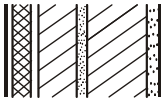




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 1 | 18 | 23 | 28 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,8 | 98,5 | 98,2 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 90,9 | 97,3 | 95,9 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 100,8 | 101,0 | 101,0 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,5 | 97,3 | 95,9 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 21 | 42 | 53 | 58 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 100,7 | 98,7 | 98,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 99,9 | 103,5 | 104,5 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 99,5 | 98,8 | 98,7 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 99,8 | 102,4 | 102,6 |



# 1.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | -Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ○ | ○ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien: Mit 30 mm Dämmung wegen fehlendem Mindestwärmeschutz und ab 50 mm Dämmung wegen zu hoher Kondensatmenge.

COND: Mit 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten. Alle anderen gedämmten Varianten erfüllen die DIN-Kriterien.

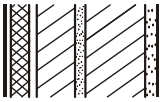
Simulation: Mit 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten. Die anderen gedämmten Varianten erfüllen ohne Schlagregeneinfluss alle Kriterien.
Mit 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge ist die Verdunstung des Kondensats bei allen gedämmten Varianten nicht gewährleistet und mit 80 mm Dämmung entstehen zu hohe Kondensatmengen.
Bei den gedämmten Varianten ist im Gebäudewinkel kein Schimmelpilzwachstum festzustellen.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

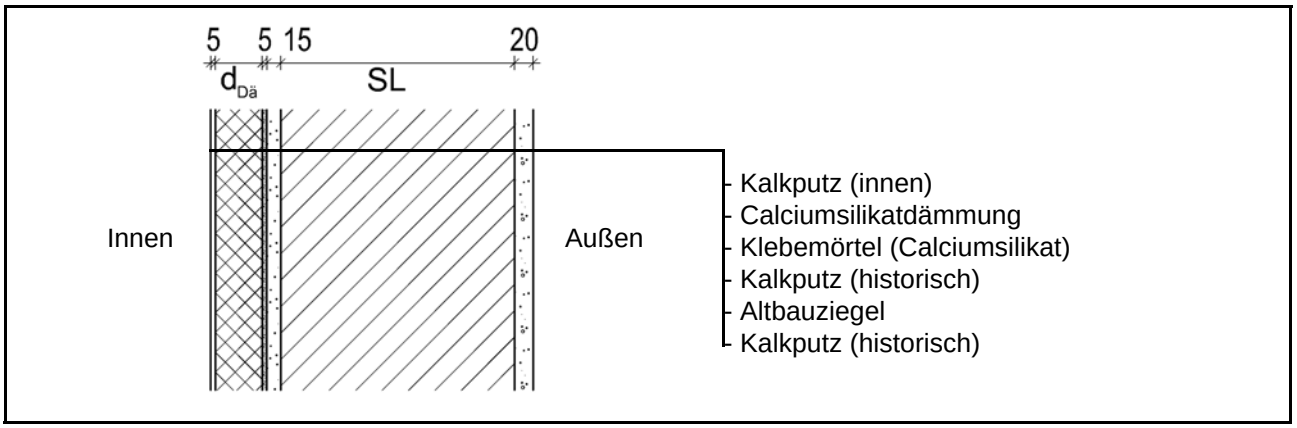
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.6
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.4 Altbauziegel, außen historischer Kalkputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht und Steinlänge (SL): $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,36 | 0,83 | 1,30 | 1,92 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,90 | 1,00 | 0,68 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 2,396 | 1,749 | 1,327 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,754 | 2,587 | 1,778 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,462 | 0,667 | 0,745 | 0,800 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,36 | 0,81 | 1,27 | 1,87 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,90 | 1,02 | 0,70 | 0,49 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,162 | 0,253 | 0,403 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,754 | 2,587 | 1,778 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 80,2 | 64,2 | 59,2 | 56,3 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.4 Altbauziegel, außen historischer Kalkputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat

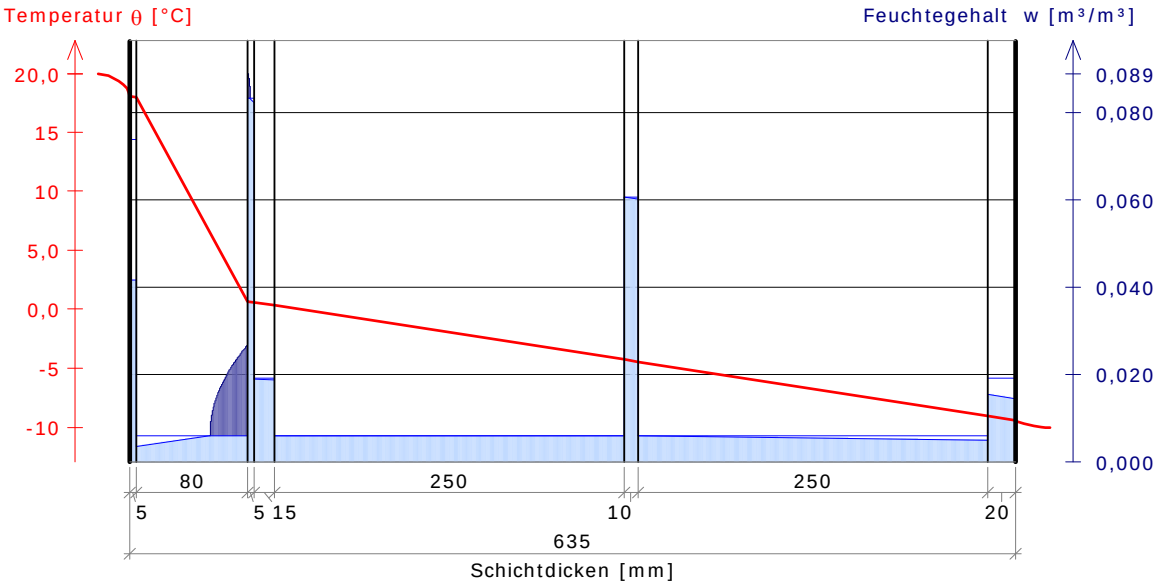
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm und 2 Steinlängen

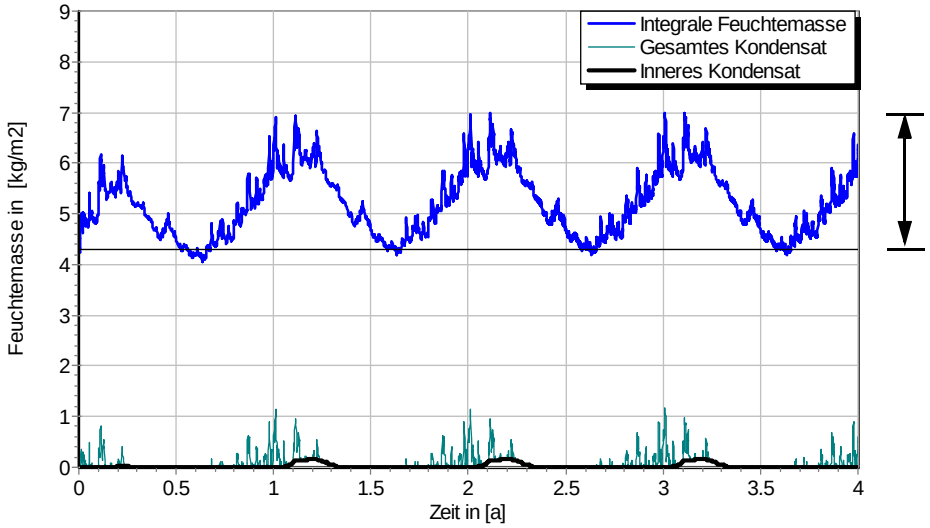
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,1 | 2076 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,042 | | |
| | | 18,0 | 2063 | 1164 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,027** | 27,6 | 0,38 |
| | | 0,7 | **642** | **642** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikat) | | | | **0,089** | 1,9 | 0,01 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | 0,6 | 638 | 632 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,019 | | |
| | | 0,3 | 626 | 615 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,006 | | |
| | | -4,3 | 428 | 427 | | | |
| 6 | Lehmmörtel (historisch) | | | | 0,060 | | |
| | | | | | 0,060 | | |
| | | -4,5 | 421 | 418 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,1 | 283 | 230 | | | |
| 8 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,015 | | |
| | | | | | 0,014 | | |
| | | -9,4 | 274 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

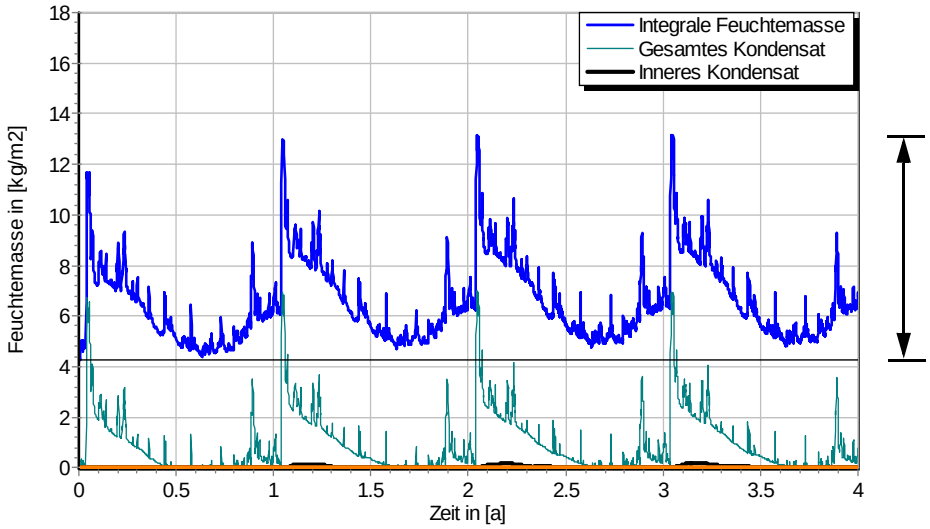
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,727 | 1,836 | 2,324 | 2,694 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,186 | 0,144 | 0,163 |



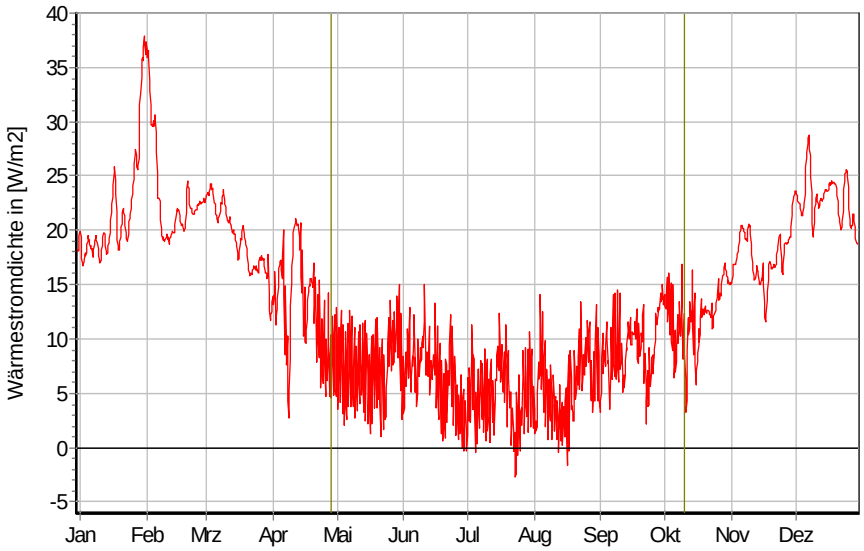

$\Delta m_{W,80}$

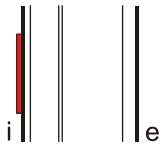
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,701 | 7,774 | 8,286 | 8,874 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,002 | 0,521* | 0,142* | 0,177* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



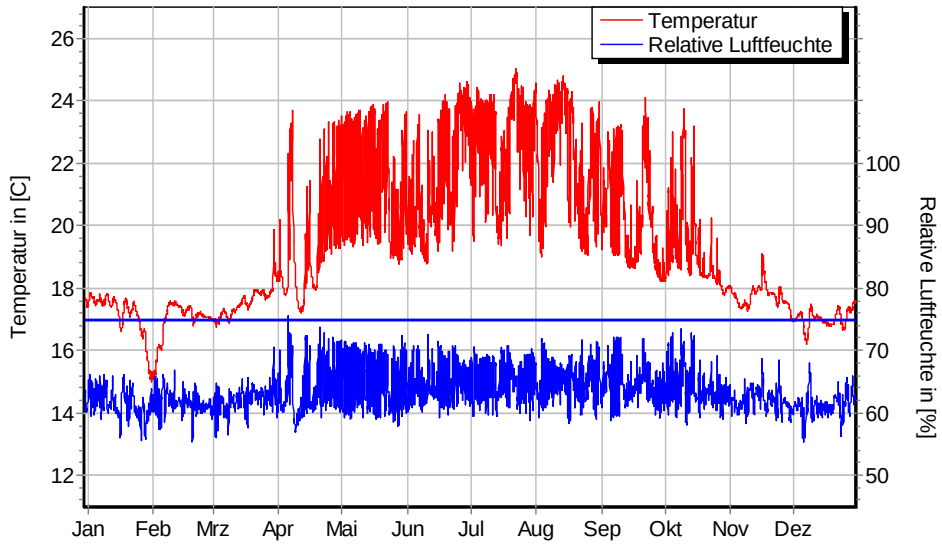



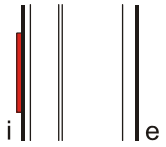

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,95 | 18,75 | 12,63 | 8,83 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,99 | 1,07 | 0,72 | 0,50 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,33 | 0,77 | 1,22 | 1,82 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,42 | 18,45 | 12,42 | 8,70 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,96 | 1,05 | 0,71 | 0,49 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,34 | 0,78 | 1,25 | 1,85 |

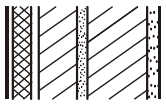
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

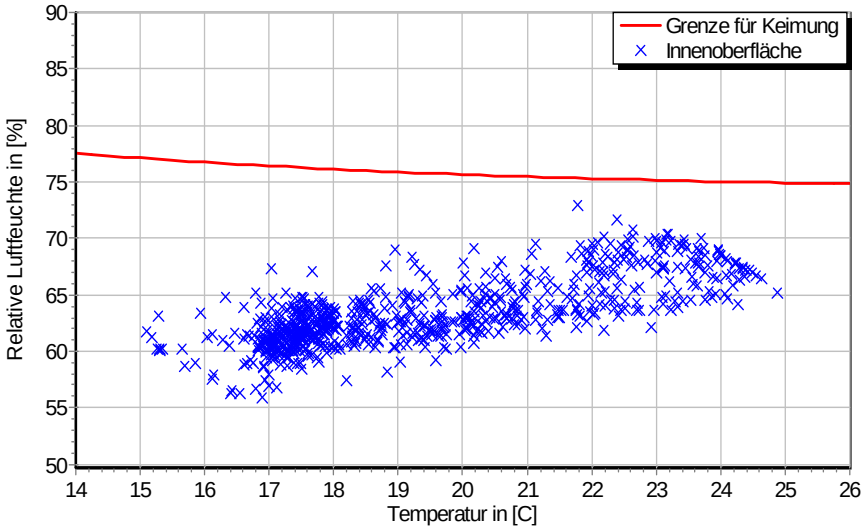


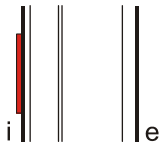




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

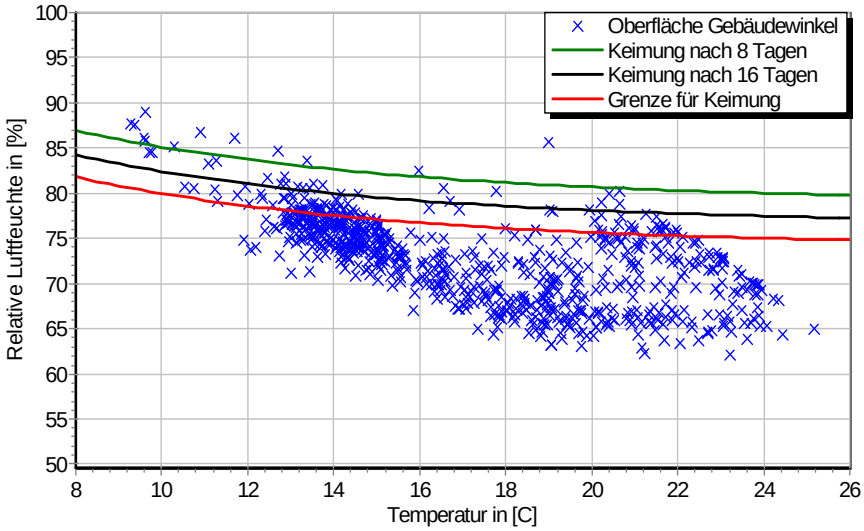
# 1.4 Altbauziegel, außen historischer Kalkputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat

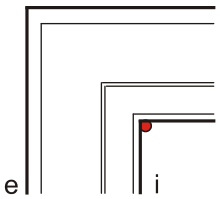




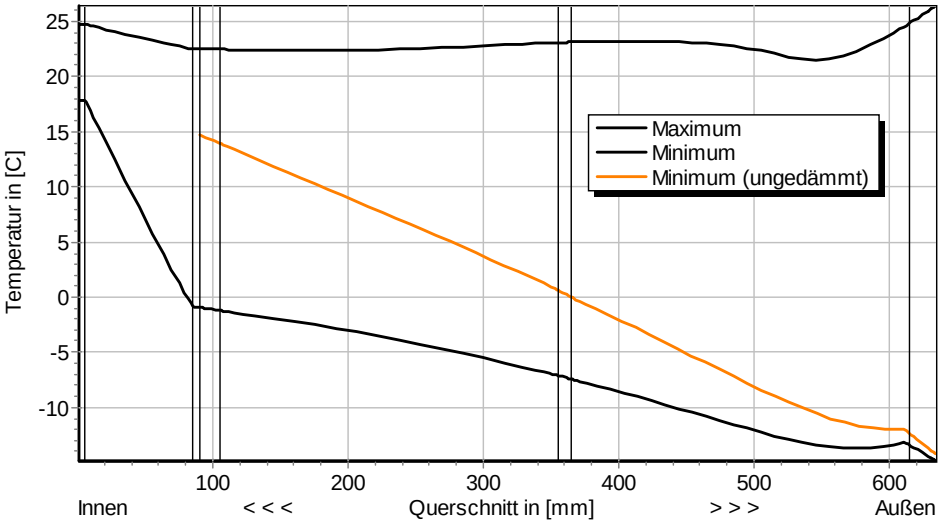

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



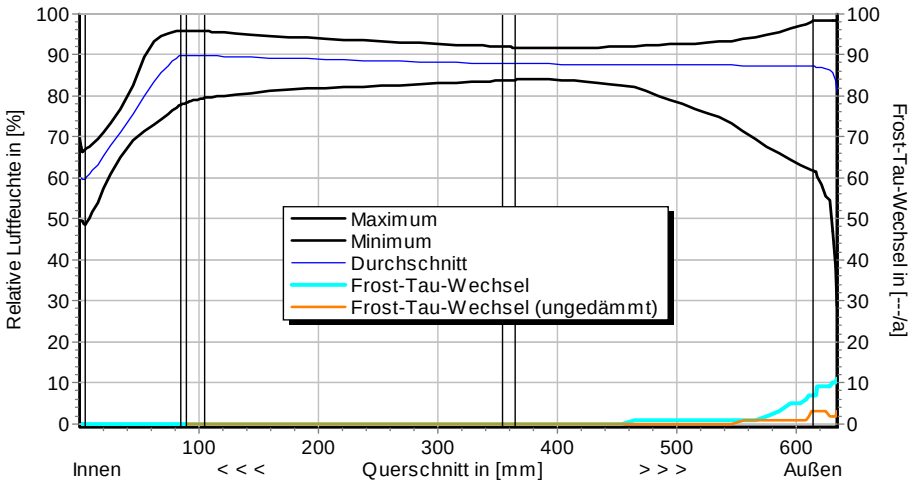

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

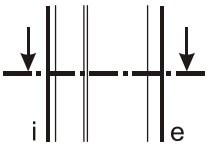
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



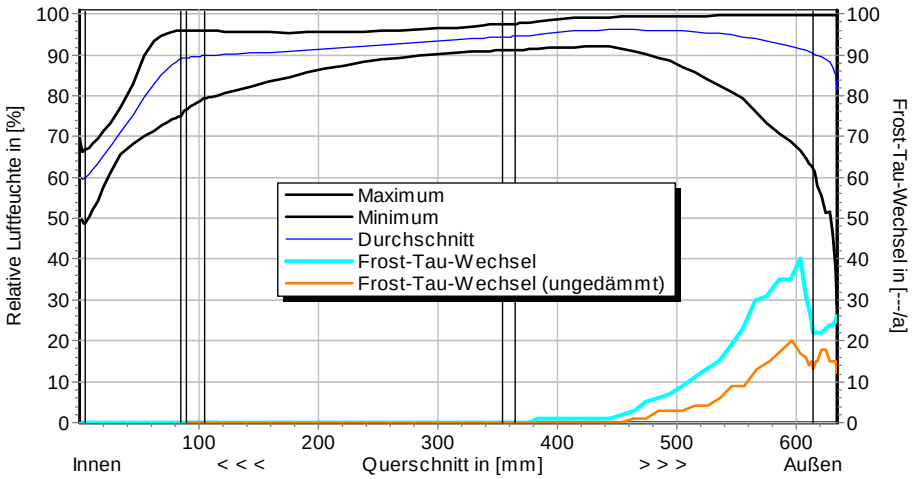
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

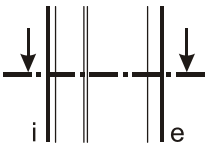
# 1.4 Altbauziegel, außen historischer Kalkputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)



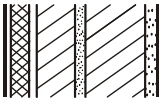

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 0 | 0 | 1 | 5 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 97,5 | 97,8 | 98,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 91,1 | 77,1 | 70,0 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 102,3 | 100,0 | 100,4 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 95,9 | 97,0 | 96,0 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 13 | 19 | 25 | 31 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 97,5 | 97,8 | 98,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 107,1 | 105,8 | 103,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,2 | 97,1 | 98,0 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,5 | 99,4 | 98,4 |

# 1.4 Altbauziegel, außen historischer Kalkputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen, mit nur 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

COND: Die Varianten mit 50 (1½ SL) und 80 mm (2 SL) Dämmung erfüllen die DIN-Kriterien, mit nur 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gegeben. Selbst mit Schlagregen werden die maximale innere Kondensatmenge und die Verdunstung eingehalten. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

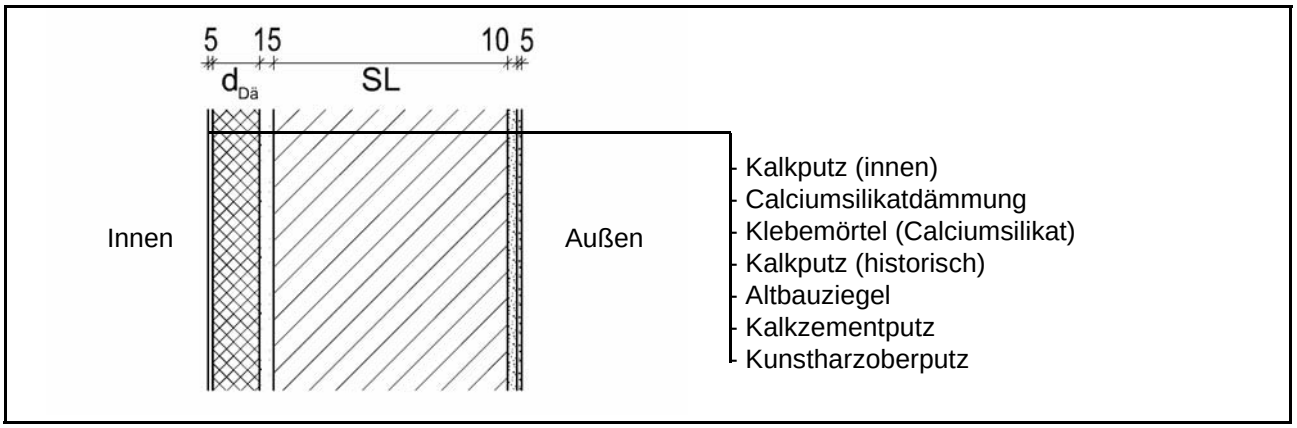
Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke.

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten: 1.1 bis 1.3
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.1 bis 6.3
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.1 bis 9.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.4 bis 10.6
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.5 Altbauziegel, außen Kunstharzoberputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht und Steinlänge (SL): $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |
| Kunstharzoberputz | 1100 | 0,70 | 350 | 1,0 | 11,1 | 0,002 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

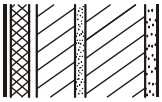
| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,36 | 0,82 | 1,30 | 1,92 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,90 | 1,01 | 0,68 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 2,553 | 1,840 | 1,380 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,872 | 2,772 | 1,972 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,462 | 0,666 | 0,744 | 0,801 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,36 | 0,82 | 1,28 | 1,90 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,90 | 1,01 | 0,69 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,630 | 1,379 | 1,093 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,872 | 2,772 | 1,972 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 80,2 | 64,2 | 59,2 | 56,2 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.5 Altbauziegel, außen Kunstharzoberputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



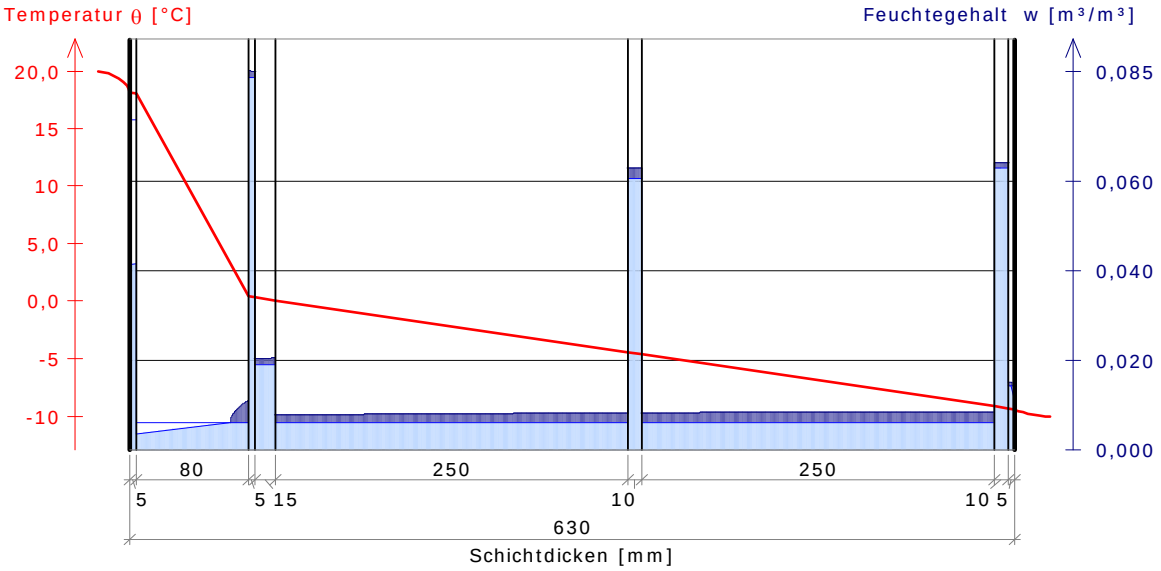
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm mit 2 Steinlängen

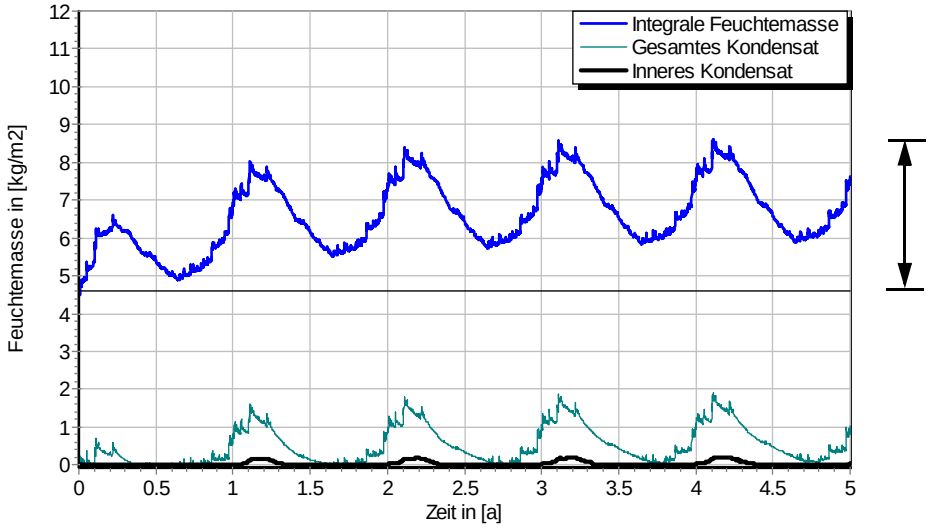
| | Schicht/Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,1 | 2079 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,042 | | |
| | | 18,0 | 2067 | 1167 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,012** | 15,2 | 0,06 |
| | | 0,4 | **629** | **629** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Klimaplatte) | | | | **0,085** | 5,0 | 0,01 |
| | | | | | **0,084** | | |
| | | 0,3 | 626 | 626 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,020** | 15,0 | 0,02 |
| | | | | | **0,020** | | |
| | | 0,1 | 614 | 614 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | **0,007** | 250,0 | 0,43 |
| | | | | | **0,008** | | |
| | | -4,4 | 422 | 422 | | | |
| 6 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,063** | 10,0 | 0,02 |
| | | | | | **0,063** | | |
| | | -4,6 | 415 | 415 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | **0,008** | 250,0 | 0,54 |
| | | | | | **0,008** | | |
| | | -9,1 | 280 | 280 | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | **0,064** | 10,0 | 0,01 |
| | | | | | **0,064** | | |
| | | -9,3 | 276 | 276 | | | |
| 9 | Kunstharzoberputz | | | | **0,015** | 0,0 | 0,00 |
| | | | | | 0,011 | | |
| | | -9,4 | 274 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

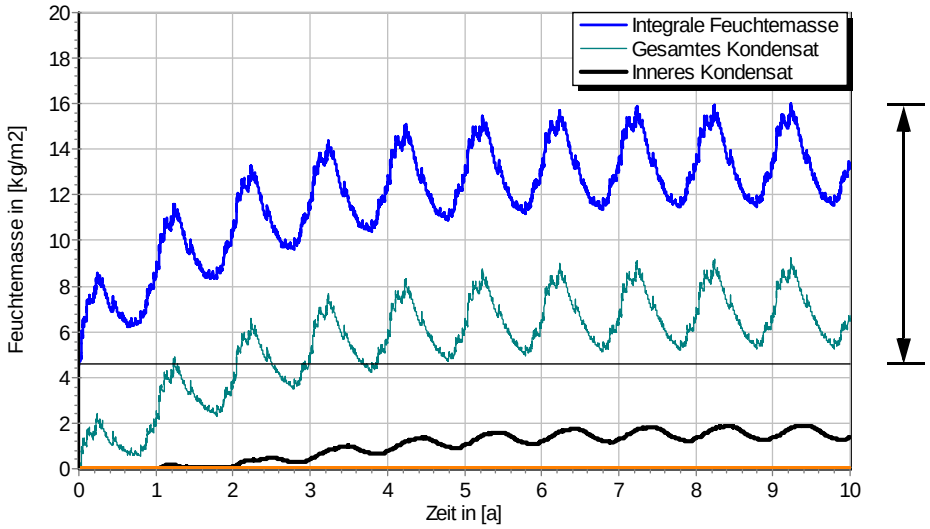
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,727 | 1,890 | 2,653 | 4,069 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,169 | 0,141 | 0,198 |



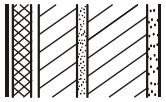

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

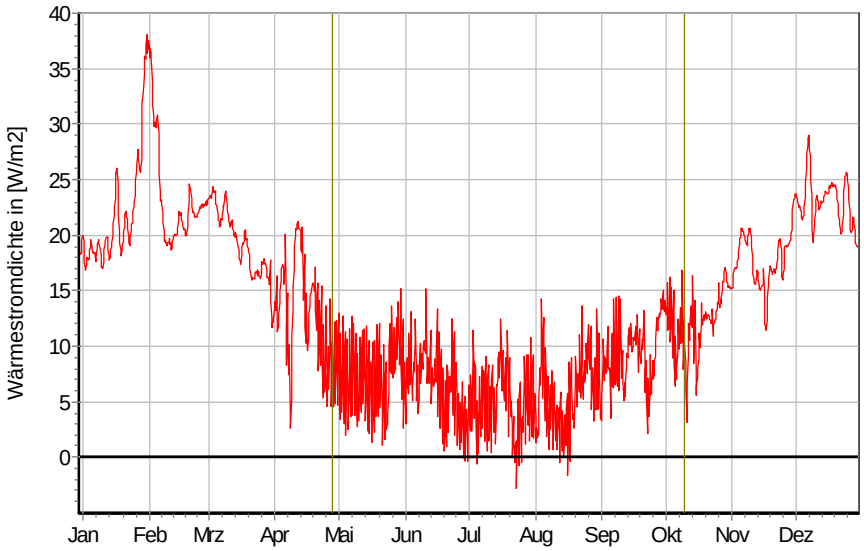
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,701 | 3,808 | 6,802 | 11,414 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,141 | 0,097* | 0,238* | 1,909* |

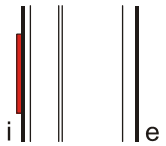
* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

# 1.5 Altbauziegel, außen Kunstharzoberputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



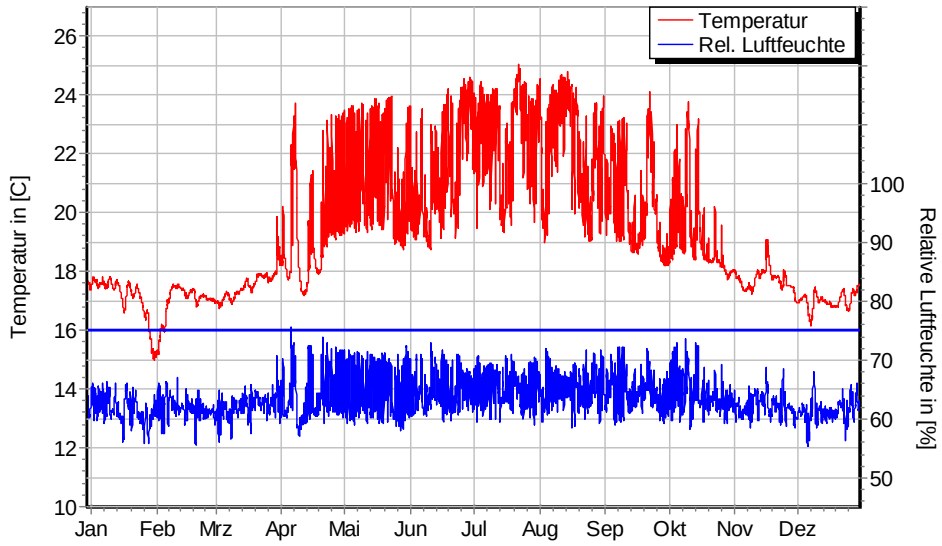



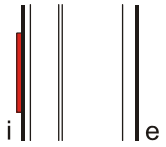

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,9 | 18,84 | 12,69 | 8,89 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,98 | 1,07 | 0,72 | 0,51 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,33 | 0,76 | 1,22 | 1,81 |

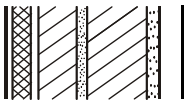
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,45 | 18,48 | 12,49 | 8,78 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,96 | 1,05 | 0,71 | 0,50 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,34 | 0,78 | 1,24 | 1,83 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

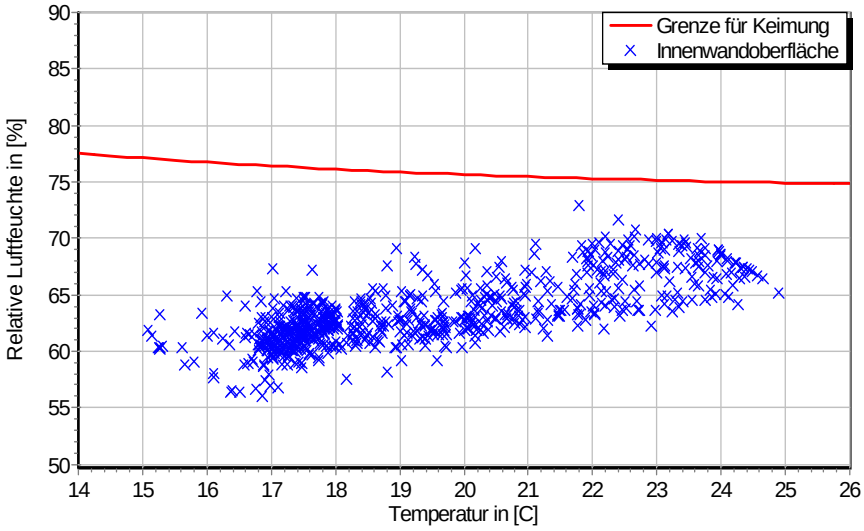


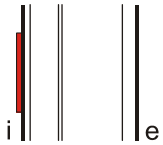




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

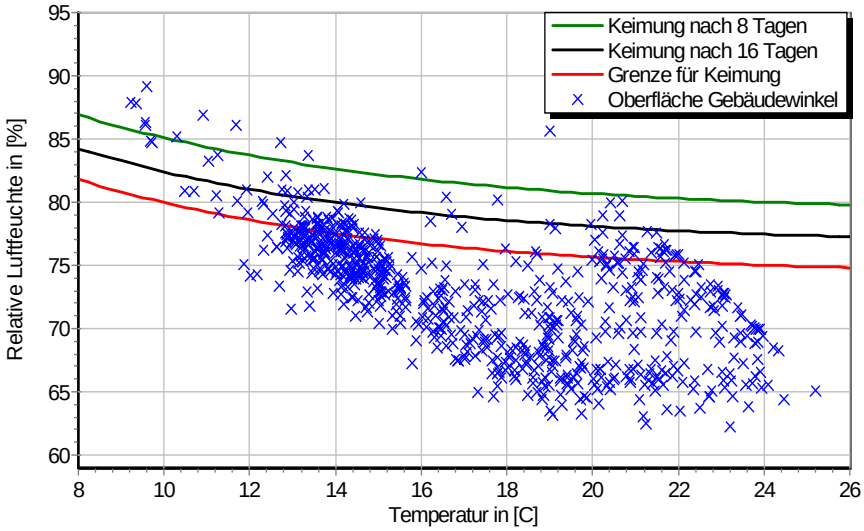


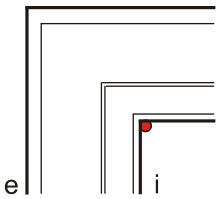
# 1.5 Altbauziegel, außen Kunstharzoberputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



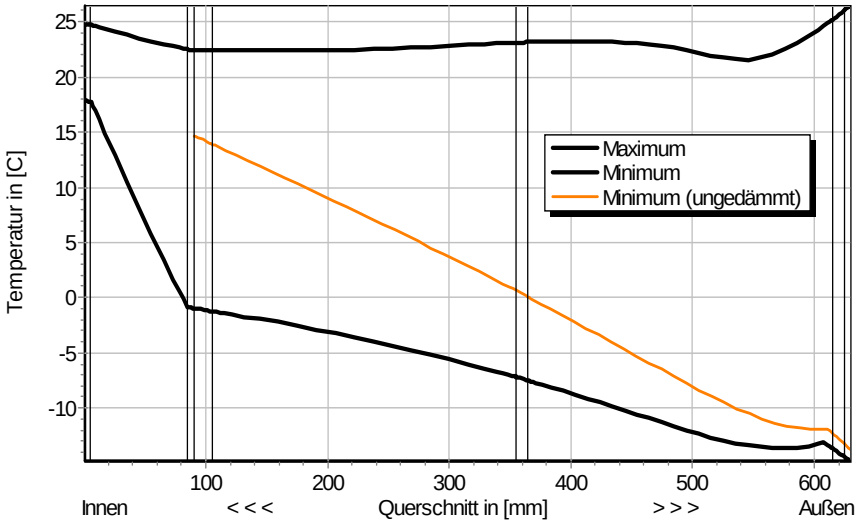

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



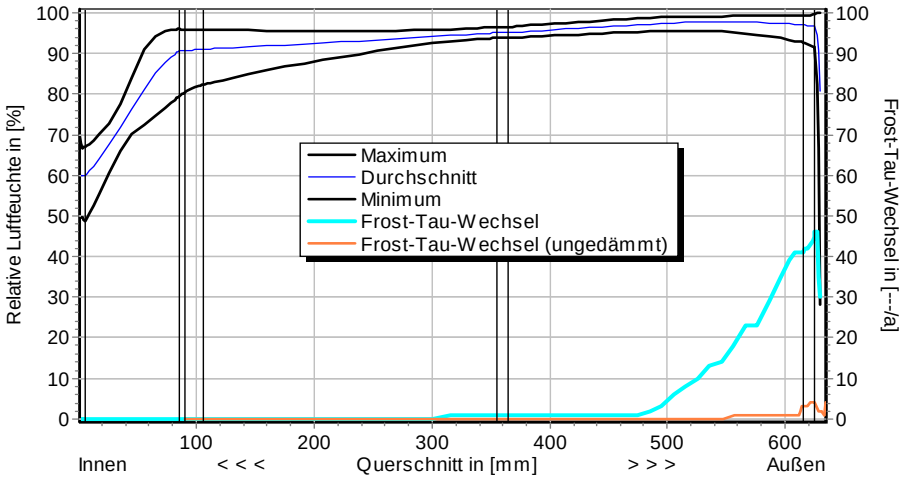

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

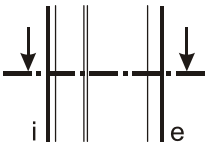
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



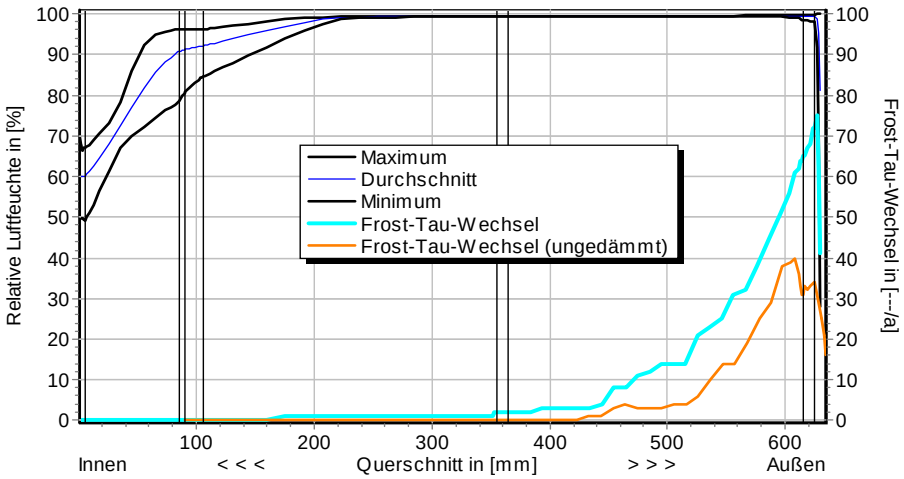
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

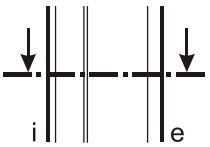
# 1.5 Altbauziegel, außen Kunstharzoberputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 1 | 7 | 15 | 21 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 92,5 | 98,8 | 99,2 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 86,3 | 81,7 | 84,2 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 101,3 | 98,6 | 97,9 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 128,9 | 127,2 | 125,7 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 21 | 31 | 43 | 51 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 99,7 | 99,6 | 99,9 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 147,9 | 148,0 | 148,1 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 96,4 | 96,2 | 96,7 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 139,0 | 131,2 | 125,9 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen, bis einschließlich 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

COND: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen, bis einschließlich 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

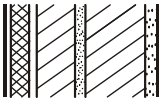
Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm (1½ SL) gegeben. Ohne und mit Schlagregeneinfluss werden bei jeder Dämmvariante die maximale innere Kondensatmenge und die Verdunstung, mit Ausnahme bei 80 mm Dämmung (2 SL) und Schlagregeneinfluss, eingehalten. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Verdunstung bei 80 mm überprüfen).

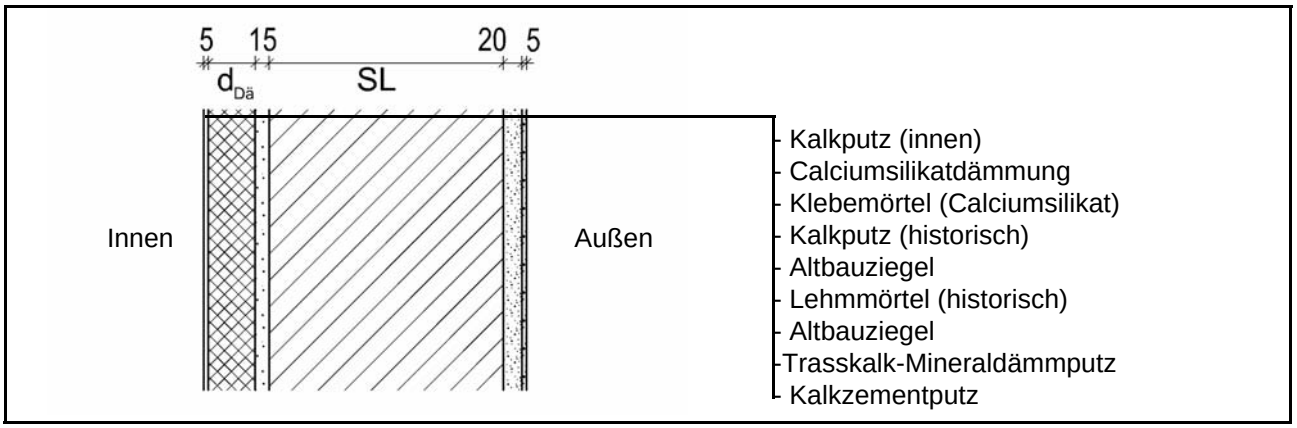
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten: 1.1 bis 1.3
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.1 bis 6.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.1 bis 9.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.4 bis 10.6
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Trasskalk-Mineraldämmputz | 610 | 0,10 | 6,9 | 6,0 | 48,7 | 0,211 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,36 | 1,01 | 1,48 | 2,11 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,90 | 0,85 | 0,61 | 0,44 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,482 | 1,311 | 1,115 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,757 | 2,588 | 1,779 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,46 | 0,698 | 0,761 | 0,810 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,36 | 1,00 | 1,46 | 2,06 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,90 | 0,86 | 0,61 | 0,45 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,084 | 0,172 | 0,322 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,757 | 2,588 | 1,779 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 80,2 | 61,6 | 58,1 | 55,7 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat

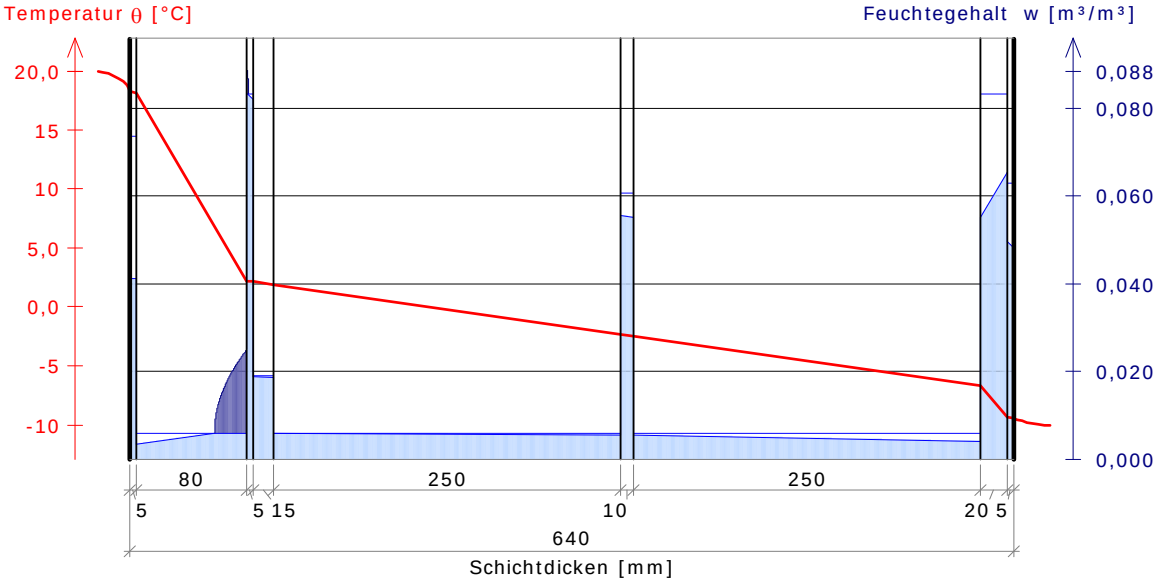
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

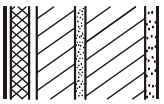
## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm und 2 Steinlängen

| | Schicht/Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,3 | 2097 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,041 | | |
| | | 18,2 | 2086 | 1163 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,025** | 24,2 | 0,31 |
| | | 2,2 | **717** | **717** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Klimaplatte) | | | | **0,088** | 1,3 | 0,00 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | 2,1 | 713 | 703 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,019 | | |
| | | 1,9 | 701 | 684 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -2,3 | 505 | 463 | | | |
| 6 | Lehmmörtel (historisch) | | | | 0,056 | | |
| | | | | | 0,055 | | |
| | | -2,5 | 497 | 452 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | 0,005 | | |
| | | | | | 0,004 | | |
| | | -6,7 | 347 | 231 | | | |
| 8 | Trasskalk-Mineraldämmputz | | | | 0,055 | | |
| | | | | | 0,065 | | |
| | | -9,4 | 275 | 216 | | | |
| 9 | Kalkzementputz | | | | 0,049 | | |
| | | | | | 0,048 | | |
| | | -9,5 | 273 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



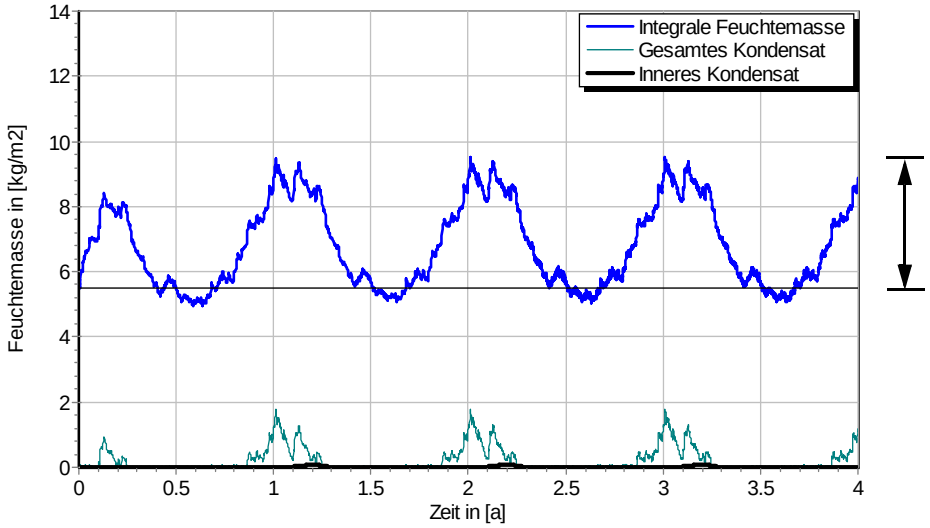
# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone:Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

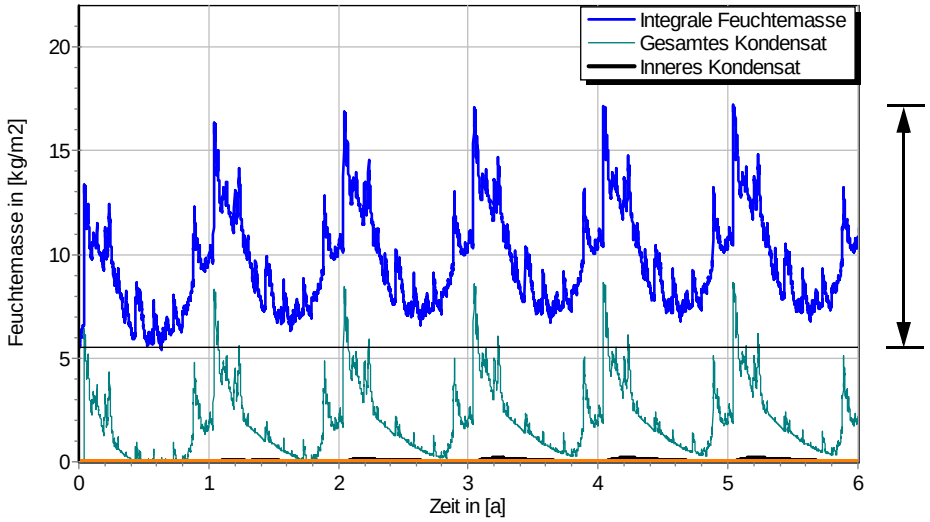
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,73 | 2,57 | 3,36 | 3,98 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,02 | 0,03 | 0,08 |



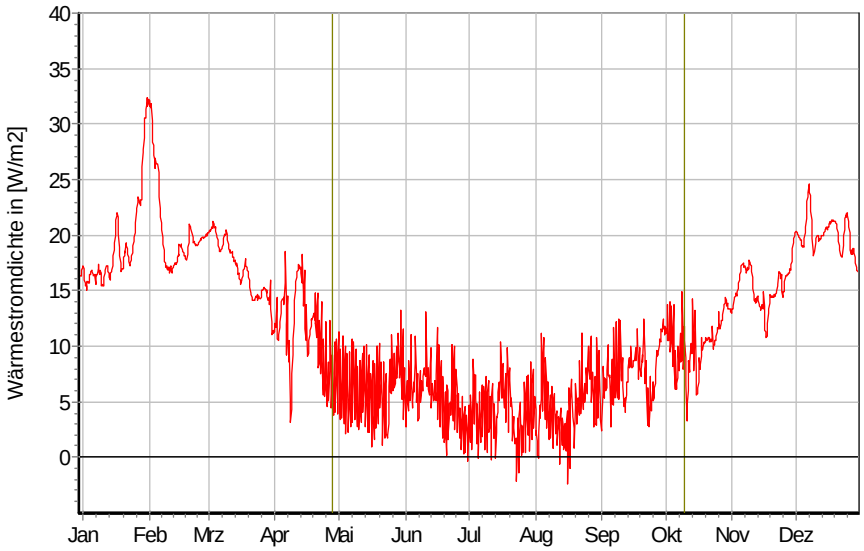

$\Delta m_{W,80}$

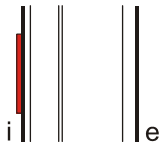
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,70 | 9,21 | 10,20 | 11,71 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,14 | 0,24* | 0,06* | 0,22* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



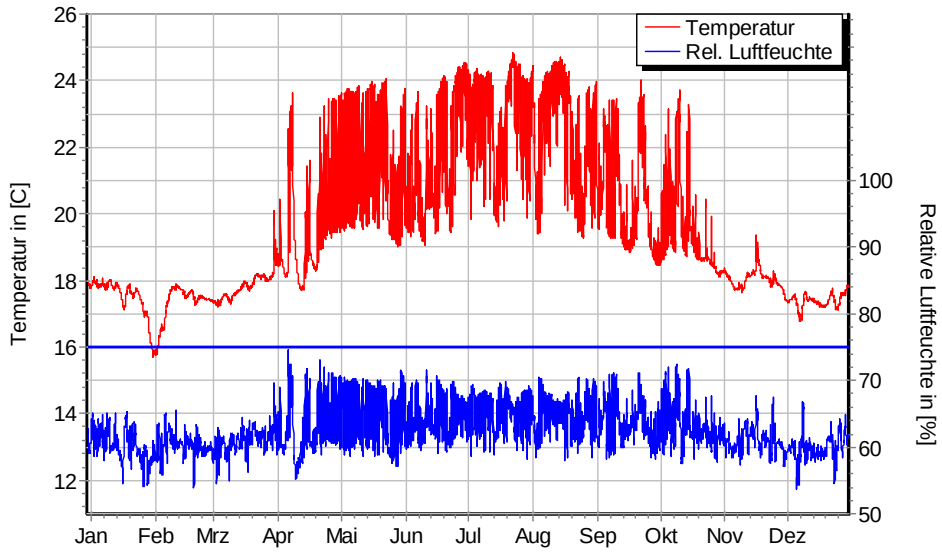



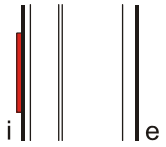

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,9 | 16,42 | 11,58 | 8,33 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,98 | 0,93 | 0,66 | 0,47 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,33 | 0,90 | 1,35 | 1,94 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,45 | 16,59 | 11,59 | 8,31 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,96 | 0,94 | 0,66 | 0,47 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,34 | 0,89 | 1,35 | 1,95 |

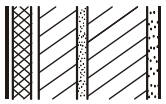
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

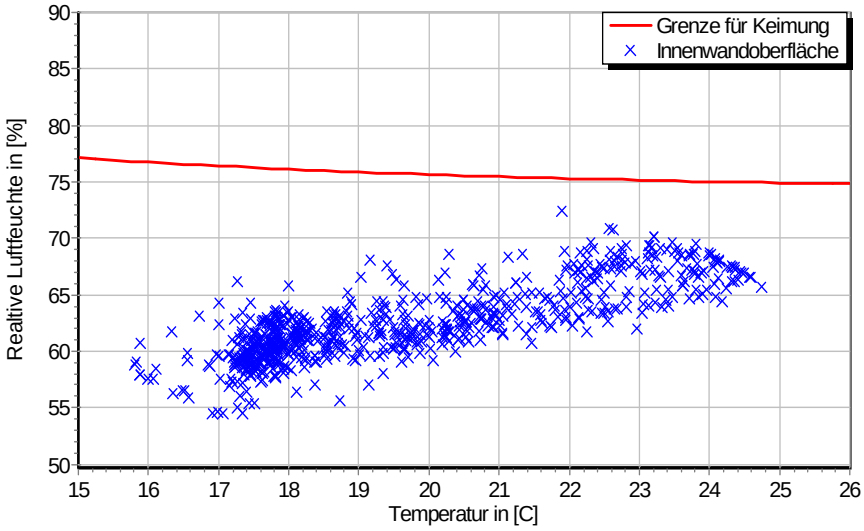


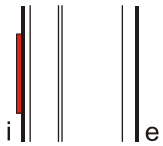




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

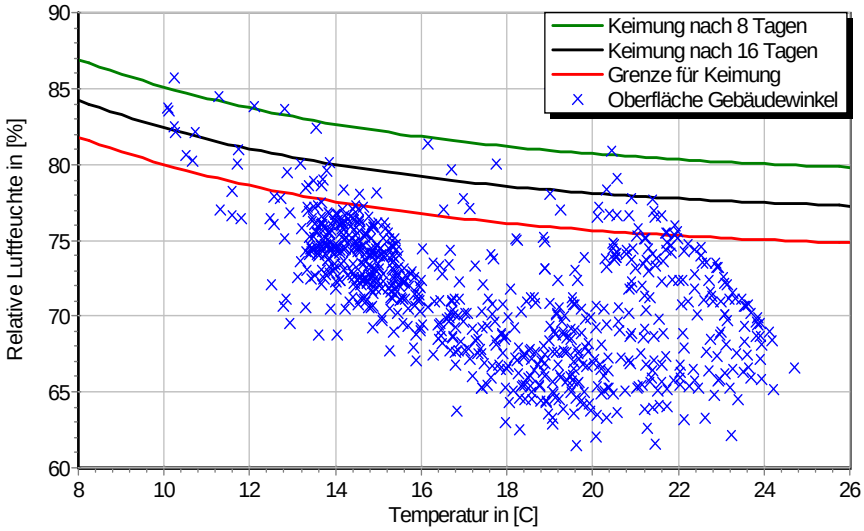
# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat

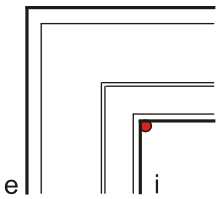




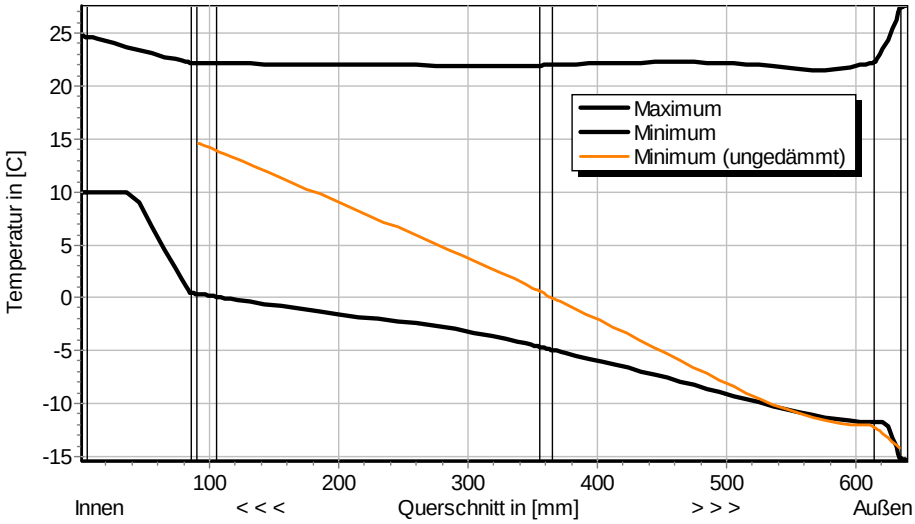

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



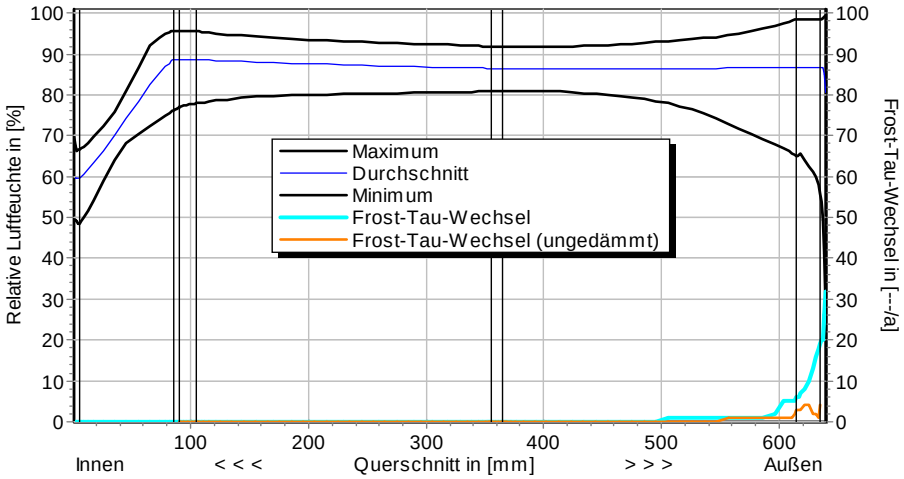

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

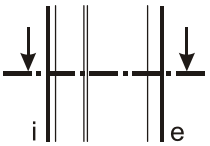
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



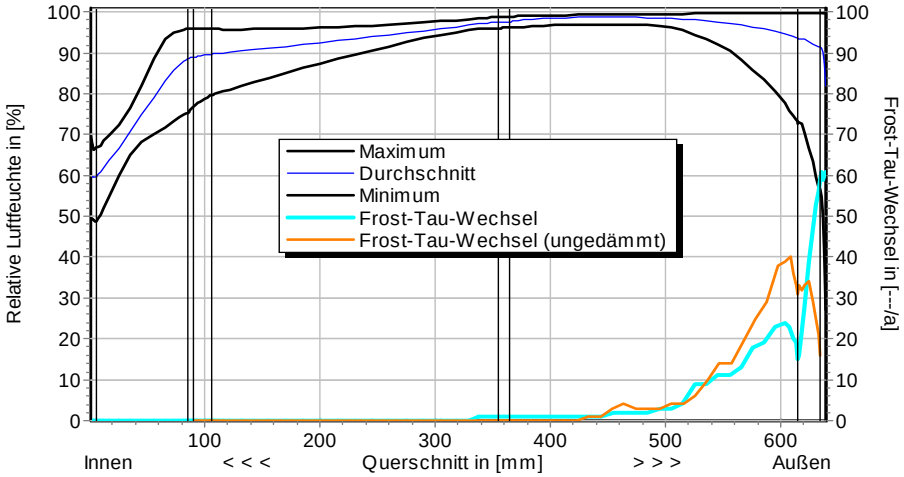
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

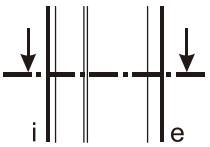
# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)



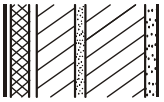

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 1 | 14 | 23 | 29 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 107,5 | 107,6 | 108,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 117,4 | 116,0 | 120,4 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 93,4 | 93,9 | 94,4 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 103,7 | 103,1 | 102,8 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 21 | 39 | 50 | 56 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 107,7 | 107,8 | 108,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 128,8 | 126,6 | 125,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 109,3 | 110,0 | 110,5 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 104,2 | 99,4 | 95,4 |

# 1.6 Altbauziegel, außen Wärmedämmputz, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen, bis einschließlich 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

COND: Die Varianten mit 50 (1½ SL) und 80 mm (2 SL) Dämmung erfüllen die DIN-Kriterien bezüglich Mindestwärmeschutz. Die maximale Kondensatmenge und Verdunstung werden immer eingehalten.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gegeben. Ohne und mit Schlagregeneinfluss werden bei jeder Dämmvariante die maximale innere Kondensatmenge und Verdunstung eingehalten. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

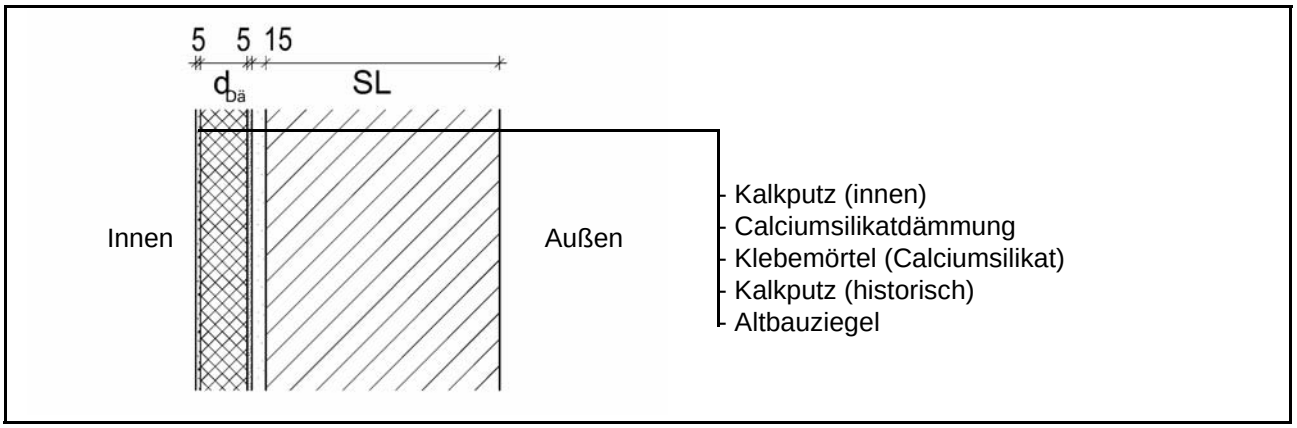
Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten: 1.1 bis 1.3
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz verputzt: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten nur punktuell verklebt: 1.8
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.1 bis 6.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.1 bis 9.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.4 bis 10.6
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.7 Altbauziegel, außen unverputzt, innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

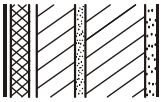
| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 0,80 | 1,28 | 1,90 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,00 | 1,03 | 0,69 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 2,513 | 1,803 | 1,353 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,777 | 2,598 | 1,784 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,662 | 0,741 | 0,838 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 0,78 | 1,24 | 1,85 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,00 | 1,05 | 0,71 | 0,50 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,173 | 0,263 | 0,412 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,777 | 2,598 | 1,784 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 64,7 | 59,4 | 56,4 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 34,7 | 26,9 | 15,5 |

# 1.7 Altbauziegel, außen unverputzt, innen gedämmt mit Calciumsilikat



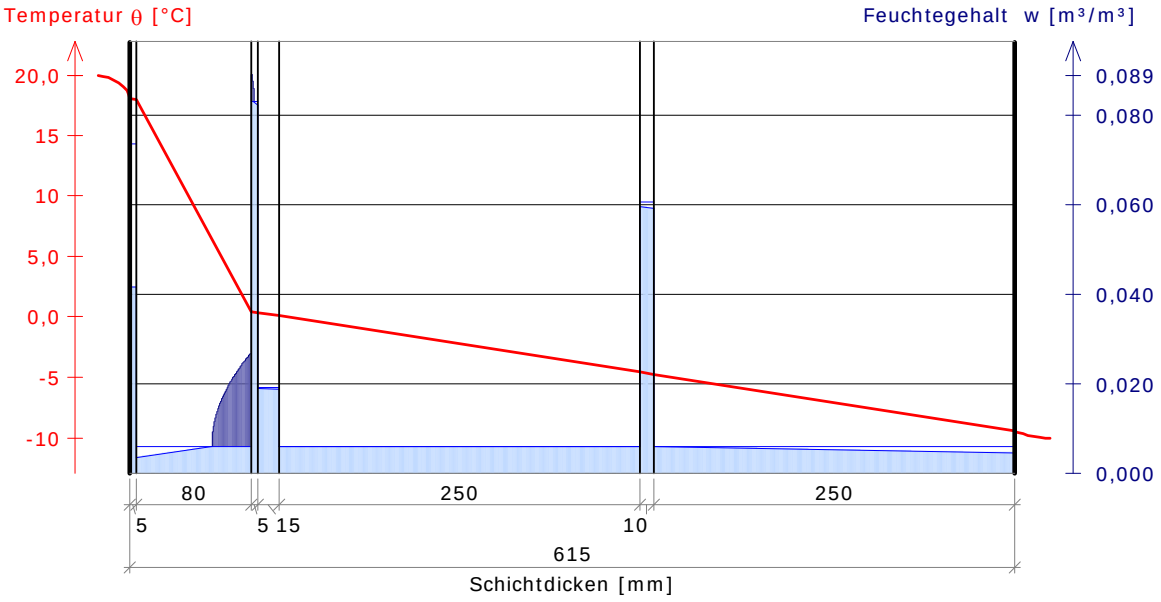
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm mit 2 Steinlängen

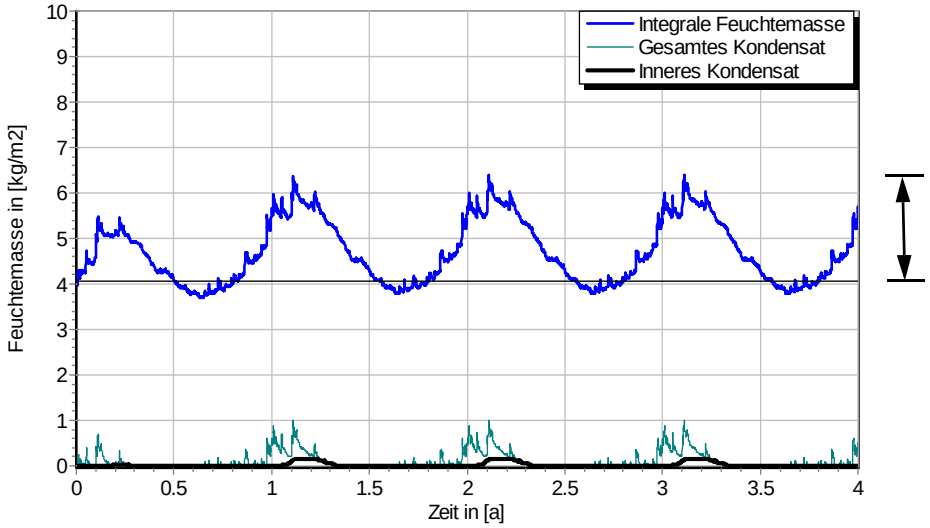
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,1 | 2073 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,042 | | |
| | | 18,0 | 2060 | 1164 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,027** | 28,0 | 0,39 |
| | | 0,4 | **631** | **631** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Klimaplatte) | | | | **0,089** | 1,8 | 0,01 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | 0,4 | 628 | 621 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | 0,019 | | |
| | | | | | 0,019 | | |
| | | 0,1 | 616 | 604 | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,006 | | |
| | | -4,5 | 418 | 411 | | | |
| 6 | Lehmmörtel (hist.) | | | | 0,060 | | |
| | | | | | 0,059 | | |
| | | -4,8 | 410 | 401 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | 0,006 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,4 | 274 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

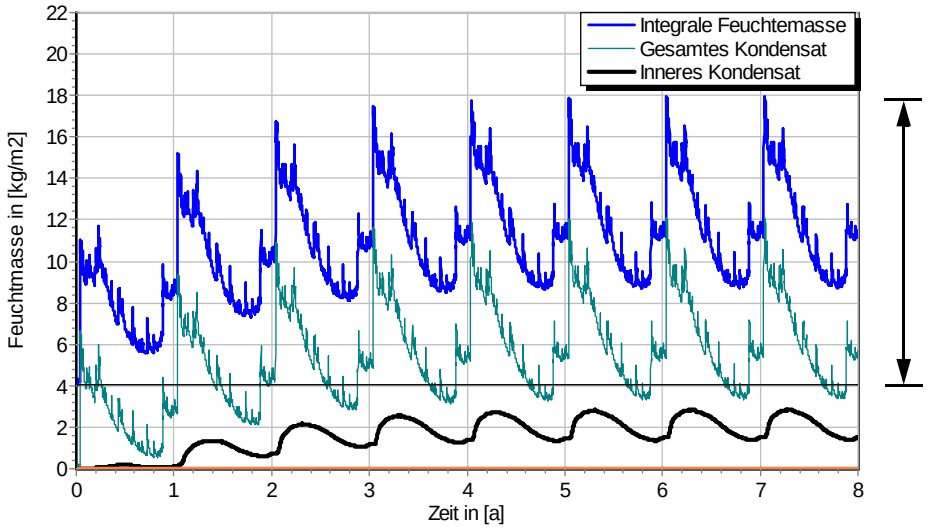
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 1,280 | 1,817 | 2,331 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0 | 0,207 | 0,157 | 0,167 |



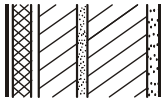

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

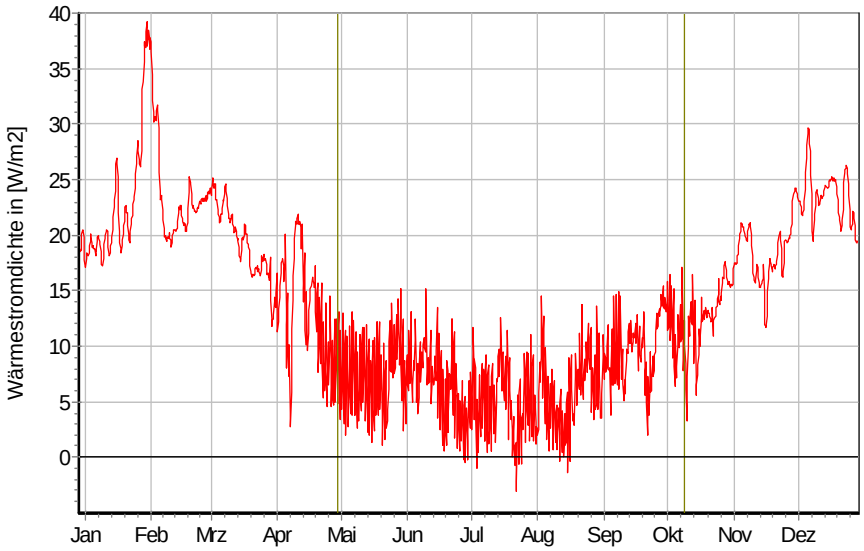
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,163 | 8,315 | 10,384 | 13,867 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,680 | 1,577* | 0,822* | 2,863* |

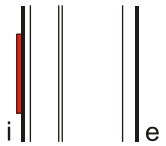
* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

# 1.7 Altbauziegel, außen unverputzt, innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



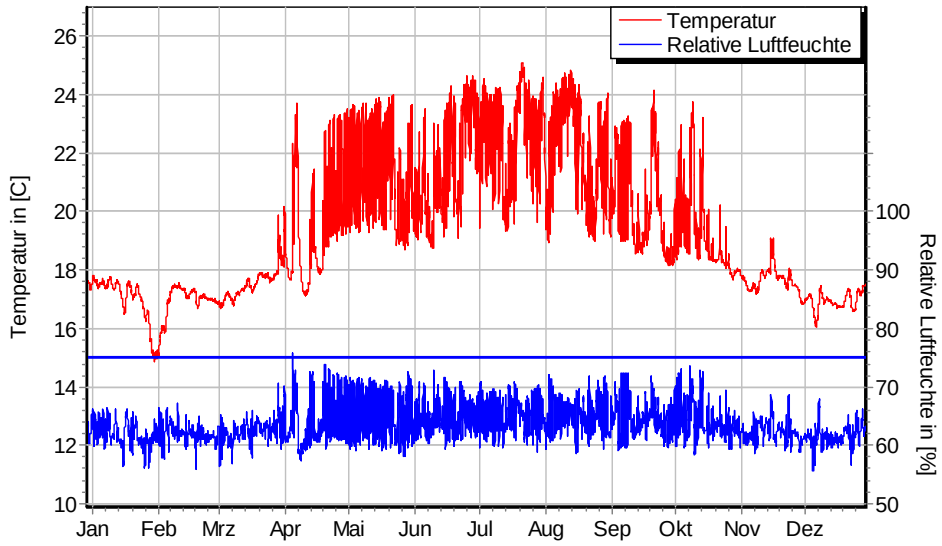



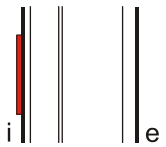

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 19,25 | 12,85 | 8,94 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,53 | 1,09 | 0,73 | 0,51 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,48 | 0,74 | 1,20 | 1,80 |

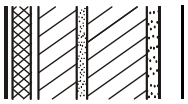
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 19,11 | 12,75 | 8,92 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,52 | 1,09 | 0,73 | 0,51 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,49 | 0,75 | 1,21 | 1,80 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

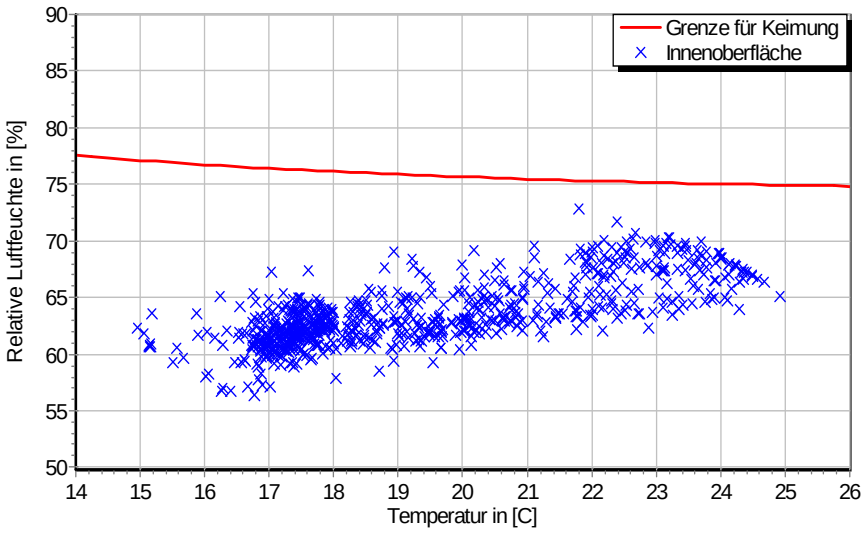


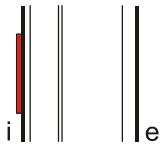




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

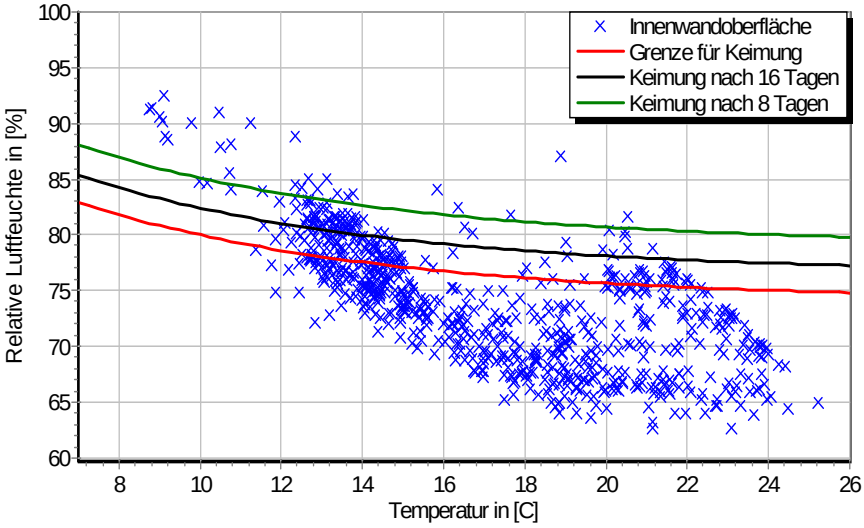


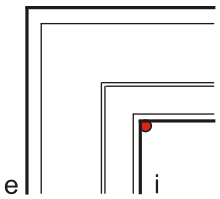
# 1.7 Altbauziegel, außen unverputzt, innen gedämmt mit Calciumsilikat



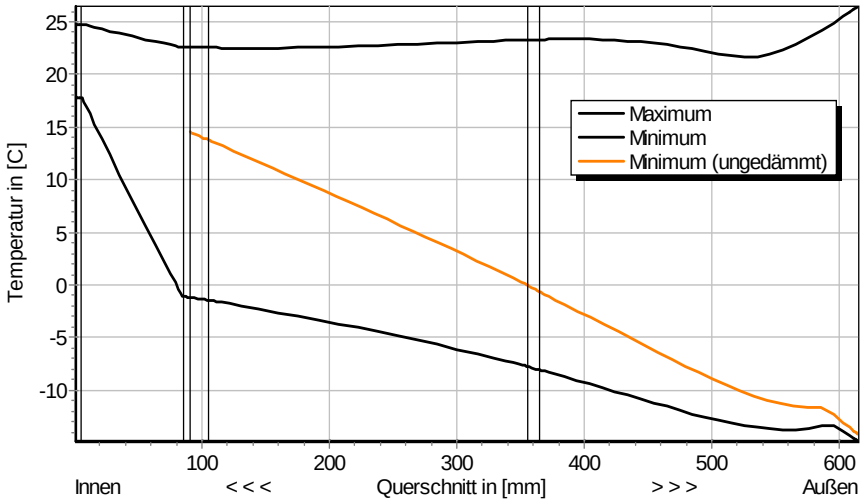

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



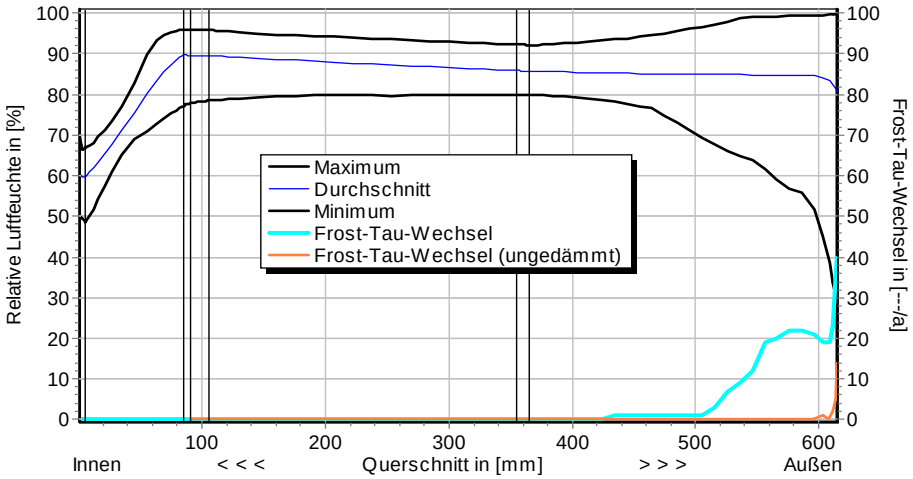

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

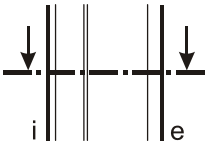
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



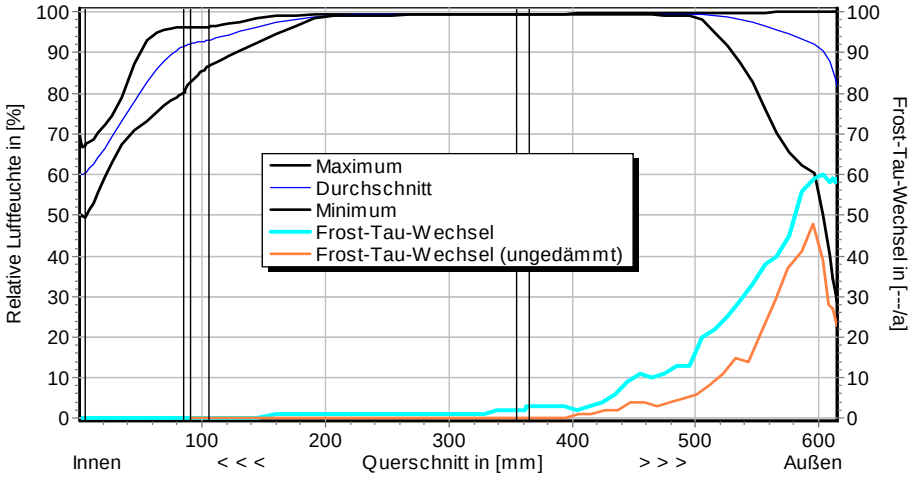
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

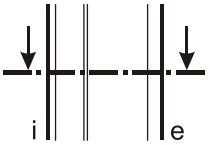
# 1.7 Altbauziegel, außen unverputzt, innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 22 | 33 | 40 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,0 | 95,3 | 95,7 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 100,5 | 118,9 | 122,6 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,6 | 96,9 | 97,6 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 95,9 | 95,3 | 94,5 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 48 | 60 | 66 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 96,0 | 96,8 | 97,1 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 113,2 | 115,3 | 112,6 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,1 | 96,0 | 97,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 100,1 | 98,6 | 96,6 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Keine Konstruktion erfüllt die DIN-Kriterien wegen zu hoher Kondensatmengen, bis einschließlich 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten.

COND: Bis 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, ab 50 mm Dämmung (1½ SL) werden alle DIN-Kriterien erfüllt.

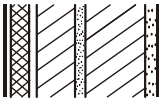
Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gerade noch erfüllt. Ohne Schlagregeneinfluss werden bei jeder Dämmvariante die maximale innere Kondensatmenge und die Verdunstung eingehalten, mit Schlagregeneinwirkung uneinheitliche Ergebnisse. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm (2 SL) Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

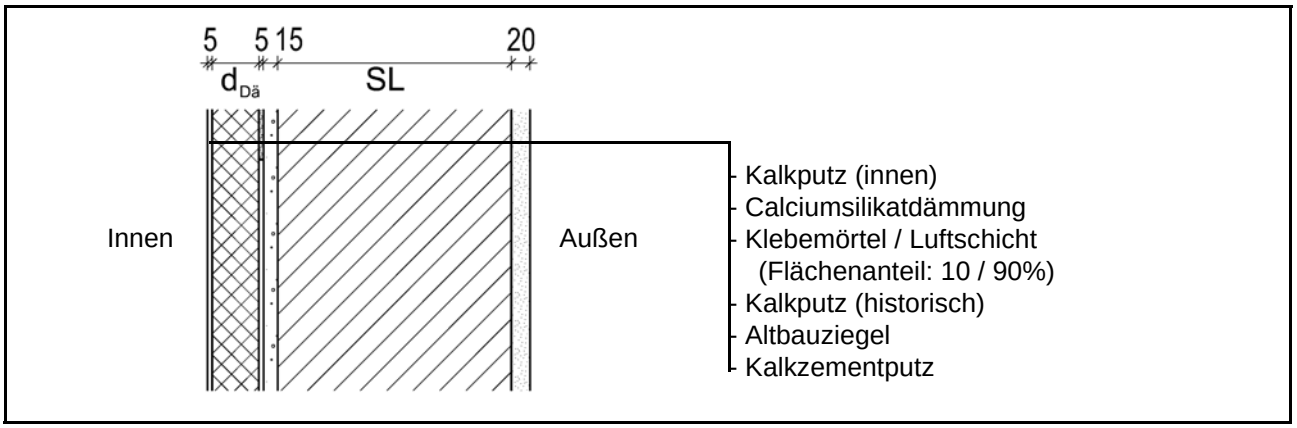
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.1 bis 3.3
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.1 bis 4.3
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1 bis 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1 bis 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1 bis 11.3

# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht und Steinlänge (SL): $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,36 | 0,92 | 1,40 | 2,02 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,90 | 0,92 | 0,64 | 0,45 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 2,662 | 1,871 | 1,375 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,690 | 2,627 | 1,869 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,462 | 0,666 | 0,743 | 0,799 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,36 | 0,92 | 1,39 | 2,01 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,90 | 0,92 | 0,65 | 0,46 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 2,153 | 1,480 | 1,046 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,690 | 2,627 | 1,869 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 80,2 | 62,6 | 58,5 | 55,9 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,20 | 0,27 | 0,39 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,57 | 0,88 | 1,34 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 32,8 | 25,0 | 13,6 |

# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt

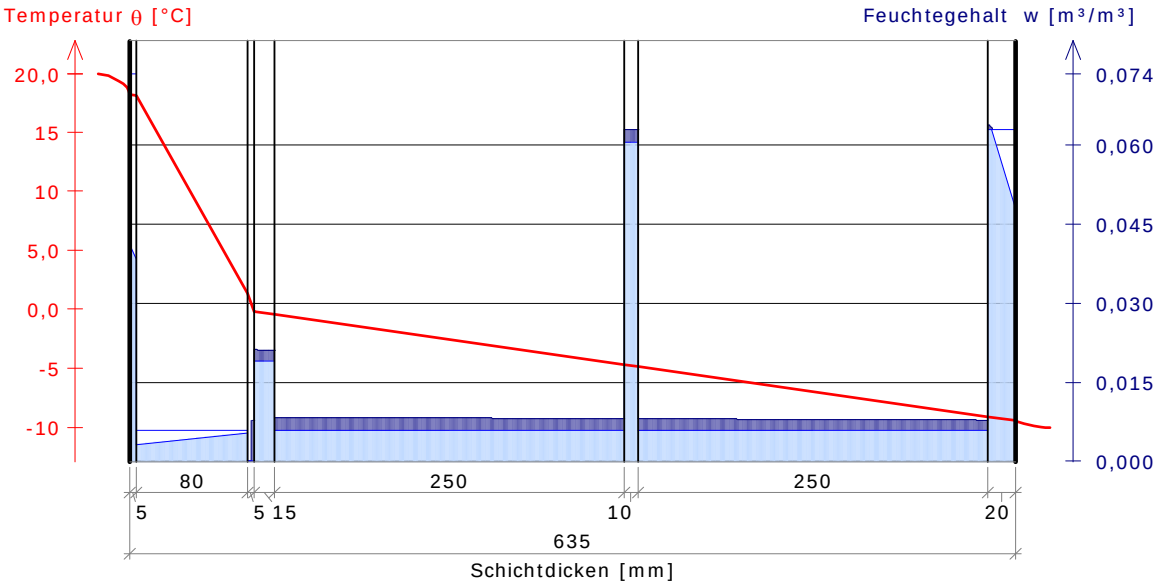
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

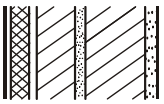
## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm und 2 SL, Schnitt durch Luftschicht

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,2 | 2094 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,038 | | |
| | | 18,1 | 2082 | 1085 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | 1,3 | 672 | 609 | | | |
| 3 | Luftschicht 5 mm (vertikal) | | | | 0,000 | | |
| | | | | | **0,008** | 0,0 | 0,00 |
| | | -0,2 | **603** | **603** | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,021** | 15,0 | 0,03 |
| | | | | | **0,021** | | |
| | | -0,4 | **591** | **591** | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | **0,008** | 250,0 | 0,56 |
| | | | | | **0,008** | | |
| | | -4,7 | **413** | **413** | | | |
| 6 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,063** | 10,0 | 0,02 |
| | | | | | **0,063** | | |
| | | -4,9 | 406 | 406 | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | **0,008** | 250,0 | 0,50 |
| | | | | | **0,008** | | |
| | | -9,1 | **281** | **281** | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | **0,064** | 3,2 | 0,00 |
| | | | | | 0,048 | | |
| | | -9,5 | 273 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



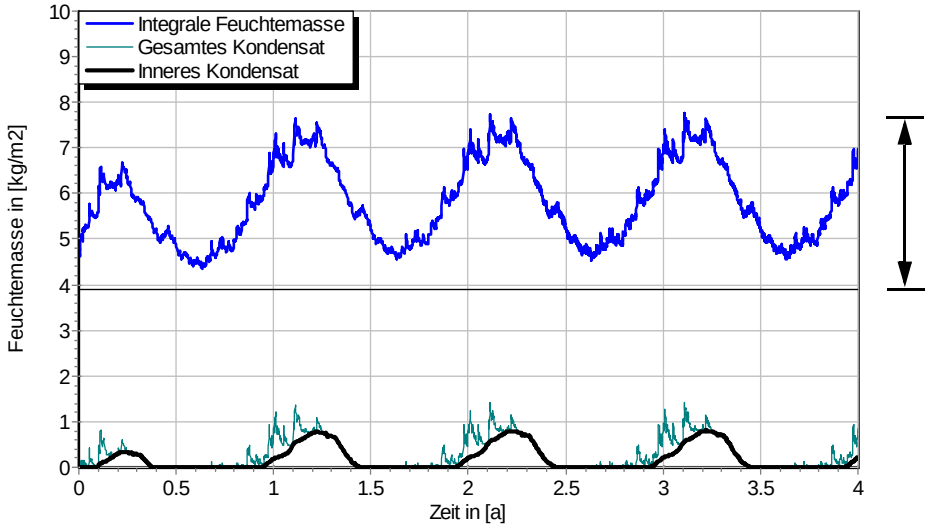
# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

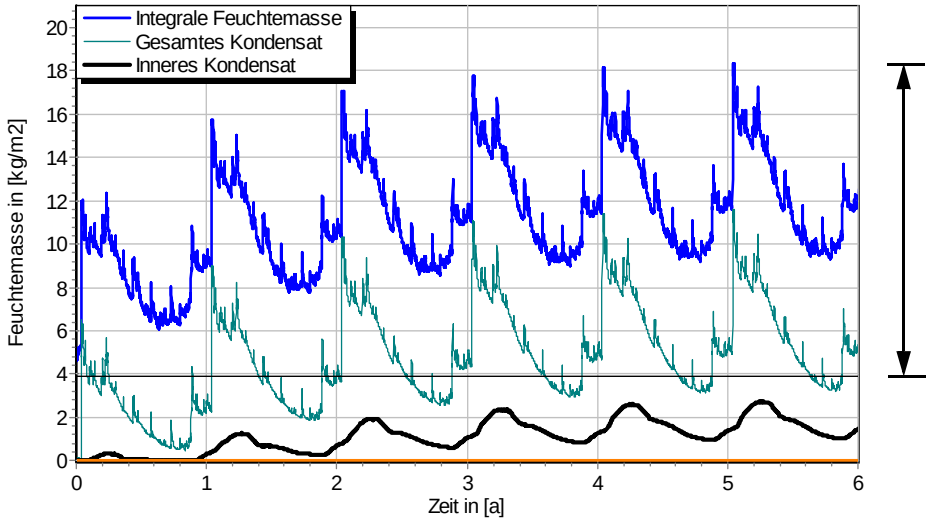
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,727 | 3,095 | 2,821 | 7,761 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 1,703 | 1,052 | 0,802 |



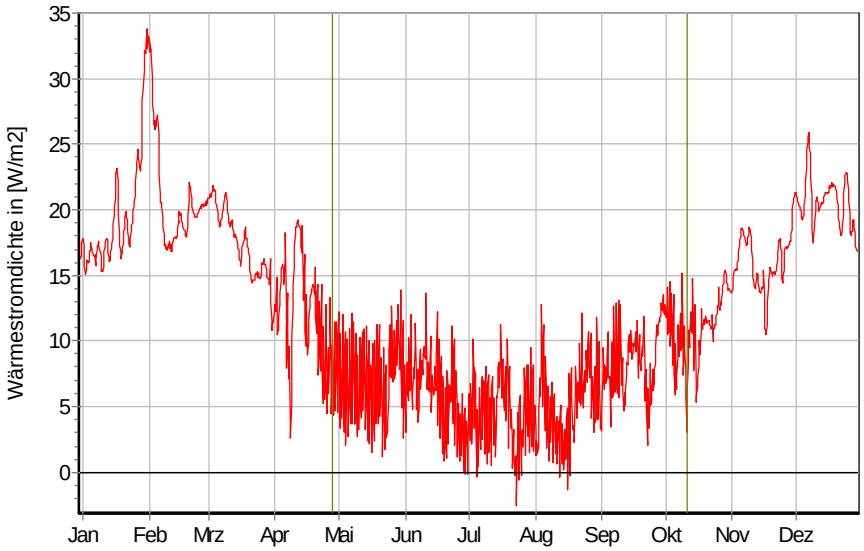

$\Delta m_{W,80}$

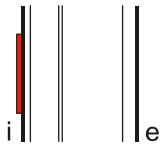
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,701 | 9,426 | 11,313 | 13,803 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,141 | 3,064* | 1,616* | 2,847* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



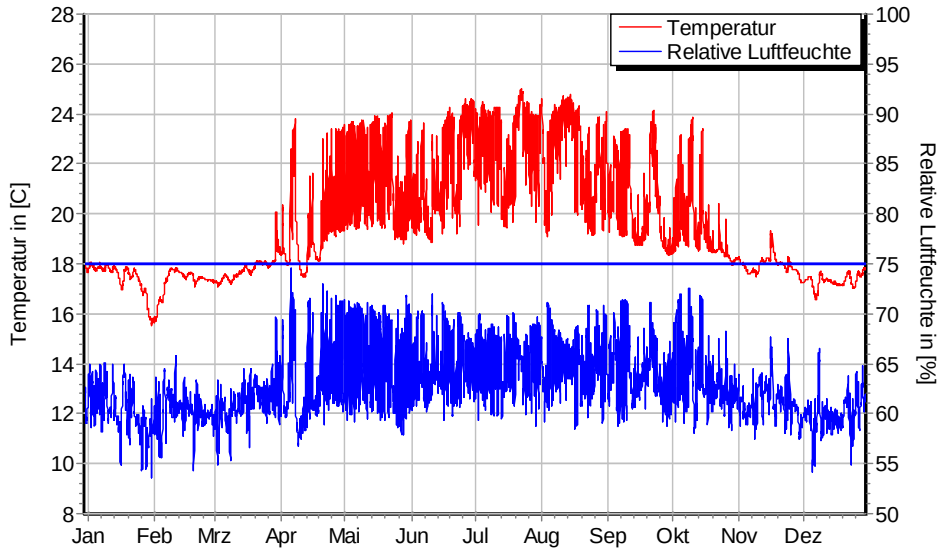



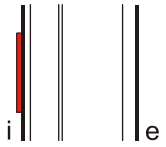

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,9 | 16,97 | 11,74 | 8,36 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,98 | 0,83 | 0,60 | 0,44 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,33 | 1,04 | 1,50 | 2,10 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 34,45 | 16,74 | 11,61 | 8,28 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,96 | 0,82 | 0,59 | 0,43 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,34 | 1,05 | 1,51 | 2,13 |

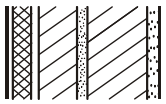
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

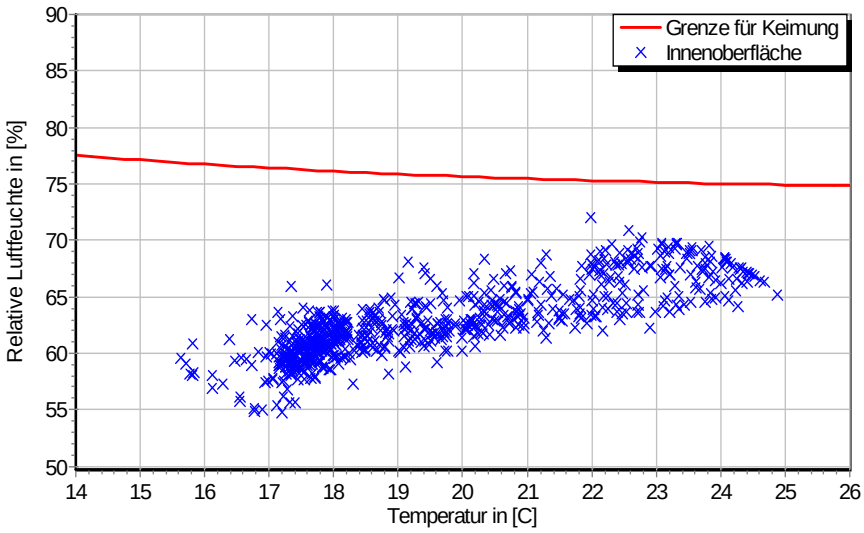


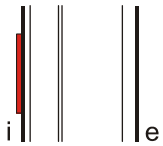




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

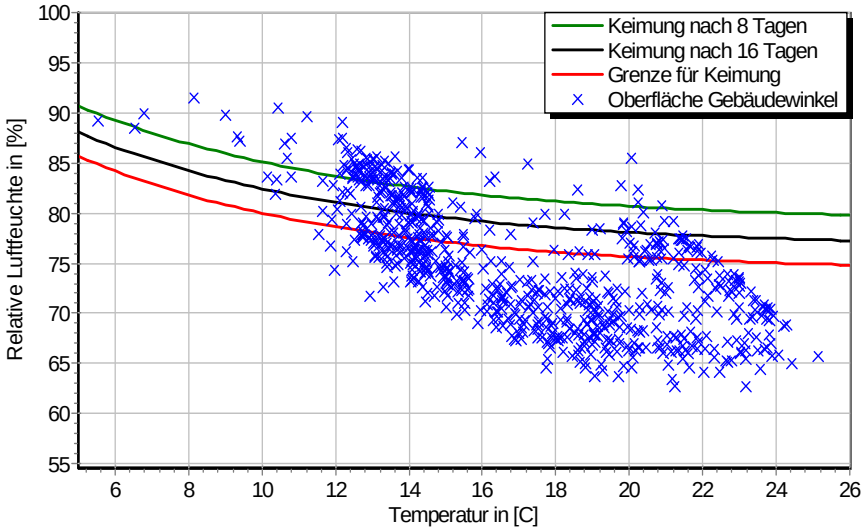
# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt

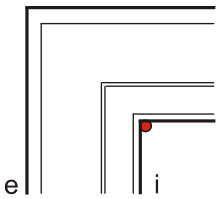




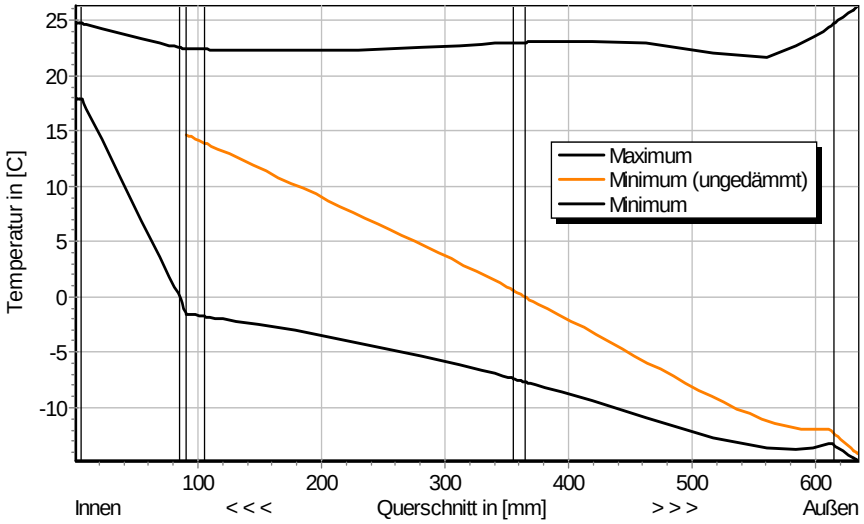

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



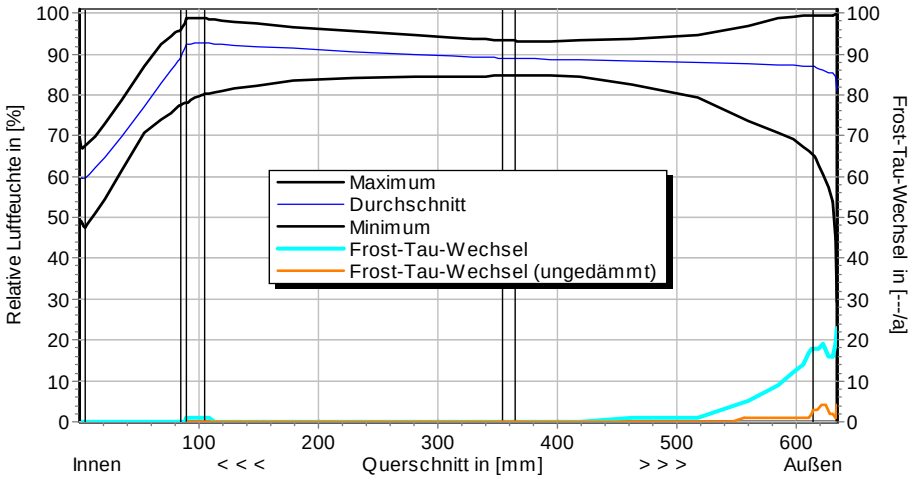

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

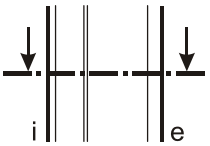
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



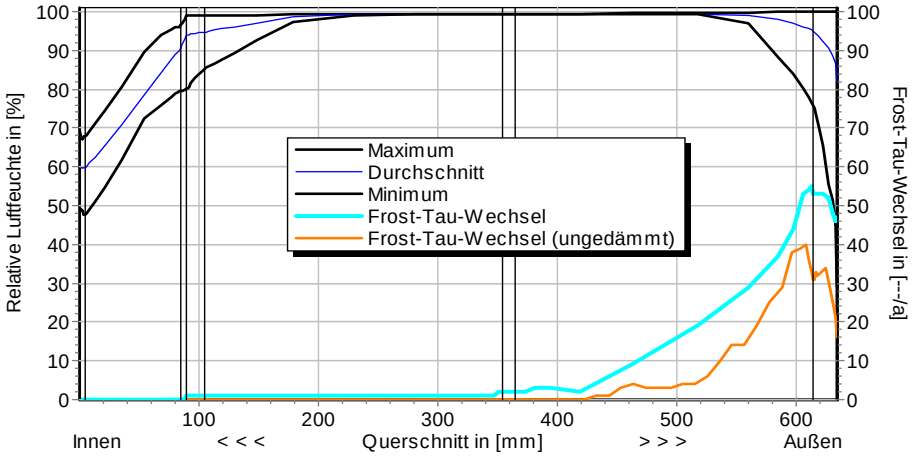
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

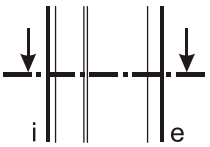
# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)



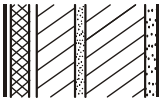

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 1 | 14 | 22 | 30 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 97,4 | 97,7 | 98,2 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 92,0 | 85,0 | 84,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 103,6 | 100,8 | 100,5 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 99,5 | 97,6 | 95,9 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 21 | 42 | 52 | 58 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,3 | 98,1 | 98,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 106,8 | 105,2 | 104,8 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,8 | 97,5 | 98,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 110,1 | 106,5 | 104 |

# 1.8 Altbauziegel, innen gedämmt mit Calciumsilikat, punktuell verklebt



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Mit 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, bei allen Varianten zu hohe Kondensatmengen.

COND: Mit 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, bei allen Varianten zu hohe Kondensatmengen.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm Dämmung (1½ SL) gegeben. Ohne Schlagregeneinfluss bilden sich mit 30 und 50 mm Dämmung zu hohe Kondensatmengen.
Bei hoher eindringender Schlagregenmenge entstehen zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung des Kondensats ist, ausgenommen mit 30 mm Dämmung, nicht mehr gewährleistet. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

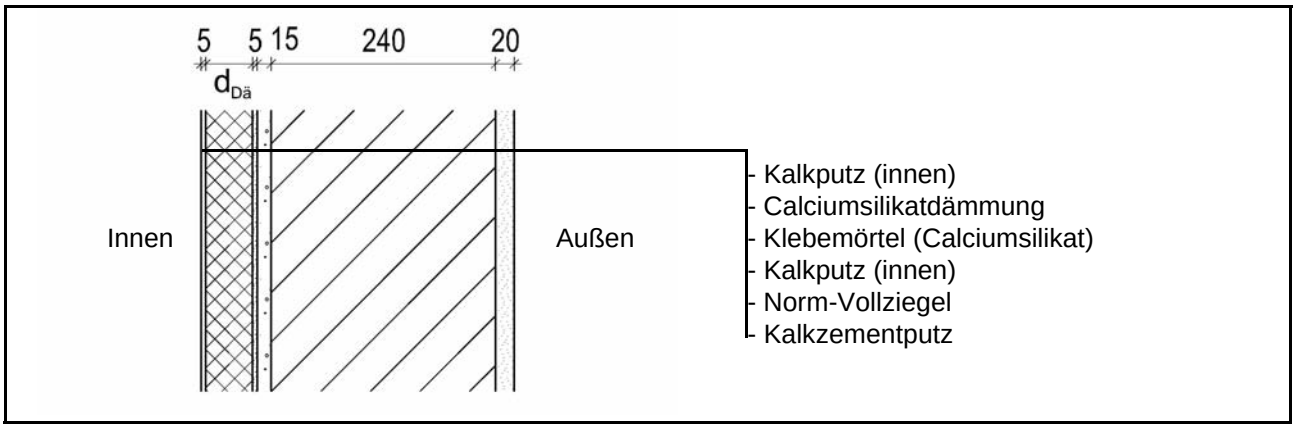
Vorzugsvarianten: 80 mm Dämmdicke (2 SL, Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten: 1.1 bis 1.3
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen mit historischem Kalkputz: 1.4
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Kunstharzputz: 1.5
- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen zusätzlich mit Wärmedämmputz: 1.6
- Altbauziegel, innen Mineraldämmplatten: 6.1 bis 6.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen Kunstharzoberputz: 8.5
- Altbauziegel, innen Schaumglasplatten: 9.1 bis 9.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehmplatten: 10.4 bis 10.6
- Altbauziegel, aussen WDVS-Dämmung: 12.1

# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50, 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Norm-Vollziegel | 1400 | 0,550 | 18,8 | 1,1 | 31,9 | 0,156 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

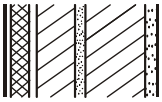
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,48 | 0,95 | 1,26 | 1,72 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,54 | 0,89 | 0,70 | 0,53 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,860 | 1,881 | 1,605 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,545 | 1,772 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,533 | 0,692 | 0,742 | 0,788 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,48 | 0,93 | 1,22 | 1,66 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,54 | 0,91 | 0,72 | 0,55 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,300 | 0,369 | 0,639 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,545 | 1,772 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 73,0 | 62,4 | 59,6 | 57,1 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 39,7 | 31,1 | 26,4 | 15,7 |

# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



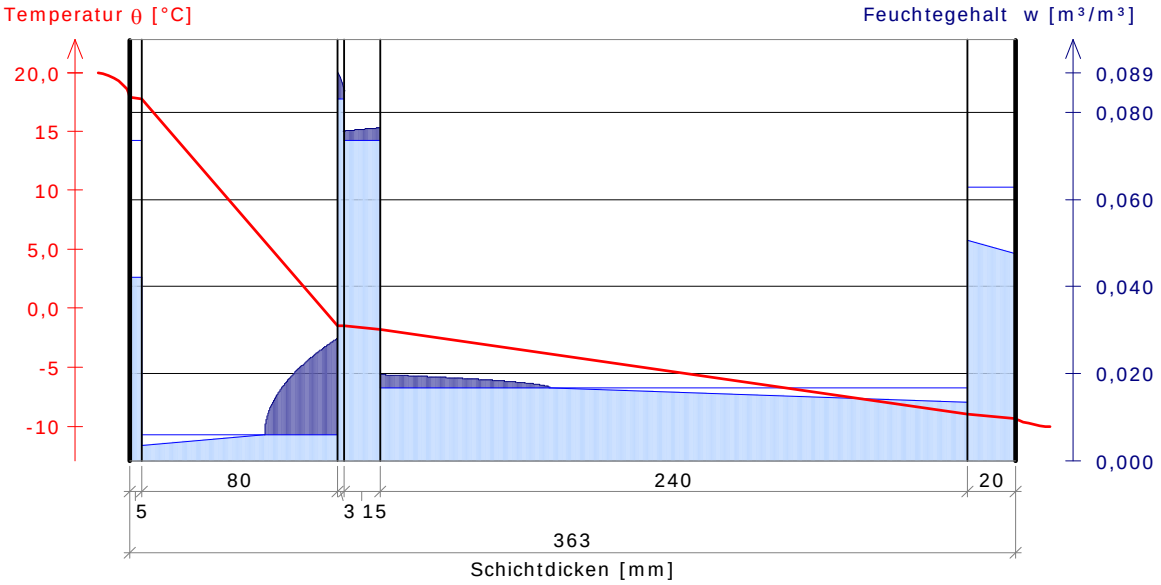
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,9 | 2047 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,042 | | |
| | | 17,8 | 2033 | 1165 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,028** | 30,1 | 0,45 |
| | | -1,5 | 542 | 542 | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikatplatte) | | | | **0,089** | 3,0 | 0,01 |
| | | | | | **0,085** | | |
| | | -1,5 | 540 | 540 | | | |
| 4 | Kalkputz (innen) | | | | **0,076** | 15,0 | 0,04 |
| | | | | | **0,076** | | |
| | | -1,8 | 526 | 526 | | | |
| 5 | Vollziegel | | | | **0,020** | 69,2 | 0,14 |
| | | | | | 0,013 | | |
| | | -8,9 | 286 | 229 | | | |
| 6 | Kalkzementputz | | | | 0,051 | | |
| | | | | | 0,048 | | |
| | | -9,3 | 275 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |

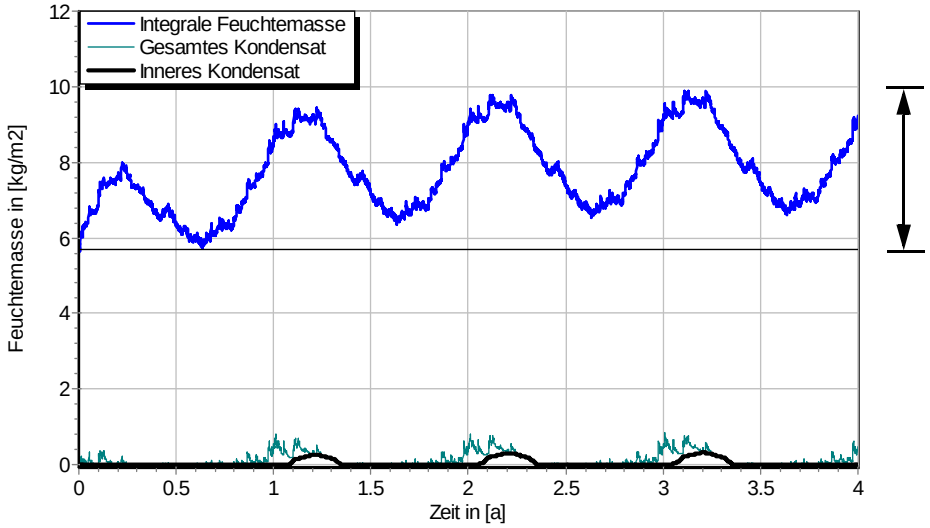


# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

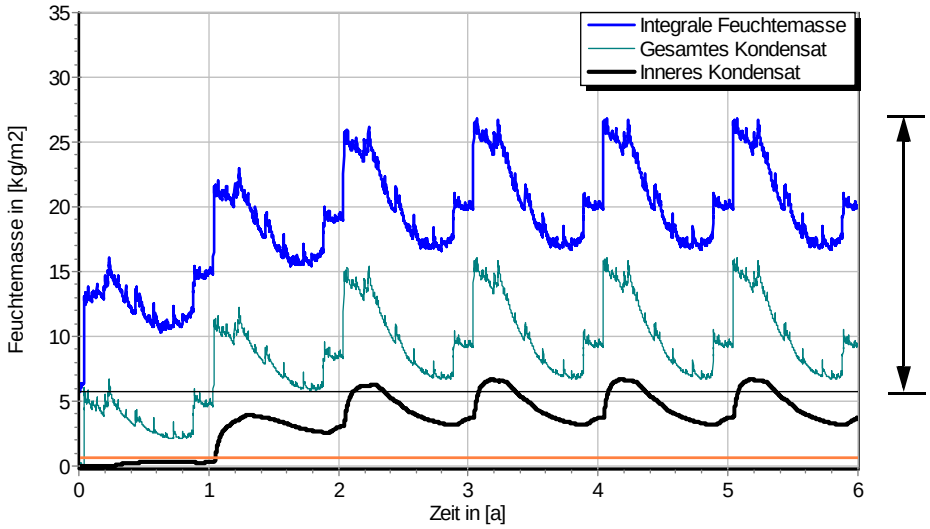
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 1,078 | 2,469 | 3,460 | 4,270 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,001 | 0,148 | 0,322 |



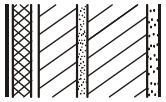

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante in orange

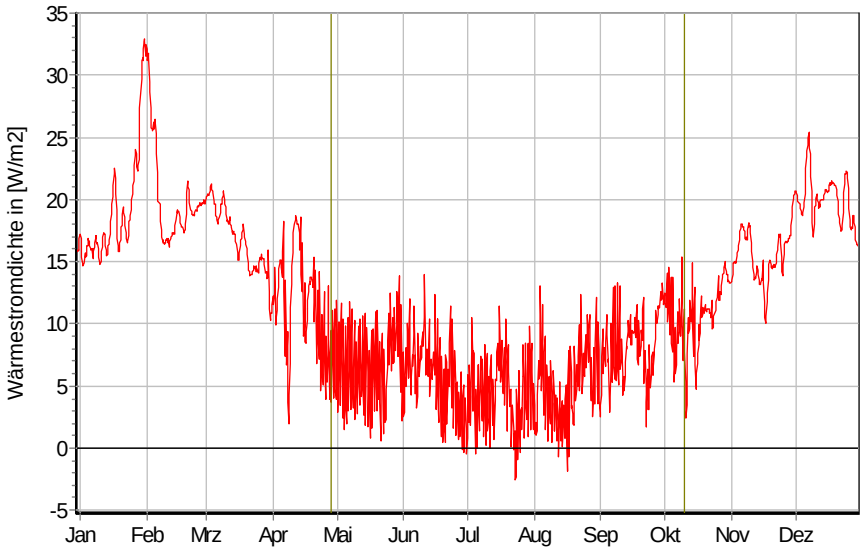
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 11,854 | 17,668 | 19,524 | 21,109 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,581 | 3,808* | 5,095* | 6,104* |

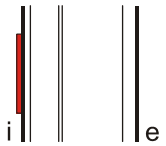
* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



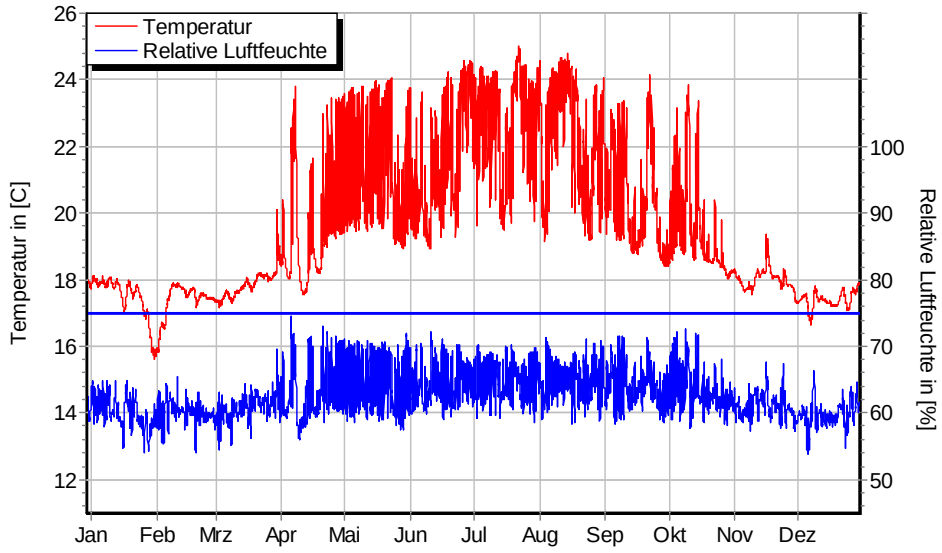



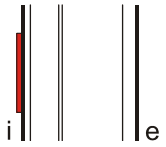

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 28,08 | 16,41 | 12,92 | 9,81 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,60 | 0,93 | 0,73 | 0,56 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,46 | 0,90 | 1,19 | 1,62 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 28,18 | 16,54 | 13,10 | 10,08 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,60 | 0,94 | 0,74 | 0,57 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,45 | 0,89 | 1,17 | 1,57 |

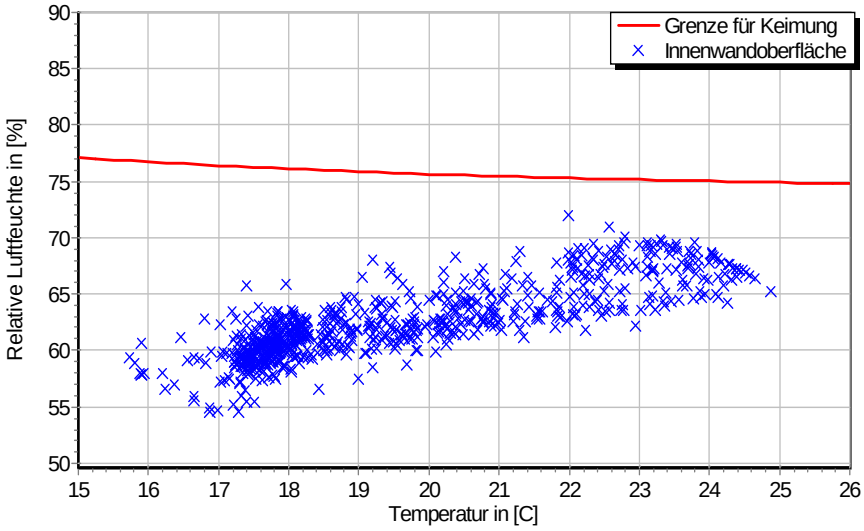
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

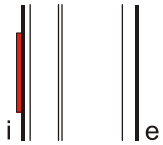


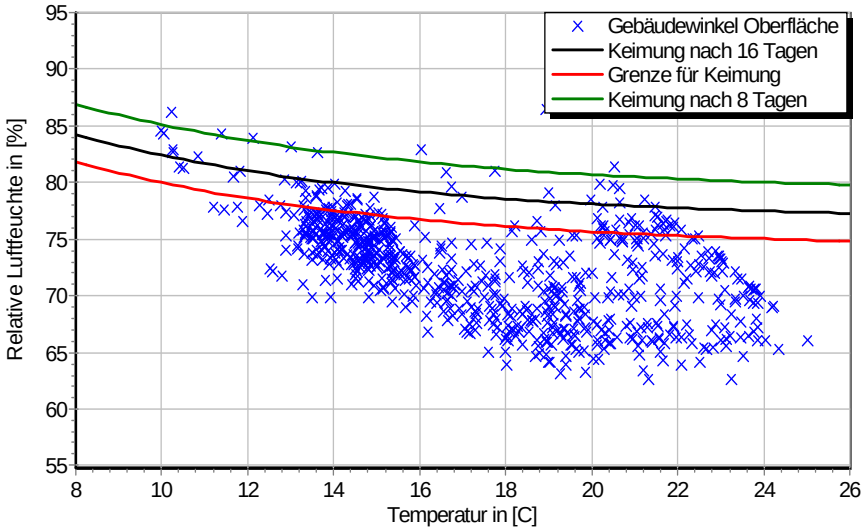

Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

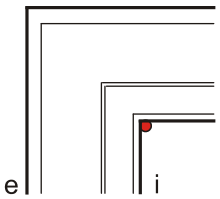
# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



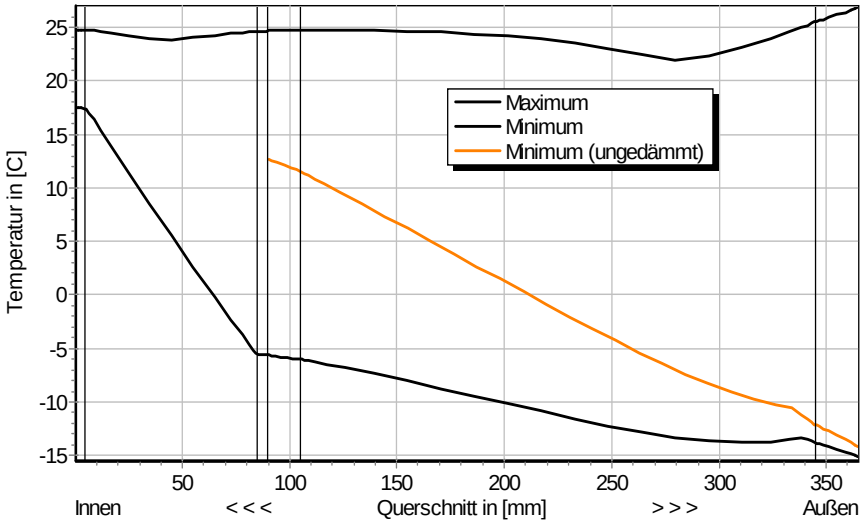

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



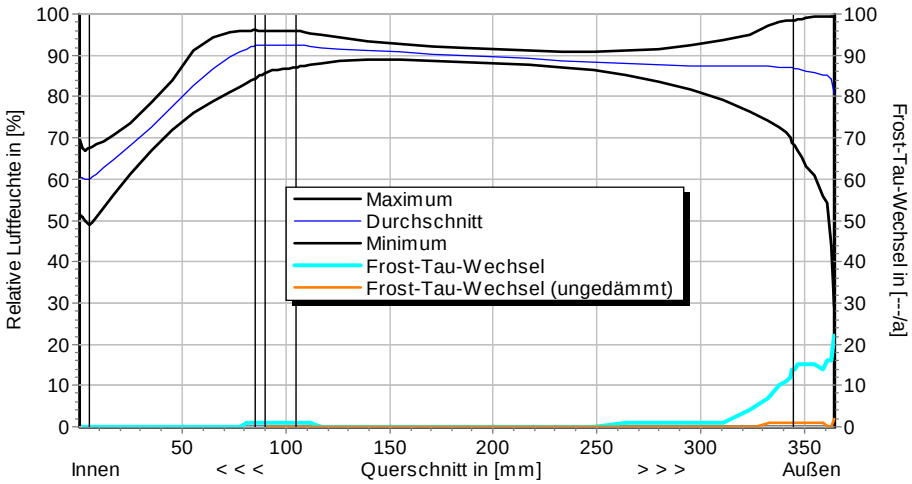

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

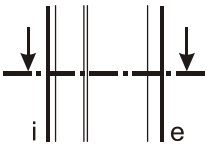
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



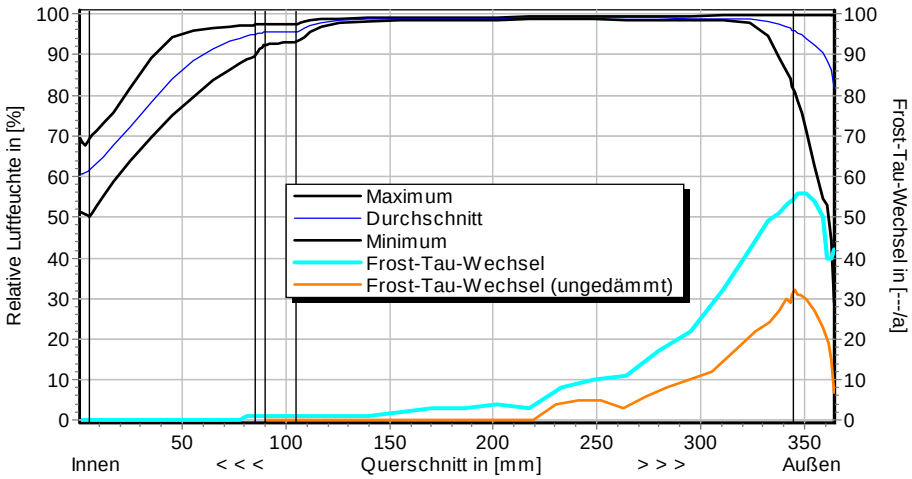
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

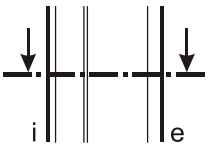
# 1.9 Norm-Vollziegel (240 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 2 | 14 | 19 | 26 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,4 | 97,8 | 97,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 92,8 | 89,7 | 85,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 98,2 | 97,9 | 97,9 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 95,9 | 94,5 | 93,5 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 25 | 42 | 48 | 53 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,3 | 97,8 | 97,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 104,5 | 105,9 | 107,1 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,0 | 96,2 | 95,5 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 101,0 | 101,1 | 101,2 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

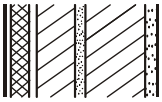
DIN: Bei allen Dämmdicken entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz ist erst ab 50 mm Dämmung gegeben.

COND: Bei allen Dämmdicken wird die maximale Kondensatmenge nicht erreicht, der Mindestwärmeschutz ist erst ab 50 mm Dämmung gegeben.

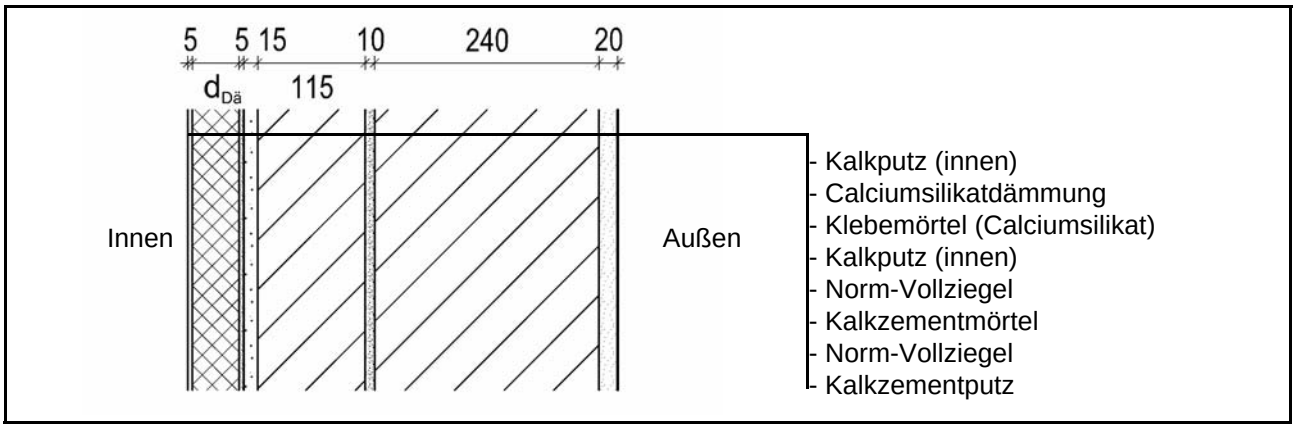
Simulation: Der Mindestwärmeschutz wird jeweils mit 50 mm Dämmung knapp unterschritten. Ohne Schlagregen werden die maximale innere Kondensatmenge und Verdunstung eingehalten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge entstehen zu hohe Kondensatmengen, die Verdunstung des Kondensats ist nicht gewährleistet. Schimmelpilzwachstum ist ab 50 mm Dämmung nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50, 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Norm-Vollziegel | 1400 | 0,550 | 18,8 | 1,1 | 31,9 | 0,156 |
| Kalkzementmörtel | 1025 | 0,225 | 6,2 | 4,2 | 44,5 | 0,150 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,71 | 1,21 | 1,52 | 1,98 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,14 | 0,73 | 0,59 | 0,47 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,847 | 1,320 | 1,299 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,552 | 1,778 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,61 | 0,728 | 0,766 | 0,803 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,71 | 1,20 | 1,49 | 1,93 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,14 | 0,73 | 0,60 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,474 | 0,599 | 0,593 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,552 | 1,778 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 66,1 | 59,8 | 57,9 | 56,1 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 39,7 | 31,1 | 25,1 | 15,7 |

# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

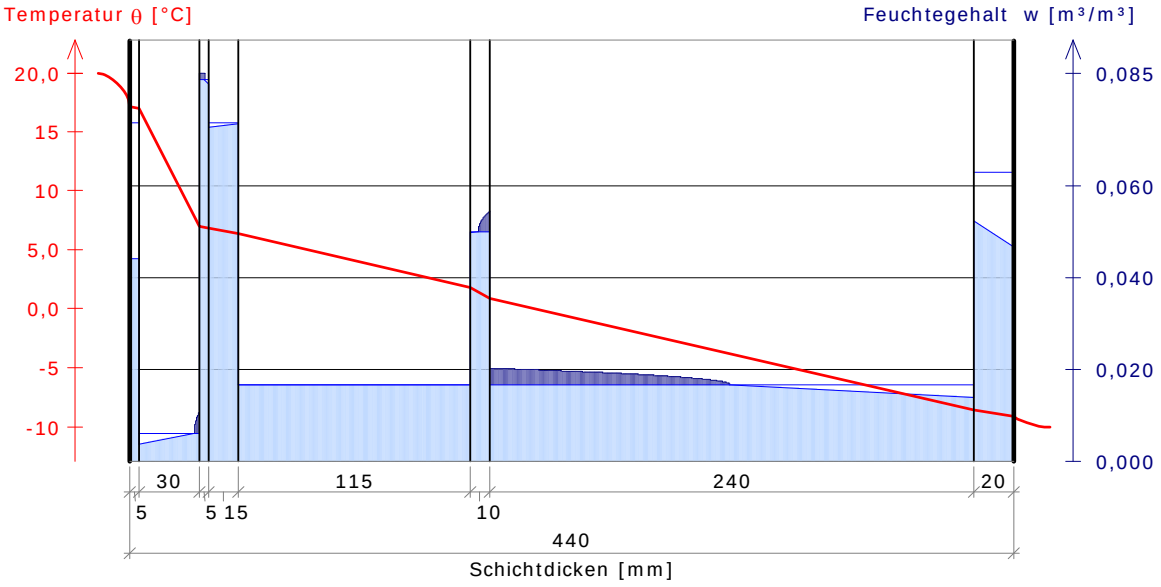
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

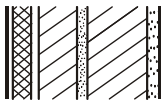
## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,1 | 1957 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,044 | | |
| | | | | | 0,044 | | |
| | | 17,0 | 1939 | 1162 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,004 | | |
| | | | | | **0,011** | 3,2 | 0,01 |
| | | 7,0 | 1000 | 1000 | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikatplatte) | | | | **0,085** | 0,4 | 0,00 |
| | | | | | 0,082 | | |
| | | 6,8 | 992 | 981 | | | |
| 4 | Kalkputz (innen) | | | | 0,073 | | |
| | | | | | 0,073 | | |
| | | 6,4 | 963 | 961 | | | |
| 5 | Vollziegel | | | | 0,017 | | |
| | | | | | 0,017 | | |
| | | 1,8 | 697 | 695 | | | |
| 6 | Kalkzementmörtel | | | | 0,050 | | |
| | | | | | **0,055** | 6,3 | 0,02 |
| | | 0,9 | **653** | **653** | | | |
| 7 | Vollziegel | | | | **0,020** | 119,0 | 0,28 |
| | | | | | 0,014 | | |
| | | -8,6 | 295 | 245 | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | 0,052 | | |
| | | | | | 0,047 | | |
| | | -9,1 | 281 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



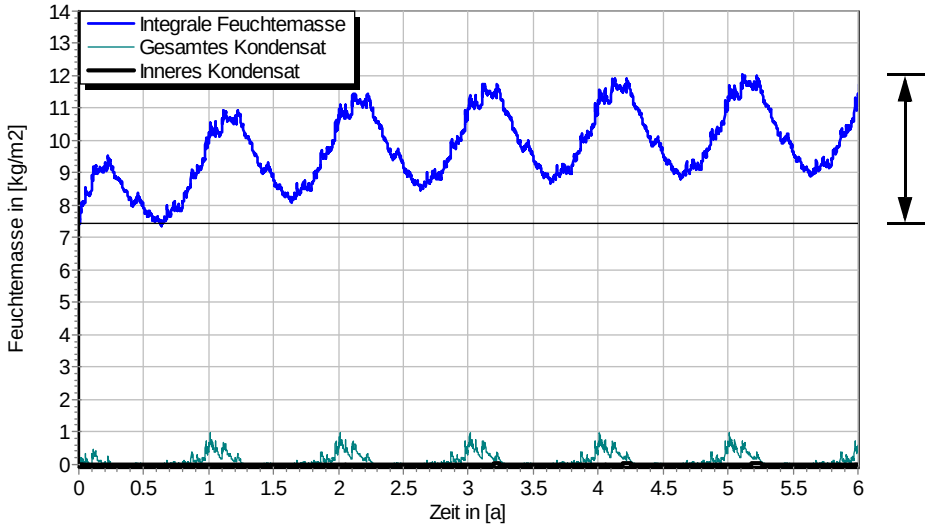
# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

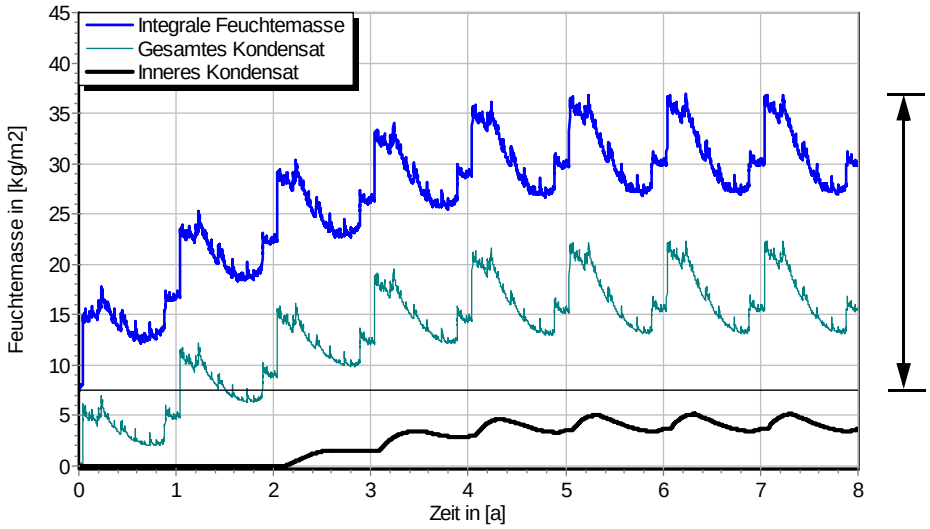
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | -0,225 | 1,990 | 3,344 | 4,772 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,043 |

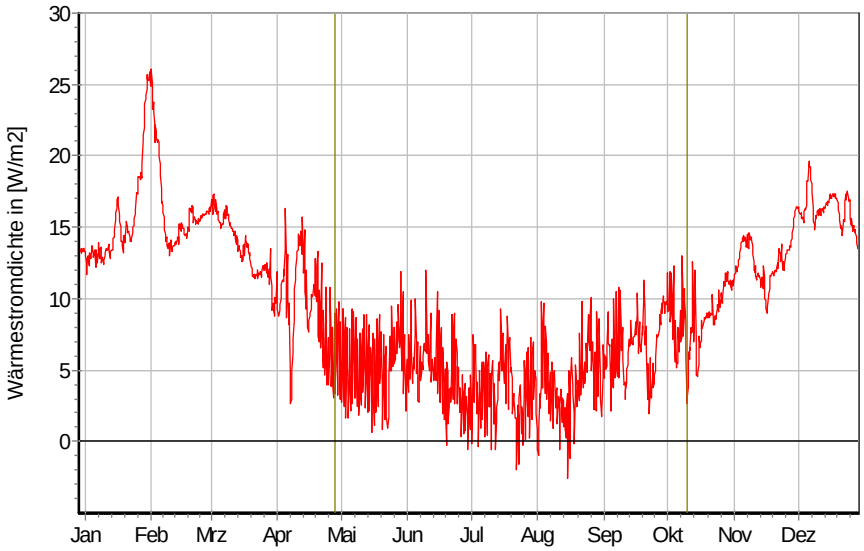


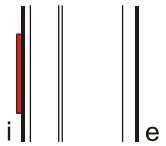

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
schlagregenexponiert
(West)

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 17,242 | 24,709 | 27,236 | 29,410 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 2,774 | 4,028 | 5,136 |

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



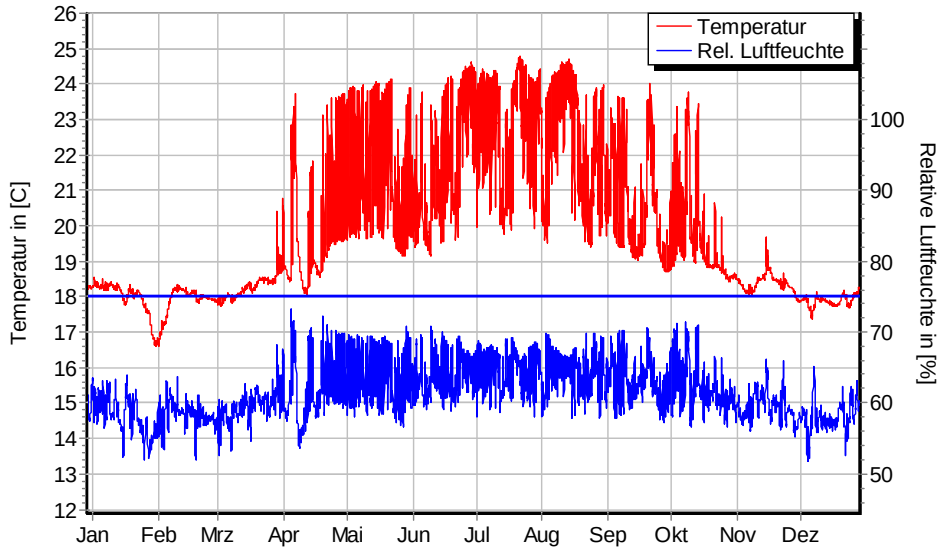



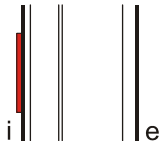

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 20,22 | 13,33 | 10,89 | 8,57 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,15 | 0,76 | 0,62 | 0,49 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,70 | 1,15 | 1,45 | 1,88 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 20,57 | 13,56 | 11,08 | 8,80 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,17 | 0,77 | 0,63 | 0,50 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,68 | 1,13 | 1,42 | 1,83 |

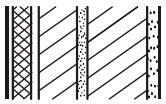
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

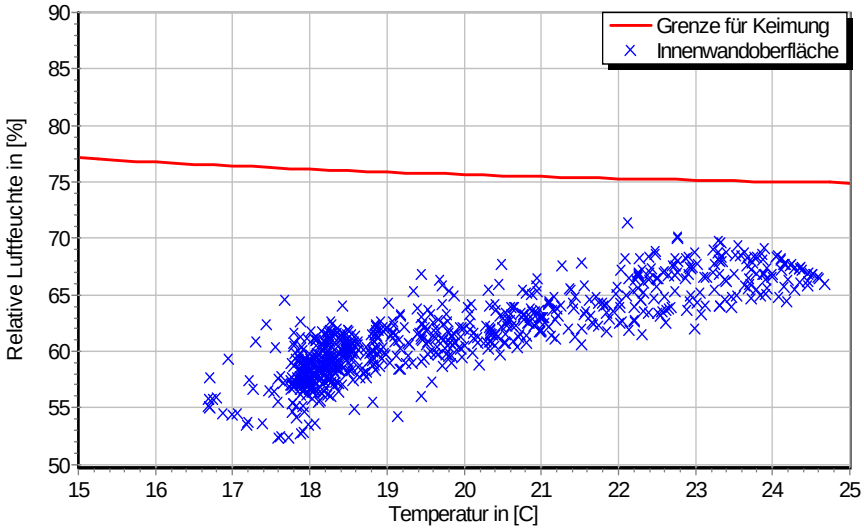


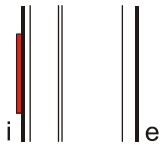




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

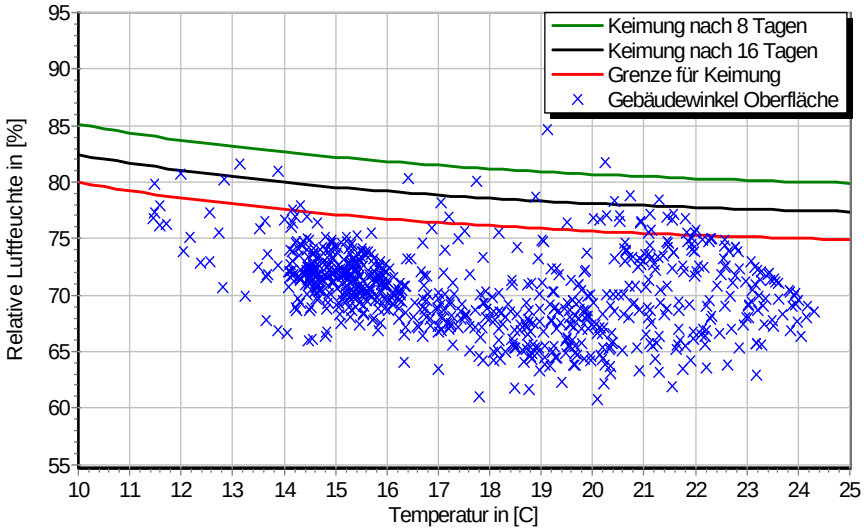
# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

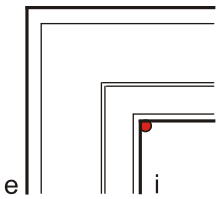




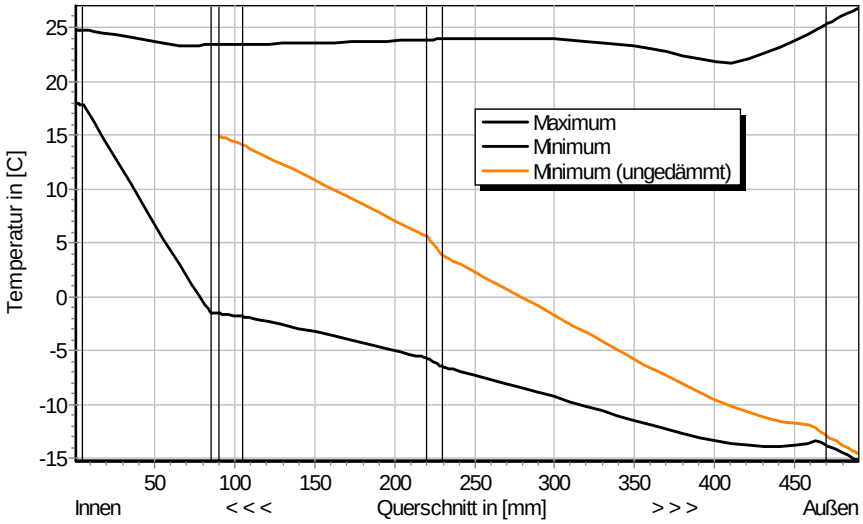

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



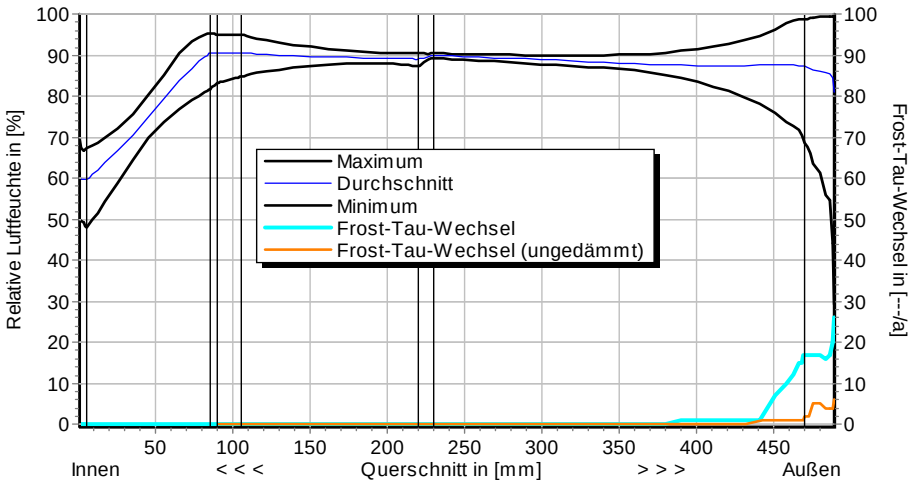

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

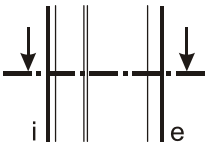
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



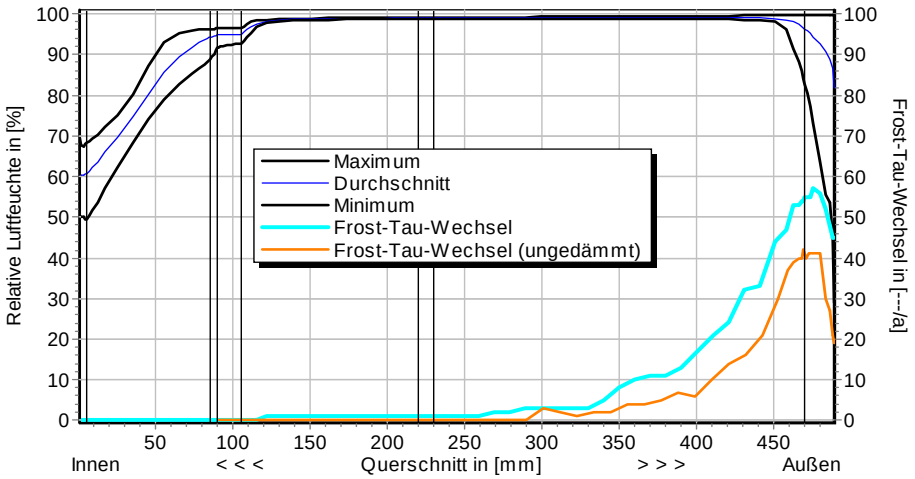
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

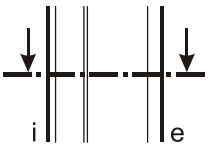
# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)



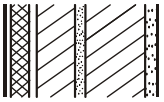

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 8 | 19 | 23 | 30 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 98,8 | 98,4 | 98,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 93,0 | 89,0 | 86,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 100,4 | 100,6 | 100,8 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,1 | 96,2 | 95,7 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 37 | 47 | 52 | 56 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 99,3 | 98,9 | 98,6 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 102,5 | 103,4 | 104,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 98,7 | 98,4 | 98,1 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 101,1 | 101,3 | 101,4 |

# 1.10 Norm-Vollziegel (365 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Der Mindestwärmeschutz ist bei allen Wandaufbauten gegeben. Ab 50 mm Dämmung entstehen zu hohe Kondensatmengen.

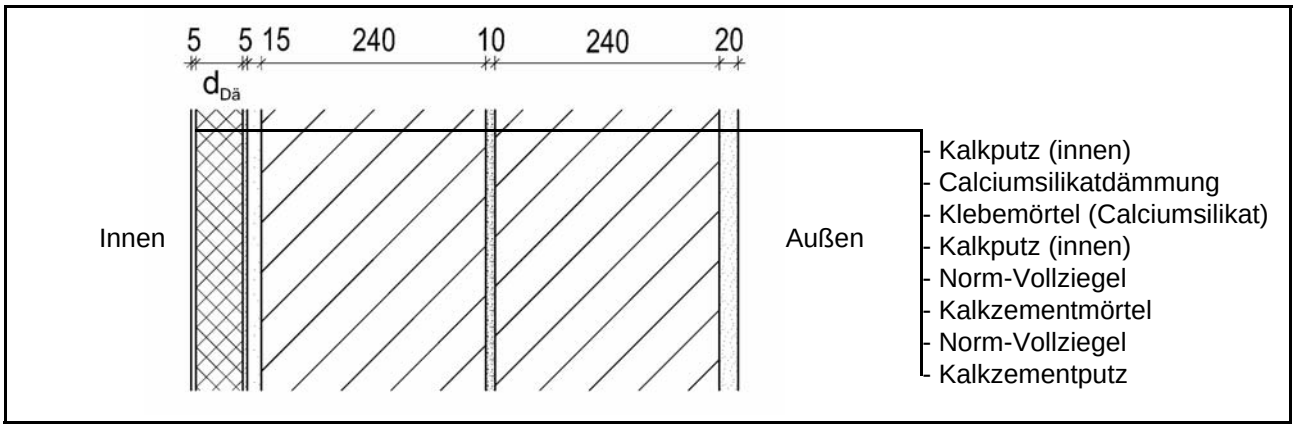
COND: Die DIN-Kriterien werden bei jeder gedämmten Konstruktion erfüllt.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz wird jeweils mit 30 mm Dämmung knapp unterschritten. Ohne Schlagregen werden die maximale innere Kondensatmenge und Verdunstung eingehalten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge entstehen zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung des Kondensats ist nicht gewährleistet. Schimmelpilzwachstum ist ab 50 mm Dämmung nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 30, 50 und 80 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Calciumsilikatdämmung | 270 | 0,065 | 3,9 | 0,5 | 90,0 | 1,172 |
| Klebemörtel (Calciumsilikat) | 1520 | 1,00 | 32 | 7,9 | 32,9 | 0,020 |
| Norm-Vollziegel | 1400 | 0,550 | 18,8 | 1,1 | 31,9 | 0,156 |
| Kalkzementmörtel | 1025 | 0,225 | 6,2 | 4,2 | 44,5 | 0,150 |
| Kalkzementputz | 1900 | 0,80 | 15 | 4,9 | 22,0 | 0,033 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

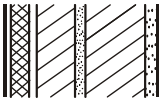
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,94 | 1,44 | 1,74 | 2,20 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 0,90 | 0,62 | 0,52 | 0,42 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,113 | 0,885 | 1,064 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,552 | 1,778 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,663 | 0,753 | 0,784 | 0,816 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,94 | 1,42 | 1,73 | 2,17 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 0,90 | 0,63 | 0,53 | 0,43 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | <0,001 | 0,443 | 0,492 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 3,652 | 2,552 | 1,778 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 62,4 | 58,2 | 56,8 | 55,5 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,33 | 0,41 | 0,53 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,47 | 0,78 | 1,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 39,7 | 31,1 | 25,1 | 15,7 |

# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



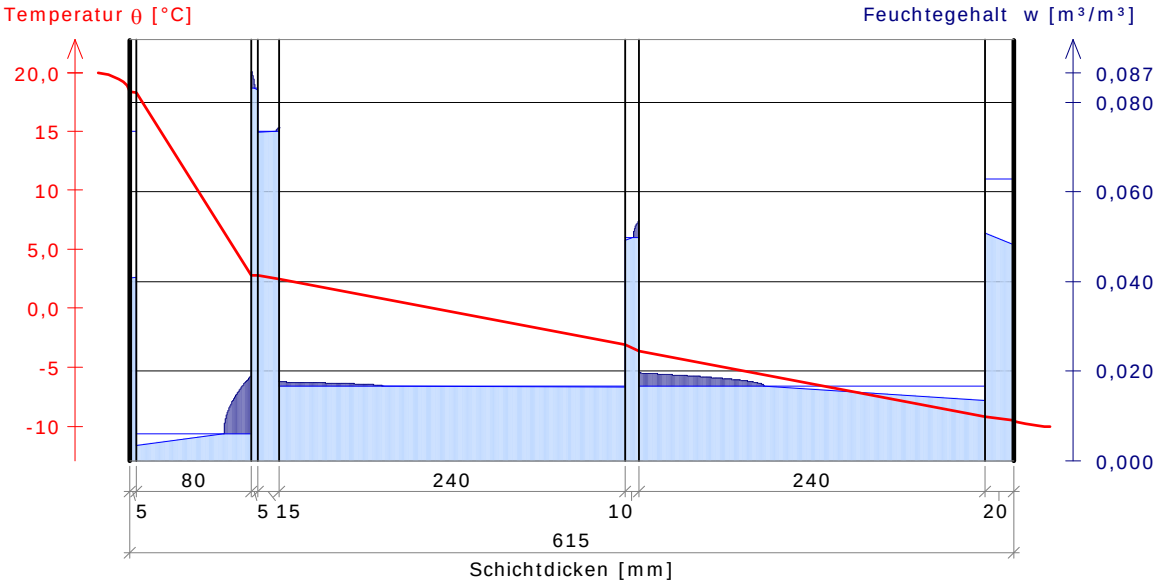
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 30 mm | | 50 mm | | 80 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,3 | 2108 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,041 | | |
| | | 18,2 | 2097 | 1166 | | | |
| 2 | Calciumsilikatplatte | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,019** | 19,5 | 0,17 |
| | | 2,8 | **749** | **749** | | | |
| 3 | Klebemörtel (Calciumsilikatplatte) | | | | **0,087** | 2,3 | 0,01 |
| | | | | | 0,083 | | |
| | | 2,8 | 746 | 743 | | | |
| 4 | Kalkputz (innen) | | | | 0,073 | | |
| | | | | | **0,074** | 2,6 | 0,00 |
| | | 2,5 | **732** | **732** | | | |
| 5 | Vollziegel | | | | **0,018** | 71,7 | 0,04 |
| | | | | | 0,016 | | |
| | | -3,1 | 474 | 466 | | | |
| 6 | Kalkzementmörtel | | | | 0,049 | | |
| | | | | | **0,054** | 4,7 | 0,01 |
| | | -3,6 | 453 | 453 | | | |
| 7 | Vollziegel | | | | **0,020** | 86,8 | 0,17 |
| | | | | | 0,013 | | |
| | | -9,2 | 280 | 226 | | | |
| 8 | Kalkzementputz | | | | 0,051 | | |
| | | | | | 0,048 | | |
| | | -9,5 | 272 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |

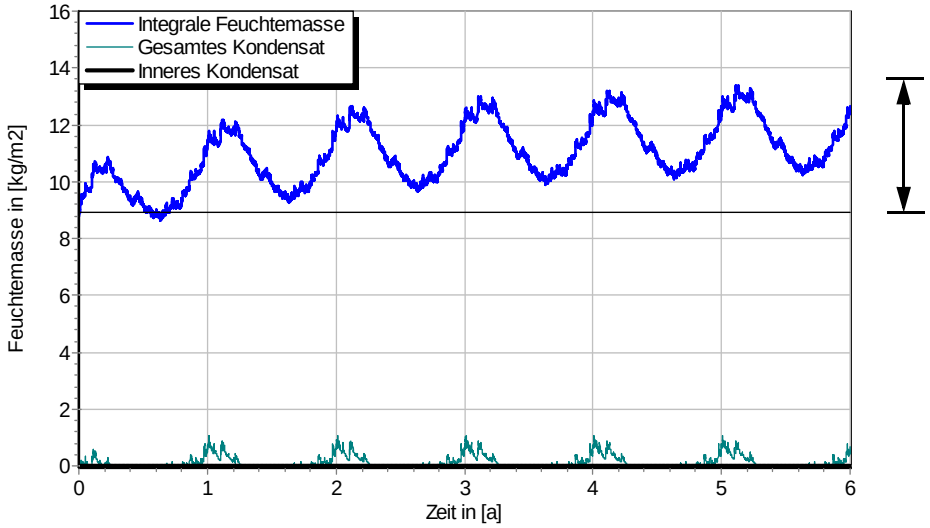


# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

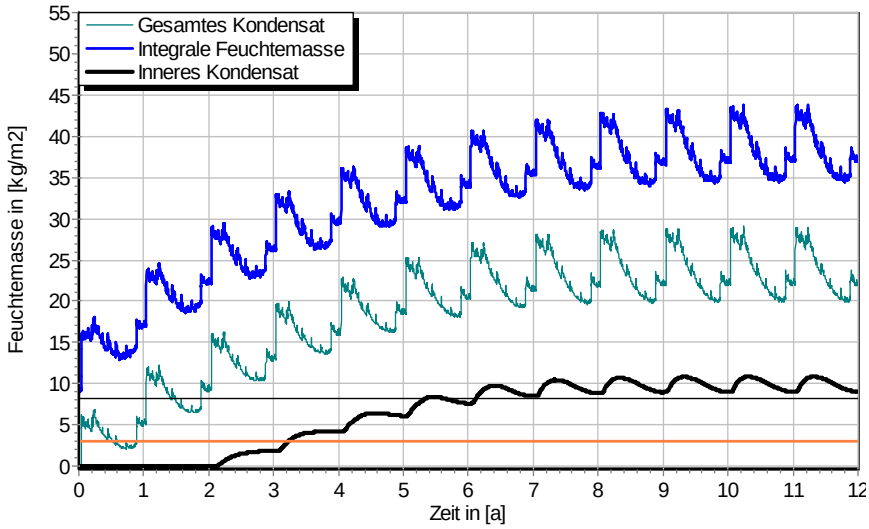
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,294 | 1,617 | 3,057 | 4,663 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



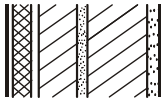

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 80 mm,
schlagregenexponiert,
maximales inneres
Kondensat der unsanierten
Variante in orange

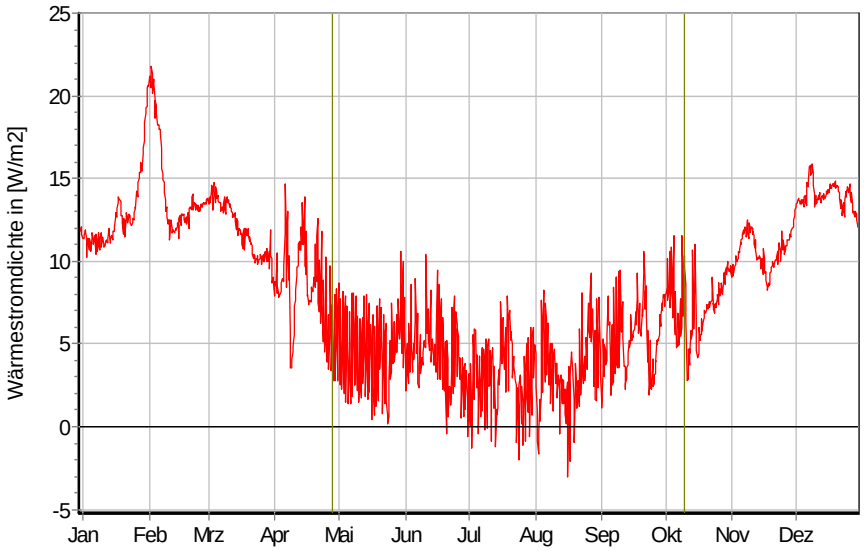
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 24,368 | 24,860 | 34,987 | 29,121 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 3,031 | 4,633* | 6,478* | 8,100* |

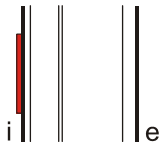
* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



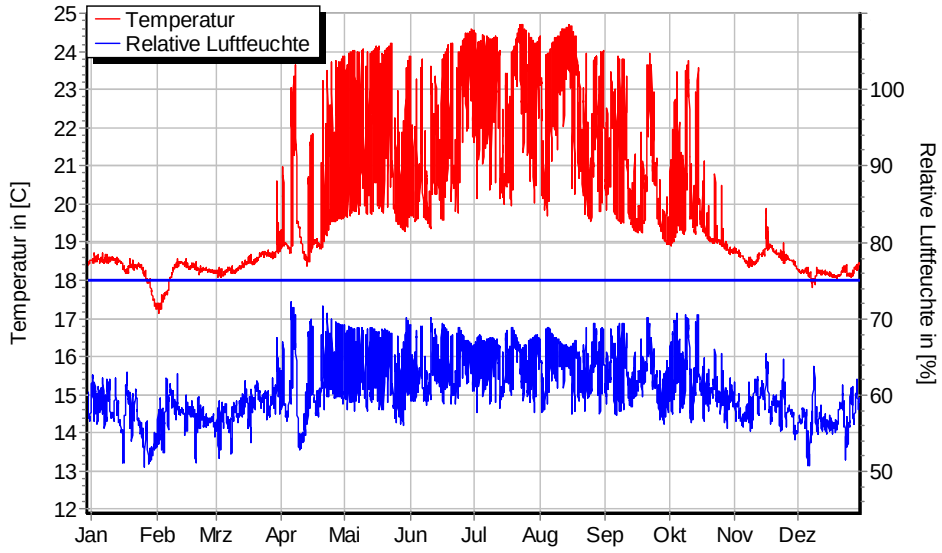



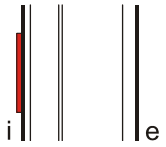

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 16,15 | 11,42 | 9,56 | 7,70 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 0,92 | 0,65 | 0,54 | 0,44 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,92 | 1,37 | 1,67 | 2,11 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 16,57 | 11,67 | 9,75 | 7,91 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 0,94 | 0,66 | 0,55 | 0,45 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,89 | 1,34 | 1,63 | 2,05 |

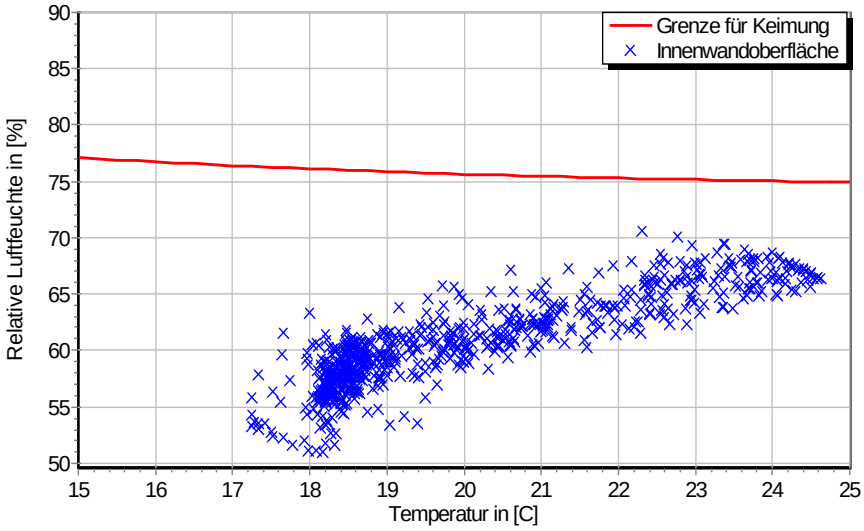
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

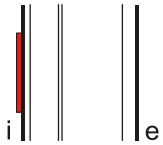


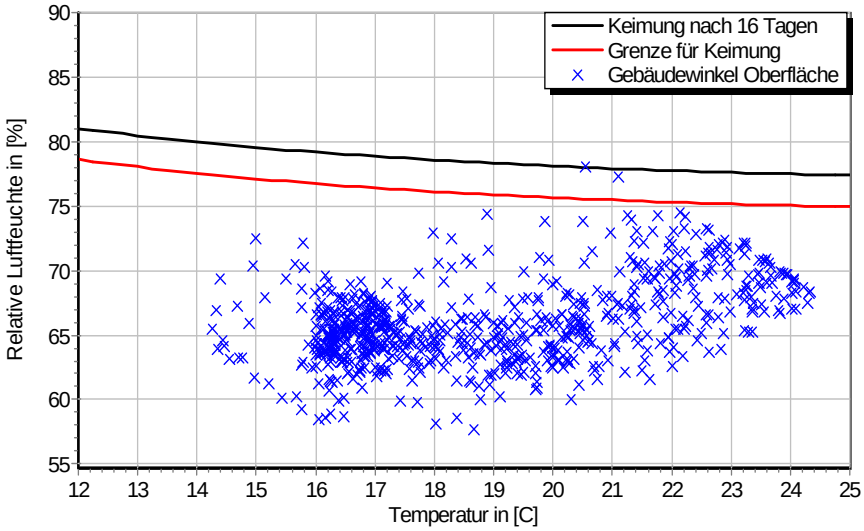

Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

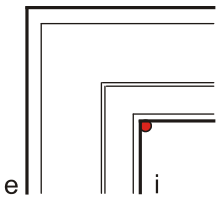
# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat



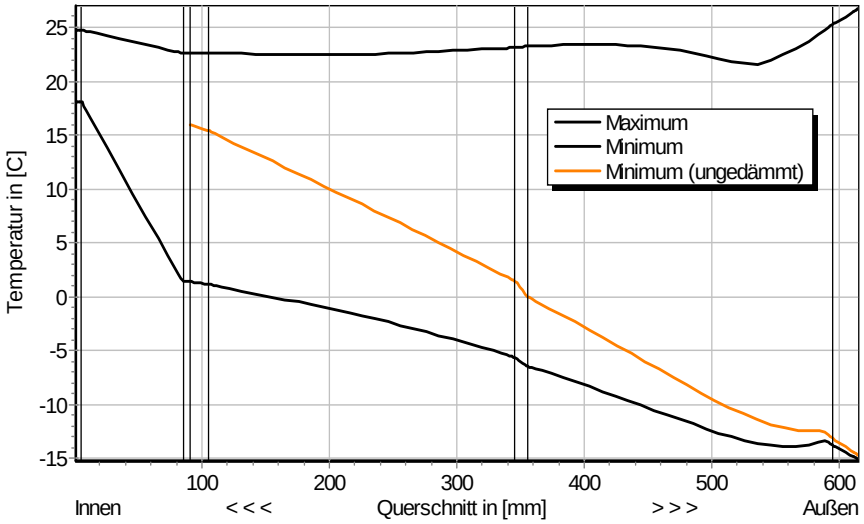

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



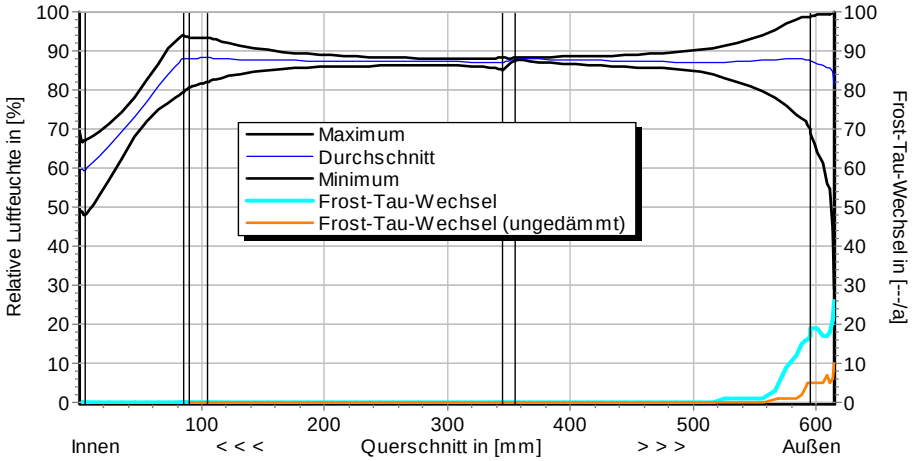

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 30 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

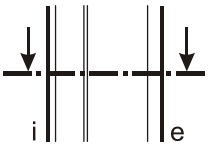
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



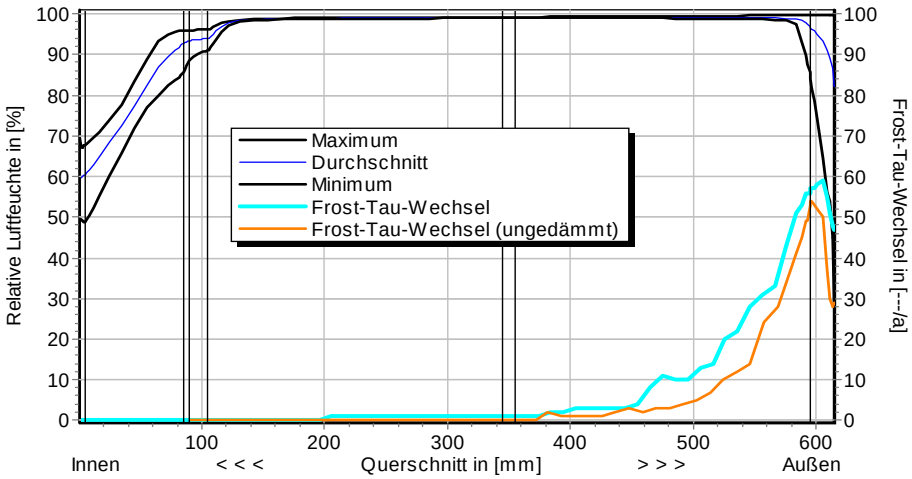
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 80 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

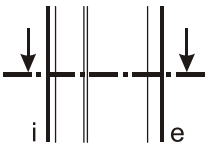
# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, ohne Schlagregen (Nord)



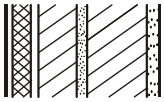




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 15 | 22 | 27 | 31 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 99,4 | 99,1 | 98,9 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 93,4 | 90,8 | 88,9 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 100,6 | 100,8 | 101,0 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,9 | 97,5 | 97,4 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 42 | 51 | 55 | 57 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 99,0 | 98,8 | 98,5 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 101,7 | 102,3 | 102,9 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 99,5 | 99,3 | 99,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 100,8 | 101,1 | 101,4 |



# 1.11 Norm-Vollziegel (490 mm), innen gedämmt mit Calciumsilikat

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 30 mm | 50 mm | 80 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

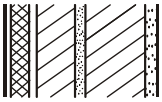
DIN: Der Mindestwärmeschutz ist bei allen Wandaufbauten gegeben. Ab 80 mm Dämmung entstehen zu hohe Kondensatmengen.

COND: Die DIN-Kriterien werden bei jeder gedämmten Konstruktion erfüllt.

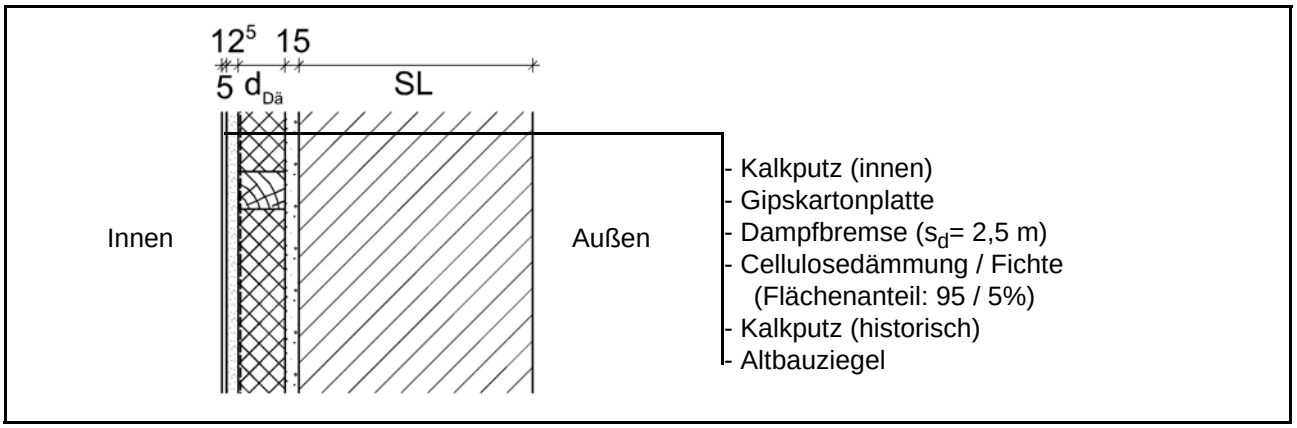
Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist bei allen gedämmten Wandaufbauten gegeben. Ohne Schlagregen werden die maximale innere Kondensatmenge und Verdunstung eingehalten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge entstehen zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung des Kondensats ist nicht gewährleistet. Schimmelpilzwachstum ist bei jeder gedämmten Konstruktion nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

# 2.1 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht und Steinlänge (SL): $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Gipskartonplatte | 850 | 0,20 | 10 | 0,7 | 55,1 | 0,280 |
| Dampfbremse | 800 | 0,15 | 10000 | 0,2 | 1,0 | - |
| Cellulosedämmung | 55 | 0,04 | 2,1 | 0,7 | 70,0 | 0,376 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Fichte | 500 | 0,13 | 236 | 7,5 | 69,5 | 0,049 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 1,12 | 1,78 | 2,66 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,00 | 0,78 | 0,52 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,081 | 0,130 | 0,166 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,490 | 0,403 | 0,357 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,674 | 0,734 | 0,779 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 1,12 | 1,77 | 2,65 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,00 | 0,78 | 0,52 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,049 | 0,071 | 0,086 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,490 | 0,403 | 0,357 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 60,5 | 56,8 | 54,6 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 3,09 | 3,37 | 3,79 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,79 | 1,28 | 2,00 |
| Wirksame Wärmekapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 30,5 | 22,0 | 9,91 |

# 2.1 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt

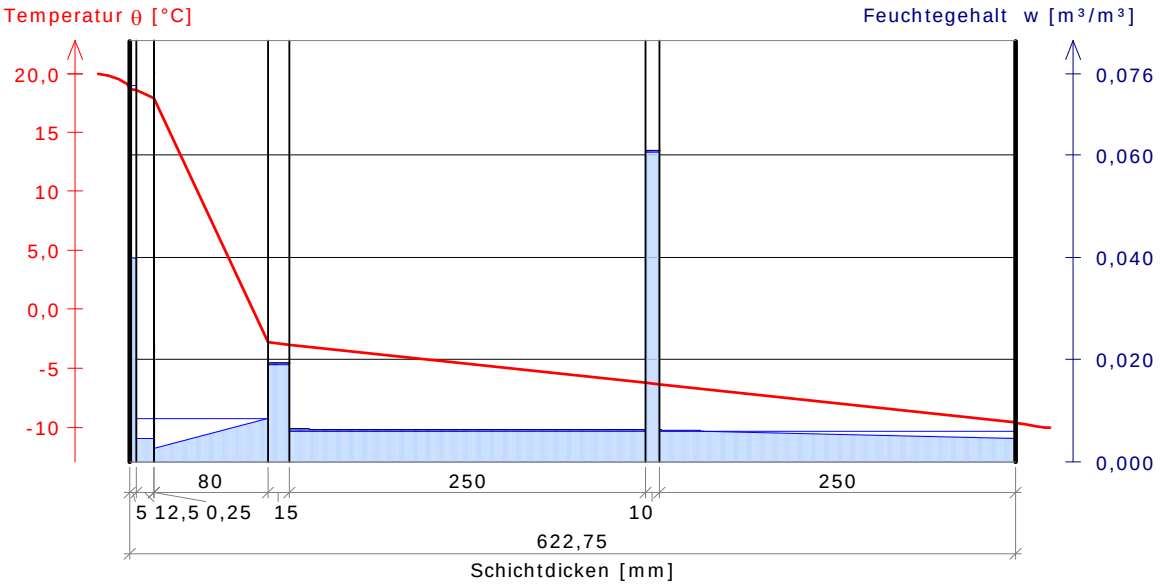
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

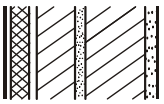
## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm mit 2 Steinlängen, Schnitt durch Feldmitte Dämmung

| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,7 | 2150 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,040 | | |
| | | | | | 0,040 | | |
| | | 18,6 | 2141 | 1158 | | | |
| 2 | Gipskartonplatte | | | | 0,004 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | 17,9 | 2056 | 1133 | | | |
| 3 | Dampfbremse | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,023 | | |
| | | 17,9 | 2054 | 625 | | | |
| 4 | Zellulose-Einblasdämmung | | | | 0,003 | | |
| | | | | | **0,009** | 0,8 | 0,00 |
| | | -2,8 | 485 | 485 | | | |
| 5 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,019** | 15,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,019** | | |
| | | -3,0 | 477 | 477 | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 250,0 | 0,08 |
| | | | | | **0,006** | | |
| | | -6,2 | 362 | 362 | | | |
| 7 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,061** | 10,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,061** | | |
| | | -6,3 | 358 | 358 | | | |
| 8 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 30,1 | 0,00 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 270 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



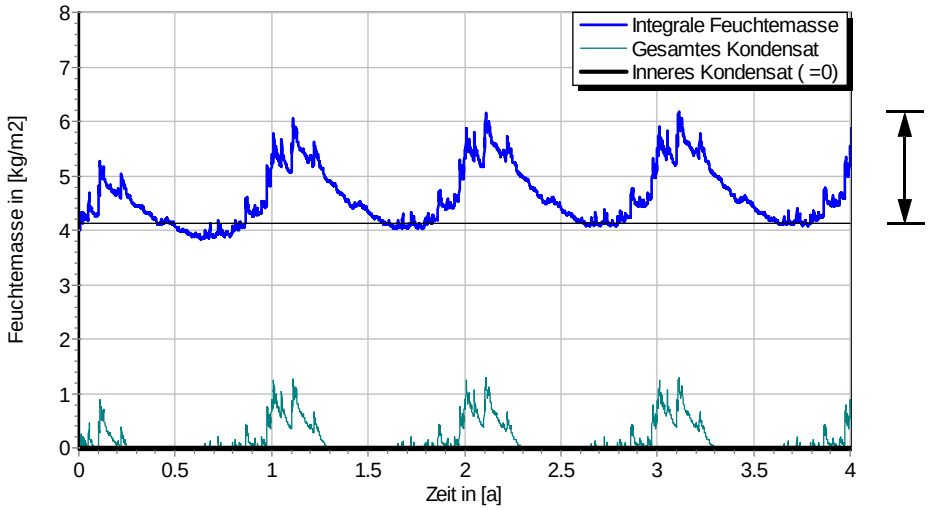
# 2.1 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

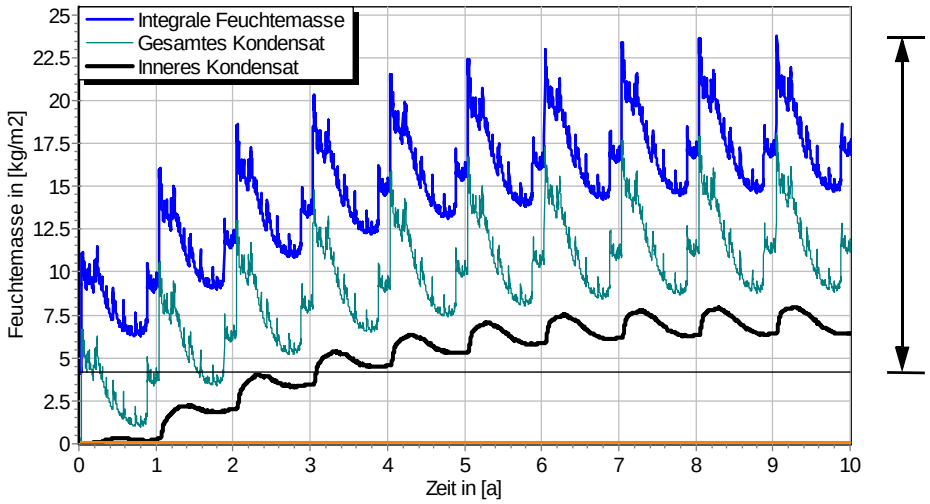
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 0,682 | 1,304 | 2,072 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



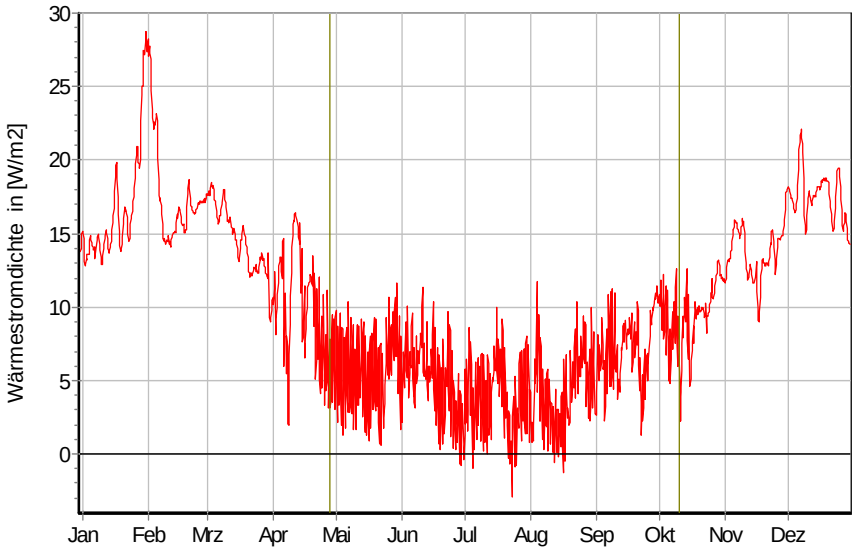

$\Delta m_{W,80}$

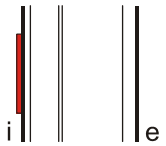
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,16 | 10,65 | 15,04 | 19,74 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,68 | 3,75* | 4,41* | 8,37* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



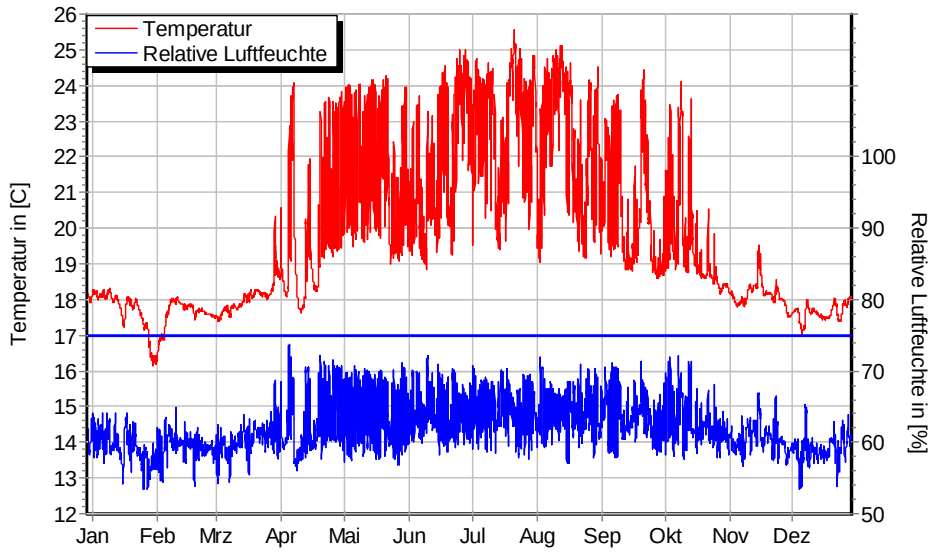



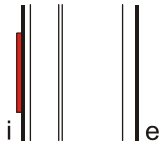

Gemittelte Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 14,37 | 9,56 | 6,58 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,07 | 0,82 | 0,54 | 0,37 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,31 | 1,05 | 1,67 | 2,50 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 15,06 | 10,23 | 7,13 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,05 | 0,86 | 0,58 | 0,41 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,32 | 1,00 | 1,55 | 2,30 |

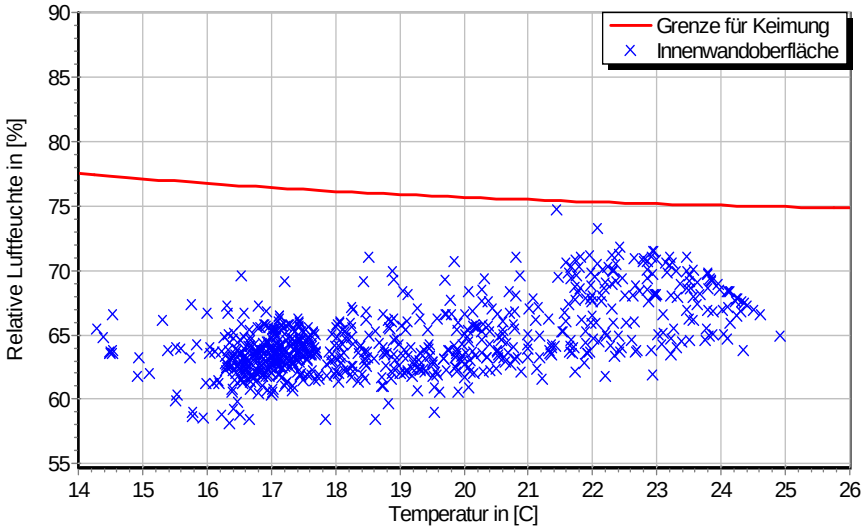
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

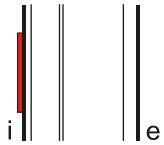


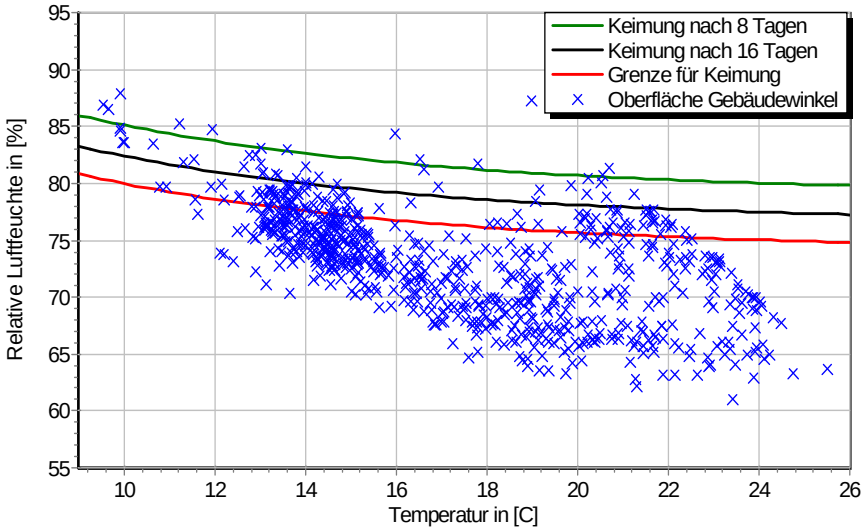

Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

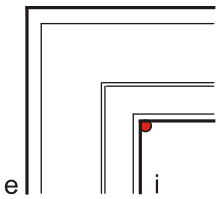
# 2.1 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt



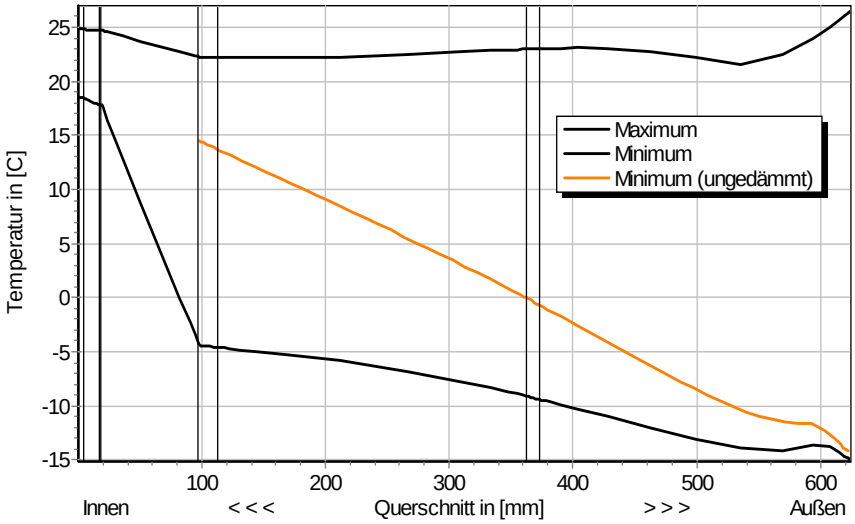

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



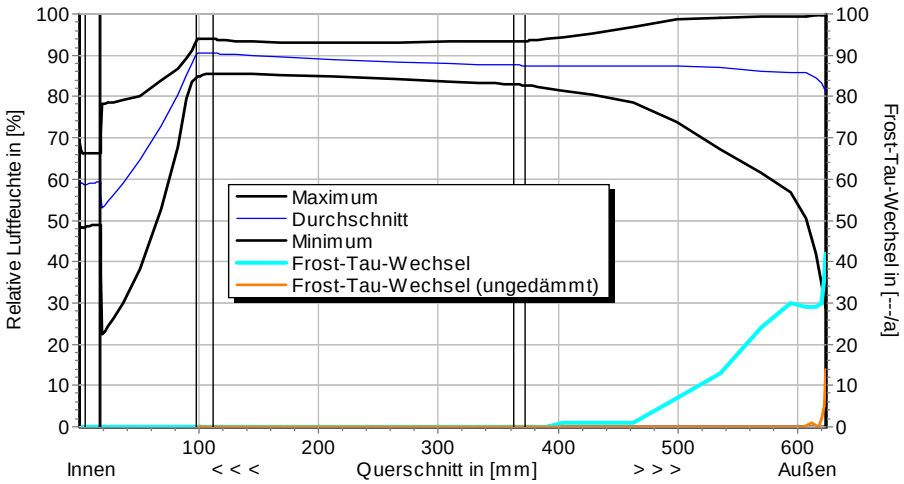



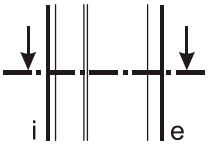

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

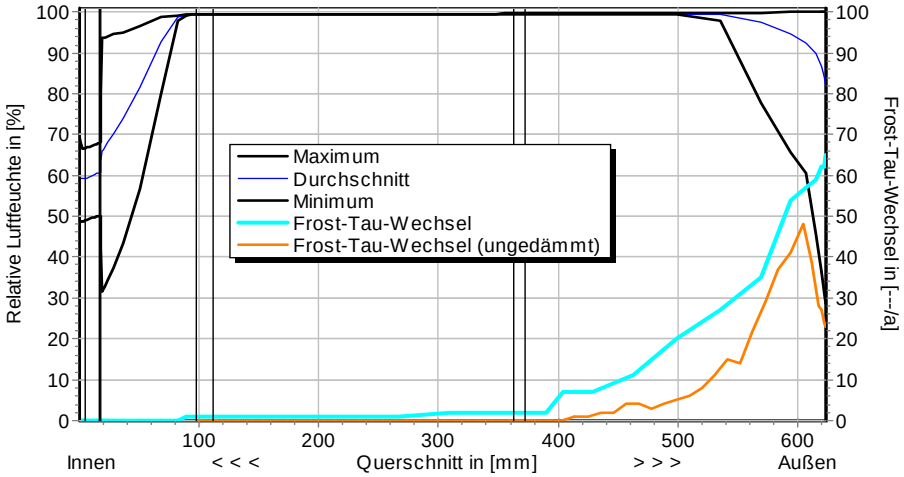


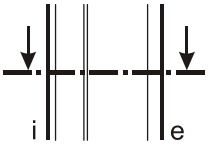
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord), Schnitt durch Feldmitte
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord), Schnitt durch Feldmitte



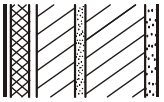

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West), Schnitt durch Feldmitte

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 30 | 39 | 45 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 94,2 | 94,7 | 95,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 110,0 | 125,9 | 124,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 92,7 | 95,5 | 96,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 90,2 | 88,5 | 88,5 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 358/357 | 357/357 | 356/356 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 358/357 | 357/357 | 356/356 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 59 | 63 | 68 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 96,7 | 96,5 | 96,9 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 122,2 | 119,6 | 115,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 102,8 | 95,4 | 96,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 99,8 | 96,8 | 95,2 |

# 2.1 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Mit 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, 50 (1½ SL) und 80 mm (2 SL) Dämmdicke halten alle Kriterien ein.

COND: Mit 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, 50 und 80 mm Dämmdicke halten alle Kriterien ein.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 30 mm ohne Schlagregeneinfluss gegeben, mit Schlagregen erst ab 50 mm Dämmung. Ohne Schlagregen werden alle Kriterien eingehalten.
Bei hoher eindringender Schlagregenmenge entstehen zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung des Kondensats ist nicht mehr gewährleistet. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

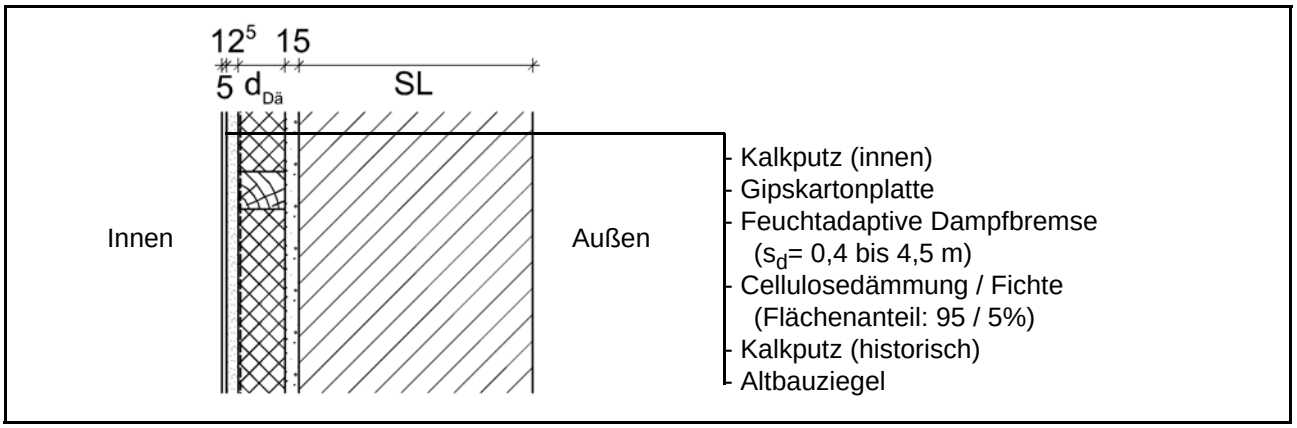
Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.1 bis 3.3
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.1 bis 4.3
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1 bis 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1 bis 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1 bis 11.3

# 2.2 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit FA-Dampfbremse, außen unverputzt

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht und Steinlänge (SL): $d_{Dä}$ = 30mm/1 SL, 50mm/1½ SL, 80mm/2 SL

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Gipskartonplatte | 850 | 0,20 | 10 | 0,7 | 55,1 | 0,280 |
| FA-Dampfbremse | 800 | 0,18 | 1600-18000 | 0,2 | 1,0 | - |
| Cellulosedämmung | 55 | 0,04 | 2,1 | 0,7 | 70,0 | 0,376 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |
| Fichte | 500 | 0,13 | 236 | 7,5 | 69,5 | 0,049 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

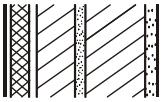
| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 1,12 | 1,78 | 2,66 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,0 | 0,78 | 0,52 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,081 | 0,042 | 0,075 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,490 | 0,316 | 0,273 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,680 | 0,740 | 0,784 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 1,12 | 1,77 | 2,66 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,0 | 0,78 | 0,52 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,490 | 0,316 | 0,273 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 60,5 | 57,1 | 54,6 |
| Innendämmsystem (Winterklima): | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 5,09 | 5,37 | 5,79 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,79 | 1,28 | 2,00 |
| Wirksame Wärmekapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 30,5 | 20,6 | 9,91 |

# 2.2 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit FA-Dampfbremse, außen unverputzt



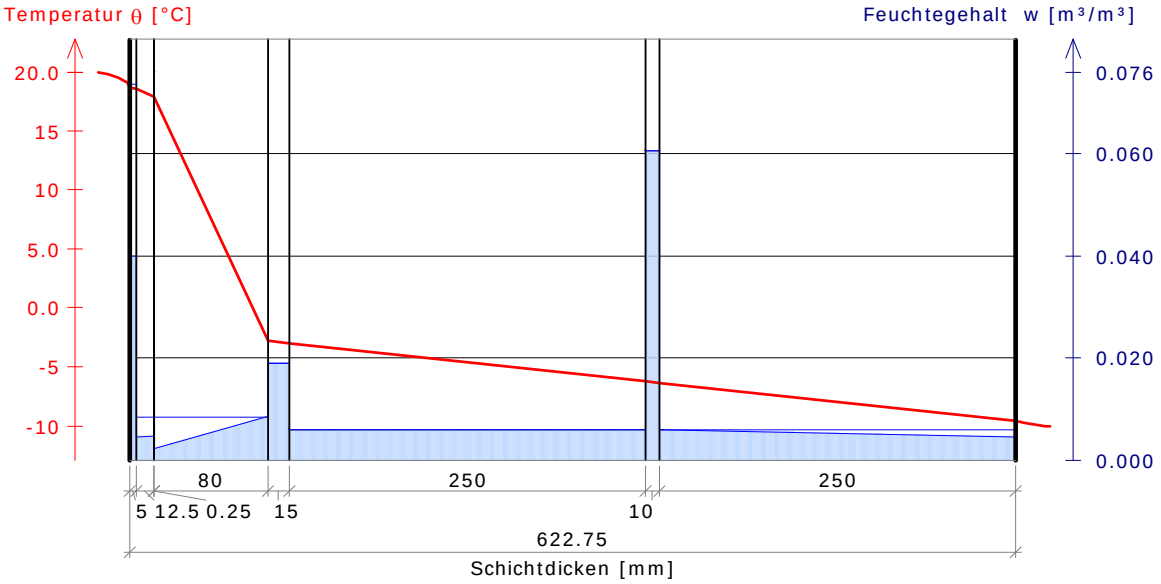
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 30mm,1SL | | 50mm,1½SL | | 80mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 80 mm mit 2 Steinlängen, Schnitt durch Feldmitte Dämmung

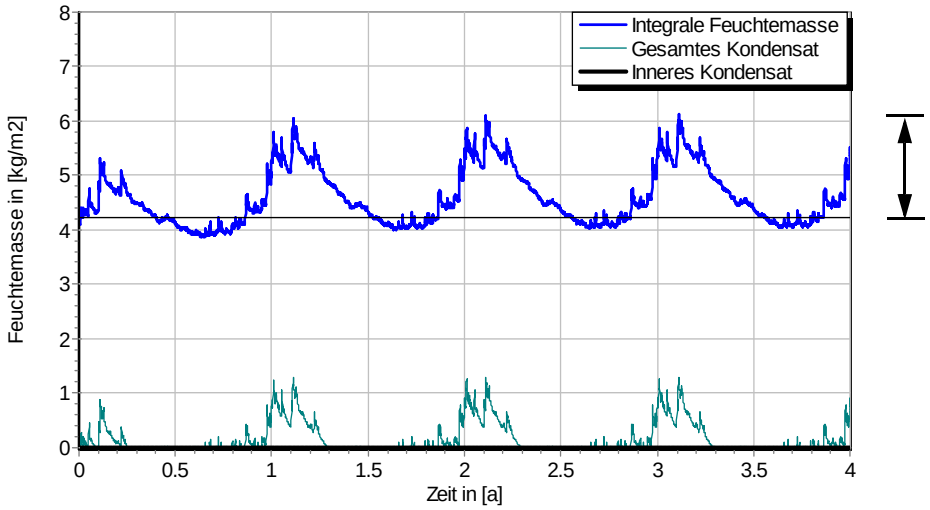
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_{cap}$ [mm] | $M_{cap}$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Innenseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,7 | 2151 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,040 | | |
| | | | | | 0,040 | | |
| | | 18,6 | 2141 | 1162 | | | |
| 2 | Gipskartonplatte | | | | 0,005 | | |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | 17,9 | 2056 | 1146 | | | |
| 3 | FA-Dampfbremse (sd= 4.8m) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,021 | | |
| | | 17,9 | 2054 | 559 | | | |
| 4 | Zellulose-Einblasdämmung | | | | 0,002 | | |
| | | | | | **0,008** | 0,0 | 0,00 |
| | | -2,8 | **485** | **485** | | | |
| 5 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,019** | 15,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,019** | | |
| | | -3,0 | **477** | **477** | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 250,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,006** | | |
| | | -6,2 | 362 | 362 | | | |
| 7 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,061** | 10,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,061** | | |
| | | -6,3 | **358** | **358** | | | |
| 8 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 0,0 | 0,00 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 270 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Außenseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

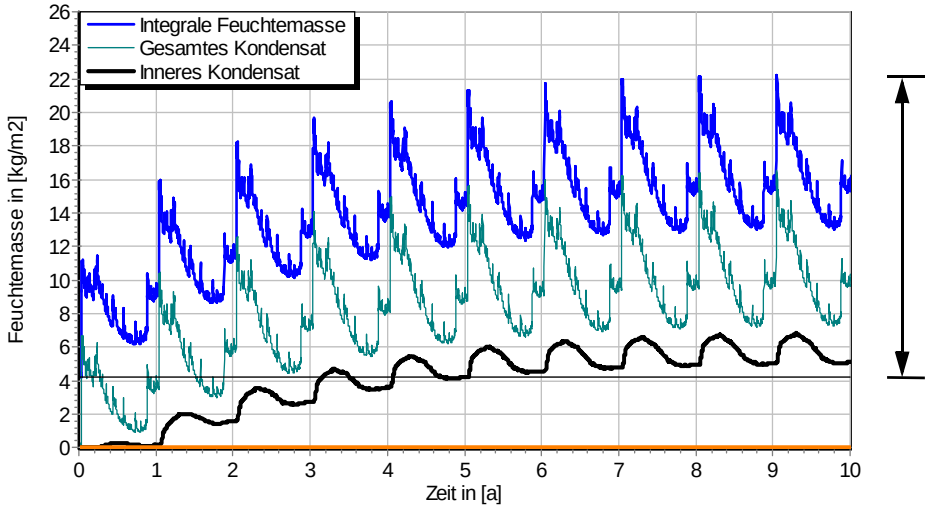
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 0,666 | 1,233 | 1,917 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

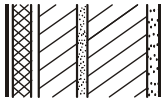



$\Delta m_{W,80}$

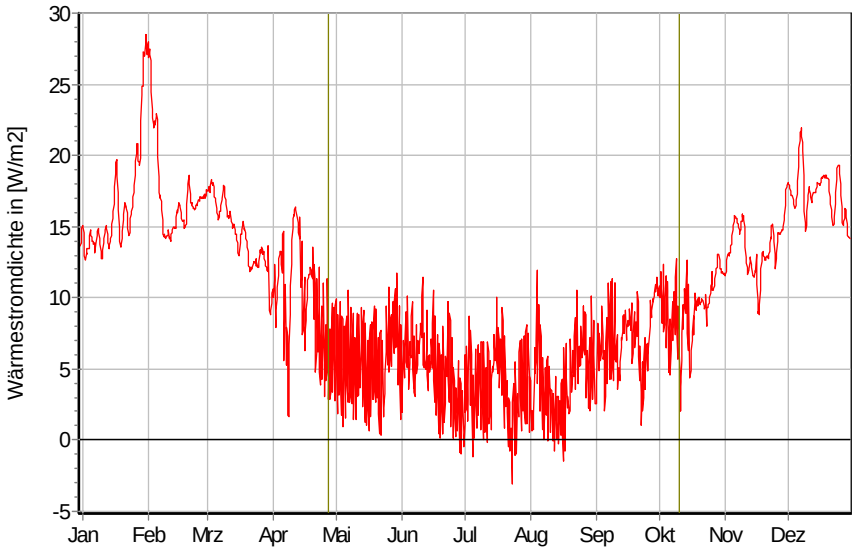
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

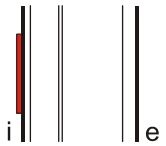
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 30 mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,162 | 9,325 | 13,641 | 18,127 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,680 | 2,798* | 3,523* | 6,882* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



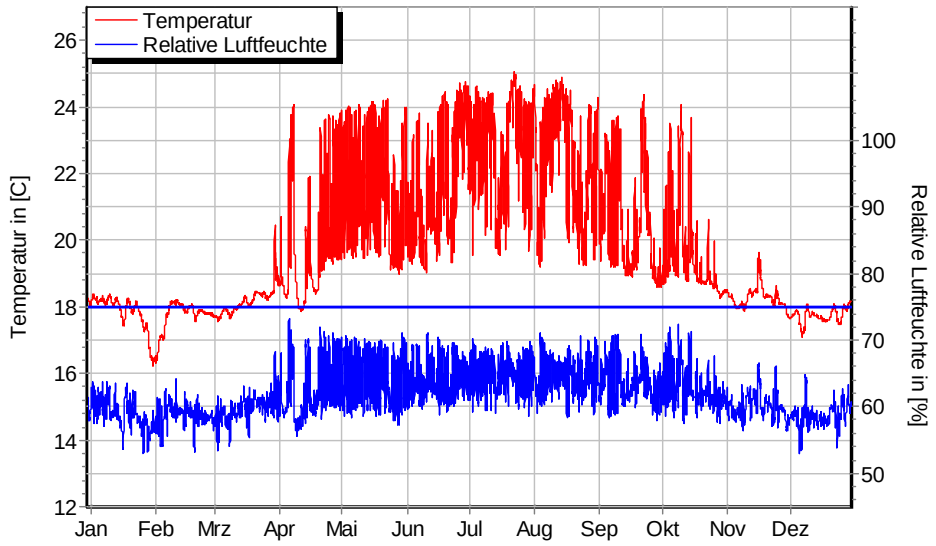



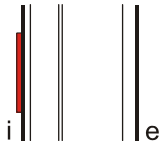

Gemittelte Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 14,24 | 9,49 | 6,55 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,07 | 0,81 | 0,54 | 0,37 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,31 | 1,06 | 1,68 | 2,52 |

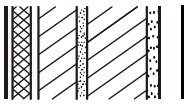
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 30 mm, 1 SL | 50 mm, 1½ SL | 80 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 14,44 | 9,84 | 6,96 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,05 | 0,82 | 0,56 | 0,40 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,32 | 1,05 | 1,62 | 2,36 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

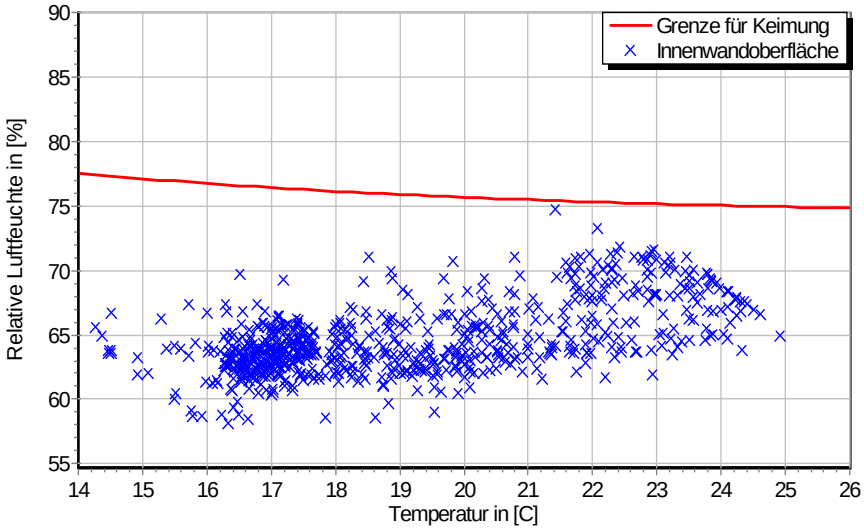


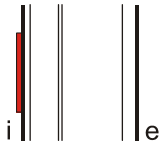




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

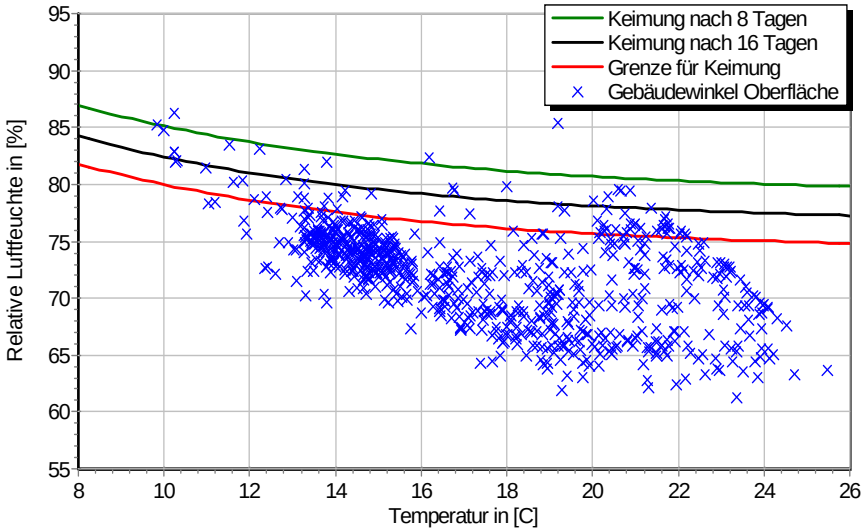


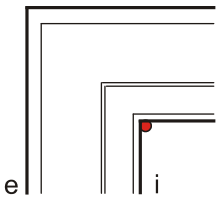
# 2.2 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit FA-Dampfbremse, außen unverputzt



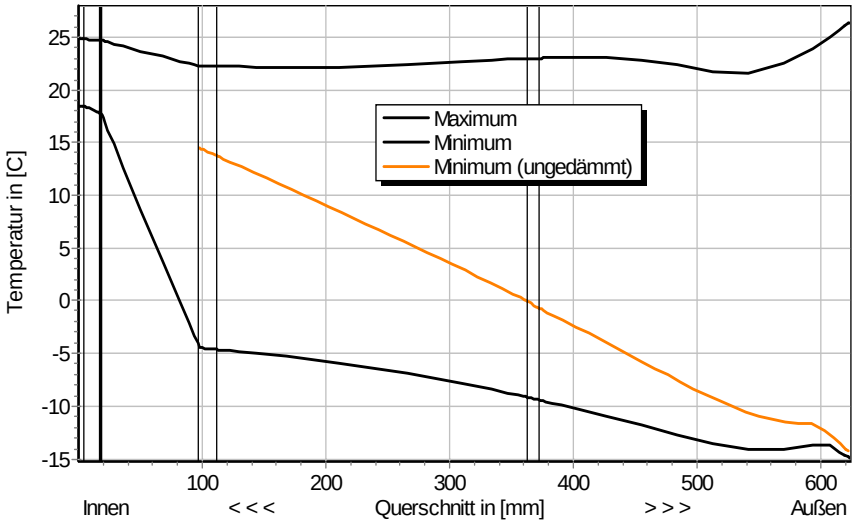

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



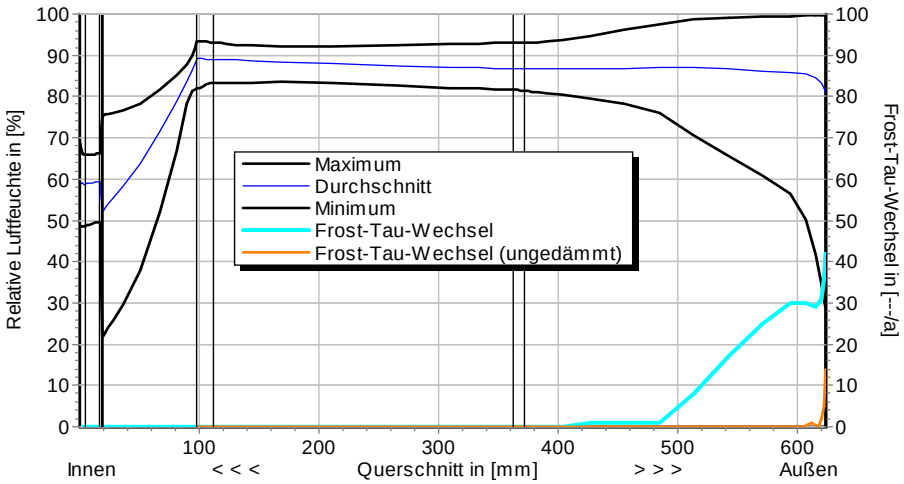

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 30 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

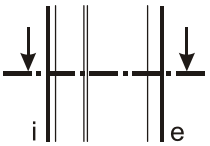
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



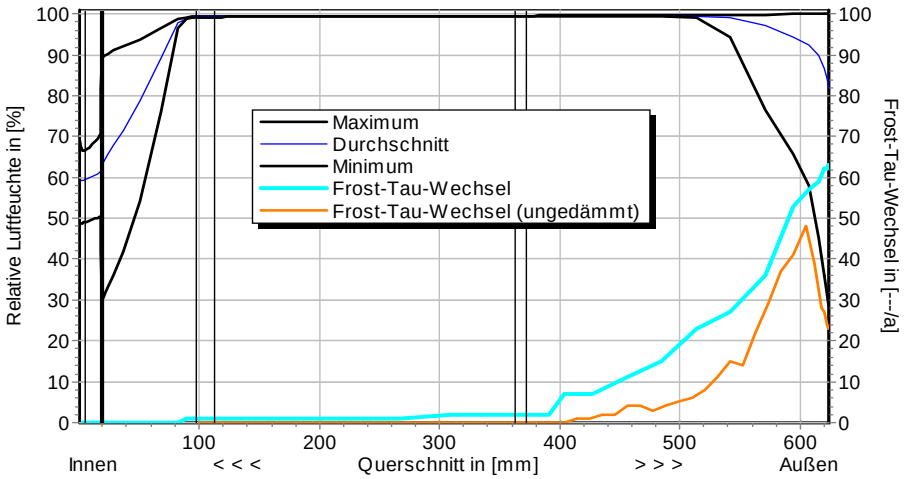
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord), Schnitt durch Feldmitte
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

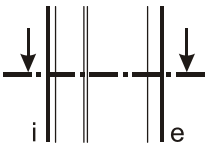
# 2.2 Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit FA-Dampfbremse, außen unverputzt




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord), Schnitt durch Feldmitte




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 80 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West), Schnitt durch Feldmitte

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 30 | 39 | 45 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 94,2 | 94,7 | 95,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 110,3 | 125,9 | 124,3 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 93,4 | 96,0 | 96,4 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 90,1 | 88,6 | 88,5 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 304/358 | 357/357 | 356/356 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 182/182 | 357/357 | 356/356 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 56 | 63 | 68 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,4 | 96,9 | 96,8 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 119,3 | 120,2 | 115,5 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 92,8 | 95,0 | 96,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,2 | 96,7 | 95,2 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 30mm,1SL | 50mm,1½SL | 80mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Mit 30 mm Dämmung (1 SL) wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, die Konstruktionen mit 50 (1½ SL) und 80 (2 SL) mm Dämmdicke halten alle Kriterien ein.

COND: Mit 30 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht erfüllt, die Konstruktionen mit 50 und 80 mm Dämmdicke halten alle Kriterien ein.

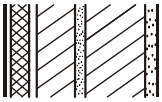
Simulation: Mindestwärmeschutz ist jeweils ab 30 mm gegeben. Ohne Schlagregeneinfluss werden alle Kriterien eingehalten.
Bei hoher eindringender Schlagregenmenge treten zu hohe Kondensatmengen auf und die Verdunstung des Kondensats ist nicht mehr gewährleistet. Mit nur 30 mm Dämmung kann es im Gebäudewinkel zu Schimmelpilzwachstum kommen.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 80 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

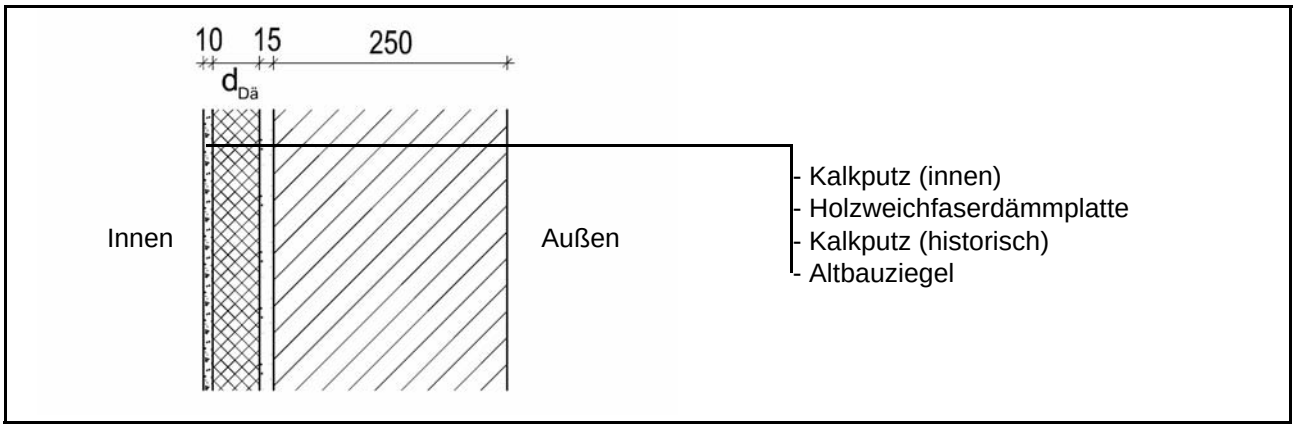
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.1 bis 3.3
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.1 bis 4.3
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1 bis 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1 bis 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1 bis 11.3

# 3.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 40, 80 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzweichfaserdämmplatte | 180 | 0,045 | 5 | 2,4 | 31,2 | 0,016 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 1,23 | 2,12 | 2,57 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,00 | 0,71 | 0,44 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,894 | 1,373 | 1,187 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,225 | 1,458 | 1,263 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,757 | 0,832 | 0,853 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 1,23 | 2,12 | 2,56 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,00 | 0,71 | 0,44 | 0,37 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,584 | 1,158 | 1,001 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,228 | 1,458 | 1,263 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 59,5 | 55,6 | 54,6 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,31 | 0,51 | 0,61 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,90 | 1,79 | 2,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 31,7 | 17,7 | 13,9 |

# 3.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten

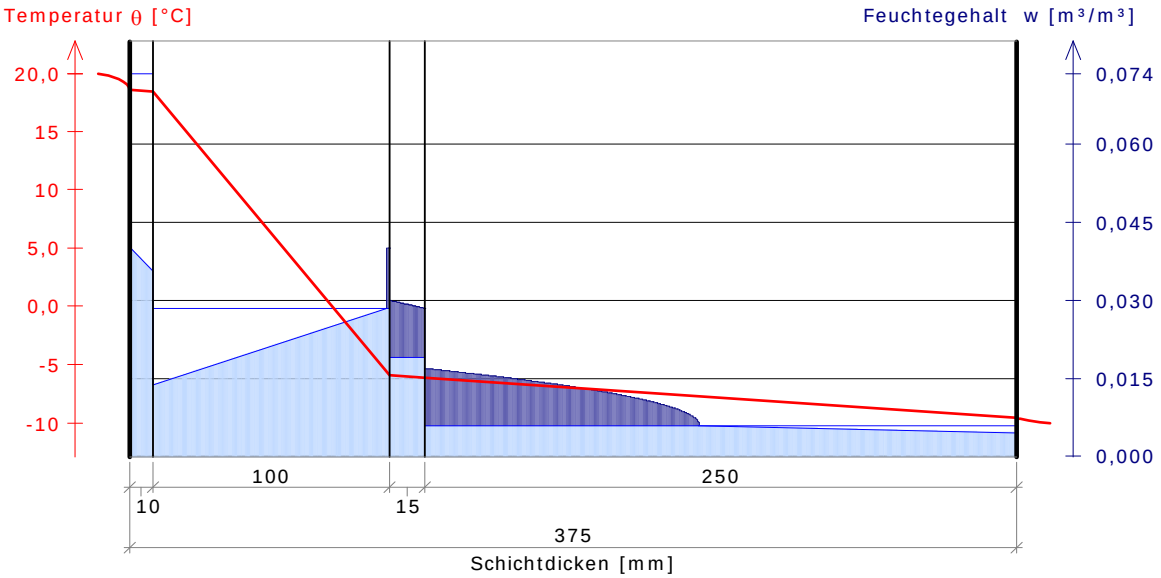
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 40 mm | | 80 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

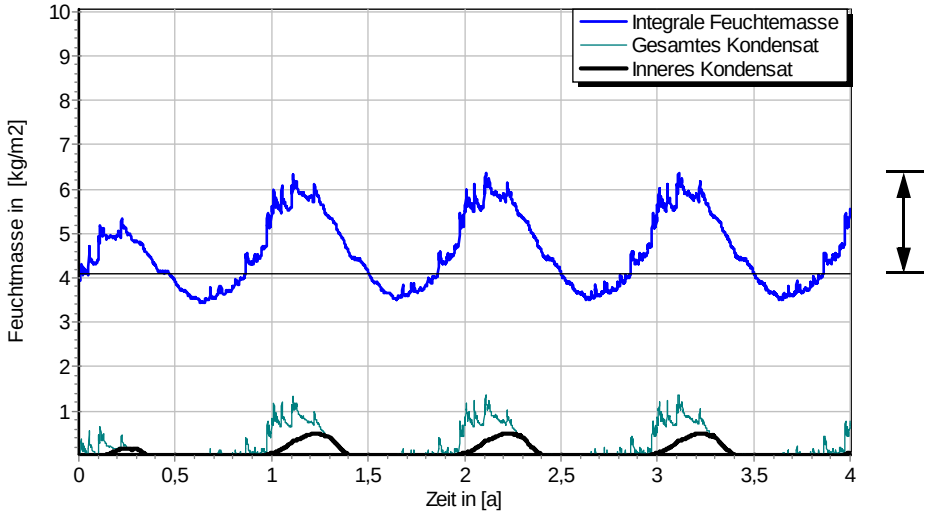
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,6 | 2140 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,040 | | |
| | | | | | 0,036 | | |
| | | 18,4 | 2120 | 1026 | | | |
| 2 | HWFDP-Funtkionsschicht | | | | 0,014 | | |
| | | | | | **0,040** | 0,2 | 0,00 |
| | | -5,9 | **370** | **370** | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,030** | 15,0 | 0,15 |
| | | | | | **0,028** | | |
| | | -6,1 | **364** | **364** | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,017** | 116,0 | 0,85 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 270 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

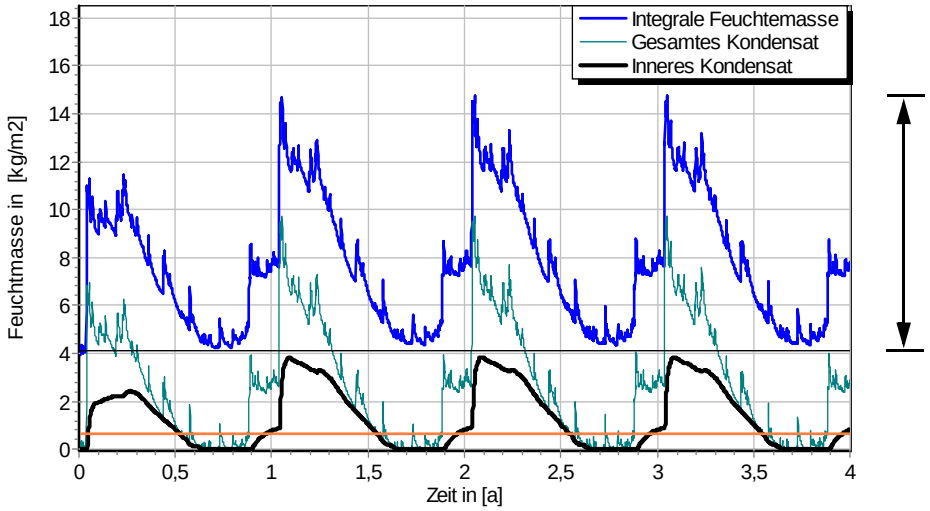
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 1,481 | 2,119 | 2,262 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,294 | 0,465 | 0,497 |



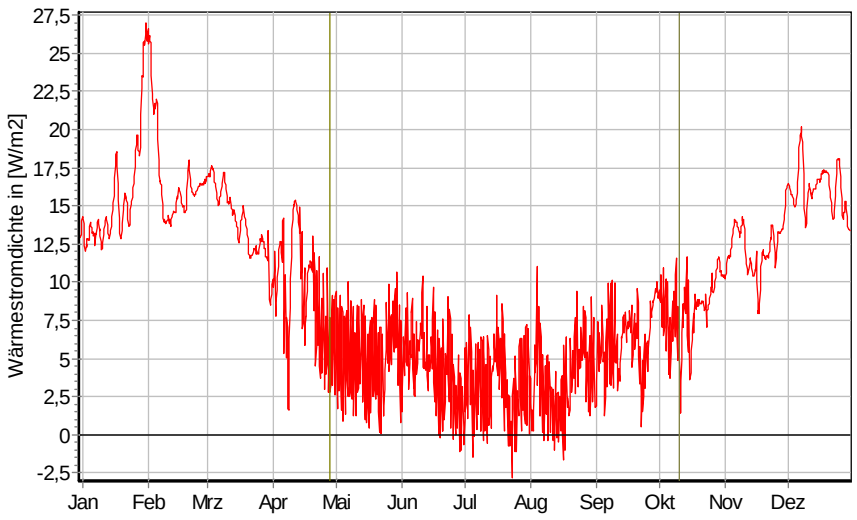

$\Delta m_{W,80}$

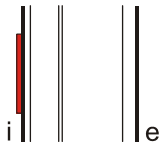
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,163 | 8,992 | 10,195 | 10,662 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,680 | 2,155* | 2,903* | 3,159* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



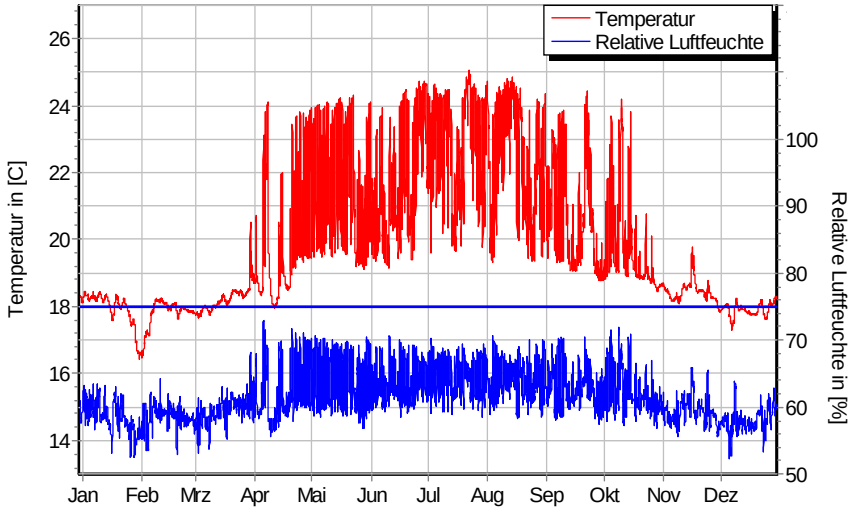



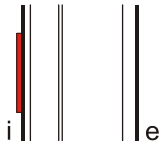

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 13,39 | 8,10 | 6,70 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,53 | 0,76 | 0,46 | 0,38 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,48 | 1,14 | 2,00 | 2,46 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 13,61 | 8,50 | 7,15 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 0,77 | 0,77 | 0,48 | 0,41 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 1,12 | 1,12 | 1,90 | 2,29 |

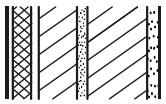
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

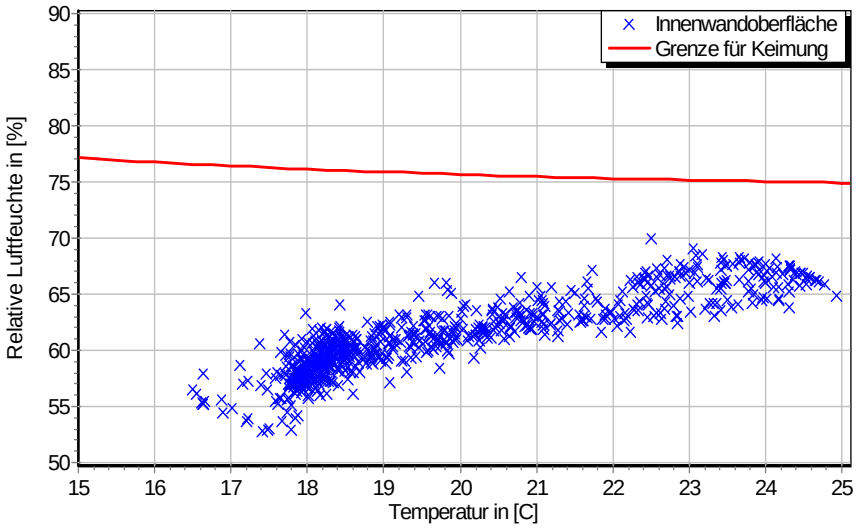


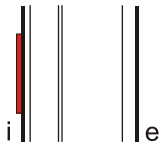




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

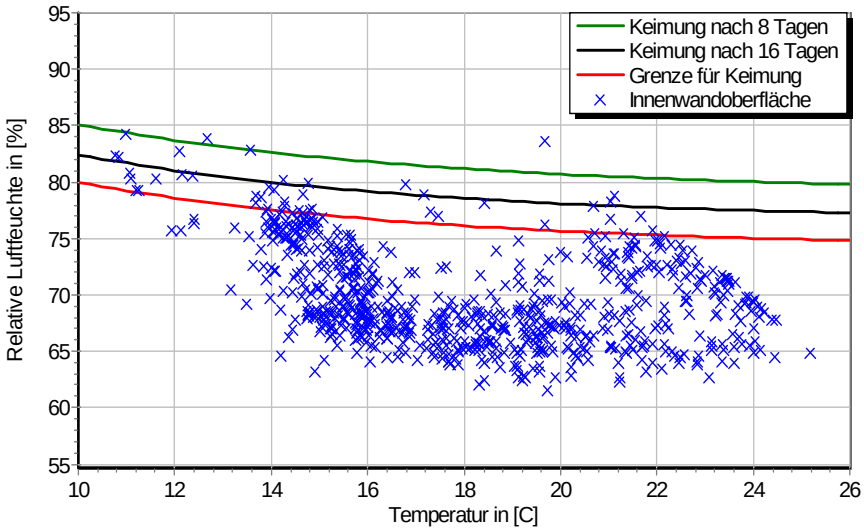
# 3.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten

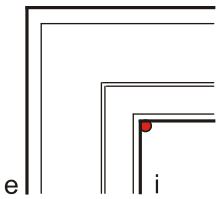




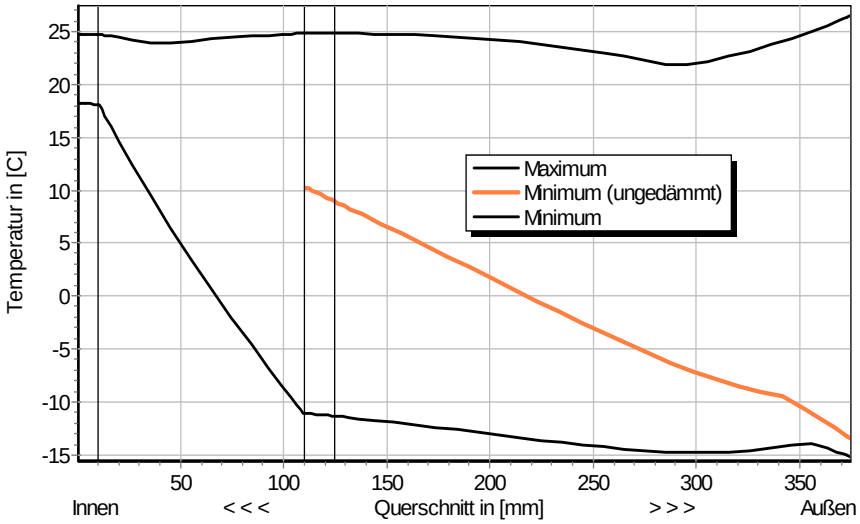

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



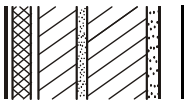




Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

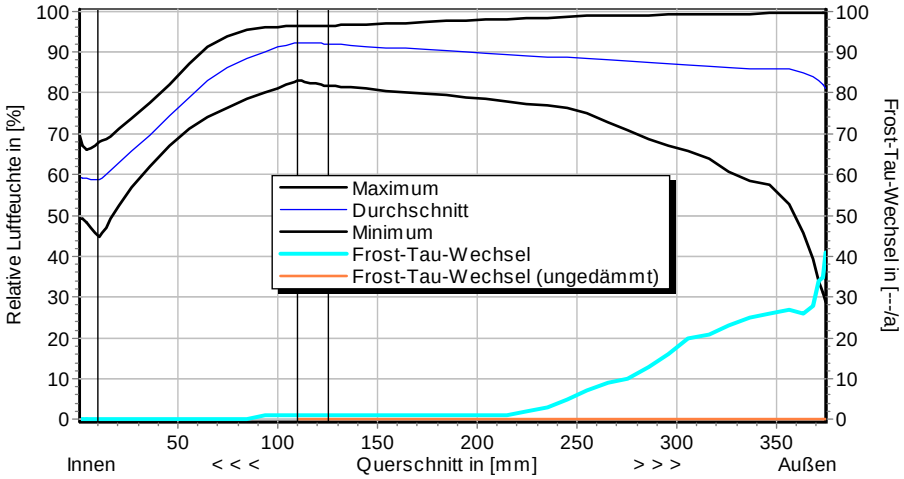
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

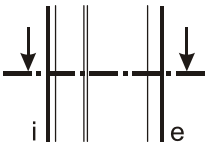


Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

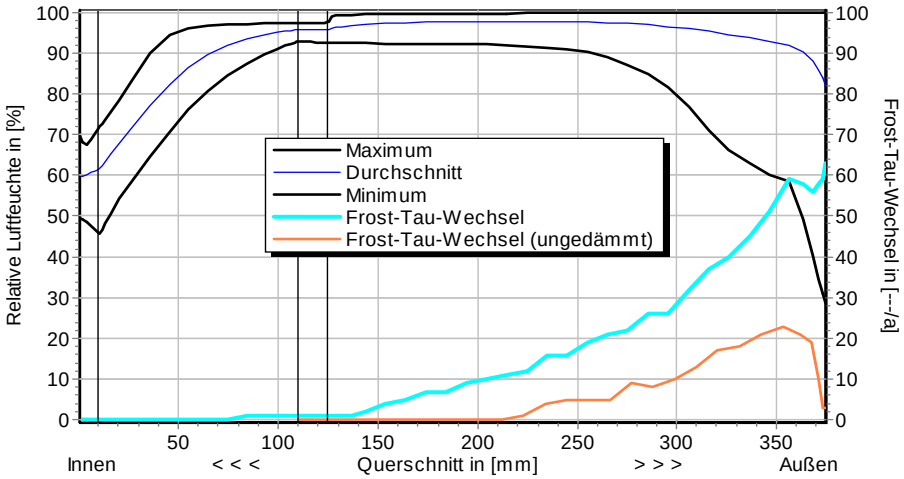


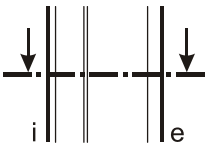
# 3.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)



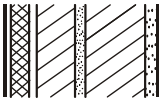

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 33 | 42 | 45 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 94,2 | 93,4 | 94,2 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 113,6 | 125,4 | 127,2 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,2 | 94,0 | 93,9 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 93,2 | 91,1 | 90,4 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 58 | 67 | 69 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,3 | 94,6 | 94,4 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 119,7 | 124,6 | 125,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 93,0 | 92,1 | 91,8 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,9 | 97,1 | 96,1 |

# 3.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

COND: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist mit 40 mm Dämmung knapp nicht gegeben. Ohne Schlagregeneinwirkung wird der maximal erlaubte massebezogene Feuchtegehalt nur mit 100 mm Dämmung nicht überschritten. In allen Aufbauten verdunstet das Tauwasser vollständig. Schimmelwachstum im Gebäudewinkel ist jeweils nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

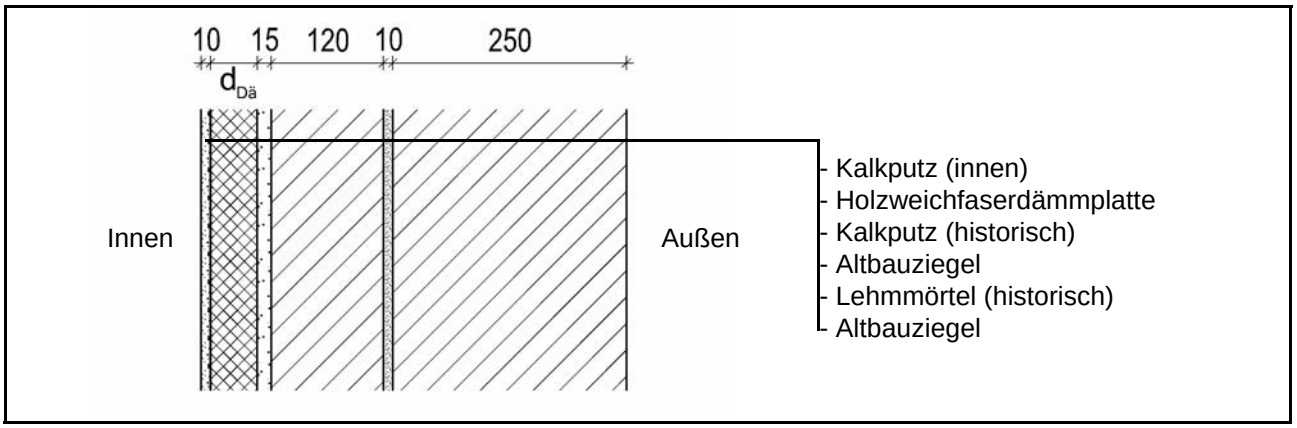
Vorzugsvarianten: Keine der Varianten sollte ausgeführt werden.

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.1
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1

# 3.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 40, 80 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzweichfaserdämmplatte | 180 | 0,045 | 5 | 2,4 | 31,2 | 0,016 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

### 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

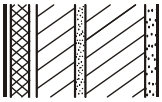
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,49 | 1,40 | 2,29 | 2,73 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,51 | 0,64 | 0,41 | 0,35 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,576 | 1,267 | 1,117 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,137 | 1,370 | 1,175 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,528 | 0,772 | 0,839 | 0,858 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

### 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,49 | 1,39 | 2,28 | 2,73 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,51 | 0,64 | 0,41 | 0,35 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,404 | 1,111 | 0,969 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,138 | 1,370 | 1,175 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 72,5 | 58,4 | 55,2 | 54,4 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,31 | 0,51 | 0,61 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,90 | 1,79 | 2,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 31,7 | 17,7 | 13,9 |

# 3.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten



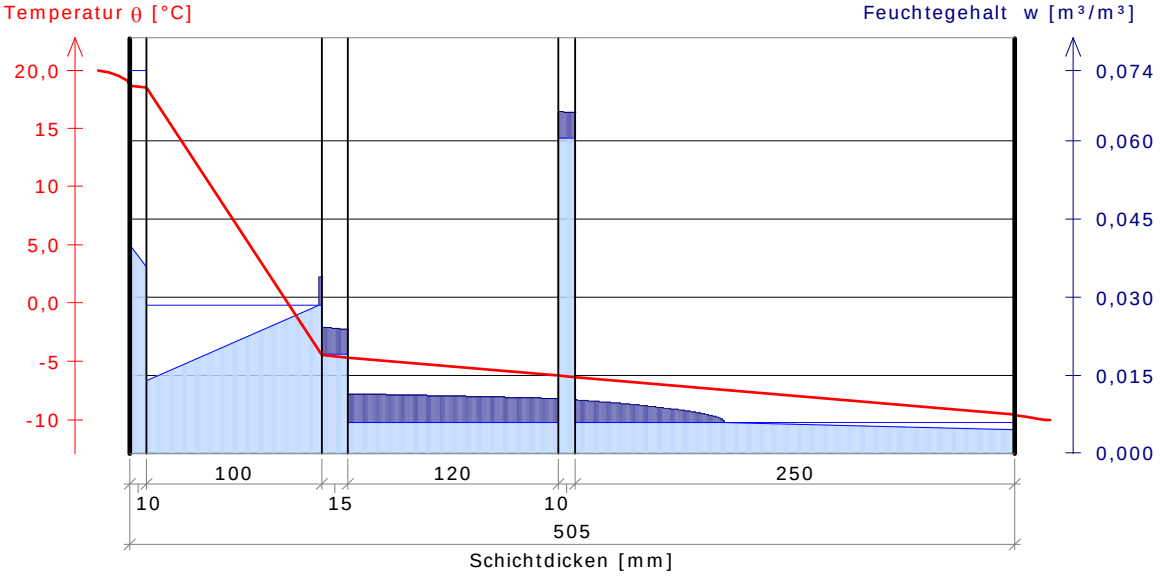
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 40 mm | | 80 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

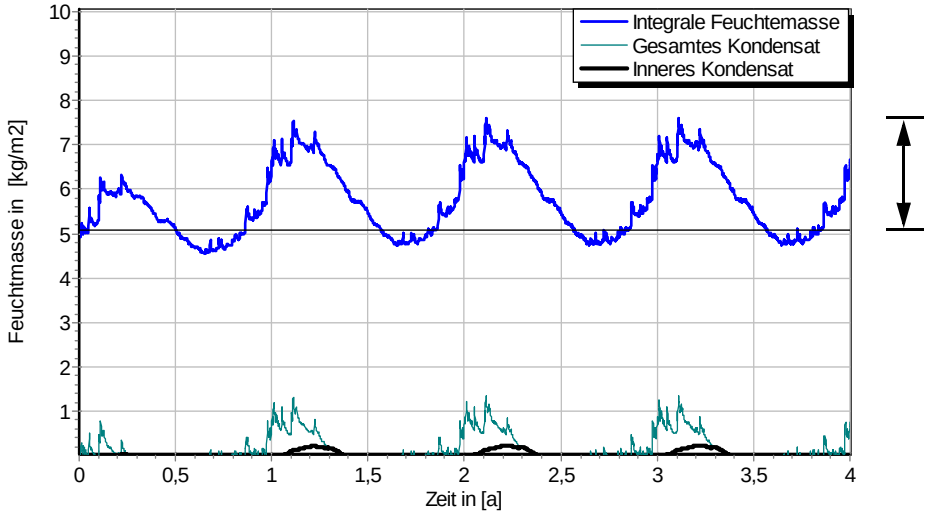
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,7 | 2151 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,040 | | |
| | | | | | 0,036 | | |
| | | 18,5 | 2132 | 1035 | | | |
| 2 | HWFDP-Funtkionsschicht | | | | 0,014 | | |
| | | | | | **0,034** | 0,2 | 0,00 |
| | | -4,5 | 420 | 420 | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,024** | 15,0 | 0,07 |
| | | | | | **0,024** | | |
| | | -4,7 | 413 | 413 | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,011** | 120,0 | 0,60 |
| | | | | | **0,010** | | |
| | | -6,2 | 362 | 362 | | | |
| 5 | Lehmmörtel (hist.) | | | | **0,066** | 10,0 | 0,05 |
| | | | | | **0,065** | | |
| | | -6,4 | 358 | 358 | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,010** | 84,9 | 0,25 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 270 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

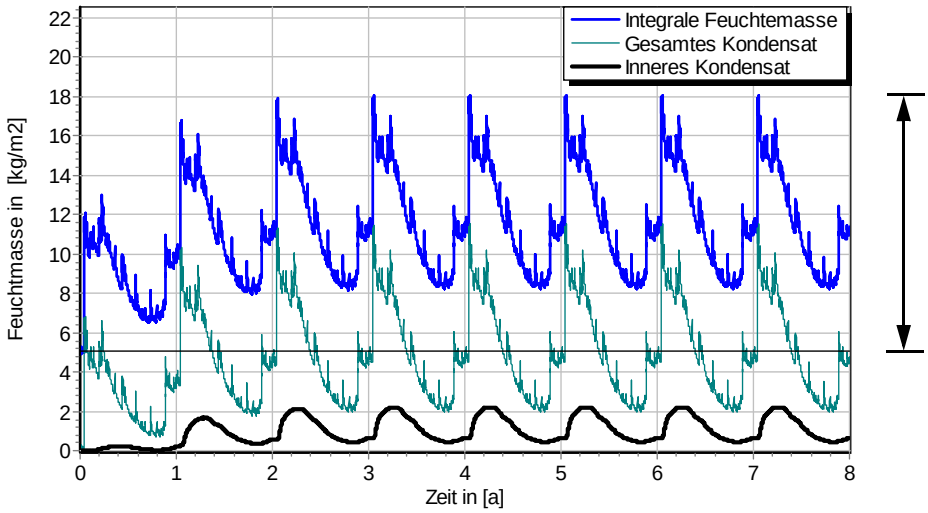
Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen



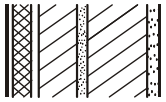

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,350 | 1,647 | 2,331 | 2,520 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,108 | 0,227 | 0,239 |

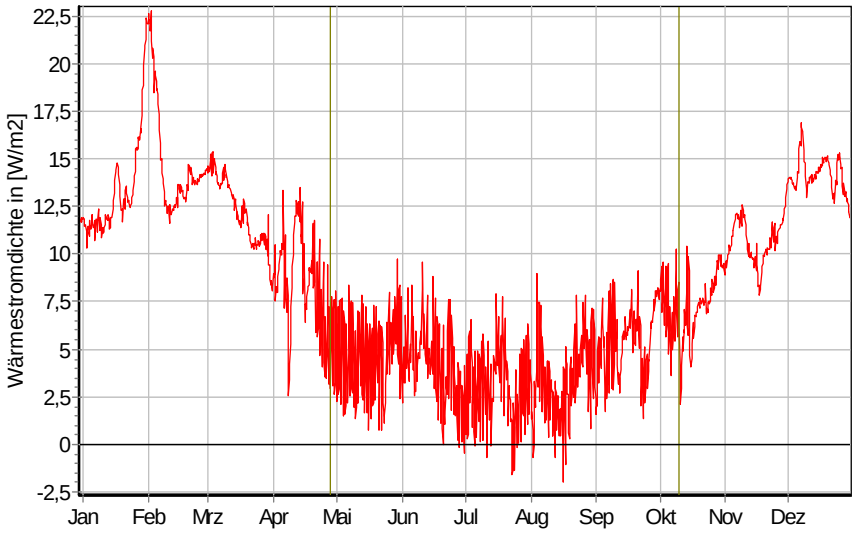


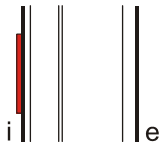

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,927 | 10,419 | 12,327 | 13,006 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,895 | 1,849 | 2,210 |



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



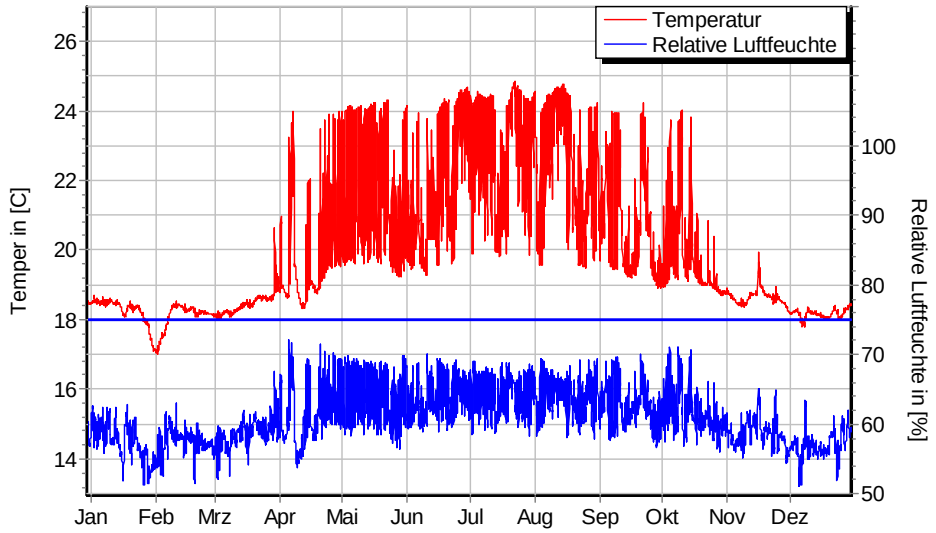



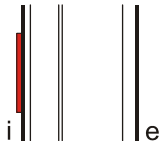

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 27,42 | 11,69 | 7,42 | 6,24 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,23 | 0,66 | 0,42 | 0,35 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,64 | 1,33 | 2,20 | 2,65 |

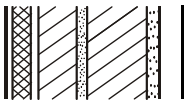
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 27,08 | 11,70 | 7,61 | 6,49 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,22 | 0,67 | 0,43 | 0,37 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,65 | 1,33 | 2,14 | 2,54 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

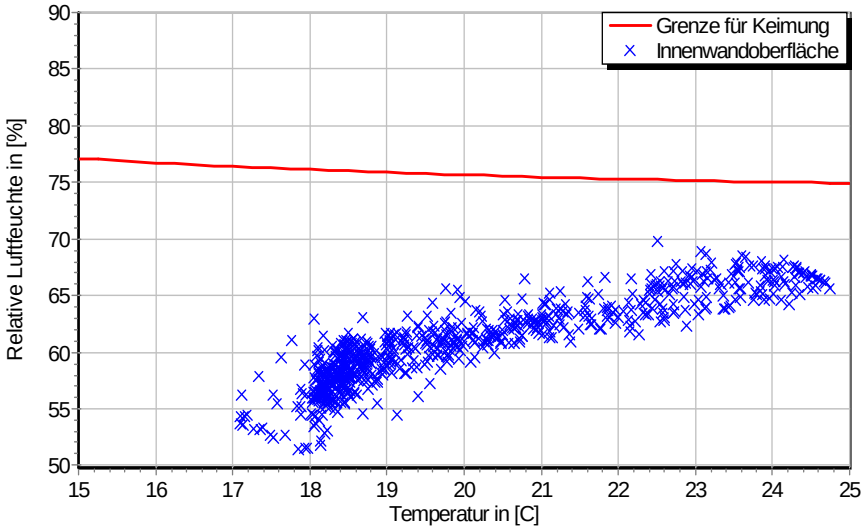


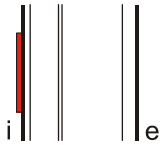




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

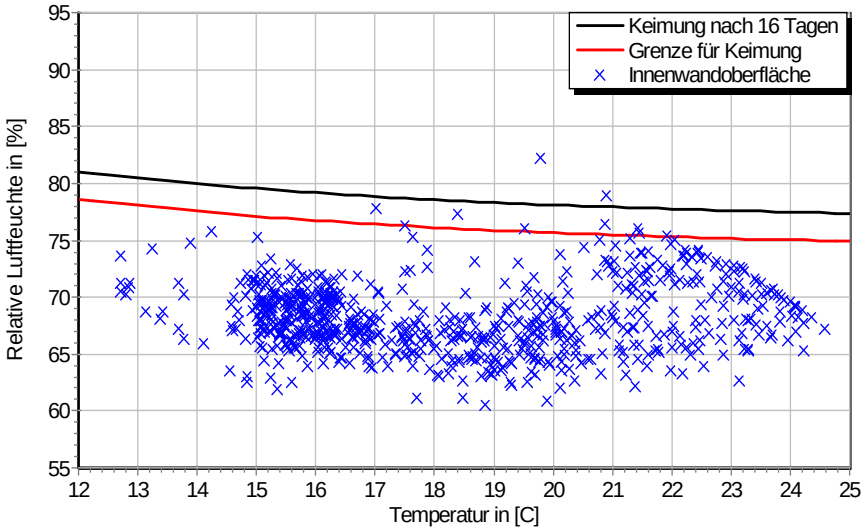


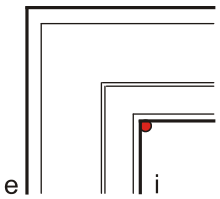
## 3.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten



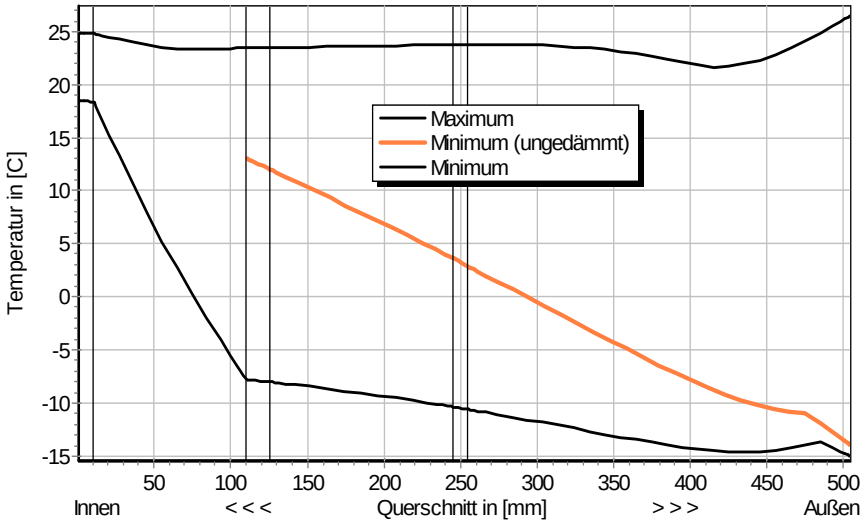

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



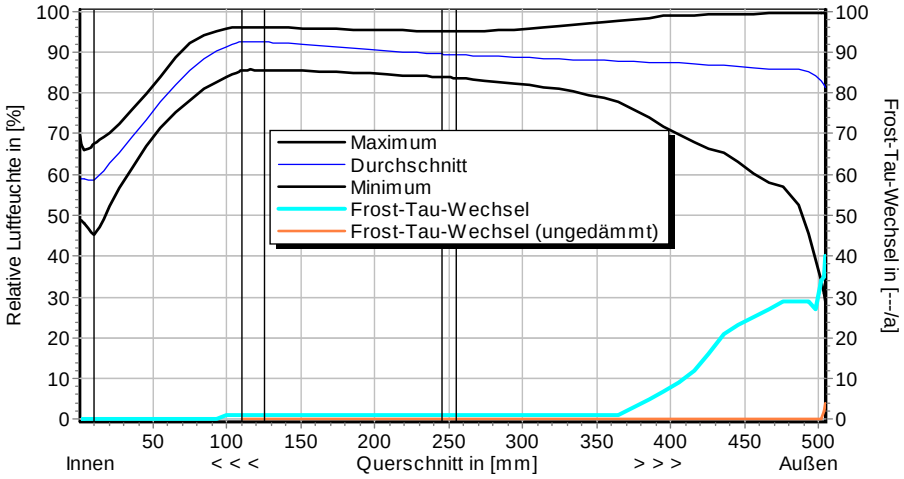

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

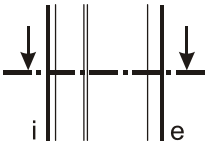
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



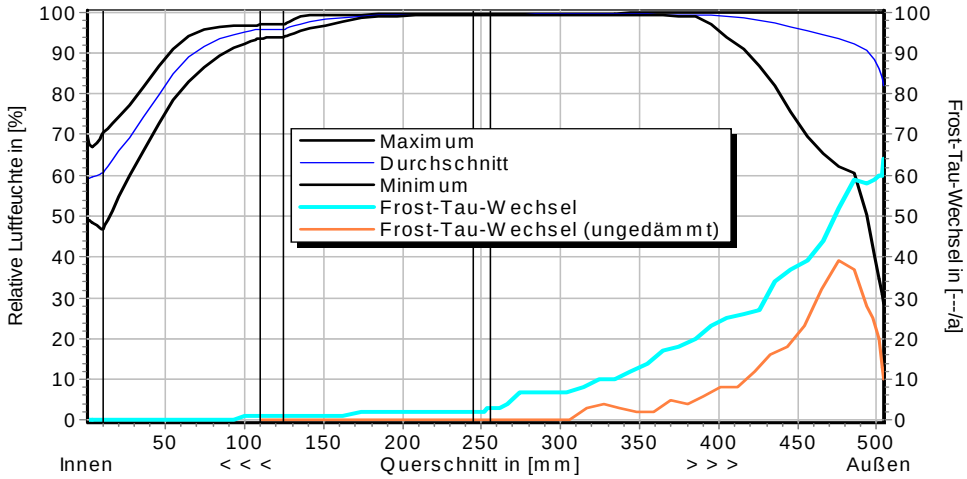
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

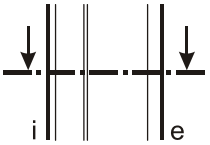
# 3.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 10 | 36 | 44 | 45 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,1 | 94,5 | 94,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 121,8 | 131,5 | 130,8 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,0 | 97,2 | 97,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 94,8 | 92,9 | 92,3 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 39 | 62 | 68 | 69 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 96,6 | 96,1 | 95,5 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 116,4 | 120,0 | 120,9 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 95,9 | 95,4 | 95,2 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,4 | 95,9 | 95,3 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ○ | ✓ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

COND: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

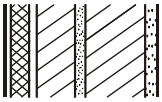
Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist bei allen gedämmten Wandaufbauten gegeben. Bei Varianten ohne Schlagregeneinwirkung wird der maximal erlaubte massebezogene Feuchtegehalt nie überschritten, mit dagegen schon. Das Tauwasser verdunstet ohne Schlagregen immer, mit Regenbelastung in keinem Aufbau. Schimmelwachstum im Gebäudewinkel ist jeweils nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

Vorzugsvarianten: 80 bzw. 100 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

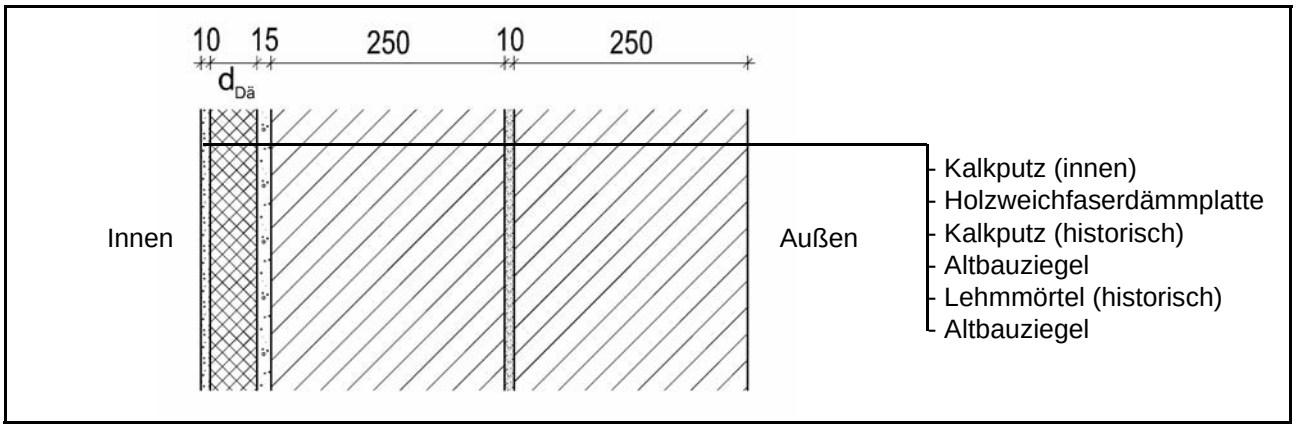
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatte, außen unverputzt: 4.2
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.2
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.2
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.2

# 3.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 40, 80 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzweichfaserdämmplatte | 180 | 0,045 | 5 | 2,4 | 31,2 | 0,016 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,66 | 1,56 | 2,45 | 2,89 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,21 | 0,58 | 0,38 | 0,33 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,311 | 1,159 | 1,044 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,234 | 1,326 | 1,131 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,583 | 0,786 | 0,846 | 0,863 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,66 | 1,56 | 2,45 | 2,89 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,21 | 0,58 | 0,38 | 0,33 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,182 | 1,022 | 0,907 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,092 | 1,326 | 1,131 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 66,7 | 57,6 | 54,9 | 54,1 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,31 | 0,51 | 0,61 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,90 | 1,79 | 2,24 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 31,7 | 17,7 | 13,9 |

# 3.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten

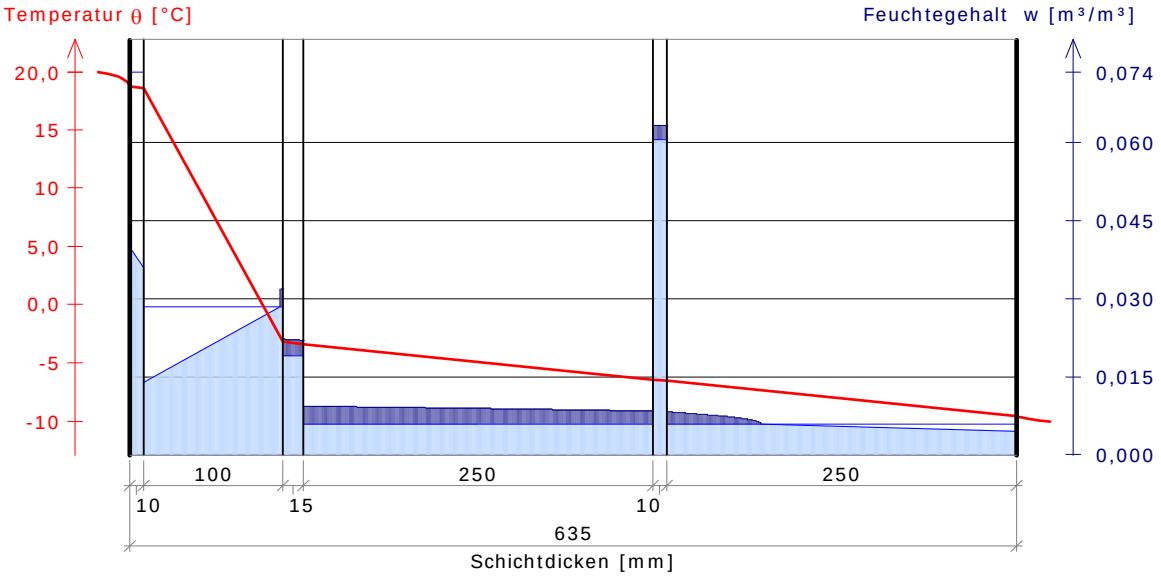
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 40 mm | | 80 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

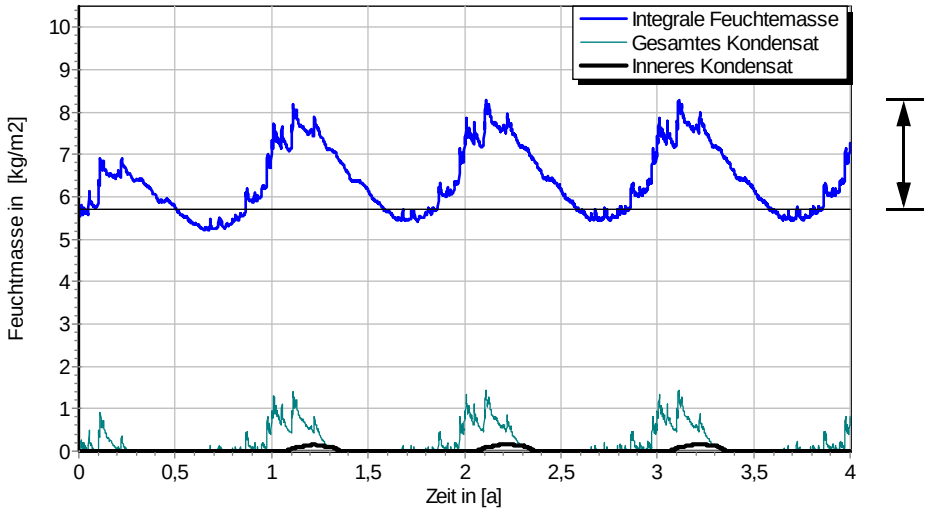
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,7 | 2160 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,040 | | |
| | | | | | 0,036 | | |
| | | 18,6 | 2143 | 1044 | | | |
| 2 | HWFDP-Funtkionsschicht | | | | 0,014 | | |
| | | | | | **0,032** | 0,2 | 0,00 |
| | | -3,2 | 469 | 469 | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,022** | 15,0 | 0,04 |
| | | | | | **0,022** | | |
| | | -3,4 | 462 | 462 | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,009** | 250,0 | 0,73 |
| | | | | | **0,008** | | |
| | | -6,4 | **356** | **356** | | | |
| 5 | Lehmmörtel (hist.) | | | | **0,063** | 10,0 | 0,03 |
| | | | | | **0,063** | | |
| | | -6,5 | **352** | **352** | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,008** | 67,2 | 0,10 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 269 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

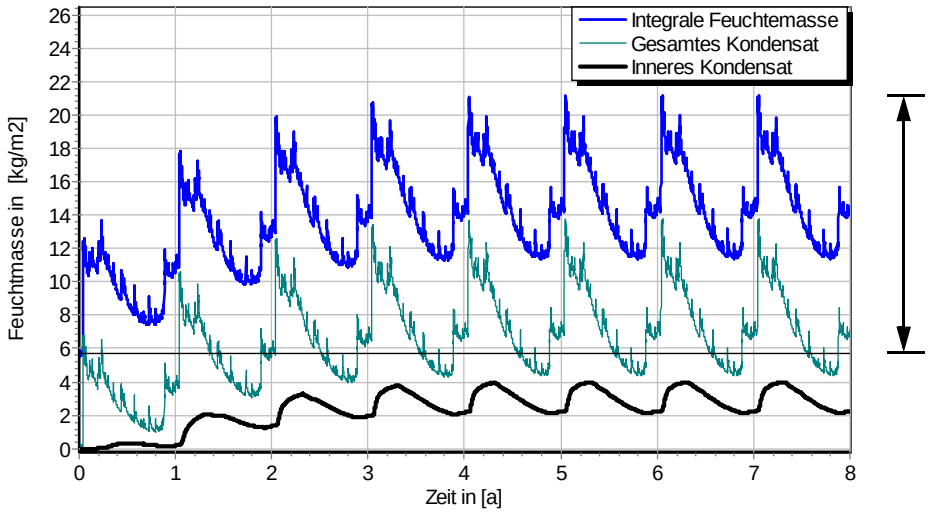
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,434 | 1,639 | 2,375 | 2,589 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,012 | 0,144 | 0,166 |

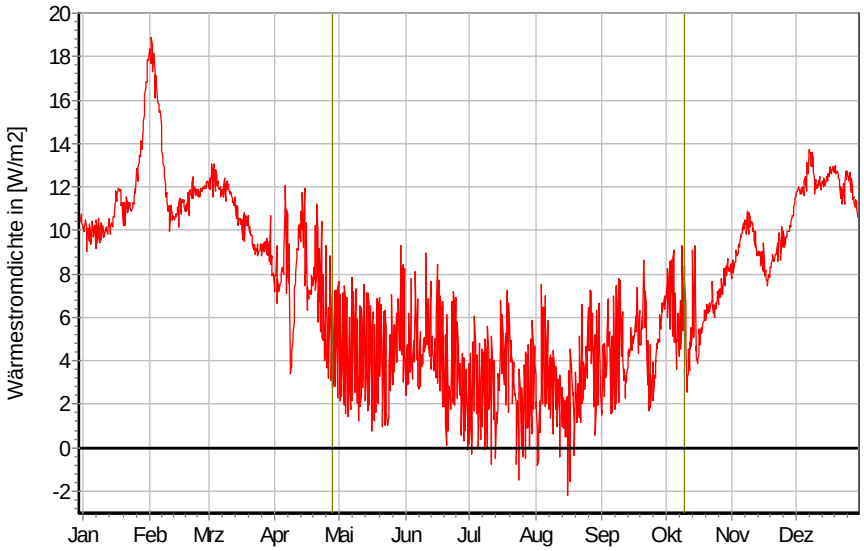


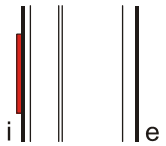

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 7,446 | 12,397 | 14,734 | 15,479 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 2,116 | 3,526 | 3,995 |

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



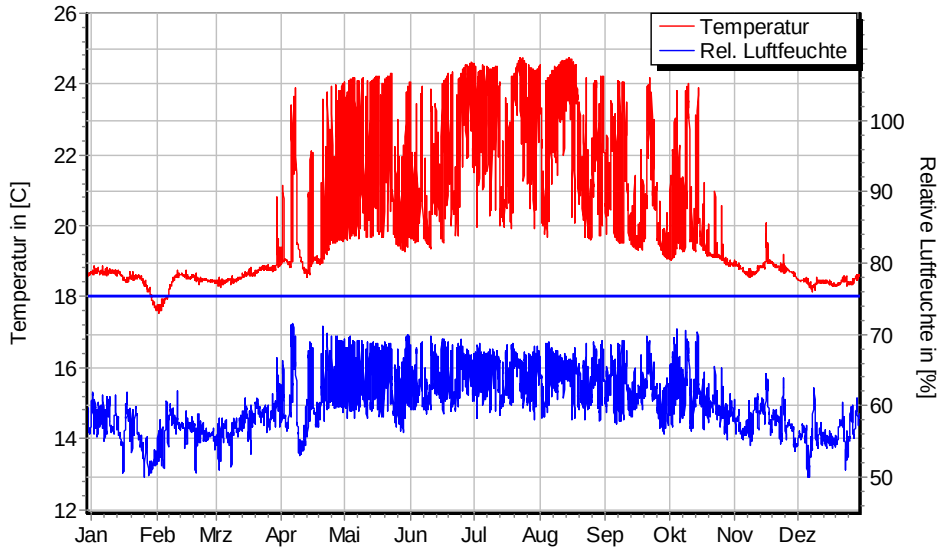



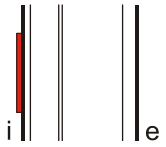

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 22,02 | 10,46 | 6,89 | 5,87 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,03 | 0,59 | 0,39 | 0,33 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,80 | 1,51 | 2,38 | 2,83 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 21,73 | 10,46 | 7,03 | 6,05 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,02 | 0,59 | 0,40 | 0,34 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,81 | 1,51 | 2,33 | 2,74 |

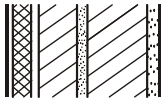
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

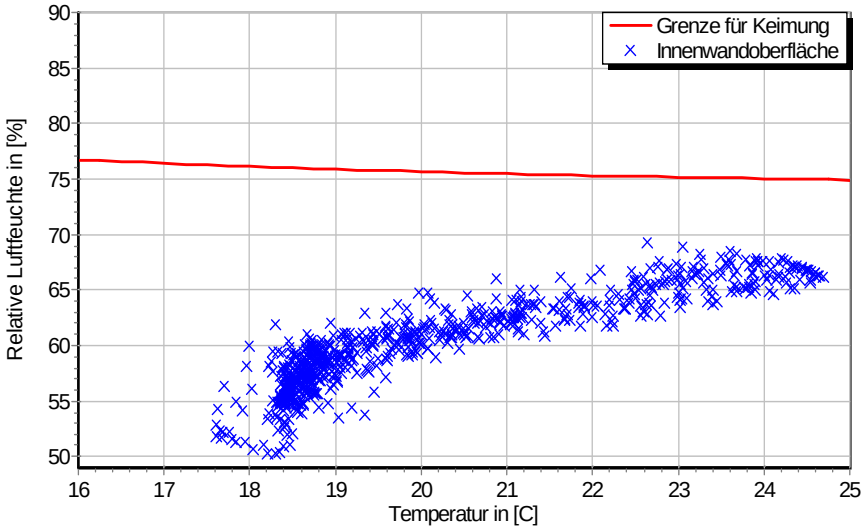


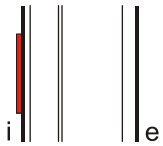




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

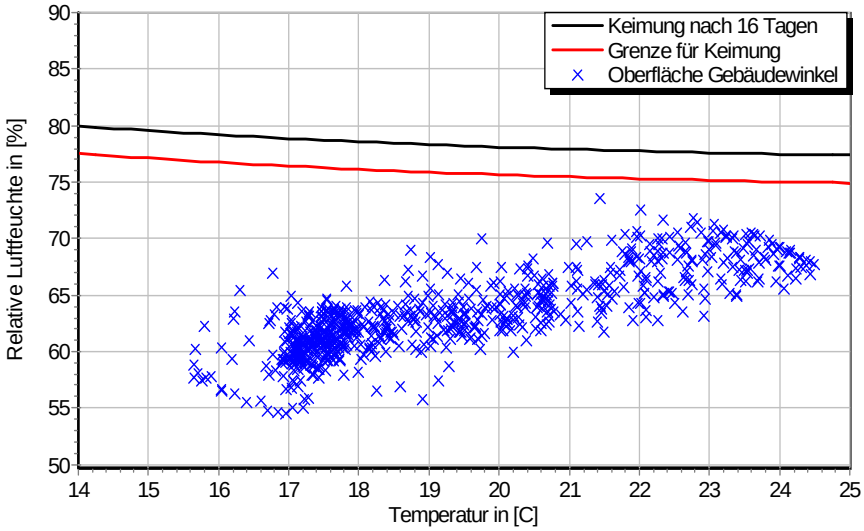
# 3.3 Altbauziegel (510 mm), innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten

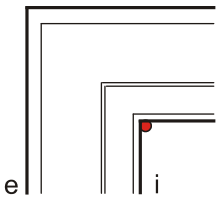




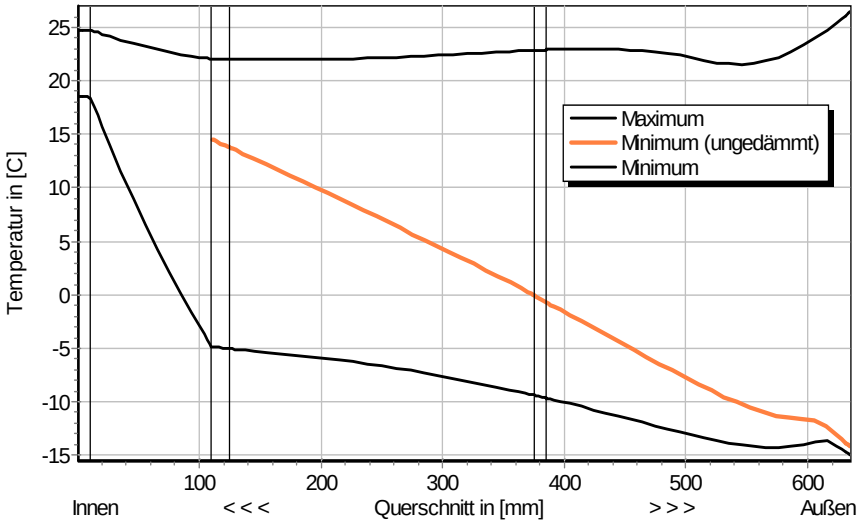

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



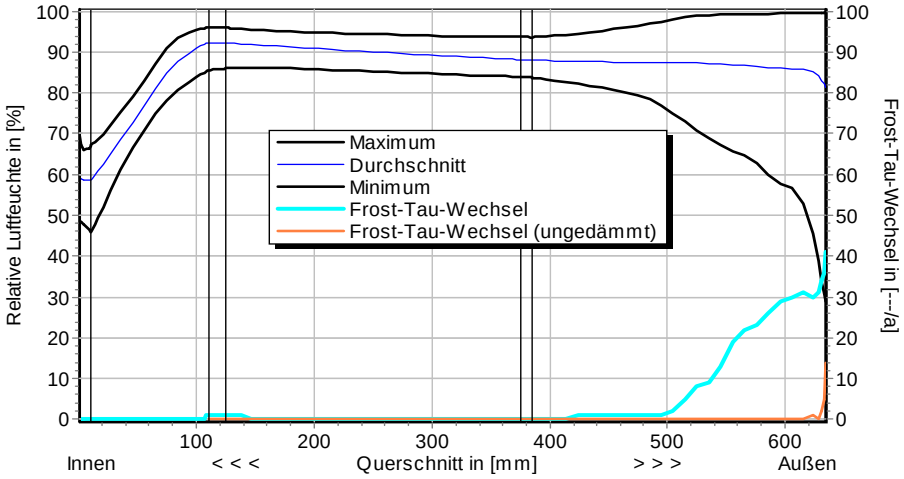



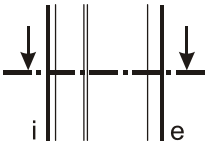

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 40 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

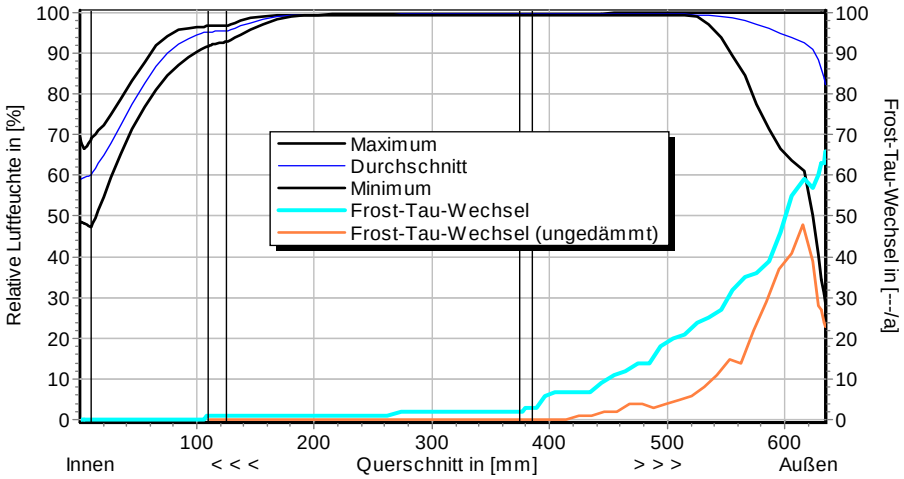


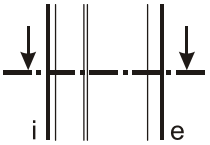
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)



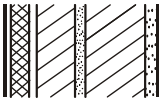




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 17 | 38 | 44 | 46 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,9 | 95,5 | 95,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 119,7 | 123,6 | 122,1 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,5 | 97,8 | 97,8 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 95,2 | 93,4 | 92,8 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 42 | 63 | 69 | 70 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 97,2 | 96,8 | 96,7 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 111,3 | 113,8 | 114,2 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,4 | 97,0 | 97,1 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,5 | 95,5 | 94,9 |



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 40 mm | 80 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

COND: In allen gedämmten Konstruktion entstehen zu hohe Kondensatmengen, der Mindestwärmeschutz wird immer erfüllt.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist bei allen gedämmten Wandaufbauten gegeben. Von jedem Aufbau wird ohne Schlagregeneinwirkung der maximal erlaubte massebezogene Feuchtegehalt eingehalten, mit Schlagregen jedoch nie. Das Tauwasser verdunstet ohne Schlagregen immer, mit Regenbelastung dagegen nicht. Schimmelwachstum im Gebäudewinkel ist jeweils nur unter ungünstigeren Nutzungsbedingungen zu befürchten.

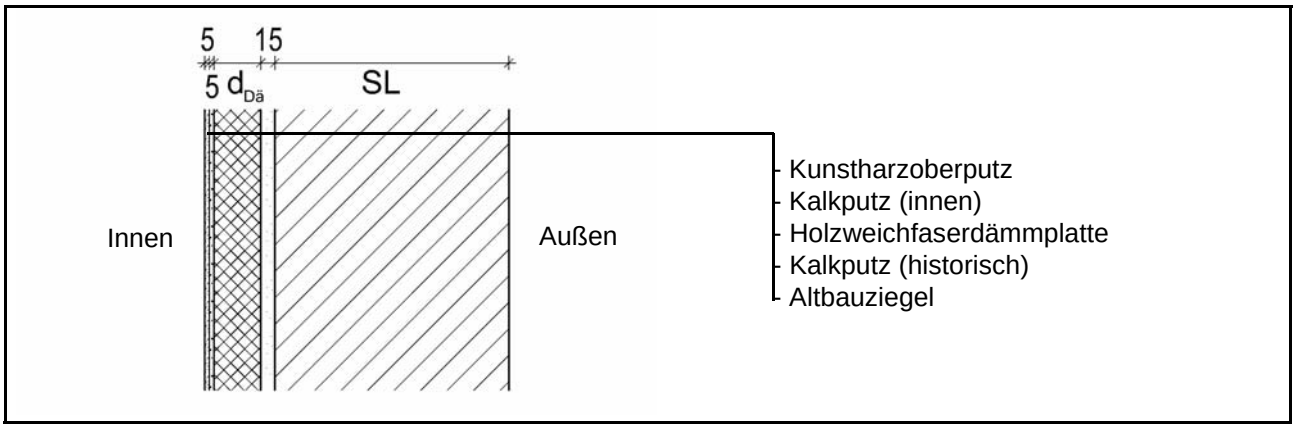
Vorzugsvarianten: 80 bzw. 100 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.3
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.3

# 3.4 Altbauziegel, innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten, innen Kunstharzoberputz

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 40, 80, 100 mm

1 SL = 1 Steinlänge (250 mm), 1½ bzw. 2 SL = 120 mm + 10 mm Mörtel + 120 bzw. 250 mm Ziegel

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kunstharzoberputz | 1100 | 0,70 | 350 | 1,0 | 11,1 | 0,002 |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzweichfaserdämmplatte | 180 | 0,045 | 5 | 2,4 | 31,2 | 0,016 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

### 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

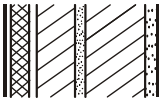
| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 1,23 | 2,29 | 2,89 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,00 | 0,71 | 0,41 | 0,33 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,182 | 0,238 | 0,235 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,571 | 0,456 | 0,400 |
| Temperaturfaktor* (G.-Winkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,757 | 0,839 | 0,863 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

### 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 1,23 | 2,29 | 2,89 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,00 | 0,71 | 0,41 | 0,33 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,136 | 0,152 | 0,126 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 0,571 | 0,454 | 0,398 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 59,5 | 55,2 | 54,1 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 2,01 | 2,21 | 2,31 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,90 | 1,76 | 2,24 |
| Wirk. Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 30,0 | 16,2 | 13,0 |

# 3.4 Altbauziegel, innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten, innen Kunstharzoberputz



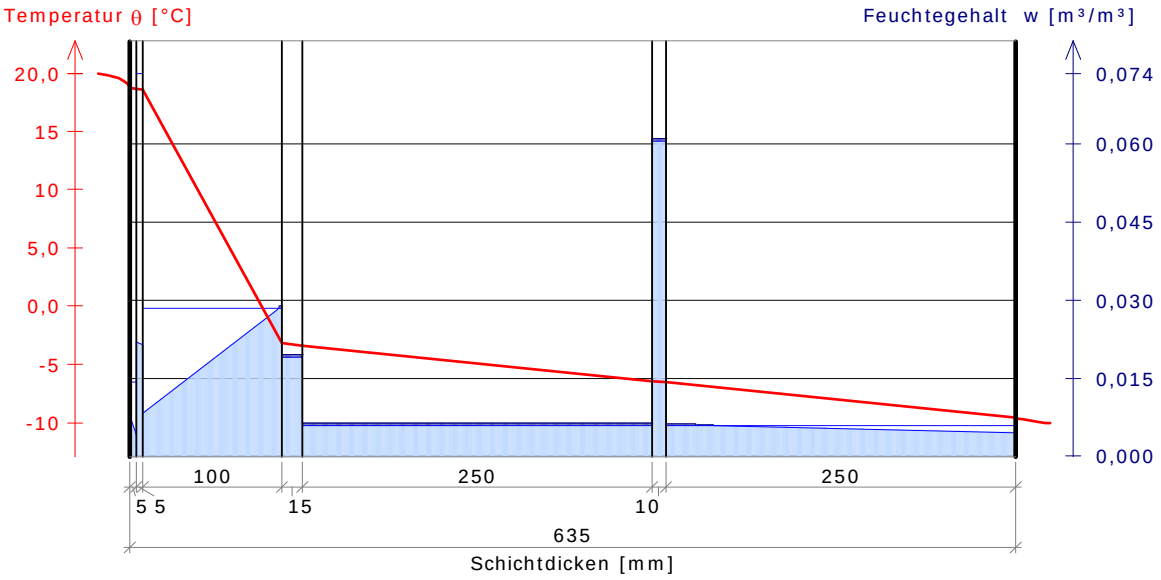
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert,1SL | | 40mm,1SL | | 80mm,1½SL | | 100mm,2SL | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm und 2 Steinlängen (SL)

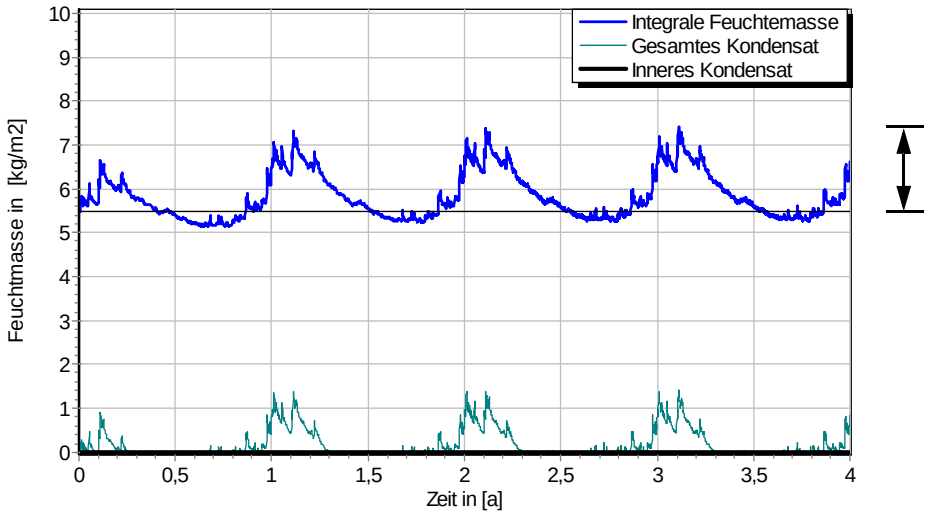
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,7 | 2160 | 1169 | | | |
| 1 | Kunstharzoberputz | | | | 0,008 | | |
| | | | | | 0,004 | | |
| | | 18,7 | 2151 | 639 | | | |
| 2 | Kalkputz (innen) | | | | 0,022 | | |
| | | | | | 0,021 | | |
| | | 18,6 | 2142 | 622 | | | |
| 3 | HWFDP-Funtkionsschicht | | | | 0,008 | | |
| | | | | | **0,029** | 0,0 | 0,00 |
| | | -3,2 | 469 | 469 | | | |
| 4 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,019** | 15,0 | 0,01 |
| | | | | | **0,019** | | |
| | | -3,4 | **462** | **462** | | | |
| 5 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 250,0 | 0,11 |
| | | | | | **0,006** | | |
| | | -6,4 | **356** | **356** | | | |
| 6 | Lehmmörtel (hist.) | | | | **0,061** | 10,0 | 0,00 |
| | | | | | **0,061** | | |
| | | -6,5 | **352** | **352** | | | |
| 7 | Altbauziegel | | | | **0,006** | 33,8 | 0,01 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,6 | 269 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

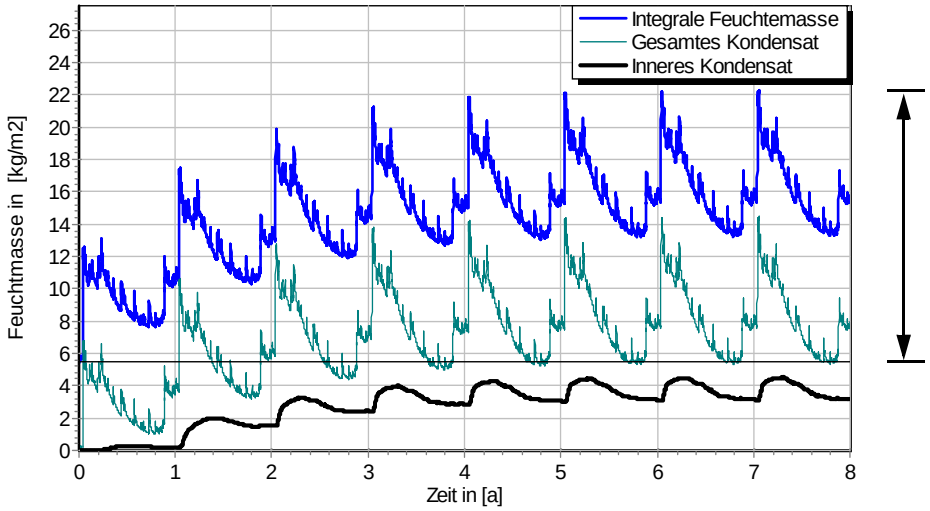
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm und 2 SL, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 40 mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 0,673 | 1,527 | 1,931 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,0 | 0,0 |



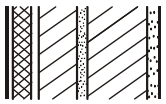

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm und 2 SL, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante (2 SL) in orange

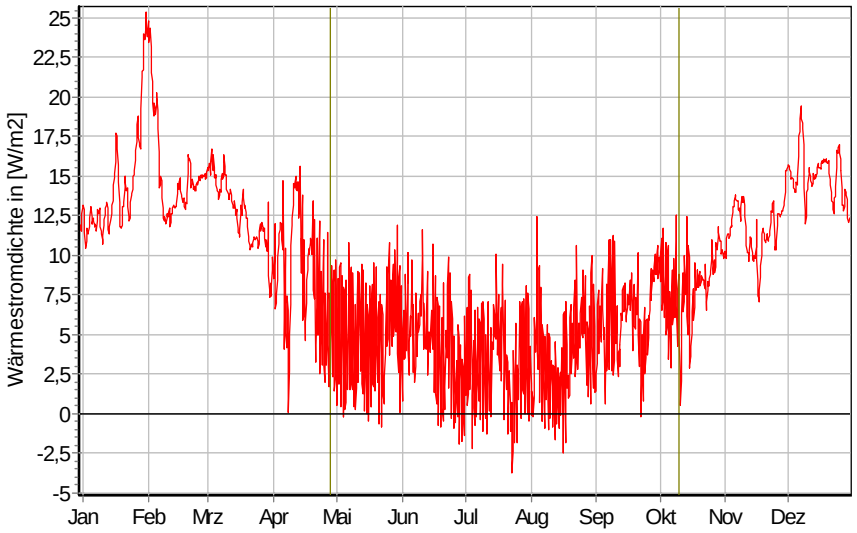
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert,1SL | 40 mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,163 | 9,106 | 13,410 | 16,763 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,680 | 2,157* | 2,258* | 4,503* |

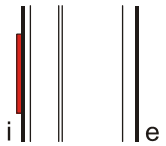
* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

# 3.4 Altbauziegel, innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten, innen Kunstharzoberputz



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



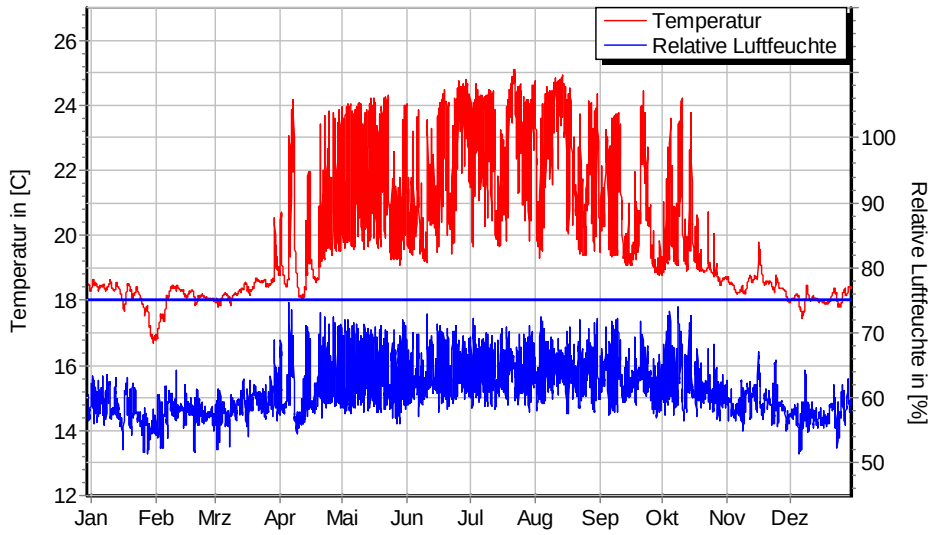



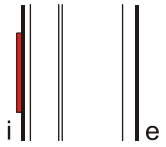

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 40 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 40 mm, 1 SL | 80 mm, 1½ SL | 100 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 12,39 | 7,01 | 5,66 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,53 | 0,70 | 0,40 | 0,32 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,48 | 1,25 | 2,34 | 2,94 |

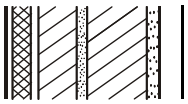
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert, 1 SL | 40 mm, 1 SL | 80 mm, 1½ SL | 100 mm, 2 SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 14,13 | 8,53 | 6,75 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,52 | 0,80 | 0,48 | 0,38 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,49 | 1,07 | 1,89 | 2,44 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

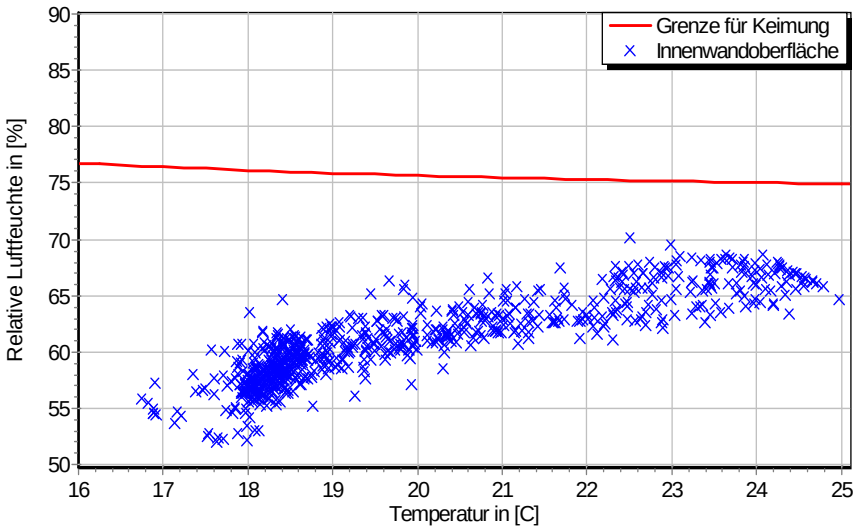


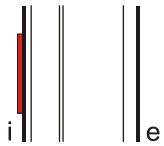




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 40 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

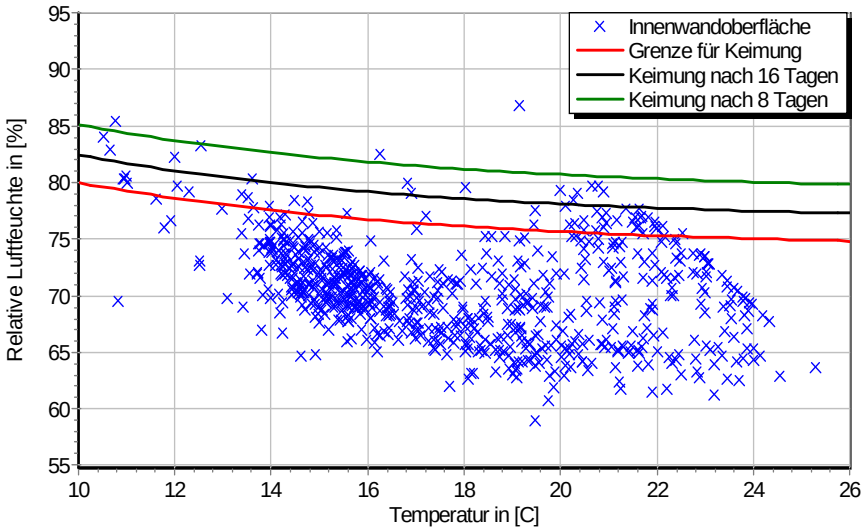


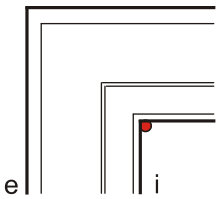
# 3.4 Altbauziegel, innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten, innen Kunstharzoberputz



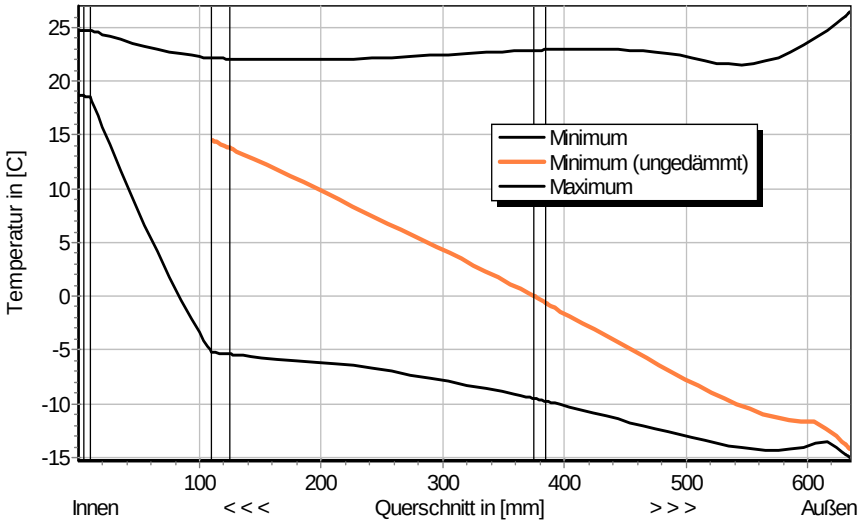

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 40 mm und 1 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



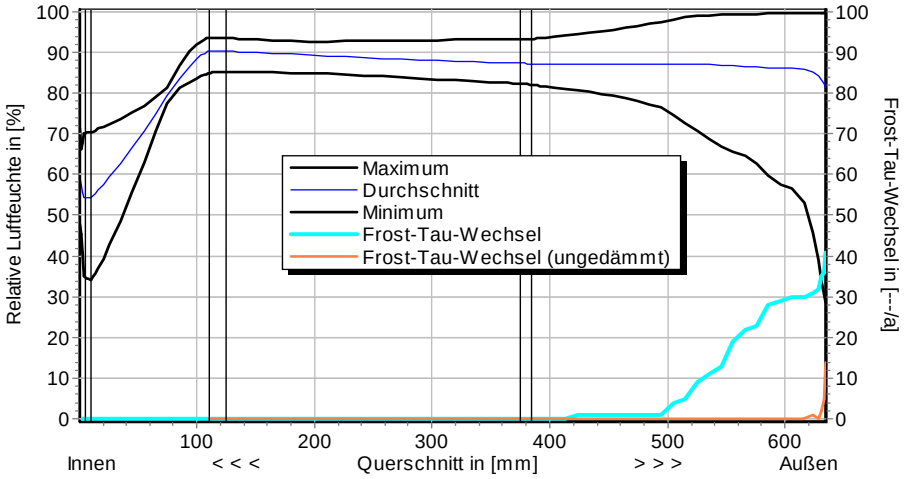

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat, $d_{Dä}$ = 40 mm und 1 SL, Nordwestwinkel mit Schlagregen

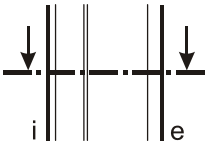
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



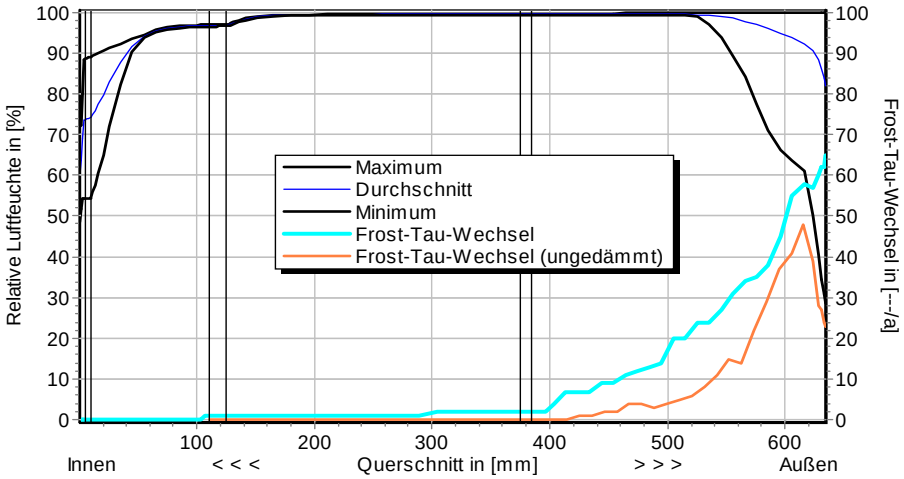
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung, $d_{Dä}$ = 100 mm und 2 SL, ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

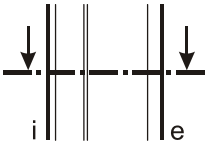
# 3.4 Altbauziegel, innen gedämmt mit Holzweichfaserdämmplatten, innen Kunstharzoberputz




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ =100 mm und 2SL, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm und 2 SL, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 35 | 44 | 46 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 94,0 | 94,5 | 95,3 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 114,6 | 132,2 | 121,8 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,4 | 97,5 | 98,0 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 92,8 | 92,6 | 92,7 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Uns.,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | - | - | - |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | - | - |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 57 | 66 | 69 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,3 | 96,2 | 96,8 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 118,4 | 119,1 | 113,6 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 93,4 | 95,5 | 97,1 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 98,8 | 96,4 | 95,3 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | Bedingung | Unsaniert,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $\Delta u_m \leq 3\%$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ○ | ○ | ✓ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert,1SL | 40mm,1SL | 80mm,1½SL | 100mm,2SL |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Alle Konstruktionsvarianten erfüllen die DIN-Kriterien.

COND: Alle Konstruktionsvarianten erfüllen die DIN-Kriterien.

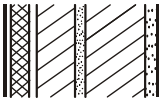
Simulation: Der Mindestwärmeschutz wird von allen Aufbauten eingehalten. Ohne Schlagregeneinfluss werden auch die restlichen Kriterien nicht überschritten. Mit Schlagregeneinwirkung entstehen bei allen Varianten zu hohe Kondensatmengen bzw. ist die Verdunstung des Kondensats nicht mehr gegeben. Im Gebäudewinkel ist kein Schimmelpilzwachstum zu erwarten.

Vorzugsvarianten: 80 (1½ SL) und 100 (2 SL) mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

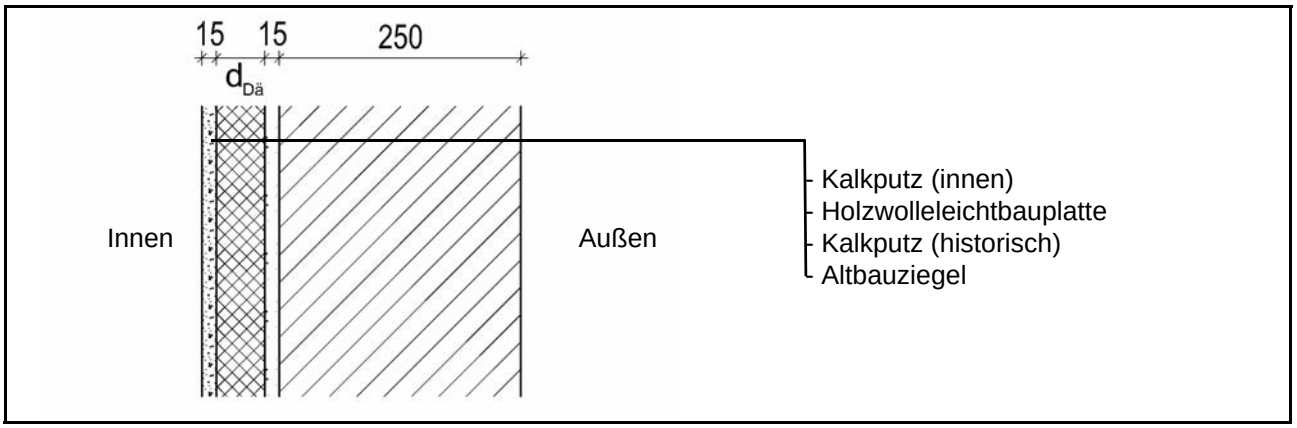
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.1 bis 3.3
- Altbauziegel, innen Holzwolleleichtbauplatten, außen unverputzt: 4.1 bis 4.3
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1 bis 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1 bis 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1 bis 11.3

# 4.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 35, 50 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzwolleleichtbauplatte | 380 | 0,08 | 2,2 | 4,3 | 39,5 | 0,008 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,33 | 0,79 | 0,98 | 1,60 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 2,00 | 1,04 | 0,87 | 0,56 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,710 | 1,829 | 1,695 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,775 | 2,474 | 1,844 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,464 | 0,655 | 0,698 | 0,779 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,33 | 0,79 | 0,97 | 1,60 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 2,00 | 1,05 | 0,87 | 0,57 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,432 | 1,521 | 1,395 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,775 | 2,474 | 1,844 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 82,1 | 64,6 | 61,9 | 57,4 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,24 | 0,28 | 0,39 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,46 | 0,65 | 1,27 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 37,5 | 33,6 | 25,5 |

# 4.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten

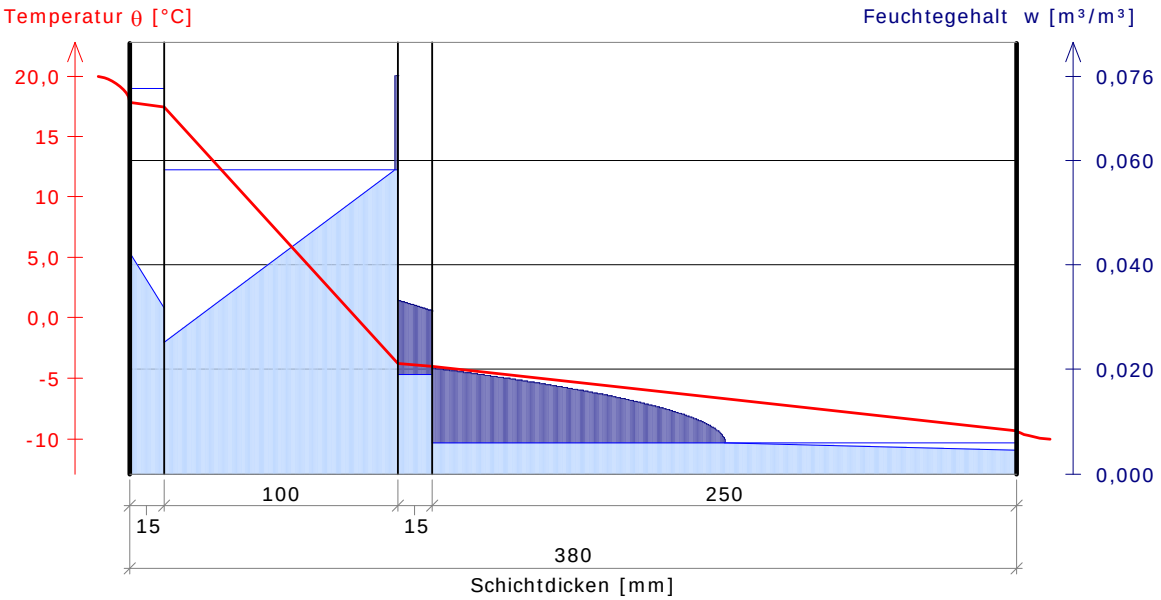
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 35 mm | | 50 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | (✗) | (✗) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

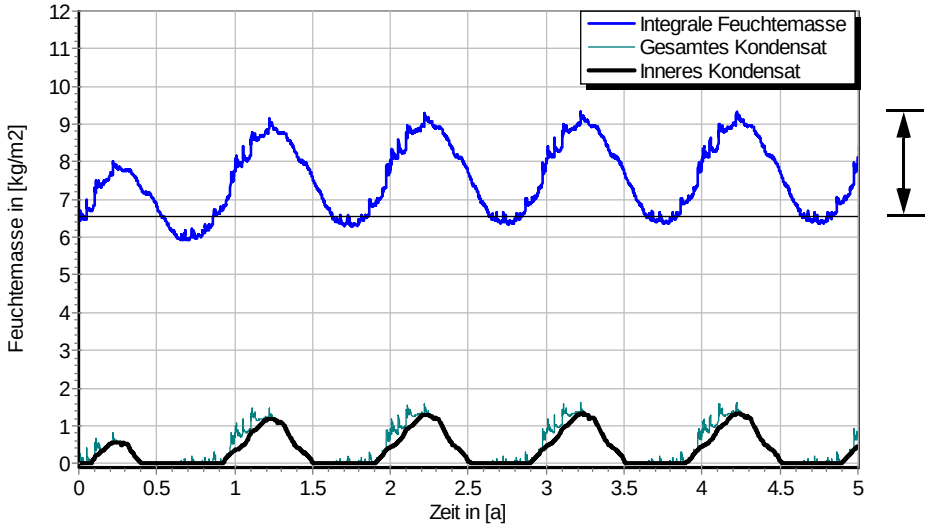
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 17,8 | 2038 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,032 | | |
| | | 17,5 | 1995 | 860 | | | |
| 2 | Holzwolleleichtbauplatte | | | | 0,022 | | |
| | | | | | **0,069** | 0,0 | 0,00 |
| | | -3,7 | **447** | **447** | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,033** | 15,0 | 0,20 |
| | | | | | **0,031** | | |
| | | -4,0 | 436 | 436 | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,020** | 125,5 | 1,20 |
| | | | | | 0,004 | | |
| | | -9,3 | 276 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

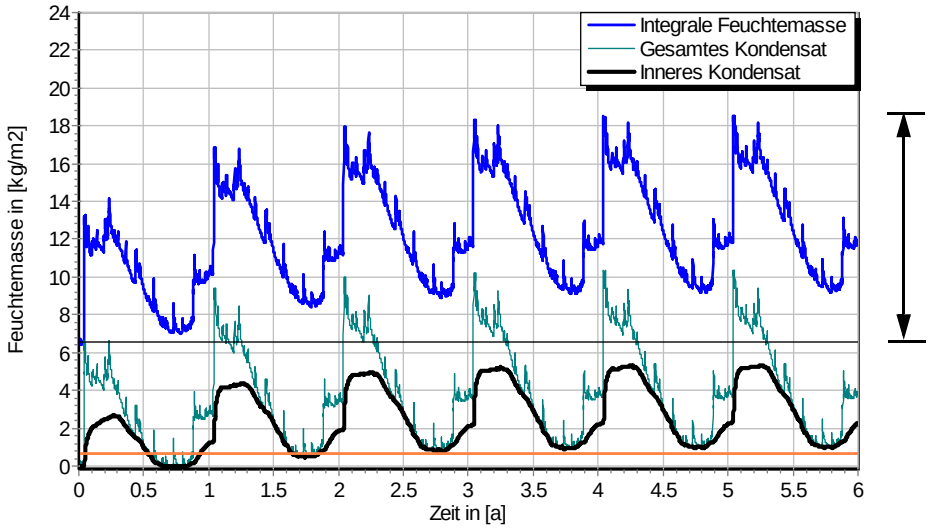
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,244 | 1,445 | 1,964 | 2,743 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,616 | 0,917 | 1,321 |



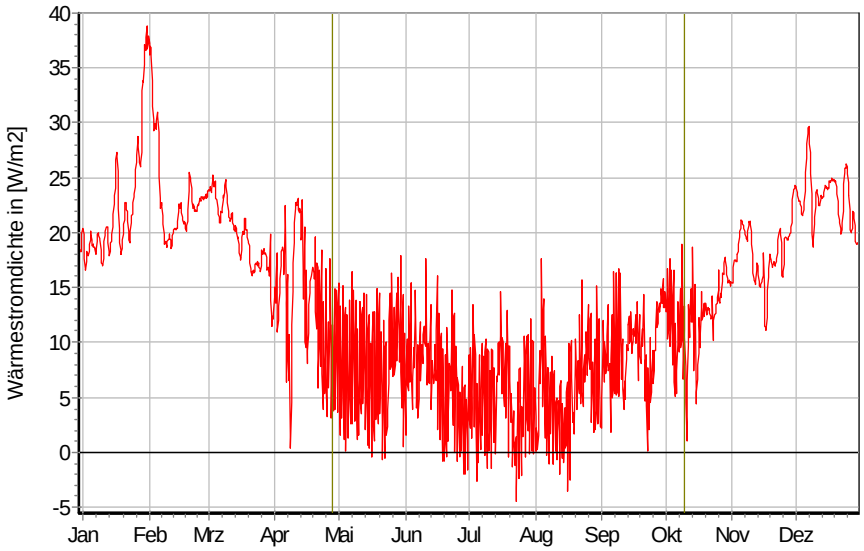

$\Delta m_{W,80}$

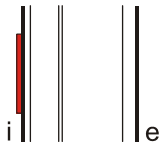
Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert, maximales inneres Kondensat der unsanierten Variante in orange

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,163 | 8,247 | 8,834 | 11,968 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | 0,680 | 1,968* | 2,484* | 4,675* |

* beinhaltet nur die durch die Dämmung verursachte, zusätzliche Kondensatmenge

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



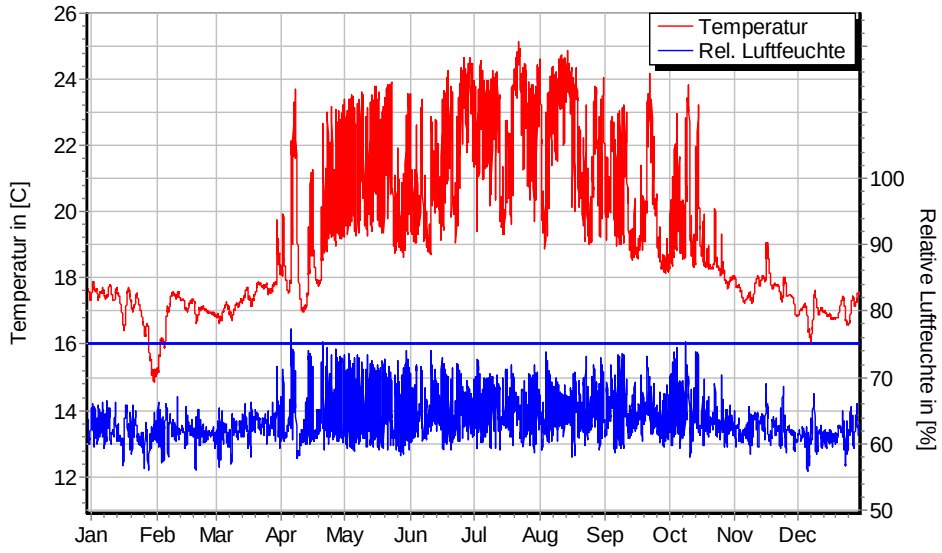



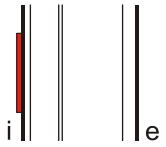

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,48 | 19,25 | 16,07 | 10,30 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,07 | 1,09 | 0,91 | 0,59 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,31 | 0,74 | 0,92 | 1,54 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 36,06 | 19,17 | 16,06 | 10,94 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 2,05 | 1,09 | 0,91 | 0,62 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,32 | 0,75 | 0,93 | 1,44 |

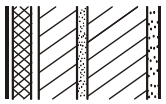
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

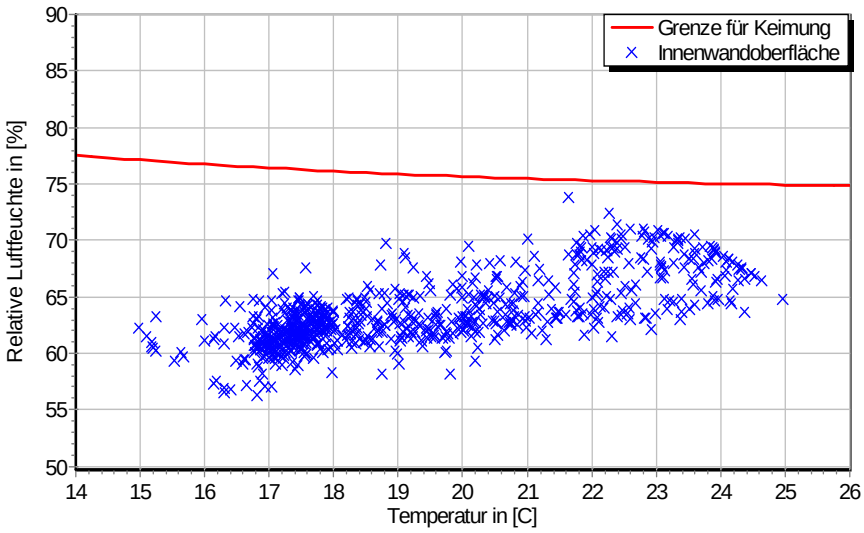


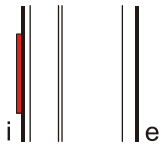




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

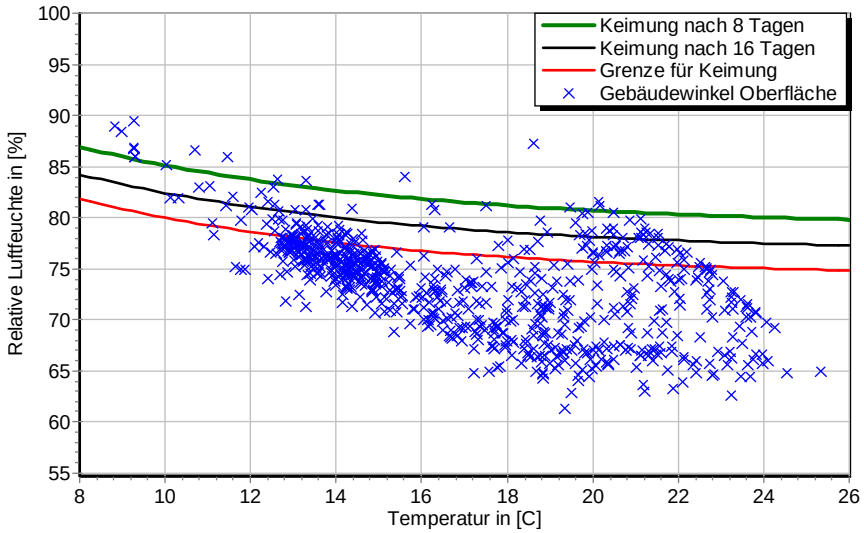
# 4.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten

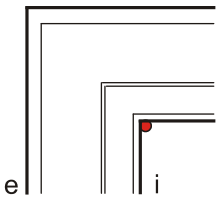




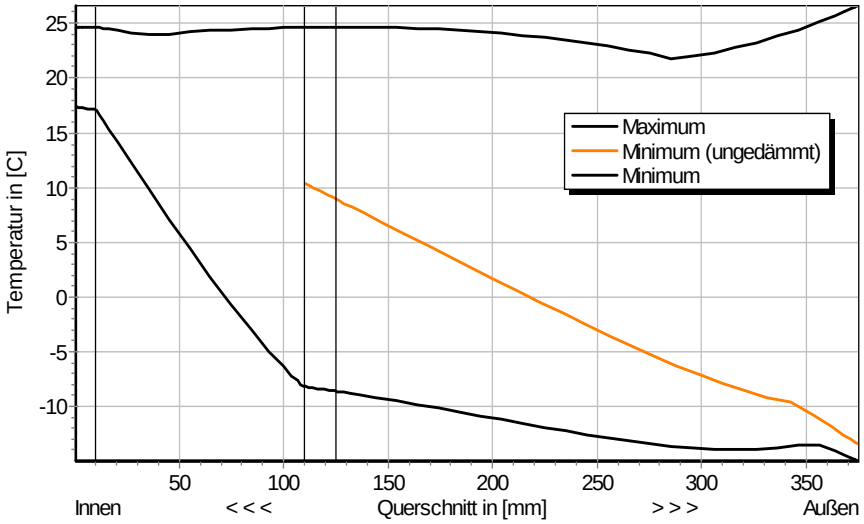

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



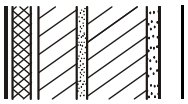




Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

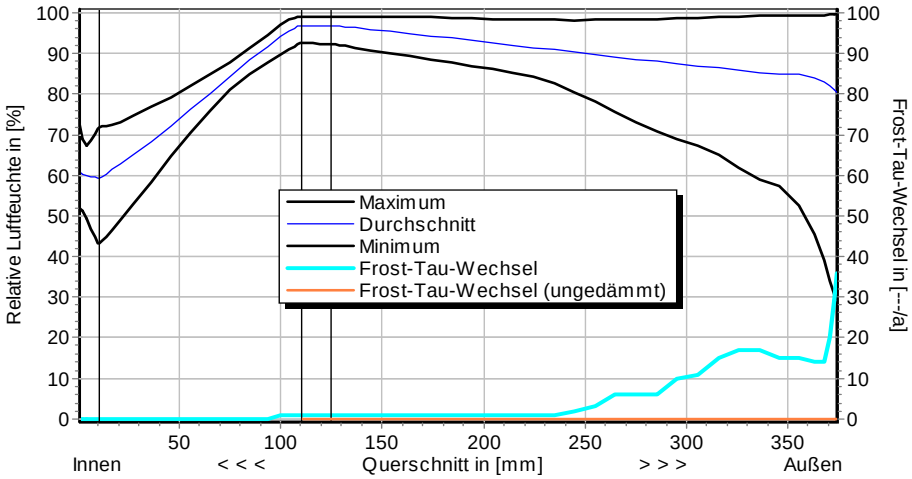
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile

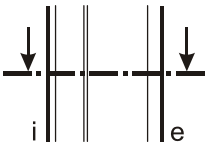


Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

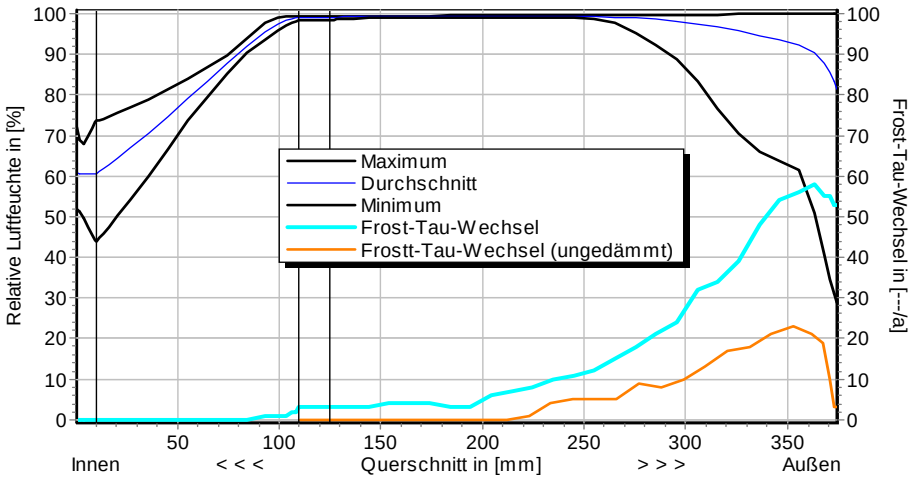


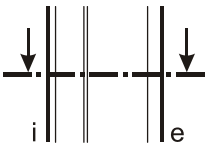
# 4.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)



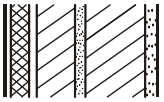

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 91/82 | 153/107 | 201/123 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 87/87 | 151/97 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 4 | 22 | 27 | 38 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 95,0 | 94,6 | 93,9 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 99,9 | 106,6 | 119,1 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,7 | 94,5 | 94,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 96,6 | 95,5 | 92,4 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 162/121 | 196/150 | 365/365 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 95/95 | 133/133 | 365/365 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 28 | 48,1 | 54 | 63 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 96,0 | 95,7 | 95,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 113,2 | 116,9 | 122,4 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 94,4 | 93,8 | 92,6 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 100,2 | 99,7 | 98,7 |

# 4.1 Altbauziegel (250mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | (✗) | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ✗ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | ■ | ■ | ■ | ■ |
| COND | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - ohne Schlagregen | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Simulation - schlagregenexponiert | ■ | ■ | ■ | ■ |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Bis einschließlich 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, die Kondensatmengen sind bei allen Dämmvarianten zu hoch.

COND: Bis einschließlich 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, die Kondensatmengen sind bei allen Dämmvarianten zu hoch.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist erst mit 100 mm gegeben. Mit 35 und 50 mm wird die maximale innere Kondensatmenge beziehungsweise der erlaubte massebezogene Feuchtegehalt für Holzwerkstoffe eingehalten. Der Aufbau mit 35 mm dicken HWL-Platten ist von dieser Bewertung ausgenommen (*DIN 4108-3 Abs. 4.3.2.2*). Mit Schlagregen ist die Verdunstung mit 100 mm Dämmung nicht gewährleistet. Ausreichender Schutz gegen Schimmelpilzwachstum im Gebäudewinkel besteht erst mit 100 mm Dämmung.

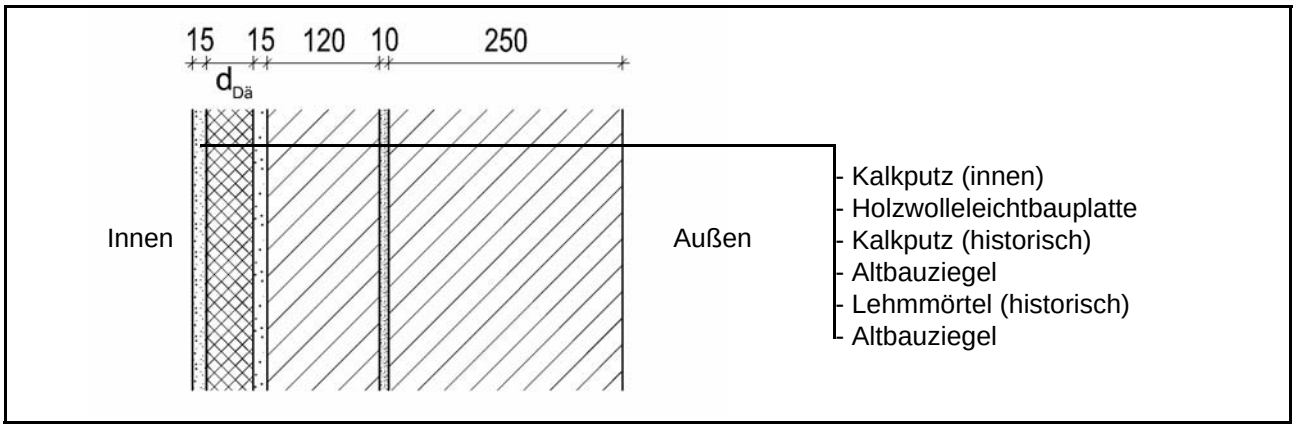
Vorzugsvarianten: keine

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.1
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.1
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.1

# 4.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten

## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 35, 50 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzwolleleichtbauplatte | 380 | 0,08 | 2,2 | 4,3 | 39,5 | 0,008 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

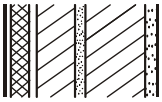
| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,49 | 0,95 | 1,14 | 1,77 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,51 | 0,89 | 0,76 | 0,52 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,166 | 1,427 | 1,498 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,784 | 2,483 | 1,756 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,528 | 0,685 | 0,720 | 0,790 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,49 | 0,95 | 1,14 | 1,76 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,51 | 0,89 | 0,77 | 0,52 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 1,030 | 1,256 | 1,293 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,784 | 2,483 | 1,755 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 72,5 | 62,2 | 60,3 | 56,7 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,24 | 0,28 | 0,39 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,46 | 0,65 | 1,27 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 37,5 | 33,6 | 25,5 |

# 4.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



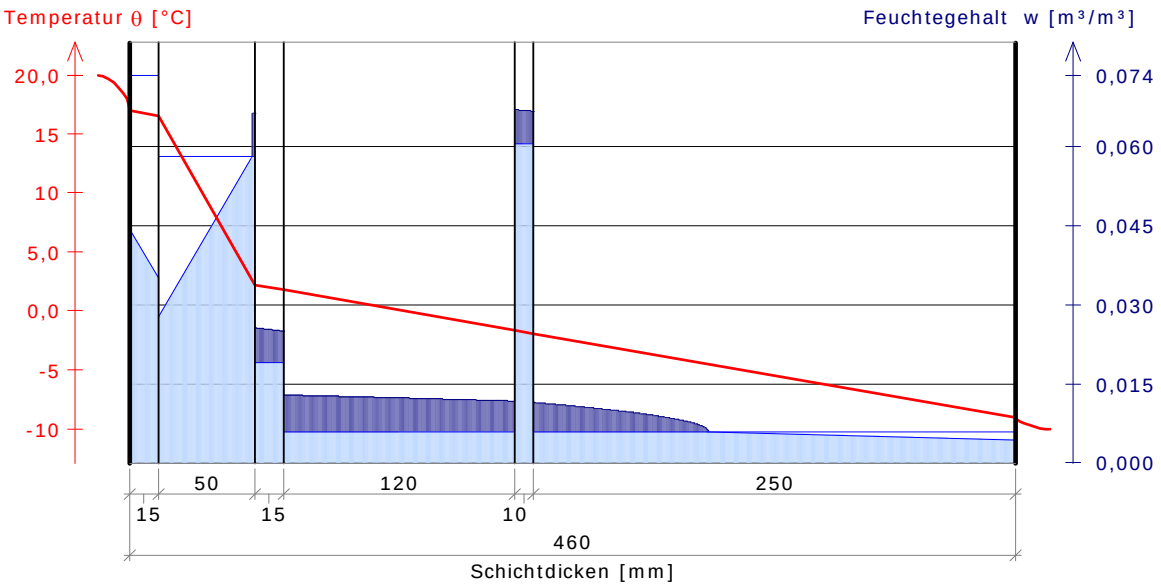
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 35 mm | | 50 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | (✗) | (✗) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

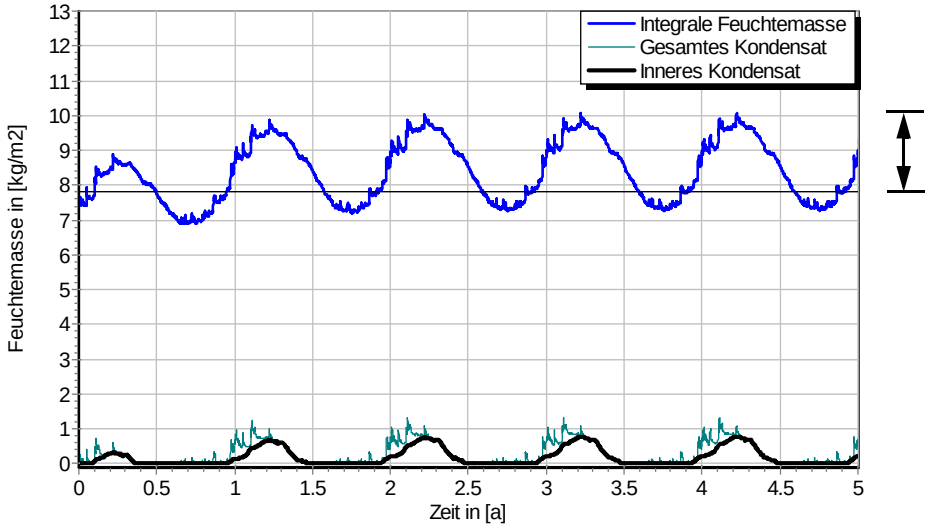
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,0 | 2062 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,042 | | |
| | | | | | 0,033 | | |
| | | 17,7 | 2022 | 895 | | | |
| 2 | Holzwolleleichtbauplatte | | | | 0,023 | | |
| | | | | | **0,060** | 0,0 | 0,00 |
| | | -1,7 | **530** | **530** | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,026** | 15,0 | 0,10 |
| | | | | | **0,025** | | |
| | | -2,0 | **518** | **518** | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,013** | 120,0 | 0,79 |
| | | | | | **0,012** | | |
| | | -4,3 | 426 | 426 | | | |
| 5 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,067** | 10,0 | 0,06 |
| | | | | | **0,067** | | |
| | | -4,5 | **418** | **418** | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,012** | 91,2 | 0,35 |
| | | | | | 0,004 | | |
| | | -9,4 | 275 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

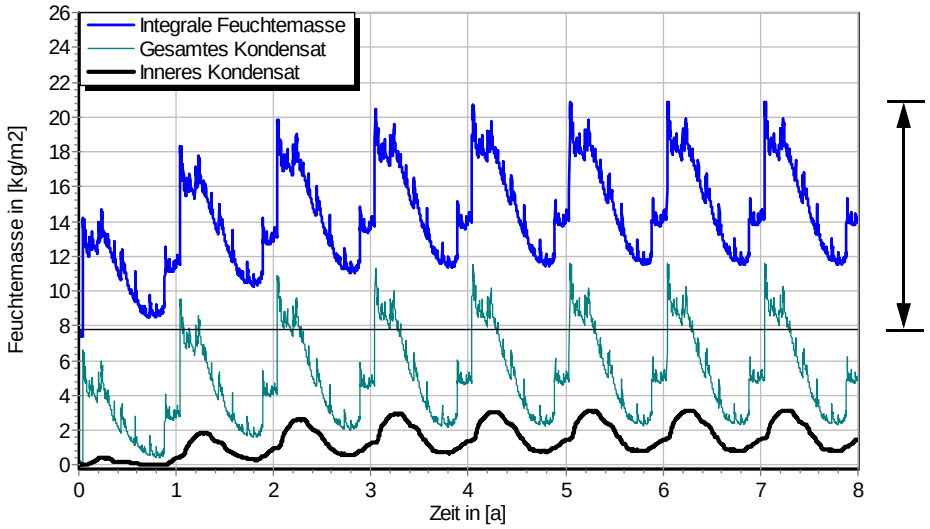
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen
(Nord)

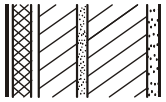
| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,350 | 0,937 | 1,497 | 2,488 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,056 | 0,316 | 0,771 |



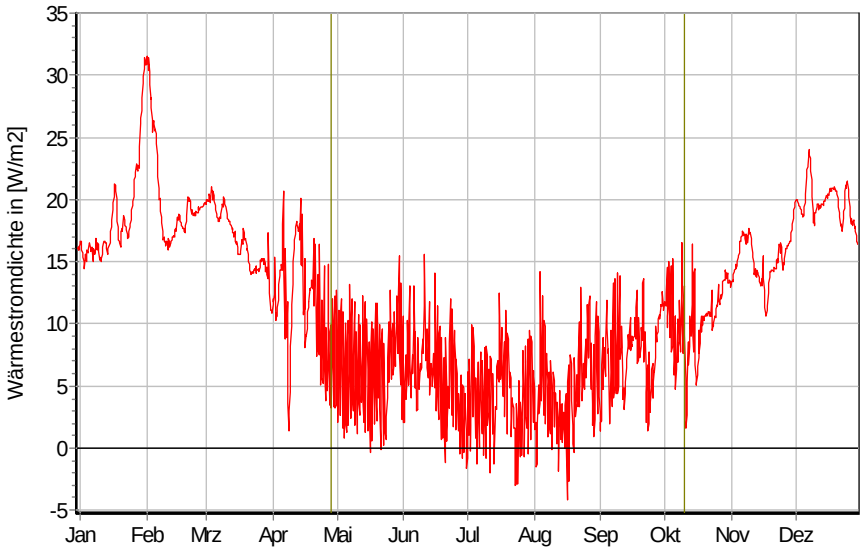

$\Delta m_{W,80}$

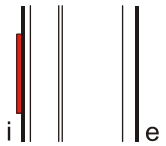
Wassermassen
für $d_{Dä}$ = 100 mm,
schlagregenexponiert
(West)

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 6,927 | 8,759 | 9,987 | 13,302 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,344 | 1,126 | 3,167 |



## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



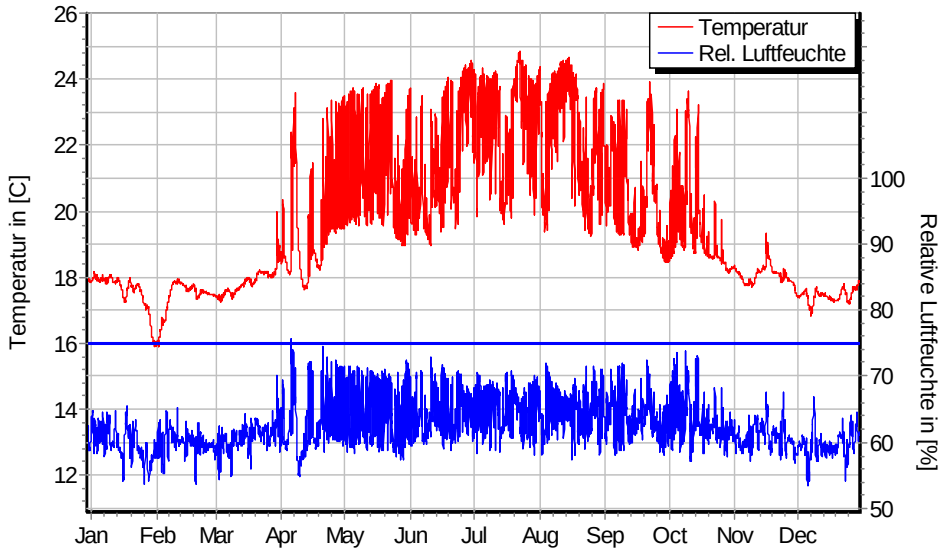



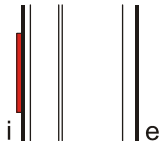

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 27,42 | 16,15 | 13,80 | 9,31 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,56 | 0,92 | 0,78 | 0,53 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,47 | 0,92 | 1,10 | 1,72 |

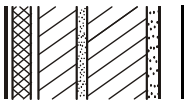
| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 27,08 | 16,03 | 13,76 | 9,56 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,54 | 0,91 | 0,78 | 0,54 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,48 | 0,93 | 1,11 | 1,67 |

## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

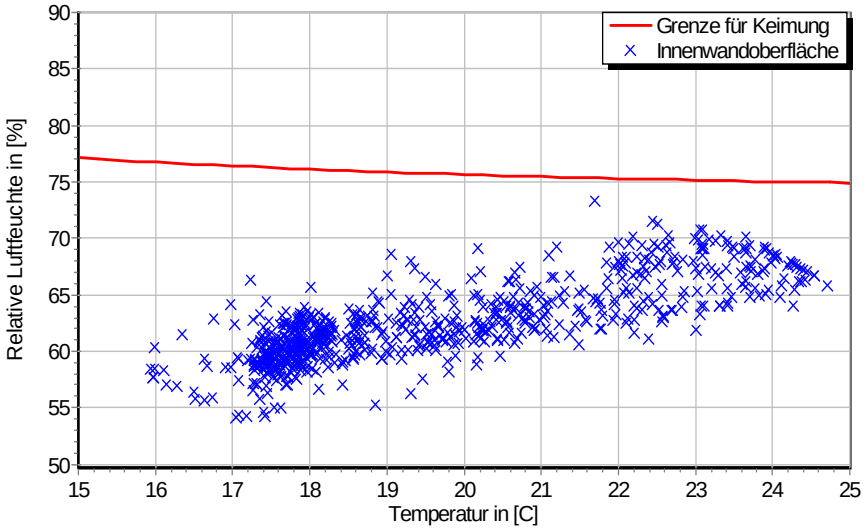


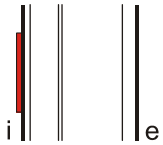




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

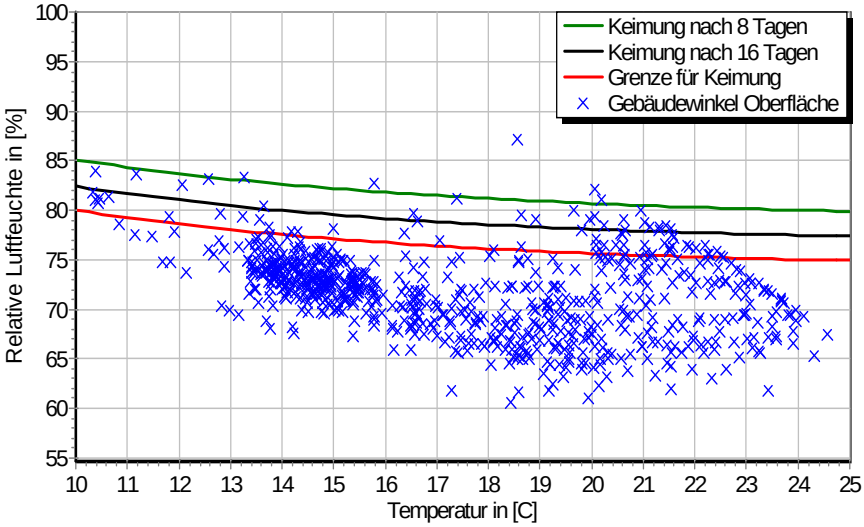


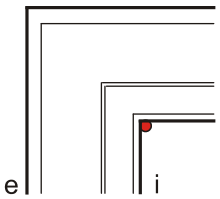
# 4.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



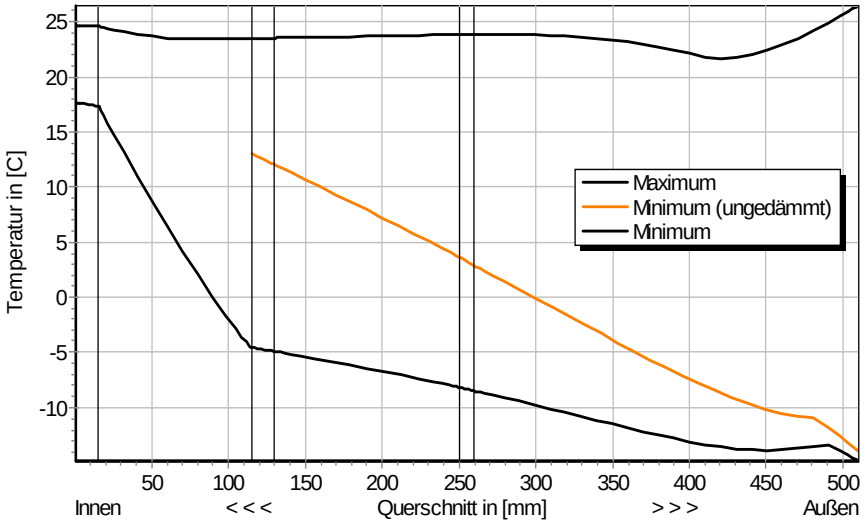

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



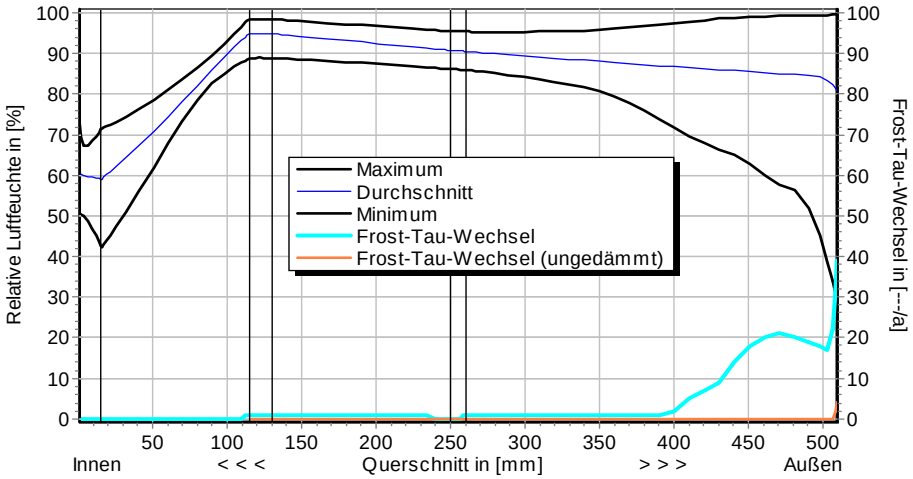

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

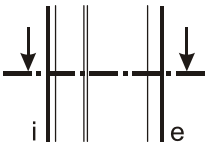
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



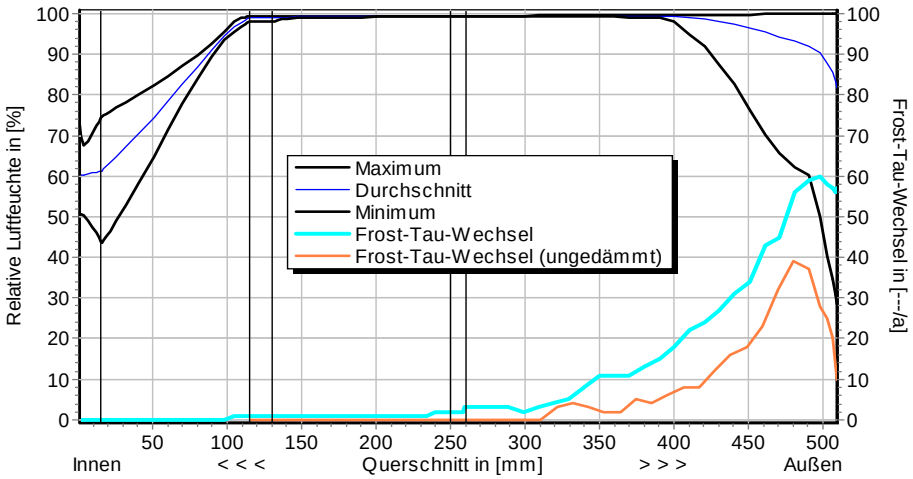
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

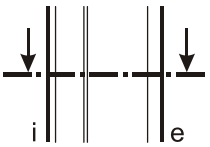
# 4.2 Altbauziegel (380mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 75/64 | 172/130 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 0/0 | 71/71 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 10 | 27 | 31 | 40 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 88,4 | 88,1 | 87,5 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 111,5 | 116,9 | 126,8 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 96,8 | 97,0 | 97,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 97,1 | 96,0 | 94,1 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 119/88 | 355/304 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | - | 28/28 | 322/194 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 39 | 54 | 58 | 65 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 89,4 | 89,0 | 88,4 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 112,0 | 114,1 | 118,0 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 96,6 | 96,4 | 95,9 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 99,3 | 98,9 | 97,4 |

## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | (✓) | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T,int} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | (✓) | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Bis einschließlich 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, die Kondensatmengen sind bei allen Dämmvarianten zu hoch.

COND: Bis einschließlich 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz nicht eingehalten, die Kondensatmengen sind bei allen Dämmvarianten zu hoch.

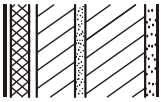
Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist erst mit 100 mm gegeben. Ohne Schlagregeneinwirkung wird der maximale massebezogene Feuchtegehalt bei keiner Variante überschritten. Die Tauwassermengen des Aufbaus mit 35 mm Dämmung sind von einer Bewertung ausgenommen (*DIN 4108-3 Abs. 4.3.2.2*). Bei hoher eindringender Schlagregenmenge bilden sich ab 50 mm Dämmung zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung ist nicht gewährleistet. Ausreichender Schutz gegen Schimmelpilzwachstum im Gebäudewinkel besteht erst mit 50 mm Dämmung.

Vorzugsvarianten: 100 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

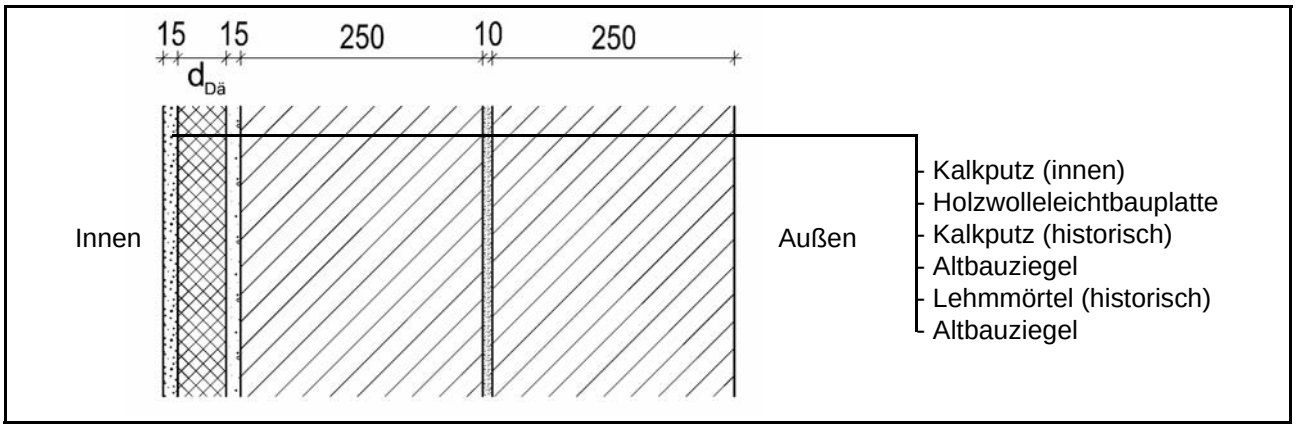
Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.2
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.2
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.2

# 4.3 Altbauziegel (510mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



## 1 Konstruktions- und Materialdaten




Varianten: Dicke der Dämmschicht $d_{Dä}$ = 35, 50 und 100 mm

| Material | $\rho$ | $\lambda_R$ | $\mu$ | $w_{80}$ | $w_{eff}$ | $A_w$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kg/m³ | W/m·K | - | Vol% | Vol% | kg/m²s$^{0.5}$ |
| Kalkputz (innen) | 1600 | 0,75 | 11 | 5,4 | 34,4 | 0,081 |
| Holzwolleleichtbauplatte | 380 | 0,08 | 2,2 | 4,3 | 39,5 | 0,008 |
| Kalkputz (historisch) | 1800 | 0,82 | 12 | 1,1 | 28,5 | 0,127 |
| Altbauziegel | 1710 | 0,80 | 8,3 | 0,5 | 31,9 | 0,333 |
| Lehmmörtel (historisch) | 1570 | 0,70 | 10,6 | 4,1 | 40,7 | 0,232 |

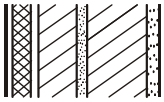
## 2.1 Ergebnisse nach DIN 4108

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand | R | m²·K/W | 0,66 | 1,12 | 1,30 | 1,93 |
| Wärmedurchgangskoeffizient | U | W/m²·K | 1,21 | 0,78 | 0,68 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,702 | 1,070 | 1,304 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,784 | 2,483 | 1,712 |
| Temperaturfaktor* (Gebäudewinkel) | $f_{Rsi}$ | - | 0,583 | 0,710 | 0,739 | 0,800 |

* mit $R_{si}$= 0,25 m²·K/W und $\theta_e$= -5°C

## 2.2 Ergebnisse nach COND

| | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Wärmedurchlasswiderstand** | R | m²·K/W | 0,66 | 1,11 | 1,30 | 1,92 |
| Wärmedurchgangskoeffizient** | U | W/m²·K | 1,21 | 0,78 | 0,68 | 0,48 |
| Kondensatmenge | $m_{W,T}$ | kg/m² | - | 0,600 | 0,940 | 1,133 |
| Verdunstungsmenge | $m_{W,V}$ | kg/m² | - | 2,784 | 2,483 | 1,711 |
| Luftfeuchte an der Oberfläche | $\varphi_{si}$ | % | 66,7 | 60,5 | 59,0 | 56,1 |
| Innendämmsystem: | | | | | | ** feuchteabhängig |
| $s_d$-Wert | $s_{di}$ | m | - | 0,24 | 0,28 | 0,39 |
| Wärmedurchlasswiderstand | $\Delta R$ | m²·K/W | - | 0,46 | 0,65 | 1,27 |
| Wirksame Wärmespeicherkapazität | $C_{wirk}$ | W·h/K·m² | 46,8 | 37,5 | 33,6 | 25,5 |



# 4.3 Altbauziegel (510mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten

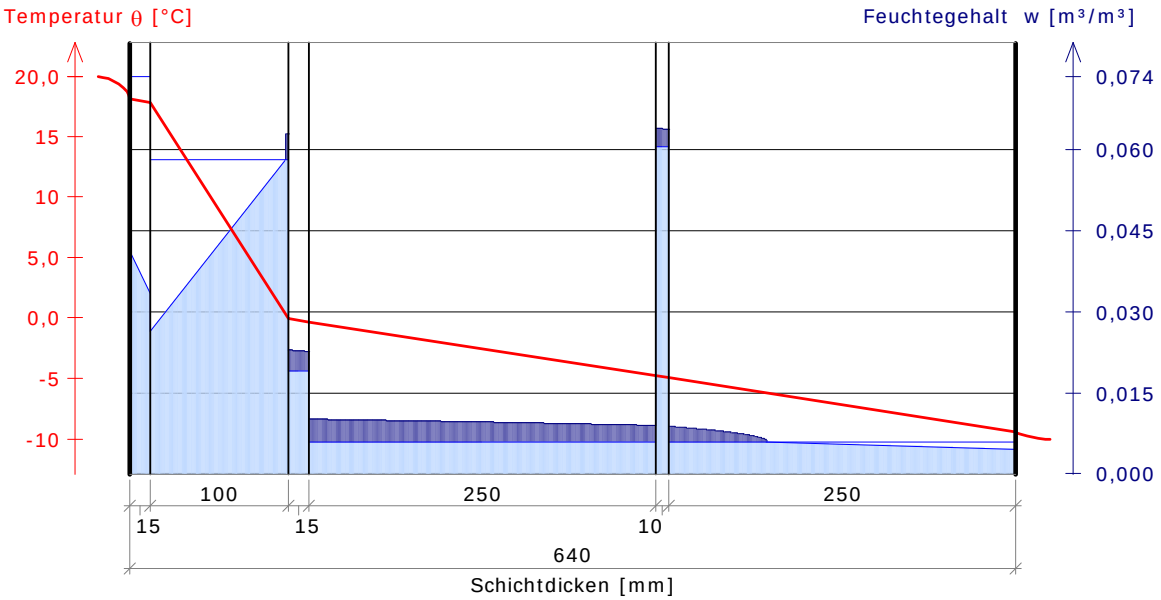
## 3 Nachweise unter stationären Bedingungen

| | Bedingung | Unsaniert | | 35 mm | | 50 mm | | 100 mm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND | DIN | COND |
| Mindestwärmeschutz (DIN 4108-2:2003-07) | $R \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | ✓ | (✗) | (✓) | ✗ | ✓ | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats (DIN 4108-3:2001-07) | $m_{W,T} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz (DIN 4108-2:2003-07) | $f_{Rsi} \geq 0.7$/ $\varphi_{si} \leq 60\%$ (COND) | ✗ | ✗ | ✓ | ✗ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |

## 4 Tabellarische und grafische Darstellung nach COND

Für $d_{Dämmung}$ = 100 mm

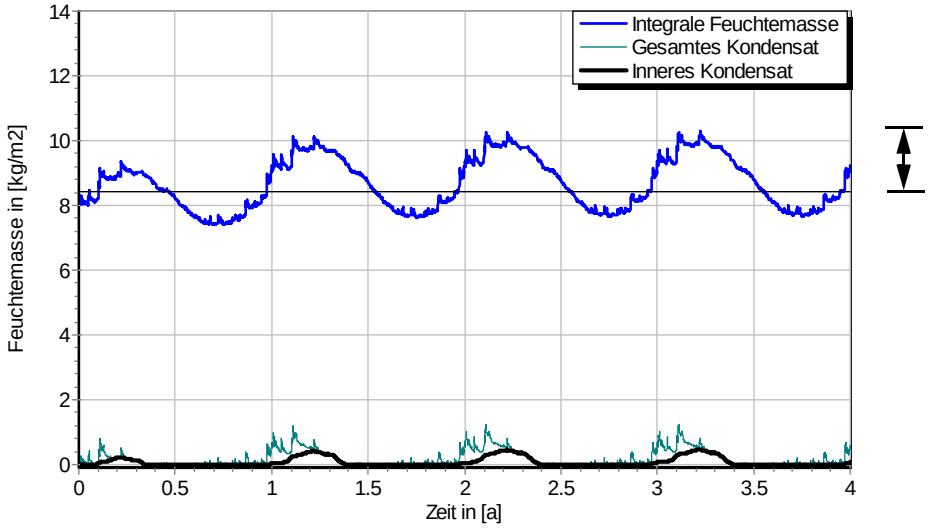
| | Schicht / Material | θ [°C] | $P_{sat}$ [Pa] | P [Pa] | w [m³/m³] | $d_c$ [mm] | $M_c$ [kg/m²] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Luftschicht (Warmseite) | 20,0 | 2338 | 1169 | | | |
| | | 18,1 | 2082 | 1169 | | | |
| 1 | Kalkputz (innen) | | | | 0,041 | | |
| | | | | | 0,033 | | |
| | | 17,9 | 2045 | 930 | | | |
| 2 | Holzwolleleichtbauplatte | | | | 0,023 | | |
| | | | | | **0,056** | 0,0 | 0,00 |
| | | -0,1 | 609 | 609 | | | |
| 3 | Kalkputz (historisch) | | | | **0,023** | 15,0 | 0,06 |
| | | | | | **0,023** | | |
| | | -0,3 | 597 | 597 | | | |
| 4 | Altbauziegel | | | | **0,010** | 250,0 | 0,91 |
| | | | | | **0,009** | | |
| | | -4,8 | 410 | 410 | | | |
| 5 | Lehmmörtel (historisch) | | | | **0,064** | 10,0 | 0,03 |
| | | | | | **0,064** | | |
| | | -5,0 | 403 | 403 | | | |
| 6 | Altbauziegel | | | | **0,009** | 71,1 | 0,14 |
| | | | | | 0,005 | | |
| | | -9,4 | 273 | 208 | | | |
| | Luftschicht (Kaltseite) | -10 | 260 | 208 | | | |



## 5 Simulationsergebnisse

Klimazone: Schwäbisch-fränkisches Stufenland und Alpenvorland
TRY-Region 5
Referenzstandort: Passau

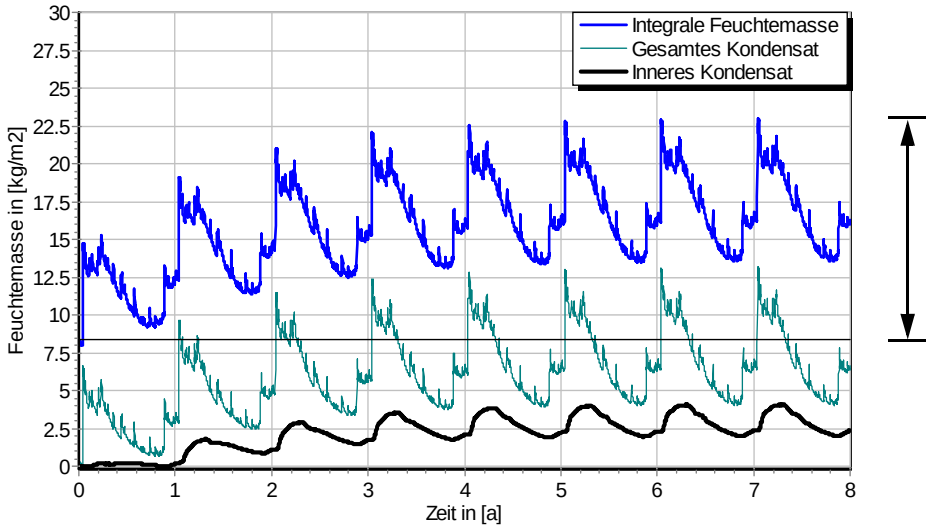
### 5.1 Kondensations- und Trocknungzyklen




$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 0,434 | 0,937 | 1,110 | 2,080 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 0,0 | 0,016 | 0,442 |

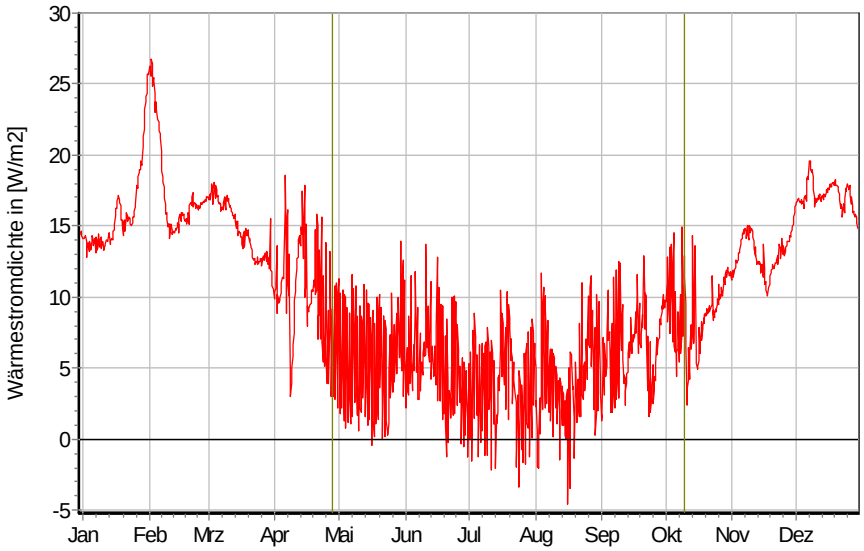


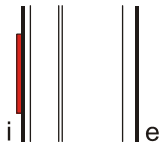

$\Delta m_{W,80}$

Wassermassen für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Differenz zwischen Anfangsfeuchte (80%) und maximaler Feuchte | $\Delta m_{W,80}$ | kg/m² | 7,446 | 10,122 | 11,457 | 14,777 |
| Maximales inneres Kondensat | $m_{W,T,int}$ | kg/m² | - | 1,033 | 1,754 | 4,131 |

## 5.2 Instationäre Wärmeverluste



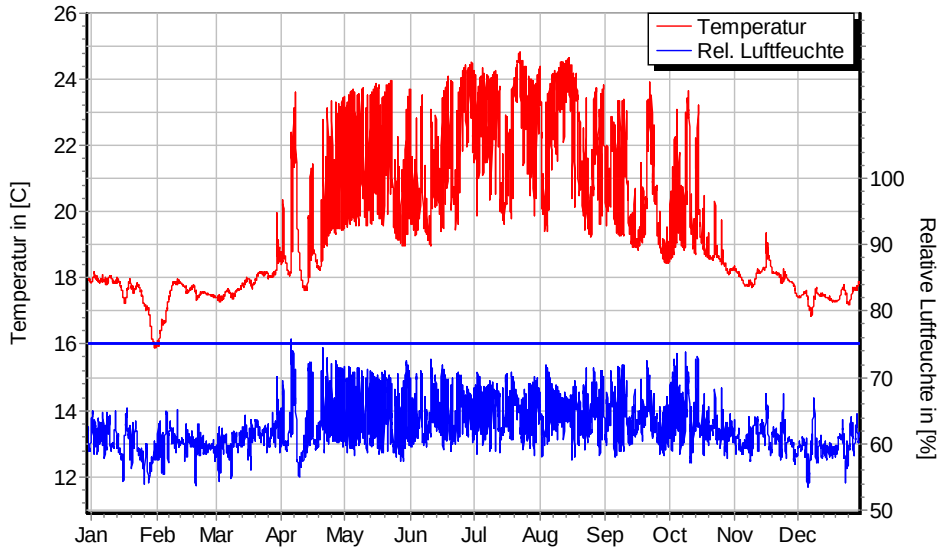



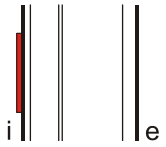

Wärmestromdichte über Innenwandoberfläche für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) Heizperiode vom 8. Oktober bis 29. April (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 22,02 | 14,02 | 12,20 | 8,51 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,25 | 0,80 | 0,69 | 0,48 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,63 | 1,08 | 1,27 | 1,90 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mittlere Wärmestromdichte (Heizperiode) | $q_{HP}$ | $W/m^2$ | 21,73 | 13,91 | 12,14 | 8,60 |
| Instationärer Wärmedurchgangskoeffizient | $U_{inst,HP}$ | $W/m^2 \cdot K$ | 1,24 | 0,79 | 0,69 | 0,49 |
| Instationärer Wärmedurchlasswiderstand | $R_{inst,HP}$ | $m^2 \cdot K/W$ | 0,64 | 1,09 | 1,28 | 1,87 |

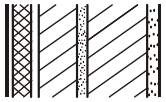
## 5.3 Mikroklima auf der Innenwandoberfläche

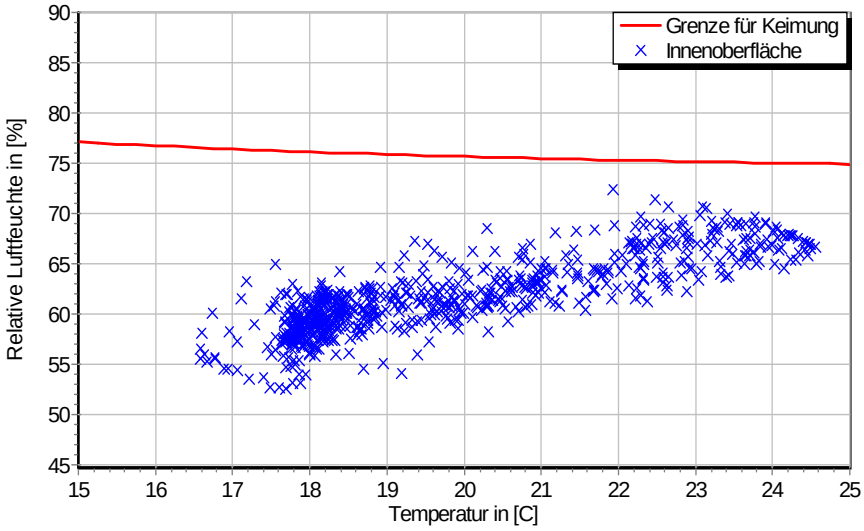


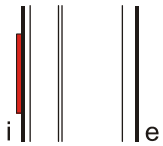




Temperatur- und Luftfeuchteverlauf für $d_{Dä}$ = 35 mm, ohne Schlagregen (Nord) (Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

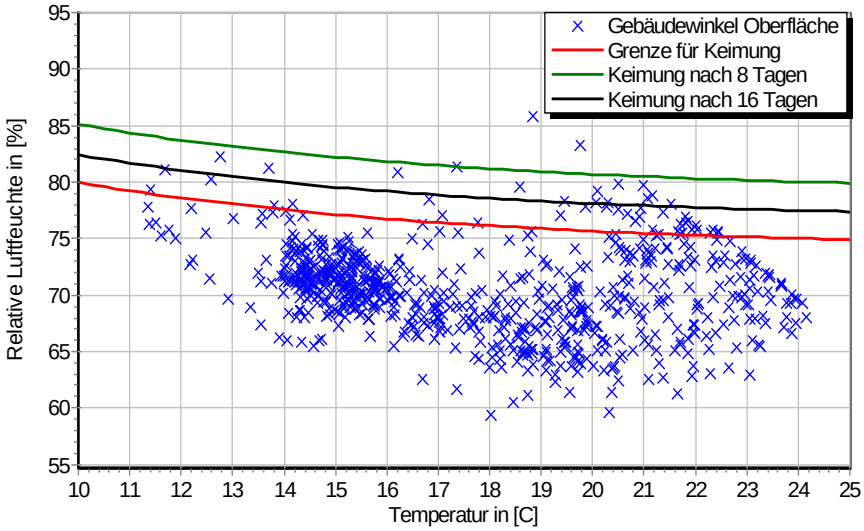
# 4.3 Altbauziegel (510mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten

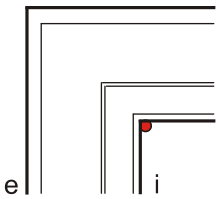




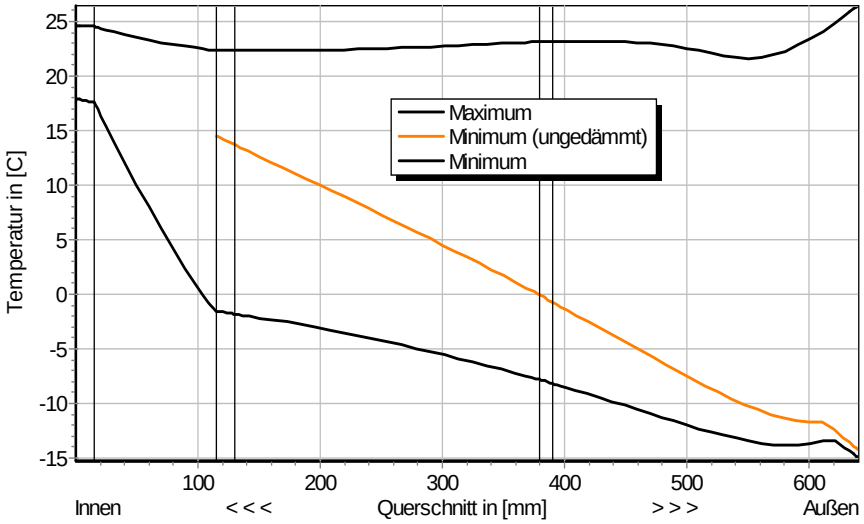

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte auf der Wandoberfläche.
Isopleth für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)



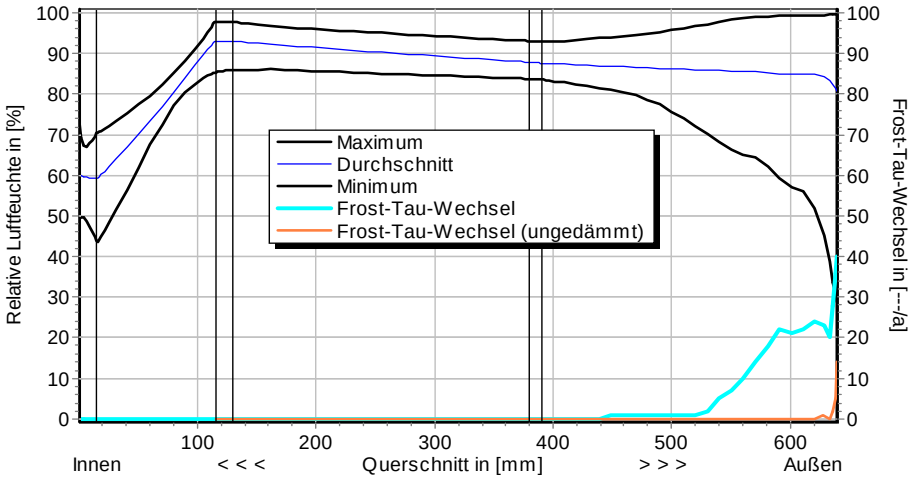

Jahreszyklus von Temperatur und Luftfeuchte im Gebäudewinkel.
Isoplethen für Keimung von Schimmelpilzen auf gut verwertbarem Substrat,
$d_{Dä}$ = 35 mm,
Nordwestwinkel mit Schlagregen

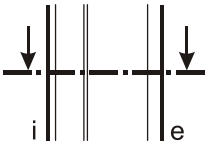
## 5.4 Feuchte- und Temperaturprofile



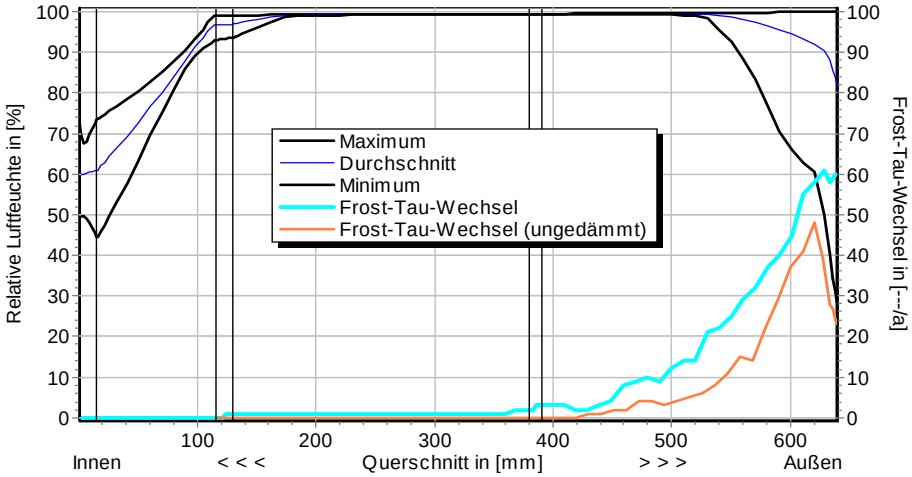
Temperaturprofile mit und ohne Innendämmung,
$d_{Dä}$ = 100 mm,
ohne Schlagregen (Nord)
(Verlauf mit Schlagregen sehr ähnlich)

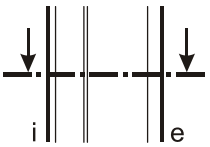
# 4.3 Altbauziegel (510mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten




Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, ohne Schlagregen (Nord)



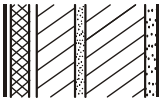

Luftfeuchteprofile und Frost-Tau-Wechsel für $d_{Dä}$ = 100 mm, schlagregenexponiert (West)

## 5.5 Belastungskennzahlen

| Ohne Schlagregen (Nord) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 0/0 | 97/92 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 0/0 | 0/0 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 17 | 31 | 35 | 41 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 89,1 | 88,9 | 88,4 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 111,5 | 115,1 | 123,2 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,3 | 97,5 | 97,5 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 96,7 | 96,0 | 94,5 |

| Schlagregenexponiert (West) | Symbol | Einheit | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Gesamte/längste Dauer möglichen Schädlingswachstums (20/26M%) | $t_{PGV,20/max}$ | d | - | 0/0 | 22/15 | 233/153 |
| | $t_{PGV,26/max}$ | | - | 0/0 | 0/0 | 142/106 |
| Kumulierte Kondensationsdauer auf der Außenoberfläche ($\varphi_{se}$ > 98%) | $t_{cond,e}$ | d | 42 | 58 | 61 | 66 |
| Hygrothermische Witterungsbelastung | $WL_{\theta}$ | % | 100 | 89,7 | 89,6 | 88,0 |
| | $WL_{w}$ | % | 100 | 108,0 | 109,8 | 112,7 |
| Hygrothermische Rissinduktionsbelastung | $CIL_{\theta}$ | % | 100 | 97,8 | 97,6 | 97,3 |
| | $CIL_{\varphi}$ | % | 100 | 99,0 | 98,5 | 96,6 |

# 4.3 Altbauziegel (510mm), innen gedämmt mit Holzwolleleichtbauplatten



## 6 Bewertung der Simulationsergebnisse

| Ohne Schlagregen (Nord) | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | (✓) | ✓ | ✓ |
| Verdunstung des Kondensats | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| Vermeidung Schimmelpilz | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |

| Schlagregenexponiert (West) | | Bedingung | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mindestwärmeschutz | | $R_{inst} \geq 1.2\ m^2 \cdot K/W$ | ✗ | ✗ | ✓ | ✓ |
| Zulässige Kondensatmenge | | $m_{W,T} \leq 1.0\ kg/m^2$ | ✓ | (✗) | ✗ | ✗ |
| Verdunstung des Kondensats | | $m_{W,T,int} \leq m_{W,V}$ | ✓ | ✗ | ✗ | ✗ |
| Vermeidung Schimmelpilz | - Wand | $\varphi_{si}(\theta) < LIM$ | ○ | ✓ | ✓ | ✓ |
| | - Nordwestwinkel | $\varphi_{si}(\theta)_{Co} < LIM$ | ✗ | ✗ | ○ | ○ |

## 7 Zusammenfassung der Ergebnisse

| | Unsaniert | 35 mm | 50 mm | 100 mm |
|---|---|---|---|---|
| DIN 4108 | | | | |
| COND | | | | |
| Simulation - ohne Schlagregen | | | | |
| Simulation - schlagregenexponiert | | | | |

## 8 Schlussfolgerungen

DIN: Ab 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz eingehalten, mit allen Dämmdicken treten zu hohe Kondensatmengen auf.

COND: Ab 50 mm Dämmung wird der Mindestwärmeschutz eingehalten, mit allen Dämmdicken treten zu hohe Kondensatmengen auf.

Simulation: Der Mindestwärmeschutz ist ab 50 mm gegeben. Ohne Schlagregen wird der erlaubte massebezogene Feuchtegehalt nicht überschritten. Bei hoher eindringender Schlagregenmenge bilden sich bei allen Dämmvarianten zu hohe Kondensatmengen und die Verdunstung ist nicht gewährleistet. Die Tauwassermengen des Aufbaus mit 35 mm Dämmung sind von einer Bewertung ausgenommen (*DIN 4108-3 Abs. 4.3.2.2*). Ausreichender Schutz gegen Schimmelpilzwachstum im Gebäudewinkel besteht ab 50 mm Dämmung.

Vorzugsvarianten: 50 bzw. 100 mm Dämmdicke (Schlagregensicherheit überprüfen).

Ähnliche Konstruktionen:

- Altbauziegel, innen Calciumsilikatplatten, außen unverputzt: 1.7
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit Dampfbremse, außen unverputzt: 2.1
- Altbauziegel, innen Cellulosedämmung mit feuchteadaptiver Dampfbremse, außen unverputzt: 2.2
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten, außen unverputzt: 3.3
- Altbauziegel, innen Holzweichfaserdämmplatten und Kunstharzoberputz, außen unverputzt: 3.4
- Altbauziegel, innen mit Gipskarton verkleidete Luftschicht, außen unverputzt: 5.1
- Altbauziegel, innen Porenbetonsteine, außen unverputzt: 7.1
- Altbauziegel, innen PUR-Platten, außen unverputzt: 8.3
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen unverputzt: 8.4
- Altbauziegel, innen PUR-Platten mit kapillarer Durchdringung, außen hydrophobiert: 8.6
- Altbauziegel, innen Wärmedämmlehm, außen unverputzt: 10.3
- Altbauziegel, innen Wärmedämmputz, außen unverputzt: 11.3