

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 95 (1977)
Heft: 26

Artikel: Wasser in Baustoffen und Bauteilen
Autor: Haller, Paul
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73407>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

sind die Fächer dargestellt, die früher *empfohlene Fächer* hiessen, heute als *Wahlfächer* bezeichnet werden, und die sich ebenfalls direkt mit den zentralen Ingenieurfächern beschäftigen.

Als zweite Gruppe, ebenfalls getrennt nach obligatorischen und fakultativen, sind die Fächer aufgeführt, die ihrem Inhalt nach den *ingenieurtechnischen* Fächern benachbart sind und hier die *begleitenden* Fächer genannt werden.

Wenn wir nun in Kürze einige Schlüsse ziehen wollen, so fällt uns als erstes wohl auf, dass der Umfang der obligatorischen ingenieurtechnischen Fächer im Laufe der Zeit deutlich abgenommen hat, dass also die Befürchtung einer Ver-technisierung völlig aus der Luft gegriffen ist. Die Wahlfächer andererseits haben deutlich zugenommen, werden aber nur von jenen Studierenden besucht, die ihre technische Ausbildung

vervollkommen wollen. Auch der Umfang der begleitenden Fächer hat gegenüber 1942/43 deutlich abgenommen, gegenüber 1963/64 jedoch zugenommen. Hier besteht heute ein gewichtiges Angebot an fakultativen Veranstaltungen, das früher völlig fehlte. An dieser Stelle wäre noch zu erwähnen, dass das Normalstudium in den Jahren um 1942/43 nur sieben Semester dauerte, dass also die grosse Zahl von ingenieurtechnischen Veranstaltungen noch mehr ins Gewicht fällt. Als einziges, wenn auch pikantes Beispiel soll darauf hingewiesen werden, dass in den Jahren um 1942/43 alle Mathematikvorlesungen und Übungen im ersten Semester stattfanden und insgesamt 15 Wochenstunden ausmachten. Was würden wohl heute unsere Studenten dazu sagen? Na ja, vielleicht kämen auch sie auf die drollige Idee, eine Vorlesung über Volkstanz zu verlangen.

Wasser in Baustoffen und Bauteilen

Von Paul Haller, Zürich

Bauwerke sind in ihrer Umwelt ständig *wechselnden klimatischen Bedingungen* ausgesetzt: Temperaturänderungen, Sonnenbestrahlung, Meteorwasser, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegungen, Sauerstoff und Kohlensäure, Abgasen. Diese lösen physikalische und chemische Reaktionen aus. Gegenstand dieser Abhandlung ist die Auswirkung des Wassers auf die Baustoffe und Bauteile. Faktoren, die ebenfalls Schäden verursachen, wie Temperaturänderungen, Baugrundsetzungen und Erschütterungen, werden ausgeklammert.

Nässequellen

- *Eigennässe*: Wassergehalt beim Einbau, z. B. Anmachwasser in Mörtel und Beton
- *Meteorwasser*: Regen und Schnee
- *Grundnässe*: Grundwassersee oder -strom, Bergwasser (auf dichten Schichten zufließendes Wasser), versickertes Regen- und Schmelzwasser
- *Luftfeuchtigkeit*: aus der umgebenden Luftschicht ausgefalltes Kondenswasser, meist aus der Raumluft.

Baustoffe – *ohne Kunststoffe* – enthalten Wasser in flüssiger und dampfförmiger Form. Unter den Nullpunkt abgekühlt ist neben tropfbarem Wasser auch Eis im Baustoff zu finden.

Kraftfelder

Wasser im Baustoff ist folgenden Kraftfeldern ausgesetzt:

Adsorption

An den äusseren und inneren Oberflächen eines porösen Materials wird durch die Restvalenzen Wasserdampf zu tropfbarem Wasser verdichtet und festgehalten. Die Adsorption erfolgt *ohne chemische Reaktion* und ohne Lösungsvorgänge. Wassermoleküle verdrängen angelagerte Luftteilchen und bilden einen 0,2 bis $4 \cdot 10^{-6}$ mm dicken Film, der mit dem Adsorptionspotential – abhängig vom chemischen Aufbau – und mit abnehmender Temperatur wächst. Das Anlagern von Wasserteilchen an den etwa $5 \cdot 10^{-6}$ mm dicken Fasern des Fichtenholzes bewirkt ein *Quellen* der Zellwändchen. Das Entwässern der Zellwändchen ist mit einem *Schwindvorgang* verbunden. In den Gelen, die über ein kolloiddisperses Gefüge verfügen, lösen die Ad- und Desorptionsvorgänge Quell- und

Schwinderscheinungen aus. Der Adsorptionsfilm auf den inneren Oberflächen ist die Voraussetzung der kapillaren Durchdringung der Baumaterialien.

Verdunstung

An der Oberfläche eines Baukörpers wandern ständig Wasserteilchen in die anstossende, ungesättigte Luftschicht ab. Ist der kapillare Nachschub kleiner als die Verdunstungsmenge, bleibt der Meniskus mehr und mehr zurück, der Diffusionsweg wird länger und der Austrocknungsprozess verlangsamt sich weiter. Wenn es gelingt, durch die Anwendung feuchterer Luft den Meniskus dauernd an die Oberfläche vorstossen zu lassen, kann das Austrocknen beschleunigt werden, ein Effekt, der in künstlichen Trockenanlagen genutzt wird (Bild 1). Bei künstlicher Trocknung von Holz, Keramikprodukten usw. ist im Auge zu behalten, dass bei der Entwässerung der Oberflächenschichten diese abschwinden wollen, aber durch die noch nassen Schichten daran gehindert werden. Die daraus resultierenden *Spannungen* können Anrisse erzeugen. Dasselbe ist bei natürlicher Trocknung zu erwarten. Nur wenn es gelingt, den Trockenprozess so zu verlangsamen, dass das Nässegefälle im Trockling klein bleibt, kann die Rissbildung in Kunststeinen, Zementmörtelüberzügen, Verputzen aller Art durch Abdecken und langsam abklingendes Feuchthalten im Rahmen gehalten werden.

Kapillarität

Kapillaren sind zusammenhängende Hohlräume im Material. Dass das Modell eines zylindrischen Röhrchens eine stark vergröbernde Annahme und von der Wirklichkeit erheblich abweichende Vereinfachung darstellt, zeigt eine Raster-Elektronenmikroskop-Aufnahme eines Backsteins in etwa

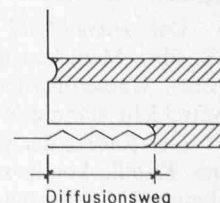


Bild 1. Oben: Wasserfaden in der Kapillare bis an die Oberfläche vorgezogen. Unten: Verdunstung ist stärker als der kapillare Nachschub, längerer Diffusionsweg

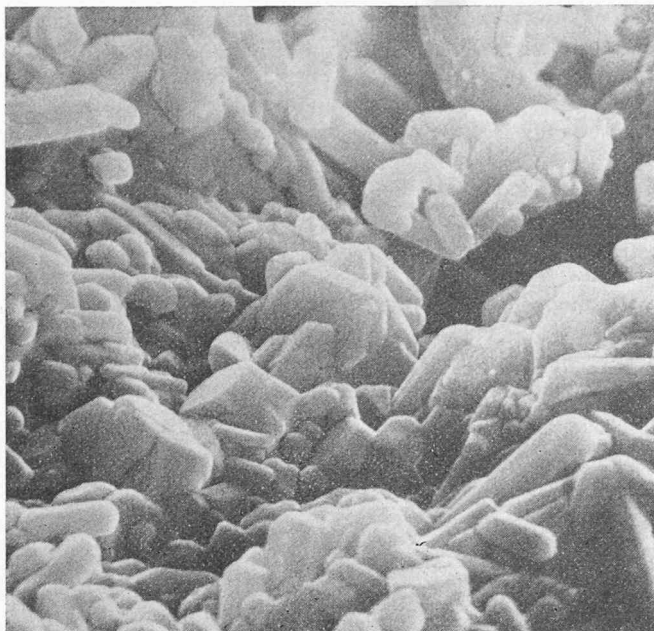


Bild 2. Aufnahme eines Schnittes durch einen Backstein im Raster-Elektronenmikroskop, Vergrößerung ca. 6000fach

6000facher Vergrößerung (Bild 2, Aufnahme: R. Iberg, Zürcher Ziegeleien).

Die kapillare Zugkraft beruht auf der Wirkung von Oberflächenspannungen, einer physikalischen Gegebenheit, die wie die Adsorption auf die Wirkung der Restvalenzen der ungesättigten Oberflächenteilchen zurückzuführen ist. In horizontalen zylindrischen Kapillaren ist die Fadenlänge

$$y = \sqrt{\frac{r \cdot \sigma}{2 \cdot \eta} t}$$

in cm, worin r = Kapillarradius in cm, $\sigma = 72,75$ dyn/cm = Oberflächenspannung bei 20 °C, $\eta = 0,0179$ bei 0 °C, $\eta = 0,0100$ g/cm s = dynamische Viskosität bei 20 °C und t = Zeit in s bedeutet.

In einer Stunde hat der Faden bei 20 °C eine Länge:

Radius in mm:	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
Länge:	11,4 m	3,6 m	1,14 m	36,2 cm	11,4 cm

Bei vertikalen Kapillaren ist noch das Gewicht des Fadens zu berücksichtigen (Lösung durch numerische Integration).

Da die feineren Kapillaren eine grössere spezifische Saugkraft aufweisen, saugen sie aus den grösseren Kapillaren das Wasser ab, weshalb im Gleichgewichtszustand das Wasser in den feinsten Kapillaren des Materials zu finden ist.

Die Wärmeisolfähigkeit eines Baustoffes wird durch die Einlagerung von Wasser vermindert – Wärmeleitzahl der ruhenden Luft: 0,021, die von Wasser: 0,5.

Feuchte Räume sind ungesund und für das Aufbewahren von Gütern ungeeignet, weshalb die Eindringstellen durch geeignete Massnahmen zu dichten sind.

Kapillarkondensation

Der Dampfdruck über gekrümmten Wasseroberflächen, z.B. über Menisken in Kapillaren, ist kleiner als über einer ebenen Wasseroberfläche, weshalb aus der darüberliegenden Luftschicht ständig Wasserdampf im Meniskus kondensiert.

Der Radius der Grenzkapillaren, bei denen gerade noch eine Kapillarkondensation eintritt, ist abhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit.

relative Luftfeuchtigkeit in Prozenten	100	97	90	70	35
Radius der Grenzkapillare in 10^{-6} mm	∞	35	10	3	1

Die Füllung von Kapillaren durch Kapillarkondensation ist nur in den feinsten Kapillaren zu erwarten.

Die Gleichgewichtsfeuchtigkeit in einem porösen Baustoff ist vor allem von der relativen Luftfeuchtigkeit und vom Kapillarradius abhängig. So werden in 70prozentiger Luft schliesslich alle Kapillaren über $3 \cdot 10^{-6}$ mm geleert. Im Wasser gelöste Salze können eine Verschiebung der Grenze bewirken.

Dampfdiffusion

Durch die Fläche F einer Wand mit der Dicke d wandert bei einer Druckdifferenz $p_1 - p_2$ stationär während der Zeit t

$$Q_D = \lambda_D \frac{(p_1 - p_2)}{d} F \cdot t \text{ Wasserdampf.}$$

λ_D = Dampfleitzahl in g/mh mmHg,

d = Dicke der Wand in m,

$p_1 - p_2$ = Druckdifferenz in mmHg,

F = Fläche in m^2 ,

t = Zeit in Stunden,

Q_D = Dampfmenge in g

Wasserdurchfluss in Kapillaren unter Überdruck

Nach Poiseuille kann die durchfliessende Wassermenge einer Kapillaren berechnet werden, sobald der Radius bekannt ist. Da aber von einem Baumaterial weder der Radius noch die Anzahl der Kapillaren bekannt sind, muss ein Materialwert λ_w experimentell bestimmt werden.

$$Q_w = \lambda_w \frac{p_1 - p_2}{d} F \cdot t$$

(analog der Formel für die Dampfdiffusion)

Durchfluss durch grössere Querschnitte

Sickerwasser in Spalten und Fugen. Oberhalb einer kritischen Grenze der Geschwindigkeit ist der Geschwindigkeitsanstieg wegen Turbulenz weniger steil als bei lamellarem Durchfluss.

Wirkung des Wassers in Baumaterialien und Bauwerken

Wasserdampfkondensation auf Oberflächen

Der bereits besprochene Vorgang in der Adsorptionsschicht genügt nicht, um die um Zehnerpotenzen grösseren Russ- und Staubeilchen festzuhalten. Wenn aber an kalten Oberflächen aus der Raumluft Feuchtigkeit zu Wasser verdichtet wird, wächst die Dicke des Wasserfilms auf ein Vielfaches an und nun kleben die genannten Teilchen. An allen Stellen, wo die Oberflächentemperatur tiefer als an den übrigen Flächen liegt – Wärmebrücken, Aussenecken und ungenügend wärmeisolierten oder zu wenig belüfteten Raumpartien – werden sich langsam aufdunkelnde Flächen zeigen. In manchen Kirchen zeichnen sich an den Decken die tragenden Holzbalken als hellere Streifen ab. Die Zwischenfelder, oft aus Gipsplatten dazwischen gelegt, weisen eine ungenügende Wärmeisolfähigkeit auf. Deckengemälde werden unansehnlich und bedürfen einer aufwendigen Restaurierung. Vor einer starken Belegung einer Kirche sollte die Oberflächentemperatur soweit angehoben werden, dass auch bei dem Anstieg der relativen Feuchtigkeit der Taupunkt nicht unterschritten wird. Wertvolle Gemälde sollten durch Infrarotlampen wenig über den Taupunkt hinaus automatisch erwärmt werden (z.B. in der St.-Peters-Kirche, Basel). Eine zusätzliche Wärmeisolierschicht

lässt die Forderung nach einer genügenden Vorheizung der Kirchen lediglich mit einer kleineren Heizleistung erfüllen. Eine intensive Längs- oder Querlüftung ist nach einem starken Besuch besonders bei regnerischem Wetter unabdingbar.

Das *Ablaufen von Kondenswasser* an den Wänden in hochfeuchten Räumen ist im Gegensatz zu einer tropfenden Decke problemlos. Durch Erwärmen der Deckenoberfläche mittels Raumluft, die mit grösserer Geschwindigkeit unter der Decke bewegt wird oder durch Heizkabel kann die Kondensatbildung verhindert werden. «Gefangene» Räume oder Teile von Räumen, d.h. Raumpartien, die von der Warmluft nicht erfasst werden, müssen bei der Raumlüftung mittels Zusatzgeräten (Ventilator mit trockener Luft) bespült werden.

Schwinden und Quellen

Gelartige oder fasrige Baustoffe schrumpfen beim Austrocknen: *Desorption*. In einem *zementgebundenen* Baumaterial wird das *Wasser auf drei Arten gebunden*: beim Erhärten wird ein Teil des in das Zementkorn eingedrungenen Wassers in den Hydraten chemisch festgehalten; der Rest des Wassers im Zementkorn wird durch Adsorptionskräfte und durch Kapillarkondensation gebunden. Das Wasser ausserhalb des Zementkornes, das sogenannte freie Wasser, unterliegt den Kapillarkräften.

Das freie Wasser verdunstet zuerst aus den zusammenhängenden Hohlräumen von Mörtel und Beton in die mit Feuchtigkeit ungesättigte Aussenluft. Besteht weiterhin ein Dampfdruckgefälle zur Oberfläche des Körpers, lösen sich Wasserteile aus dem Spannungsfeld der Van der Waalschen Kräfte, das halbgebundene Wasser entweicht aus dem Gel. Die Wasserschichten magern ab, und nun wird auch der Schrumpfprozess eingeleitet. Langsam erfolgt eine weitere Entleerung der Zementkörner und weiter schwindet der Körper, bis ein Gleichgewichtszustand erreicht ist, sobald das Dampfdruckgefälle nicht mehr besteht.

Die chemische Bindung kann nur mit höheren Temperaturen gelöst werden. Wird ein balken- oder plattenförmiger Körper am Schwinden behindert oder sogar verhindert z. B. durch tieferliegende, noch nasse Schichten, durch Reibungskräfte oder durch Endbelastungen, durch Einspannung in steife Bauteile, so entstehen *Zugspannungen*. Da die Zugfestigkeit von Mörtel und Beton relativ gering ist, stellen sich Anrisse oder durchgehende Risse ein. Die Verspannung durch harten Zuschlag verursacht eine innere Rissigkeit, wodurch die Zugfestigkeit und die Dichtigkeit des Mörtels und des Betons vermindert wird. Die Armierung stellt dem abschwindenden Beton Widerstand entgegen, weshalb bei dickeren Stäben Anrisse unvermeidbar sind; doch werden die Risse verteilt, so dass klaffende Risse vermieden werden. Hochbelastete Armierung in der Zugzone dehnt sich entsprechend mehr, weshalb der Beton einen höhern Rissgrad erreicht.

Einige Beispiele von Konstruktionen, bei denen *Schwindrisse* aufgetreten sind, geben Aufschluss über die Art und den Verlauf der Risse (Bild 3, 4 und 5). Zunächst wird mit der Annahme, ein Bauteil schwinde stärker als der benachbarte, ein *Rissbild* erstellt. Stimmt dieses Bild mit dem am Bauwerk überein, war die Hypothese richtig. So kann z.B. eindeutig festgestellt werden, ob das Mauerwerk oder die Decken stärker schwinden (Bild 5).

Die Rissrichtung kann mit dem *Spannungswürfel* festgestellt werden. Der Winkel wächst mit der Schubspannung, die proportional der Schwindverschiebung anzunehmen ist (Bild 3, 4 und 5).

Verputzte und Zementmörtelüberzüge zeigen oft *netzartige* Rissbilder. Harte, zugfestere Mörtel offenbaren sich durch grössere Maschenweite. Bild 6 will über den Ablauf der Spannungsentwicklung solcher Mörtelschichten orientieren.

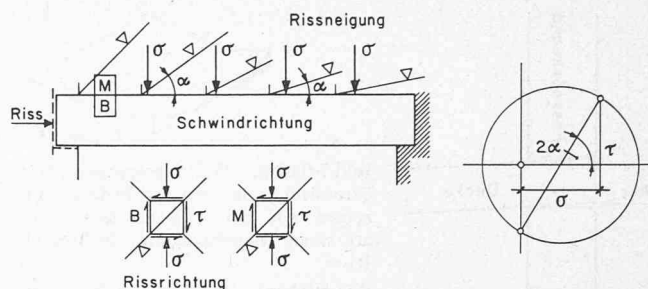


Bild 3. Einseitig festgehaltener Stahlbetonsturz mit Backsteinmauerwerk belastet. Schematischer Verlauf der Risse mittels Spannungswürfel diagnostiziert. Winkel α mittels Mohrschem Kreis

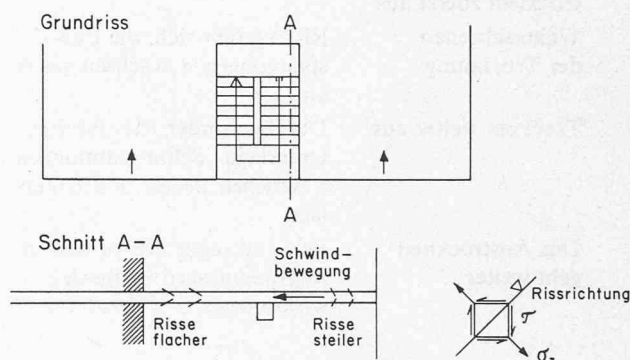


Bild 4. Risse unter und über der im Treppenhaus anstossenden Decken. Die Annahme, die Decke schwinde gegen die festgehaltene Seite ab, hat sich zufolge der Übereinstimmung des erwarteten Rissverlaufes mit dem tatsächlichen Rissbild als zutreffend erwiesen

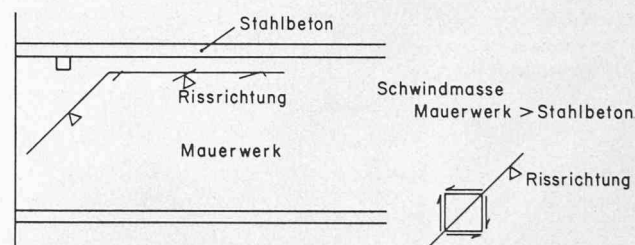


Bild 5. Wenn die KS-Mauer stärker schwindet, muss sich ein treppenförmiger, gegen die Fassade fallender Riss bilden, so wie er anhand des Spannungswürfels erwartet wird

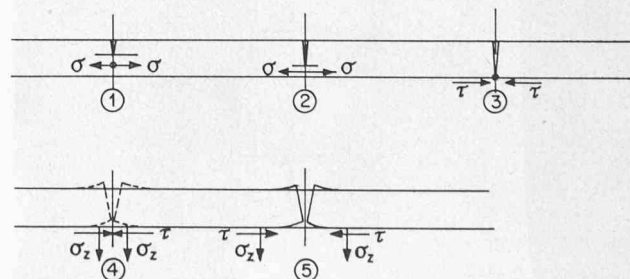


Bild 6. Schematischer Werdegang netzförmiger Risse in stärker abschwindenden und ungenügend haftenden Verputzen und Zementmörtelüberzügen

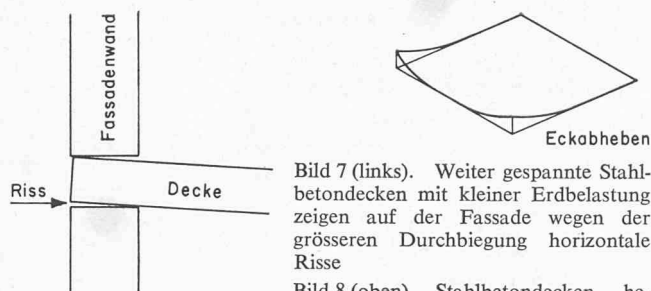


Bild 7 (links). Weiter gespannte Stahlbetondecken mit kleiner Erdbelastung zeigen auf der Fassade wegen der grösseren Durchbiegung horizontale Risse

Bild 8 (oben). Stahlbetondecken heben sich bei stärkerer Durchbiegung in den Aussendecken ab

Phase	Wirkung	Folgen
1	Oberflächenschichten trocknen zuerst aus	Zugspannungen σ , Anrisse
2	Weiterschreiten der Trocknung	Riss vertieft sich, die Zugspannungen σ wachsen rasch an
3	Trocknet weiter aus	Durchgehender Riss bis zur Unterlage. Schubspannungen τ zwischen Belage und Unterlage
4	Das Austrocknen geht weiter	Belag versucht sich zu werfen, Zugspannungen σ_z werden wirksam

Bild 9. Restaurationsarbeiten am Hauptbahnhof Zürich. Abgesprengte Gurten, wegen durchgerosteten Abfallröhren durchnässter Pfeiler. Photo: Institut für Denkmalpflege, ETHZ



5 Stärkeres Werfen des Belags

Bei ungenügender Haftung auf der Unterlage Hohlziege des Belags, Abbrechen bei Belastung

Hohlliegende Schichten müssen ersetzt werden. Wenn die Kontaktschicht des Mörtels von der Unterlage durch übermässiges Absaugen entwässert wird, ist eine innige Verbindung nicht möglich. Abdecken und Nasshalten des frisch erstellten Belags verhindert eine steile Schwindspannungsentwicklung.

Decken mit grösseren Spannweiten biegen sich unter dem Eigengewicht, der Nutzlast, dem Schwinden der Druckzone und infolge des Kriechens des Betons erheblich durch. Bei kleiner Auflast über dem Deckenaufleger bildet sich aussen-seitig unter der Decke ein Riss (Bild 7). Auch das Abheben der obersten Decke in den Gebäudeecken ist ebenfalls eine Folge der Deckenverbiegungen (Bild 8). Erfahrungsgemäss können diese Risse bei nicht zu grossen Spannweiten bei Verwendung eines wasserarmen Betons vermieden werden. Bei grösseren Spannweiten ist mittels Zuganker die Rissbildung oder das Eindringen von Meteorwasser in den Riss durch ein Vordach zu verhindern.

Korrosion von Eisenteilen und Faulen von Holz

In über 65prozentiger feuchter Luft beginnt auf ungeschützten, blanken Eisenstücken die Rostbildung. Wenn Holz aus über 80prozentiger feuchter Luft Wasser zu absorbieren vermag oder aus nassen Nachbarbauteilen kapillar Wasser aufsaugen kann, siedeln sich holzerstörende Pilze an und bauen langsam das Holz ab.

Frostbeanspruchung

Die Aggregatzustandsänderung von Wasser zu Eis ist mit einer Volumenvermehrung von 9%, linear also um 3% verbunden. Die Eisbildung erfolgt wegen dem Abführen der Schmelzwärme (333,7 J/g) nur langsam, so dass die sich dehnende Eismischung in noch nicht mit Wasser gefüllte Hohlräume expandieren kann. Erst wenn der Widerstand beim Abfließen der Eismischung, auch Schmelze genannt, ansteigt, wächst auch der innere Druck. Das Material wird auf Zug beansprucht und reisst beim Erreichen der Zugfestigkeit auf. Wenn man bedenkt, dass die Baustoffe eine Bruchdehnung von 1 bis 2 Promille ausweisen können und das Wasser bei der Eisbildung sich um 3% ausdehnt, erkennt man die Notwendigkeit von Expansionsräumen, die ohne grösseren Widerstand von der Schmelze bezogen werden können. Ein Material ist frostbeständig, wenn es an der Einbaustelle nur so viel Wasser aufnehmen kann, dass die sich bei Frosttemperaturen bildende Schmelze noch genügend grosse Auffangräume findet (Bild 9).

Lösliche Salze

Die vom Kapillarwasser aus dem Mauerstein, Mörtel oder Beton gelösten Salze werden an die Stelle verfrachtet, wo das Wasser verdunstet und das Salz zurückbleibt. Ob das Salz an der Oberfläche oder unter der Oberfläche deponiert wird, ist von der relativen Feuchtigkeit und Temperatur der Aussen- oder Raumluft abhängig. Salzdeponien auf der Oberfläche wirken unschön und verursachen Absandungen. Kristallisierende Salze unter der Oberfläche erzeugen einen inneren Druck, der eine ähnliche Wirkung ausübt wie der Eisdruck. Im Gegensatz zur Frostwirkung, wo die Schmelzwärme verzögernd wirkt und die Schmelze gegebenenfalls expandieren kann, bietet die Anlagerung an die Kristalle keine solchen Erleichterungen, weshalb der Kristalldruck unter Umständen grössere Zerstörungen auslösen kann als der Eisdruck. Die grössten Schäden treten dort und dann auf, wenn das Salz dauernd an der gleichen

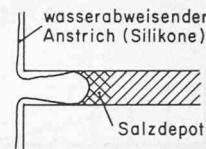
Stelle abgelagert wird. Wenn z.B. mittels einer Oberflächenbehandlung die Benetzung mit dem Ziel, das Regenwasser von der Fassade abperlen zu lassen, zu verhindern versucht wird, kann der Meniskus nicht mehr an die Oberfläche vorstossen, und das Salz wird immer an der gleichen Stelle deponiert (Bild 10). Bei der unter der Oberfläche liegenden Verdunstungszone sind Abblätterungen, Absprengungen oder Abplatzungen zu gewärtigen. Oberflächliche Salzablagerungen können mit Bürsten und Staubsauger entfernt werden.

Die Einbruchstellen von Wasser sind nicht immer leicht zu orten und doch müssen sie verstopft werden. Offene Fugen, undichte Anschlüsse – Flachdächer –, klaffende, dem Meteorwasser zugängliche Risse, z. B. in Fassaden aus Sichtmauerwerk, sind mit aller Sorgfalt tunlichst bei der Erstellung des Bauwerkes zu dichten. Wehret den Anfängen!

Die Grundnässe

Die im nassen Baugrund steckenden Grundmauern saugen durch Sohle und Seitenflächen kapillar Grundnässe auf. Auf dem Weg zum Fundament hat die Grundnässe Salze gelöst, die dann an den Verdunstungsstellen abgelagert werden. Der Nässetransport aus dem Baugrund wird beeinflusst durch die Verdunstungsbedingungen an den Oberflächen des aufgehenden Mauerwerkes, durch den Fließwiderstand in den Kapillaren und schliesslich durch den Nassenachschub im Boden. In der Mauer über Terrain steigt das Wasser in den

Bild 10. Konzentrierte Ablagerung von Salzen hinter nicht benetzbarem Fassadenanstrich, der auch in die Hohlräume eingedrungen ist



Kapillaren auf eine Höhe, bei der alles aufsteigende Wasser an den beiden freien Wandflächen verdunstet, wobei das mitgeschleppte Salz auf oder unter der Oberfläche zurückbleibt. Die Höhe der Verdunstungsfläche kann als Massstab für die aufsteigende Wassermenge dienen. Je nach dieser Wassermenge und der Bedeutung des Gebäudes können folgende Massnahmen zur Trockenlegung des Gebäudes getroffen werden: wasserdichter Verputz auf der Aussenseite der Grundmauern, Drainleitung unter Sohlenhöhe, Injektionsriegel, Einlage einer Dichtungsschicht, Entlüftungskanal zwecks Senken der Verdunstungszone (Einbau vor 10 Jahren in der Klosterkirche Fahr zum Schutz der Fresken). Immer wieder werden Entfeuchtungsverfahren, ohne einen genügenden Nachweis über die Wirksamkeit erbringen zu können, angeboten. Im Historischen Museum – Barfüsserkirche – in Basel werden zur Zeit salzdurchtränkte Säulen ersetzt; dem vorher eingesetzten Osmoseverfahren ist demnach ein Erfolg versagt geblieben (Schweizerische Bauzeitung, Heft 46, 1968, und Heft 35, 1973).

Der Beitrag des Bauingenieurs zur Gestaltung der Umbauten des Hauptgebäudes der ETHZ

Von Hans Heinrich Hauri, Zürich

In den Jahren 1967–73 wurde das Hauptgebäude der ETH Zürich in grossem Ausmass um- und ausgebaut, um Raum für die stark angewachsenen Bedürfnisse des Unterrichtes zu schaffen. Unter der architektonischen Leitung von Charles-Edouard Geisendorf baute man u. a. Hörsäle in die Innenhöfe ein und erweiterte den nutzbaren Raum in den Untergeschossen und in der Dachregion.

Als Statiklehrer an der Architekturabteilung erhielten mein Vorgänger, Karl Hofacker, und ich die Gelegenheit, als beratende Ingenieure mitzuwirken. Die Durchführung der Ingenieurarbeiten wurde den uns nahestehenden Büros Stucki & Hofacker, sowie H.R. Fietz übertragen. Dieser Auftrag bot uns Gelegenheit, die Zusammenarbeit zwischen Architekt und Ingenieur, wie wir sie mit unserem Unterricht zu fördern hofften, selbst in der Praxis zu üben. Das Objekt, wie auch der Architekt als Gesprächspartner, erwiesen sich als recht anspruchsvoll, was unsere Arbeit entsprechend interessant gestaltete.

Aus der Fülle der Probleme möchte ich nur drei Beispiele herausgreifen, die uns Möglichkeiten boten, auf die Gestaltung des Bauwerkes massgebend einzuwirken. Andere Aufgaben bereiteten uns allerdings oft wesentlich mehr Sorgen, so besonders die schwierigen Unterfangungen des alten Gemäuers, die man ausführen musste, während das ganze Haus in Betrieb stand.

Auditorien in den Hofeinbauten

Angesichts der stark angewachsenen Studentenzahlen entschloss man sich, in den bisher ungenutzten Innenhöfen grosse und auch kleinere Auditorien einzubauen. Für die Erschliessung boten sich die vielen Korridore und Umgänge an, die

einen Zugang von allen Seiten ermöglichen. Es ergaben sich aber grosse Schwierigkeiten aus der Tatsache, dass diese Zugänge auf sehr unterschiedlichen und fest fixierten Höhen liegen. Für die Auditorien und die davor angeordneten Verkehrsflächen ergab sich daraus die Forderung nach extrem geringen Konstruktionshöhen. Auch in den Grundrissen entstanden zwangsläufig komplizierte Formen aus der Anpassung an die unterschiedlichen Altbauten.

Wäre man in den Höhen frei gewesen, so hätte man wohl die übliche Konstruktion gewählt (Bild 1a), bestehend aus einer ebenen Decke und darauf aufgebauten Amphitheater. Eine hierfür notwendige Bauhöhe stand aber ganz und gar nicht zur Verfügung. Man war daher genötigt, die übereinander liegenden Hörsäle ineinander zu verschachteln und die Tragkonstruktion der Form des Auditoriumbodens anzupassen. Aber selbst für solch gekrümmte Träger (Bild 1b) hätte die Bauhöhe angesichts der Spannweiten von rund 20 m nicht ausgereicht. Man entschloss sich daher, die räumliche Krümmung des Auditoriumbodens auszunützen und diesen als Flächentragwerk zu konzipieren (Bild 1c).

Die Form dieser Fläche ist natürlich statisch nicht ideal. Die Tragwirkung lässt sich grob wie folgt beschreiben: Der grösste Teil der Fläche unter den Sitzstufen kann näherungsweise als Teil einer hängenden Kugelschale betrachtet werden. Die lotrechte Belastung erzeugt zunächst Membranzugkräfte in Richtung der Meridiane und der Breitenkreise. Die Meridianzugkräfte werden an den Rändern in die Wände eingeleitet. Diese bilden zusammen mit einem Teil der Deckenkonstruktion einen geschlossenen, polygonalen Druckrahmen, der allerdings nicht einmal in einer Ebene liegt (Bild 2). Dieser Druckrahmen übt seinerseits wieder Störungen auf die Zugmembrane aus.