

Baumeister

B11

NÄHE UND DISTANZ

Baumeister – Zeitschrift für Architektur
101. Jahrgang

November 2004
14 Euro

Stein Extra

Fokus
Innendämmung mit Calciumsilikatplatten



Fokus:

Das Herrenschießhaus Nürnberg gehört zu einer Vielzahl bedeutender Renaissance-Bauten in der Stadt Nürnberg. 1583 vom Stadtbaumeister Hans Dietmair errichtet, bildet es einen Teil der alten Stadtbefestigung. Derzeit wird es vom Bildungszentrum Nürnberg für Schulungen, Abendkurse etc. genutzt. Es gliedert sich in einen Fachwerkflügel und einen massiven Gebäudeteil mit einer teilweise bis zu 66 cm dicken Sandsteinfassade. Einige Räume erhielten zusätzlich eine innenliegende Vormauerung aus Ziegel. Das Gebäude wurde komplett saniert. Für eine Wärmedämmung kam aus Gründen des Denkmalschutzes nur eine Innendämmung in Betracht. Zwei Räume mit bauphysikalisch sehr unterschiedlichen Klimabedingungen, ein Büro- und ein Gruppenraum, wurden in der Folgezeit messtechnisch begleitet um zuvor rechnerisch ermittelte Werte zu verifizieren. Nutzungsbedingt hat der Büroraum im Gegensatz zum Gruppenraum eine relativ trockene Luft.

Das 1583 von Hans Dietmair erbaute Herrenschießhaus in Nürnberg unterliegt dem Bestandsschutz und ist ein typisches Sanierungsobjekt für eine Innendämmung.



Herrenschießhaus in Nürnberg – Energetische Sanierung mit raumseitiger Wärmedämmung

Wärmedämmungen an der Außenfassade sind Stand der Technik und bauphysikalisch erprobt. Einzuhalten sind Abstandsflächen sowie Vorgaben des Denkmalschutzes bei historischen Gebäuden schließen häufig eine Wärmedämmung auf der Außenseite aus. In diesen Fällen muss dann innen gedämmt werden. Hierbei bricht man mit den Grundregeln der Baukonstruktion. Der Taupunkt verlagert sich in die Wand, üblicherweise auf die kalte Seite der Dämmung. Neben einer verminderten Wärmedämmung besteht dann die Gefahr nachhaltiger Feuchteschäden wie zum Beispiel durch Frost, Schimmel oder Materialkorrosion – so die landläufige Meinung.

Der Wassereintrag in die Wandkonstruktion kann durch einen vollständig diffusionsdichten Wandaufbau verhindert werden. Planungsfehler sowie eine mangelhafte Bauausführung verursachen dennoch häufig Feuchteschäden, die eine erneute Sanierung erfordern. Zudem sind diffusionsdichte Konstruktionen wegen der unterbundenen Regulierung der Raumfeuchte meist unerwünscht. Verzichtet man auf eine diffusionsdichte Ausführung, muss man von einem Kondensatausfall im Wandaufbau ausgehen und dies bei der Konstruktion berücksichtigen. Entscheidende Bedeutung kommt hier der Materialbeschaffenheit der Dämmplatte und der Kleberschicht zu.

Von Katzenstreu zur Klimaplatte

Promatplatten für den Brandschutz und Katzenstreu sind den meisten Planern gleichermaßen bekannt. Weniger bekannt ist, dass sowohl die Promatplatten als auch die Katzenstreu aus Calciumsilikat bestehen. Im Herstellungsprozess kann die Feststoffmatrix von Calciumsilikat so modifiziert werden, dass sehr unterschiedliche Eigenschaften erreicht werden, wie zum Beispiel die hohe „Wasseraufnahmefähigkeit“ bei der Katzenstreu. Diese Möglichkeit Calciumsilikat zu modifizieren nutzte das Unternehmen Calsitherm Silikatbaustoffe. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Bauklimatik der TU Dresden entwickelte es ein Innendämmsystem auf Calciumsilikat-Basis. Im Rahmen des Forschungsprojektes INSUMAT „Development of specially designed insulation materials for building renovation“ (www.insumat.org) wurde dieses Projekt von der Europäischen Union gefördert.



Calciumsilikat wird hauptsächlich in Hochtemperaturbereichen verwendet: als Isolationsmaterial in Hochöfen, für Formen in der Metallgießerei sowie für den Brandschutz. Foto: Heißkopfring für Billetguss

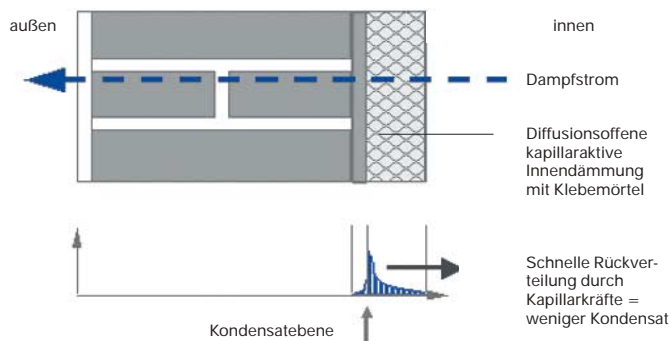
Die hierbei entwickelte Calsitherm Klimaplatte wurde so eingestellt, dass sie eine hohe Kapillaraktivität (Saugfähigkeit) und einen geringen Dampfdiffusionswiderstand aufweist.

Eigenschaften und Wirkprinzip der Calsitherm Klimaplatte

Dämmplatten aus Calciumsilikat bestehen aus den Ausgangsmaterialien Calciumoxid, Siliziumoxid, Zellulosefasern und Wasser. Die Herstellung der Klimaplatte erfolgt über Nasspressen, Autoklavieren, Trocknen und Zuschnitt. Im Verlauf des Forschungsprojektes INSUMAT wurden deren hygrothermische Eigenschaften dahingehend optimiert, dass sie sich als Innendämmung eignet:

Bei entsprechender Einstellung der Feststoffmatrix besitzt Calciumsilikat eine enorme Wasseraufnahmefähigkeit bei gleichzeitig hoher Formstabilität.





- eine höhere Kapillaraktivität,
- eine niedrigere Wärmeleitfähigkeit und
- günstigere Feuchtespeichereigenschaften im Bereich von 40 bis 80 % relativer Luftfeuchte.

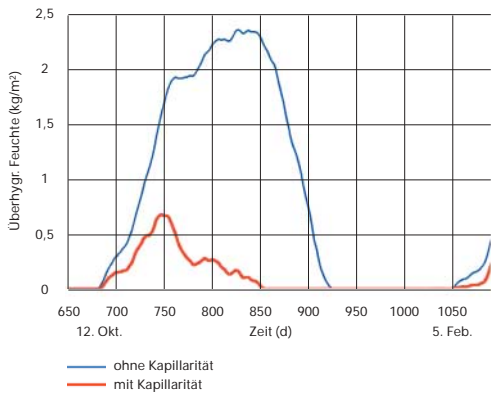
Die hohe Kapillaraktivität der Platte ist die wichtigste Eigenschaft, denn sie ermöglicht in Verbindung mit dem auf die Platte abgestimmten Klebemörtel den Verzicht auf eine Dampfsperre. Wasserdampf kann in die Platte eindringen. Aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeit und des größeren Dampfwiderstandes des Klebers im Vergleich zur Dämmplatte kommt es bei extremen Außentemperaturen an der Schichtgrenze zur Kondensation. Gleichzeitig setzt ein Flüssigwassertransport ein, der schnell zu einer großflächigen räumlichen Verteilung des Kondensats in der Platte und damit zu einer Verminderung der lokalen Belastung durch Tauwasser führt. Die Feuchte wandert zur raumseitigen warmen Oberfläche der Wärmedämmung und verdunstet. Der Kleber nimmt wegen seiner geringeren Flüssigwasserleitfähigkeit nur sehr wenig Wasser auf und verhindert dadurch einen Feuchteeintrag in das Mauerwerk. Da die Klimaplatte sehr viel Wasser aufnehmen kann, ist sie in der Lage, auch die bei extremen klimatischen Verhältnissen anfallende Feuchte gefahrlos zu speichern. Von Vorteil ist auch die hohe Alkalität von Calciumsilikatdämmplatten. Mit einem pH-Wert von circa 10 ph erhöht sie zusätzlich den Widerstand gegenüber Schimmelbefall. Bei der Bauausführung ist auf qualitativ einwandfreie Verarbeitung des Dämmsystems, bestehend aus Calciumsilikatplatten und Klebemörtel, zu achten. Die Dämmung muss vollflächig anliegen, da sich in dem sonst entstehenden Luftspalt zwischen Dämmsystem und Bestand Kondensat niederschlagen könnte.

Das bei einer diffusionsoffenen Innendämmung entstehende Kondensat wird bei einem kapillaraktiven Dämmstoff großflächig verteilt und schnell zur Raumseite rückverteilt. Hierdurch verringert sich die lokale Belastung an der Kondensatebene und gleichzeitig erfolgt eine flächige Verdunstung der Feuchte.

Die Wirksamkeit der Kapillaraktivität

Die erforderliche reale Bewertung der vorgeschlagenen Konstruktion kann mit den nach der DIN 4108-03 bzw. EN ISO 13788 vorgesehenen Berechnungsverfahren (Glaser-schema, Monatsbilanzverfahren) in der Regel nicht erfolgen, da bei diesen Verfahren nur der Wasserdampftransport berücksichtigt wird. Am Institut für Bauklimatik der TU Dresden wurden deshalb zwei Softwareprogramme (COND2002, DELPHIN4, www.bauklimatik-dresden.de) entwickelt, die es ermöglichen, zusätzlich die Kapillaraktivität der porösen Baustoffe in die Bewertung einzubeziehen. COND2002 erlaubt die schnelle Beurteilung von eindimensionalen Wandkonstruktionen unter Standardklimabedingungen. Mit DELPHIN4 sind 2D/3D-Simulationen unter realen Klimabedingungen (Temperatur, Luftfeuchte, Regen, Wind, Strahlung) möglich.

Die Wirksamkeit der Kapillaraktivität im Vergleich zu einer nicht kapillaraktiven Wärmedämmung ist enorm. Mit dem Simulationsprogramm DELPHIN4 wurden Berechnungen an einer innen gedämmten Ziegelwand



1 Verlauf der Kondensatmenge aus Simulationsrechnungen mit und ohne Berücksichtigung der kapillaren Eigenschaften der Wärmedämmung

unter natürlichen Klimabedingungen für Calciumsilikat und für gleiches Material ohne kapillare Leitfähigkeit durchgeführt. Bei der Calciumsilikat-Innendämmung beträgt die Tauwasser menge maximal 0,66 kg/m². Ohne Kapillarität des Dämmstoffes entstehen bis zu 2,3 kg/m² Tauwasser, was oberhalb der zulässigen Grenze von 1 kg/m² nach DIN 4108 liegt (1). Dieses Ergebnis wurde auch an anderen Objekten durch Messungen bestätigt. Damit konnte rechnerisch nachgewiesen werden, dass die Kapillaraktivität des Dämmstoffes die im Winter anfallende Kondensatfeuchtemenge reduzieren kann.

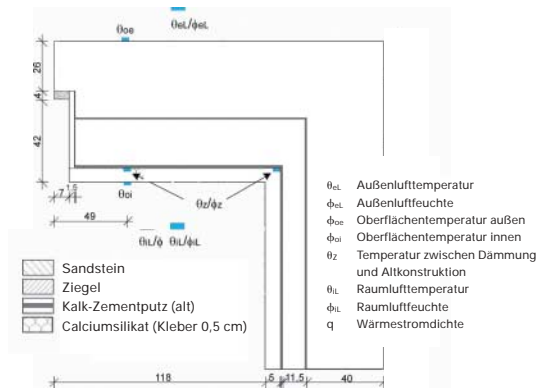
Messtechnische Auswertung der kapillaraktiven Innendämmung

Die Funktionsfähigkeit einer Innendämmung ist vom Institut für Bauklimatik durch fortlaufende Messungen in mehreren Testhäusern, unter anderem auch am Herrnschießhaus Nürnberg, untersucht worden. Über Sensoren wurden an ausgewählten kritischen Positionen im Wandquerschnitt kontinuierlich Temperatur, relative Luftfeuchte, Wärmestromdichte, Kondensatbildung und die bauklimatischen Randbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte, Strahlung, Regen und Wind) aufgezeichnet. Die gemessenen Klimadaten und die im Labor bestimmten Materialeigenschaften fließen als Eingabewerte in eine numerische Simulation ein. So lässt sich überprüfen, ob das hygrothermische Verhalten der Konstruktion die Vorgaben erfüllt und ob die Simulation hinreichend genaue Vorhersagen (z.B. für andere konstruktive Lösungen oder andere Nutzungs- und Klimabedingungen) liefern kann. Diese Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes „Entwicklung leistungsfähiger Wärmedämmsysteme mit wirksamem physikalischen Feuchteschutz“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie gefördert.

Herrnschießhaus Nürnberg

Die Sanierung des Herrnschießhauses in Nürnberg wurde vom Hochbauamt Nürnberg, Abt. Kommunales Energiemanagement, projektiert und durchgeführt. Angestrebt waren auch eine Verringerung des Heizenergieverbrauchs und die Verbesserung des Nutzerkomforts durch Erhöhung der inneren Oberflächentemperatur. Man entschied sich für ein diffusionsoffenes System und verzichtete auf eine Dampfbremse. Dabei mussten besonders bei den geometrischen Wärmebrücken wie den Raumecken und Fensteranschlüssen das Risiko der Kondensatbildung in der Schicht zwischen Altkonstruktion und der Außenseite der Dämmplatte beachtet und die anfallenden Kondensatmengen quantifiziert werden.

2 Konstruktion und Messanordnung im nordöstlichen Gebäudewinkel des Herrnschießhauses



Vergleich gemessener und berechneter hygrothermischer Größen

Mit DELPHIN4 wurden speziell für den nordöstlichen Gebäudewinkel zweidimensionale Wärme- und Feuchtesimulationsrechnungen durchgeführt und die Ergebnisse mit den am Gebäudewinkel gewonnenen Messwerten verglichen. Die Raumtemperaturen lagen meist um 18 bis 19°C, nur im Sommer stiegen sie auf höhere Werte an. Wegen der vorerst seltenen Nutzung war die Luftfeuchte im Innenraum durchweg sehr niedrig. Eine Übersicht der installierten Messanordnung und einen Eindruck vom hygrothermischen Verhalten im kritischen Konstruktionsdetail Gebäudewinkel geben die Abbildungen (2) und (3). Neben der Konstruktion und Anordnung der Sensoren sind das 2D-Temperaturfeld und das Feld der relativen Luftfeuchte an dem Tag, an dem in der ersten, kritischen Heizperiode das Maximum der Luftfeuchte auftrat, dargestellt. Die relative Luftfeuchte im Winkelbereich erreichte hier an der kalten Seite der Innendämmung maximal 72%.

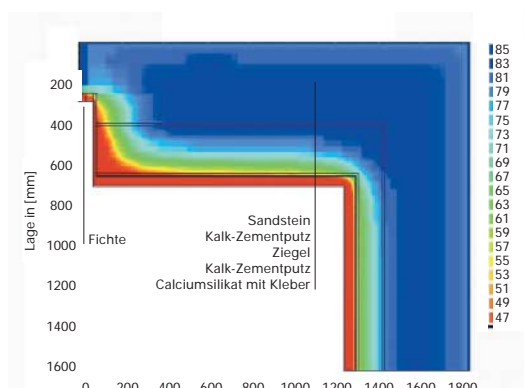
In den Abbildungen (4, 5) sind die Mess- und Rechenwerte der relativen Luftfeuchte ϕ zwischen Calciumsilikat-Innendämmung und vorhandener Konstruktion der Nordwand und im Gebäudewinkel (in der potenziellen Kondensationsebene) abgebildet. In der ersten Heizperiode findet eine Austrocknung der Einbaufeuchte statt, dies geschieht an der Nordwand (4) schneller als im Gebäudewinkel (5). Zu Beginn der ersten Kondensationsperiode betragen die relativen Luftfeuchten im Winkelbereich noch bis zu 85%. Die Tatsache, dass sie in der zweiten

Heizperiode nur bis circa 65% ansteigen, ist ein Indiz dafür, dass es sich bei den anfangs hohen Luftfeuchten um eingebrachte Baufeuchte (Calciumsilikat-Kleber) handelt.

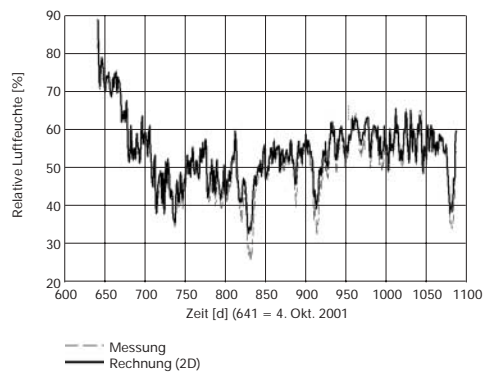
Zwischen Wandbereich und Winkel treten Differenzen in der relativen Luftfeuchte von bis zu 20% und bis zu 5 K Temperaturdifferenz auf. Somit ist der Unterschied in Temperatur und Luftfeuchte durch die Auswirkungen des Raumwinkels als geometrische Wärmebrücke signifikant. Eine Bewertung der Außenwinkel als kritisches Detail ist deshalb bei vergleichbaren Gebäuden gerechtfertigt. Besonders der Austrocknungsprozess nach dem Einbau erscheint im Eckbereich stark verlangsamt. Beim Auftreten höherer Raumluftfeuchten würden sich die Effekte der geometrischen Wärmebrücke in der potenziellen Kondensationsebene noch stärker bemerkbar machen.

Die Ergebnisse der Berechnung des hygrothermischen Verhaltens stimmen gut mit den Messwerten überein. Bei den relativen Luftfeuchten ϕ treten Differenzen auf, die jedoch kurzfristig mit maximal 8 % innerhalb einer akzeptablen Schwankungsbreite liegen. Insgesamt bleibt die Außenwand des Büroraums feuchtechnisch unkritisch. Probleme sind bei gleichbleibenden Randbedingungen auch in Zukunft nicht zu erwarten. Höhere innere Feuchtelasten waren vor Ort während der Projektlaufzeit nicht gegeben, sollten aber in Voraussicht eventueller Nutzungsänderungen mit Hilfe der numerischen Simulation untersucht werden.

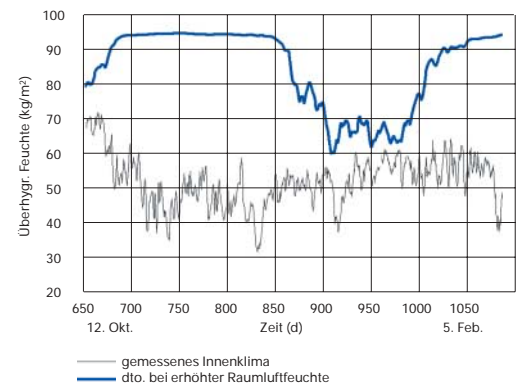
3 2D-Darstellung der relativen Luftfeuchte im nordöstlichen Gebäudewinkel des Herrnschießhauses



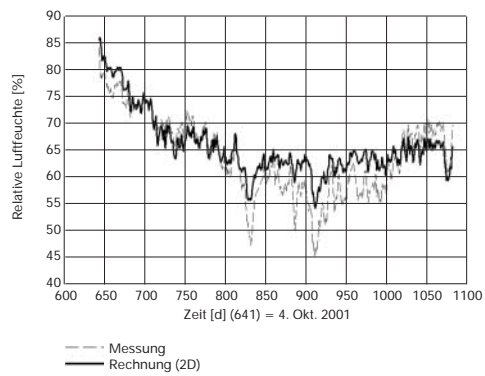
4 Messung und Berechnung der relativen Luftfeuchte φ in der potenziellen Kondensationsebene der Nordwand



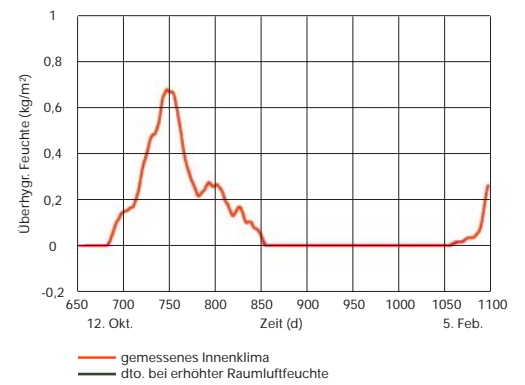
6 Verlauf der relativen Luftfeuchte φ in der potenziellen Kondensationsebene der Nordwand, bei einer rechnerisch vorgegebenen erhöhten Luftfeuchte



5 Messung und Berechnung der relativen Luftfeuchte φ in der potenziellen Kondensationsebene des Gebäudewinkels



7 Verlauf der Kondensatmenge in der Nordwand bei einer rechnerisch vorgegebenen erhöhten Luftfeuchte



Auswirkungen höherer innerer Feuchtelasten

Die Auswirkungen einer überhöhten Innenluftfeuchte ($\theta_i = 20^\circ\text{C}$ und $\phi_i = 70\%$), beispielsweise verursacht durch eine hohe raumseitige Feuchtelast bei vollem Schulungsbetrieb und niedrige Lüftungsraten, wurden zusätzlich in ein- und zweidimensionalen Simulationsrechnungen untersucht. Vergleicht man den Gang der relativen Luftfeuchte der Abbildung (6) mit dem der Abbildung (7), ist ein großer Unterschied erkennbar: Bei überhöhtem Innenklima liegt der Verlauf der relativen Luftfeuchte in der potenziellen Kondensatebene weit über dem des gemessenen Innenklimas.

Während sich mit Realklima praktisch kein Kondensat hinter der Dämmung bildet, entstehen bei überhöhtem Innenklima bis zu $0,66 \text{ kg/m}^2$ Kondensat. Dies ist gemäß den Vorgaben der DIN 4108-3 unproblematisch. Ohne die Kapillarwirkung der Calciumsilikat-Dämmung läge die Kondensatmenge bei 2.3 kg/m^2 – die Konstruktion wäre so nicht zulässig.

Die Calciumsilikat-Dämmung verfügt somit auch bei einer sehr hohen Raumlufteuchte über eine ausreichende kapillare Leitfähigkeit, die bei einem ungestörten Wandaufbau zu einer Reduzierung des Tauwasseranfalls um 1.64 kg/m^2 führt.

Für Gebäudewinkel existiert kein korrespondierendes, flächenbezogenes Kriterium bezüglich anfallender Kondensatmengen. Stattdessen kann hier der Verlauf der relativen Luftfeuchte an der Innenoberfläche des Winkels als Richtschnur herangezogen werden. Bei einer relativen Luftfeuchte über 80% besteht die Gefahr der Schimmelpilzbildung. Wenn diese Grenze im Gebäudewinkel während eines längeren Zeitraums überschritten wird, sollte für den Gebäudewinkel eine genauere Betrachtung erfolgen. Diese Betrachtung sollte zum Ziel haben, Grenzwerte für Raumlufteuchte und Temperatur zu ermitteln, die eine Schimmelpilzbildung ausschließen.

Es ist praktisch davon auszugehen, dass die Calciumsilikat-Innendämmung aufgrund ihres hohen pH-Wertes keine Grundlage für die Schimmelpilzbildung bietet, zumal eine Dauerbelastung mit 70% relativer Luftfeuchte unrealistisch hoch ist und solche Räume üblicherweise nicht am Gebäudewinkel angeordnet werden. Eine stärkere Dämmung würde zwar den U-Wert verbessern

und damit die relative Luftfeuchte an der Wandoberfläche senken, aber gleichzeitig das Kondensatrisiko in der Wand erhöhen, weshalb eine Dämmschichtdicke von 50 mm ausgeführt wurde. Somit bringt die ausgeführte Dämmung sowohl die thermischen als auch die hygrischen Anforderungen für die Außenwandkonstruktion zur Deckung.

Peter Gahr in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität Dresden.

Technische Universität Dresden, Institut für Bauklimatik:
Hans Petzold (Konzept und Auswertungen Messungen am Testhaus, Simulationen), John Grunewald (Modellierung, Softwareentwicklung, Koordination Forschungsprojekt), Peter Häupl (Institutsdirektor)

grunewald@ibk.arch.tu-dresden.de
Telefon (03 51) 463 32–873
Fax (03 51) 463 32–627

Eva Anlauff, Hochbauamt Nürnberg, Kommunales Energiemanagement

Calsitherm Silikatbaustoffe GmbH
An der Eiche 15
33175 Bad Lippspringe
Telefon (0 52 52) 96 51–0
Fax (0 52 52) 96 51–18
www.calsitherm.de
www.klimaplatte.net
info@klimaplatte.net

COND, DELPHIN, Glaserschema

COND ist ein Bewertungsprogramm zur hygrothermischen Beurteilung von Umfassungskonstruktionen. Mit Hilfe des Programmes können verschiedenste Konstruktionen zusammengestellt und hinsichtlich des Wärme- und Feuchtetransports durch die Konstruktion eingeschätzt werden. COND hilft somit einzuschätzen, wie die Konstruktion sich prinzipiell unter den gewählten Bedingungen verhalten wird. Mitunter ist eine realitätsnahe Simulation einer Konstruktion unabdingbar, z.B. wenn der Nachweis eines Konstruktionsdetails erbracht werden soll. Im Gegensatz zum Glaserschema geht das moderne COND-Programm von einer dampfdurchlässigen Konstruktion aus, die aus mehreren Schichten bestehen kann. Realitätsnah wird der eindimensionale, stationäre Wärme- und Feuchtetransport betrachtet. COND berechnet den stationären Dampf- und Wärmestrom und die daraus resultierenden Dampfdruck- und Temperaturprofile. Während COND ein schnelles Beurteilungsprogramm ist, kann DELPHIN als umfassendes Simulationstool für spezielle und bauphysikalisch schwerwiegende Problemfälle eingesetzt werden. Beide Programme wurden von der Technischen Universität Dresden entwickelt.

Calciumsilikat ist ein „Alleskönner“. Entsprechend der aufgebauten Feststoffmatrix ändern sich seine Eigenschaften. Das Raumgewicht variiert hierbei von 200 bis 1200 kg/m^3 .

Einsatzbereich	Anwendung	Raumgewicht (kg/m^3)
Thermische Isolation	Ofenbau, Petrochemie, Zementindustrie, Aluminiumherstellung, Anlagenbau	200 – 300
Brandschutz	Kabel-/Lüftungsschächte, Fassaden-/Wandverkleidungen, Türen, Schutzschränke, Kamin-/Kachelöfen	200 – 1000
Metallurgie	Funktionswerkstoff in Gießanlagen in Kontakt mit flüssigem Aluminium, z. B. zur Fertigung von Motorblöcken, Kolben, Bedplates, Isolation von Gießpfannen.	800 – 1200
Elektrische Isolation	Abschirmung von Induktionsanlagen, Lichtbogenschutz etc.	800 – 1200
Wärmeschutz	Innendämmung, Schimmelschutz	250

Herstellung von Calciumsilikat

Rohstoffe für Calciumsilikat-Produkte sind hauptsächlich Kalk und eine SiO_2 -haltige Quelle, zum Beispiel gemahlener Sand und Wasser. Zur Unterstützung des Pressvorganges können Zellstoffzuschläge oder andere Hilfsstoffe beigemischt werden. Mit diesen natürlichen Rohstoffen werden aus der Vielfalt der Verbindungen des Systems CaO-SiO_2 drei wichtige Calciumsilikathydrate gebildet, welche im wesentlichen in den Calciumsilikat-Werkstoffen vorkommen:

Xonotlit: $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Tobermorit: $5\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
Wollastonit: $6\text{CaO} \cdot 6\text{SiO}_2$.

Alle drei Kristallmodifikationen sind durch die kettenförmige Anordnung von (SiO_2) Tetraedern gekennzeichnet und wasserunlöslich.

Für die Herstellung von Calciumsilikatwerkstoffen gibt es zwei gängige Verfahren: die Pre- und die Postautoklavierung.

Bei der Preautoklavierung erfolgt zuerst eine Autoklavierung der gemischten Rohstoffe, anschließend die Formgebung sowie Trocknung.

Bei der Postautoklavierung erfolgt die Autoklavierung erst nach der Formgebung. Hierbei werden die in einer wässrigen Lösung homogenisierten Rohstoffe bei erhöhter Temperatur vorreagiert, das thixotrope Slurry wird verpresst und die grünen Formkörper einer hydrothermalen Reaktion im Autoklaven unterworfen. Die Wahl und Zusammensetzung der Rohstoffe, verbunden mit der Reaktionsführung im Autoklaven (Temperatur, Druck und Feuchtigkeit) bestimmen im wesentlichen die Kristallmodifikation und somit die Eigenschaften des Werkstoffes. Die autoklavierten Platten werden anschließend getrocknet. Platten werden in den Abmessungen $3000 \times 1250 \text{ mm}$ und Dicken von 20 bis 100 mm gefertigt. Sie können zugeschnitten werden oder auf CNC-Maschinen gefräst werden, zum Beispiel für den Formenbau.