

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN
INSTITUT FÜR BAUKONSTRUKTION UND BAUSTOFFE
LEHRSTUHL FÜR BAUSTOFFKUNDE UND WERKSTOFFPRÜFUNG UND
PRÜFAMT FÜR BITUMINÖSE BAUSTOFFE UND KUNSTSTOFFE

Dir.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. P. Schießl

Baumbachstraße 7, D-81245 München - Telefon 089/289-27060 - Telefax 089/289-27064
E-Mail: bsi@baustoffe.bauwesen.tu-muenchen.de

VERÖFFENTLICHUNG

Nr.: ZKG 1

Austrocknungsverhalten von Calciumsulfat-Fließestrichen

Auftraggeber: IGE und WTM

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. P. Schießl

Sachbearbeiter: Dipl.-Ing. K.-H. Wiegrink

Diese Veröffentlichung umfaßt 16 Seiten einschl. Anlagen

München, April 2004
Wk

Der Untersuchungsbericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Eine gekürzte oder eine auszugsweise Vervielfältigung sowie eine Veröffentlichung in Druckschriften sind nur mit vorheriger schriftlicher Genehmigung des Prüfamtes zulässig.

1 Einleitung

In Calciumsulfat-Fließestrichen werden Halbhydrate oder Anhydrite als Bindemittel genutzt. Beim Anmachen mit Wasser nehmen die Bindemittel während der Erhärtung einen Teil des Wassers auf und bilden die festigkeitsbildenden Phasen.

Um die Verarbeitbarkeit auf der Baustelle als Fließestrich zu ermöglichen, ist jedoch mehr, als das zur Erhärtung notwendige Wasser erforderlich. Die vorhandene Überschusswassermenge, ca. 7 bis 8 M.-%, ist im Estrich als Feuchte messbar und soll in der Trocknungsphase des Estrichs an die Umgebungsluft abgegeben werden.

Insbesondere bei der Verlegung von dampfdichten Belägen spielt die vorhandene Restfeuchte des Estrichs eine große Rolle, da eine zu hohe Restfeuchte zu Schäden in Estrich und Belag führen kann.

Neben der Festigkeitsentwicklung ist das Austrocknungsverhalten von Estrichen damit für den Baufortschritt häufig von entscheidender Bedeutung.

In einem Forschungsvorhaben wurden durch die Industriegruppe Estrichstoffe auf Calciumsulfatbasis im Bundesverband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie e.V. und dem Industrieverband Werkmörtel e.V. zahlreiche Fließestriche untersucht /4, 7/. An einem repräsentativen Fließestrich wurde das Austrocknungsverhalten detaillierter untersucht und rechnerisch simuliert.

2 Feuchtetechnische Grundlagen

2.1 Feuchtespeichervermögen

Poröse Baustoffe werden als vollständig trocken bezeichnet, wenn sie kein verdampfbares bzw. nur chemisch gebundenes Wasser enthalten. Dieser Zustand wird gemäß DIN 52620 /3/ durch Trocknen bis zur Massekonstanz erreicht.

Im Kontakt mit Wasser oder mit feuchter Luft bleiben poröse mineralische Baustoffe wie Calciumsulfat-Fließestriche nicht trocken, sondern nehmen in ihrem Porensystem Wasser auf.

Die Menge des aufgenommenen Wassers hängt dabei von den Umgebungsbedingungen ab. Je feuchter die Umgebungsluft und je höher die Temperatur ist, um so mehr Wasser nimmt der Baustoff auf. Der Zusammenhang zwischen der Menge des aufgenommenen Wassers und der relativen Luftfeuchte bei bestimmten Temperaturen wird in Sorptionsisothermen dargestellt, siehe Bild 1.

Die Sorptionsisothermen von Calciumsulfat-Fließestrichen weisen einen typischen S-förmigen Verlauf auf. Im Bereich des üblichen Wohnraumklimas beträgt ihr Feuchtegehalt nur ca. 0,2 M.-%. Bei höherer relativer Luftfeuchte weist die Sorptionsisotherme einen steilen Verlauf auf. Bis zu ca. 95 % r.F. kann die Sorptionsisotherme versuchstechnisch bestimmt werden. Danach beginnt der Bereich der freien, kapillaraktiven Wasseraufnahme, der durch die Fähigkeit poröser Materialien, Wasser bis zum Erreichen der freien Wassersättigung aufzusaugen bestimmt wird /6/.

Calciumsulfat-Fließestriche werden i.d.R. nicht wieder befeuchtet und trocknen daher vom Zustand der vollständigen Wassersättigung nach der Herstellung in Richtung der Ausgleichsfeuchte aus.

2.2 Feuchtetransport

2.2.1 Allgemeines

Ändern sich die hygrischen Umgebungsbedingungen, so ist das Feuchtgleichgewicht des Baustoffs gestört und Feuchtigkeit wird in den Baustoff aufgenommen bzw. an die Umgebung abgegeben. Dabei werden in der Literatur /11/ zahlreiche Transportmechanismen genannt, um diese Vorgänge zu beschreiben.

2.2.2 Feuchtetransport gasförmig

Bei unterschiedlichen Partialdrücken angrenzender und verbundener Gasräume (z.B. Raumluft und Porenraum eines mineralischen Baustoffs) haben die Wasserdampfmoleküle das Bestreben sich gleichmäßig zu verteilen. Dies führt zu einem als Dampfdiffusion bezeichneten Feuchtetransport von Bereichen höherer r.F. zu Bereichen geringerer r.F..

Nach DIN 52615 /5/ kann dieser Transportmechanismus experimentell ermittelt werden und durch den Verhältniswert μ der Diffusionskoeffizienten einer Materialschicht und einer gleich dicken Luftschicht beschrieben werden.

2.2.3 Feuchtetransport flüssig

Die Kapillarleitung stellt bei hohen Feuchten den maßgeblichen Feuchtetransport in porösen Stoffen dar. Der Transport kann als kapillares Saugen in einer Einzelkapillare mit dem mittleren Durchmesser des Porenraums dargestellt werden. Treibende Kraft sind die Oberflächenspannung des Wassers und die Grenzflächenspannungen zwischen Wasser und Porenoberfläche. Es gilt dabei, je geringer der Durchmesser der Kapillare ist, desto stärker ist die Saugkraft, aber desto langsamer ist die Sauggeschwindigkeit, da der Transport durch den Strömungswiderstand gebremst wird. Durch die Berechnung des

Strömungswiderstandes lässt sich die Wasseraufnahme in Abhängigkeit von der Zeit darstellen. Mit dieser Modellvorstellung wird auch der Wasseraufnahmekoeffizient nach DIN 52617 bestimmt /12/. Ein großer Nachteil dieser einfachen Modellvorstellung ist, dass ein Feuchtegradient im Baustoff nicht erklärbar ist. In einer bestimmten Bauteiltiefe sind nur die Zustände „nicht gefüllt“ oder „vollständig gefüllt“ möglich.

Das reale Porensystem besteht jedoch aus einer Vielzahl von unterschiedlich großen Poren, die räumlich angeordnet und untereinander vernetzt sind.

In Bild 2 ist das Porensystem vereinfacht als parallel angeordnete Zylinderkapillaren unterschiedlichen Durchmessers dargestellt, die untereinander verbunden sind.

Durch den geringeren Strömungswiderstand saugen die größeren Kapillaren schneller als die kleineren. Hierdurch kommt es rechnerisch zu einer Feuchteverteilung über die Estrichdicke. Nach ausreichend langer Saugzeit stellt sich ein Endzustand ein, bei dem alle Kapillaren gefüllt sind.

Wird der Saugvorgang unterbrochen, so findet eine Weiterverteilung der Feuchte statt. Diese beruht auf der größeren Saugkraft der noch nicht gefüllten kleineren Kapillaren, die die größeren Kapillaren über die Querverbindungen leer saugen.

Da die Weiterverteilung von den kleineren Kapillaren bestimmt wird, und deren Sauggeschwindigkeit deutlich kleiner ist, ist die Umverteilung um 1 bis 2 Größenordnungen langsamer als das kapillare Saugen /6/.

Calciumsulfat-Fließestrich werden i.d.R. nicht wiederbefeuchtet, sondern trocknen vom Zustand der vollständigen Wassersättigung nach der Herstellung in Richtung der Ausgleichsfeuchte aus, siehe Bild 2 c. Dieser Vorgang ist jedoch analog zu den Umverteilungsvorgängen in Bild 2 b. Das Wasser verdunstet an der Oberfläche des Estrichs aus allen Kapillaren. Die kleineren Kapillaren saugen jedoch aufgrund ihrer größeren Saugkraft Wasser aus den größeren Kapillaren. Hierdurch sind die kleineren Kapillaren trotz der Verdunstung vollständig gefüllt, solange die Weiterverteilung größer ist als der Verdunstungsverlust.

2.2.4 Übergangsschicht

In der Grenzschicht zwischen Baustoff und dem umgebenden Luftraum bildet sich eine Übergangsschicht aus, in der die Luft kaum zirkuliert. Daher kann der Feuchtetransport in der Übergangsschicht nur über Dampfdiffusion erfolgen. In Abhängigkeit von ihrer Dicke kann die Übergangsschicht daher den Dampftransport aus dem Baustoff in die Umgebungsluft behindern. Dabei ist die Dicke der Übergangsschicht abhängig von der Luftbewegung an der Oberfläche

des Baustoffs. Je geringer die Luftbewegung ist, desto dicker ist die Übergangsschicht.

3 Versuche

3.1 Allgemeines

Zur Bestimmung des Trocknungsverhaltens wurden Probekörper konzipiert mit denen der Gesamtfeuchteverlust über die Trocknungszeit und der Feuchtegradient über die Estrichdicke bestimmt werden konnten.

Alle Probekörper wurden im Laborklima bei 20 °C, 65 % r.F. gelagert. Der Laborraum wies eine in klimatisierten Arbeitsräumen üblicherweise vorhandene Luftbewegung auf.

3.2 Masseverlust über die Trocknungszeit

Zur Bestimmung des Feuchteverlustes der Estriche wurden Estrichkleinflächen mit den Abmessungen 300 x 300 x 40 mm³ konzipiert, die, zur Simulation des Austrocknungsverhaltens von Estrichen in der Praxis, an der Unterseite sowie an den vier Seitenflächen durch eine PVC-Schalung abgedichtet waren und nur zur Oberfläche austrocknen konnten /1, 2, 7/.

Der Masseverlust durch Austrocknen wurde durch kontinuierliche automatische Wägung der Probekörper 300 x 300 x 40 mm³ bestimmt und ist in Bild 3 dargestellt.

Das Austrocknen zeigt zwei unterschiedliche Bereiche. Innerhalb der ersten 7 Tage nimmt die Feuchte schnell und annähernd linear mit der Zeit von 150 auf ca. 50 kg/m³ ab. Nach rund 7 Tagen ändert sich das Austrocknungsverhalten plötzlich. Die Austrocknung verlangsamt sich und verringert sich im weiteren Verlauf deutlich.

3.3 Feuchtegradienten

Zur Bestimmung der Feuchtegradienten wurden weitere Probekörper mit den Abmessungen 100 x 100 x 40 mm³ hergestellt, die an der Unterseite und an den 4 Seitenflächen mit einer wasserdampfdichten Beschichtung versehen wurden und somit nur über die 100 x 100 mm² große Oberfläche austrocknen konnten, um das Austrocknungsverhalten von Estrichen in der Praxis zu simulieren.

Die Probekörper wiesen nach Herstellung eine Dicke von rund 42 mm auf. Sie wurden nach 3 bzw. 7 Tagen gespalten und der mittlere Feuchtegehalt der einzelnen Schichten durch Trocknung über Silicagel bei 40°C gravimetrisch

bestimmt. Die Ergebnisse sind als volle Symbole in Bild 4 dargestellt. Die Feuchte nimmt in den ersten 3 Tagen auf ca. 90 kg/m^3 ab. Dabei bildet sich im Estrich nur ein geringer Feuchtegradient aus. Bis zum 7. Tag nimmt der Feuchtegehalt auf ca. 50 kg/m^3 ab, wobei sich noch immer nur ein geringer Feuchtegradient über die Tiefe ausgebildet hat.

3.4 Zeit- und tiefenabhängige Bestimmung der Feuchteverteilung mit der Multi-Ring-Elektrode

Zur Ermittlung der zeit- und tiefenabhängigen Feuchteverteilung im Estrich wurden Multi-Ring-Elektroden (MRE) in die zuvor beschriebenen Estrichkleinflächen eingesetzt. Der MRE-Sensor besteht aus mehreren Edelstahlringen, die durch Zwischenringe aus Kunststoff in genau definiertem Abstand gehalten werden, siehe Bild 5. Die Dicke der Edelstahl- und der Kunststoffringe beträgt 2,5 mm bei einem Durchmesser von ca. 20 mm. An die Ringe angelötete und durch das Innere der Elektrode nach außen geführte Kabel erlauben die kontinuierliche Messung der Widerstände des Estrichs zwischen jeweils 2 benachbarten Stahlringen. Damit können im Abstand von 5 mm Messwerte zwischen der Ober- und der Unterseite des Estrichs bestimmt werden. Die Messung der Widerstände erfolgt über Wechselstrommessung mit einem Messbereich bis zu 2 Mega-Ohm. Die gemessenen Widerstände verhalten sich dabei umgekehrt proportional zu den vorhandenen Feuchten im Estrich.

In Bild 6 ist die zeitliche Entwicklung der Widerstände in unterschiedlichen Tiefen von der Oberfläche dargestellt. Bis zum 6. Tag nehmen alle Widerstände unabhängig von der Tiefe gleichmäßig zu. Es bildet sich nur ein geringer Gradient über die Tiefe aus. Erst ab dem 7. Tag nehmen die Widerstände der ersten 10 mm plötzlich deutlich zu. In größeren Tiefen nehmen die Widerstände später stetig zu.

Das bedeutet, dass Calciumsulfat-Fließestriche in den ersten 7 Tagen sowohl in oberflächennahen Schichten als auch auf der Unterseite praktisch gleichmäßig austrocknen, obwohl die Austrocknung nur zur Oberseite erfolgt.

4 Berechnung

Das Austrocknungsverhalten von Calciumsulfat-Fließestrichen wurde mit den FEM-Programmen WUFI und FEM-Masse rechnerisch simuliert /8/. Die erforderlichen Parameter wurden aus den Untersuchungen von Porenradienverteilungen und -anteile, Dampfdiffusions- und Wasseraufnahmekoeffizienten von /4, 7, 10/ bestimmt.

Der rechnerisch ermittelte Feuchteverlust über die Zeit ist in Bild 3 dargestellt. Laborversuch und Berechnung stimmen gut überein. Sowohl der zeitliche Verlauf

als auch die auffällige Teilung in 2 unterschiedliche Austrocknungsbereiche können rechnerisch dargestellt werden.

In Bild 4 sind die rechnerisch ermittelten Gradienten als gestrichelte Linien dargestellt. Auch hier stimmen Laborversuch und Berechnung sehr gut überein und belegen, dass Calciumsulfat-Fließestriche in den ersten 7 Tagen ohne deutliche Gradienten über die Estrichdicke austrocknen, obwohl die Austrocknung nur zur Oberseite erfolgt.

Dies lässt sich durch die sehr gute kapillare Weiterleitung im Porensystem der Calciumsulfat-Fließestriche erklären. In Bild 8 ist der zuvor in Bild 3 dargestellte Masseverlust [kg] über die Zeit als Austrocknungsgeschwindigkeit [$\text{g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$] über die Zeit dargestellt. Unmittelbar nach der Herstellung ist die Austrocknungsgeschwindigkeit sehr hoch (ca. $90 \text{ g}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$), da der Estrich noch flüssig ist und die Verdunstung von der freien Wasseroberfläche auf der gesamten Probekörperoberfläche stattfindet (Phase 1, Bild 8).

Nachdem die Flüssigkeit an der Oberfläche verdunstet ist, trocknet die Oberfläche ab und für den Wassertransport und als Verdunstungsfläche steht nur noch der deutlich kleinere Querschnitt des Porenraums zur Verfügung. Ab diesem Zeitpunkt wird das Wasser durch kapillare Zugkräfte aus dem Innern an die Oberfläche transportiert. Die Übergangsschicht behindert den Feuchtetransport von der Oberfläche in die Umgebungsluft. So lange die Transportleistung der Übergangsschicht geringer ist als der kapillare Transport aus dem Innern an die Oberfläche, nimmt die Trocknungsgeschwindigkeit nur langsam ab und bleibt auf relativ hohem Niveau, da mit zunehmender Austrocknung immer kleinere Poren mit langsamerer Weiterverteilung den Wassertransport von innen nach außen bestimmen. Die Leistungsfähigkeit der Weiterverteilung entscheidet darüber, wie stark der Feuchtegradient im Innern des Estrichs ausgebildet wird, (Phase 2, Bild 8).

Nach ca. 7 Tagen ist im Innern des Estrichs die Trocknung so weit fortgeschritten, dass der kapillare Wassertransport nicht mehr aufrecht erhalten werden kann. Die Verdunstungsfront wandert von der Oberfläche in das Innere des Estrichs hinein, (Phase 3, Bild 8). In der oberflächennahen Schicht des Estrichs muss der Transport jetzt durch Dampfdiffusion im Porenraum erfolgen. Durch den Wechsel der Transportmechanismen kommt es zu einer deutlichen Abnahme des Feuchteverlustes. Da der Diffusionswiderstand im Porenraum deutlich größer ist als der der Übergangsschicht, beeinflusst die Dicke der Übergangsschicht die Austrocknung nur noch unwesentlich. Der Feuchteverlust nimmt im weiteren Verlauf ständig ab. Zum einen nimmt bei fortschreitender Austrocknung der oberflächennahen Schichten die Transportstrecke, die über Dampfdiffusion überwunden werden muss stetig zu, zum anderen nehmen die treibenden Kräfte,

der Partialdruckunterschied zwischen Prüfkörperinnern und –oberfläche ab. Der Prüfkörper trocknet so lange, bis im Innern des Estrich die gleiche relative Feuchte wie in der Umgebungsluft erreicht ist.

Das Austrocknungsverhalten der Calciumsulfat-Fließestriche wird damit in den ersten Tagen, in denen der kapillare Transport aktiv ist, maßgeblich von der Übergangschicht beeinflusst.

5 Praxisversuche

In praxisnahen Versuchen /9/ wurde der Einfluss der Übergangsschicht bestätigt. Hierzu wurden zwei Calciumsulfat-Fließestrich-Flächen in einer Größe von $3,00 \times 4,00 \text{ m}^2$ mit einer Estrichdicke von rund 35 mm hergestellt. Die Estrichflächen wurden jeweils ca. 2,50 m hoch in Folie eingehaust, um übliche Räume zu simulieren. Ein Luftaustausch mit der Umgebung wurde hierdurch verhindert. In beiden Räumen wurde nach einem Tag ein Kondenstrockner aufgestellt. Raum A) wurde ohne jegliche Ventilation getrocknet. In Raum B) wurden zusätzlich zum Kondenstrockner Ventilatoren zur Luftumwälzung aufgestellt.

Die Versuchsergebnisse dieser Praxismessungen sind in Bild 7 als Messpunkte dargestellt. Die mittleren Feuchtegehalte der Estriche wurde im Versuch über die CM-Methode bestimmt.

In Bild 7 sind als durchgezogenen Linien die Ergebnisse der numerischen Berechnung dargestellt. Bei der Berechnung wurden die stehende Luft im Raum A) durch eine Übergangsschicht mit einer Dicke von 50 mm und die Ventilation im Raum B) durch eine Übergangsschicht mit einer Dicke von 5 mm berücksichtigt.

Die Versuchsergebnisse stimmen mit den numerisch bestimmten Ergebnissen gut überein und bestätigen den Einfluss der Ventilation auf die Übergangsschicht und auf das Austrocknungsverhalten von Calciumsulfat-Fließestrichen.

6 Zusammenfassung

Anhand zahlreicher Versuche und rechnerischer Simulation konnte gezeigt werden, dass der Feuchtetransport in Calciumsulfat-Fließestrichen durch die beiden Transportvorgänge kapillare Weiterleitung und Dampfdiffusion zutreffend beschrieben werden kann. Durch die ausgeprägte kapillare Weiterleitung kommt der Übergangsschicht in den ersten Tagen eine entscheidende Bedeutung zu. Daher ist in den ersten Tagen der Trocknung die Ventilation von großer Bedeutung für die Austrocknungsgeschwindigkeit. Im späteren Verlauf ist bei isothermen Verhältnissen die relative Feuchte der Umgebungsluft entscheidend.

7 Literatur

- 1 IndustrieGruppeEstrichstoffe im Bundesverband der Gips- und Gipsbauplattenindustrie e.V., Birkenweg 13, 64295 Darmstadt
- 2 Industrieverband Werk trockenmörtel e.V., Düsseldorfer Str. 50, 47051 Duisburg
- 3 DIN 52620, Ausgabe: 1991 – 04; Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung des Bezugsfeuchtegehalts von Baustoffen; Ausgleichsfeuchtegehalt bei 23°C und 80 % relative Luftfeuchte
- 4 Institut für Bauforschung Aachen, ibac: Bestimmung mechanischer und feuchtetechnischer Kennwerte von Estrichen auf Calciumsulfatbasis, Prüfung der Estriche E2, E3-2, E4, E5 und E6; Prüfbericht A 3058/1
- 5 DIN 52615, Ausgabe: 1987 – 11; Wärmeschutztechnische Prüfungen; Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Bau- und Dämmstoffen
- 6 Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme – und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation, Stuttgart, 1994
- 7 Institut für Bauforschung Aachen, ibac: Feuchtetechnische Kennwerte, Verformungs- und Austrocknungsverhalten von Fließestrichen auf Calciumsulfatbasis; Prüfbericht A 3228/1, noch nicht veröffentlicht
- 8 Kiehl, K.: Kapillarer und dampfförmiger Feuchttransport in mehrschichtigen Bauteilen – Rechnerische Erfassung und bauphysikalische Anwendung. Dissertation, Essen, 1983
- 9 Gebr. Knauf, Westdeutsche Gipswerke, Laborbericht, noch nicht veröffentlicht
- 10 Schießl, P.; Wiegrink, K.-H.: Austrocknungs- und Verformungsverhalten von Calciumsulfat-Fließestrichen - Bestimmung der Materialeigenschaften und rechnerische Simulation, gutachterliche Stellungnahme B 2210
- 11 Oberbeck, N.: Instationärer Wärme-Feuchte-Schadstoff-Transport in Beton Theorie und Berechnung, Dissertation, Braunschweig, 1995
- 12 DIN 52617, Ausgabe: 1987-5; Bestimmung des Wasseraufnahmekoeffizienten von Baustoffen
- 13 Krus, M.: Feuchtetransport- und Speicherkoeffizienten poröser mineralischer Baustoffe. Theoretische Grundlage und neue Meßtechniken. Dissertation Universität Stuttgart 1995, Lehrstuhl für konstruktive Bauphysik

8 Tabellenanhang

9 Bildanhang

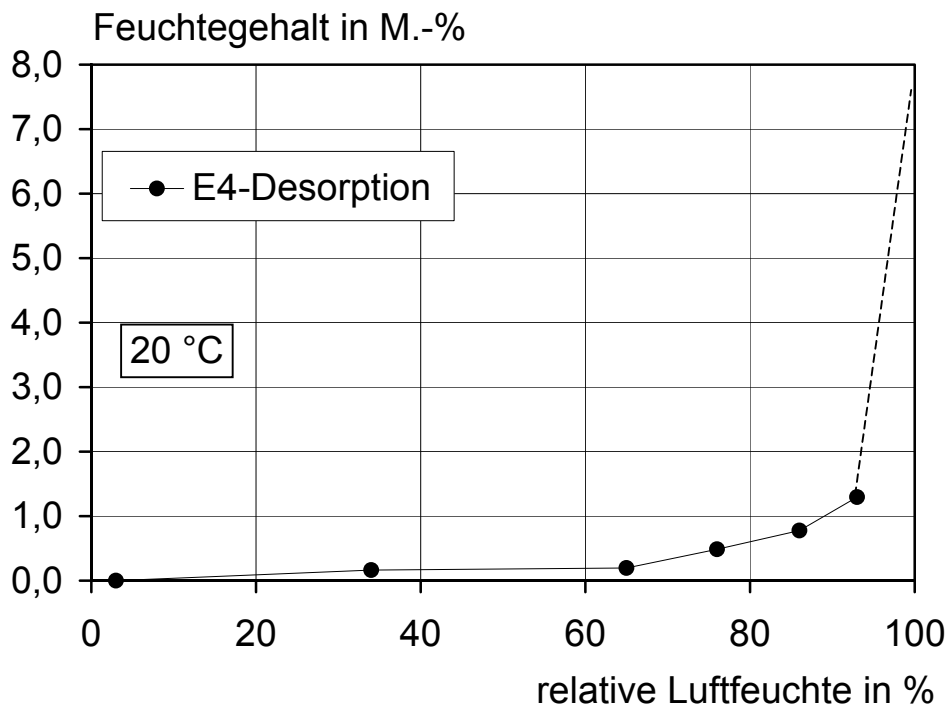


Bild 1: Sorptionsisotherme von Calciumsulfat-Fließestrich /4/

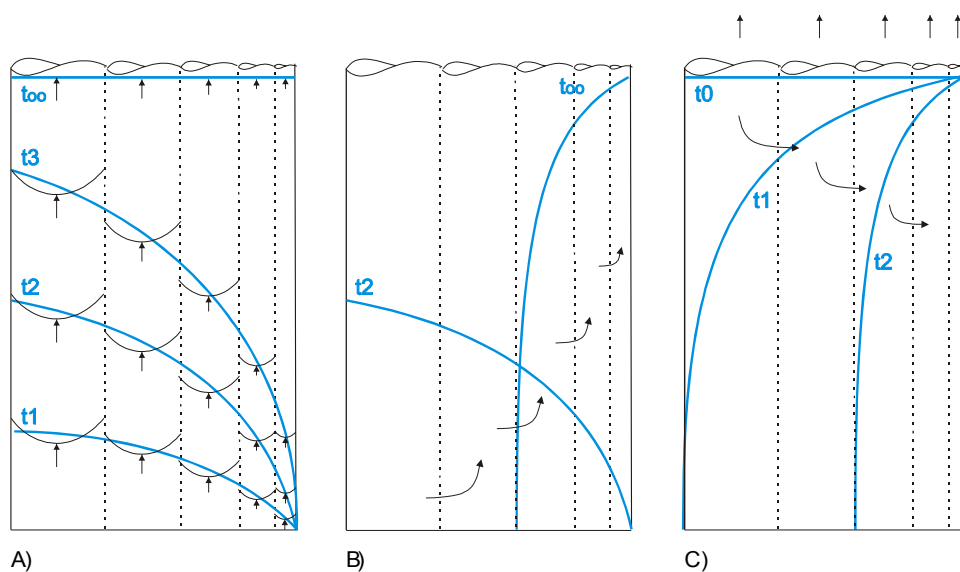


Bild 2: Schematische Darstellung des kapillaren Wassertransports bei miteinander verbundenen Kapillaren A) normales Saugen, B) Weiterverteilung nach Unterbrechung, C) Weiterverteilung bei Austrocknung nach vollständiger Wassersättigung, nach /13/

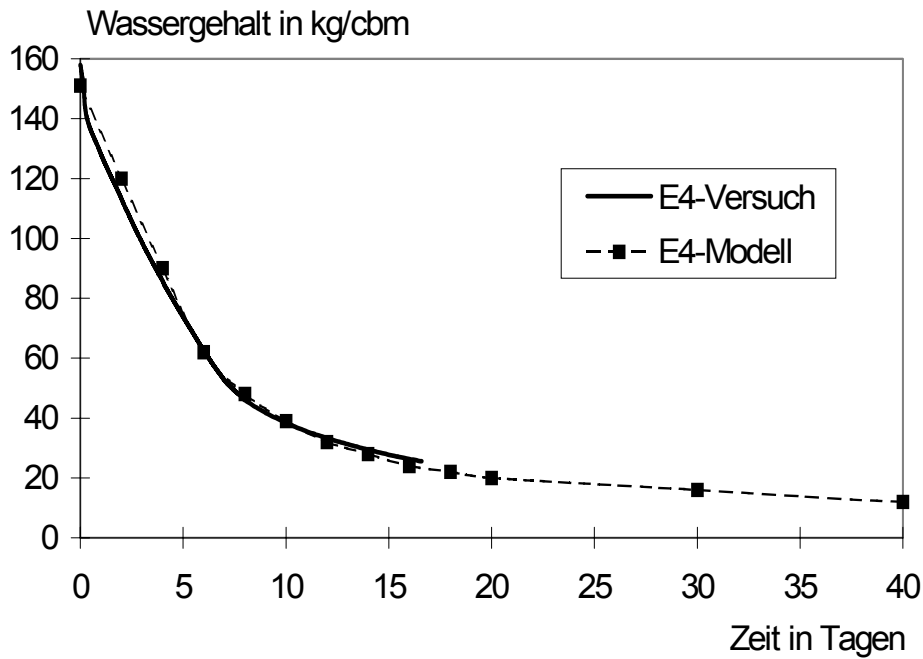


Bild 3: Masseverlust durch Austrocknung im Laborklima 20°C/65 % r.F. von Estrichkleinflächen und Ergebnisse der FEM-Berechnung

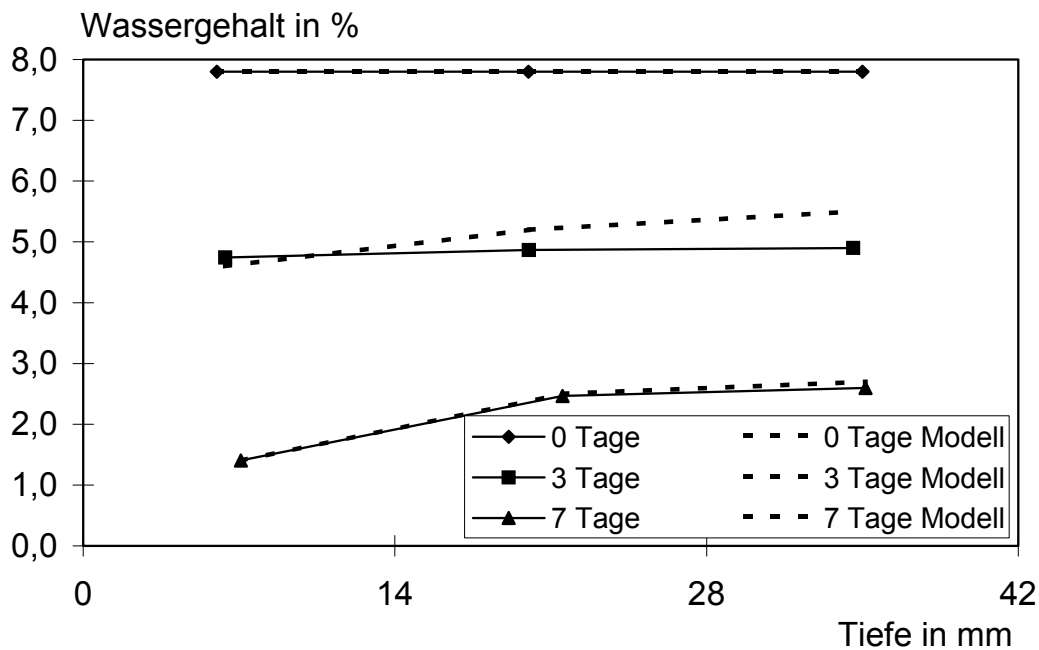


Bild 4: Gravimetrisch bestimmte Feuchtegradienten für 42 mm dicke Probekörper und berechnete Feuchtegradienten

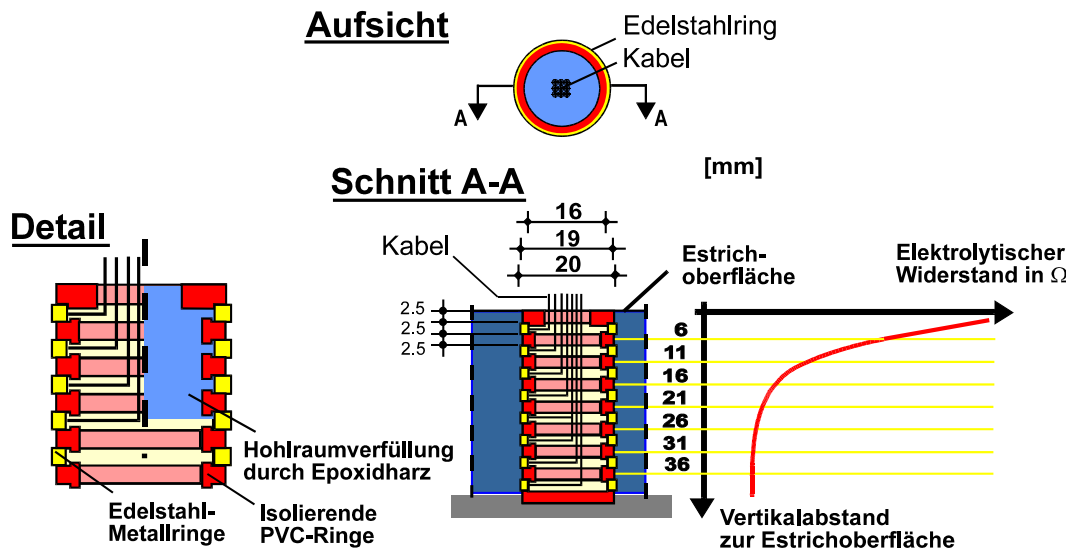


Bild 5: Aufbau der Multi-Ring-Elektrode und Messprinzip

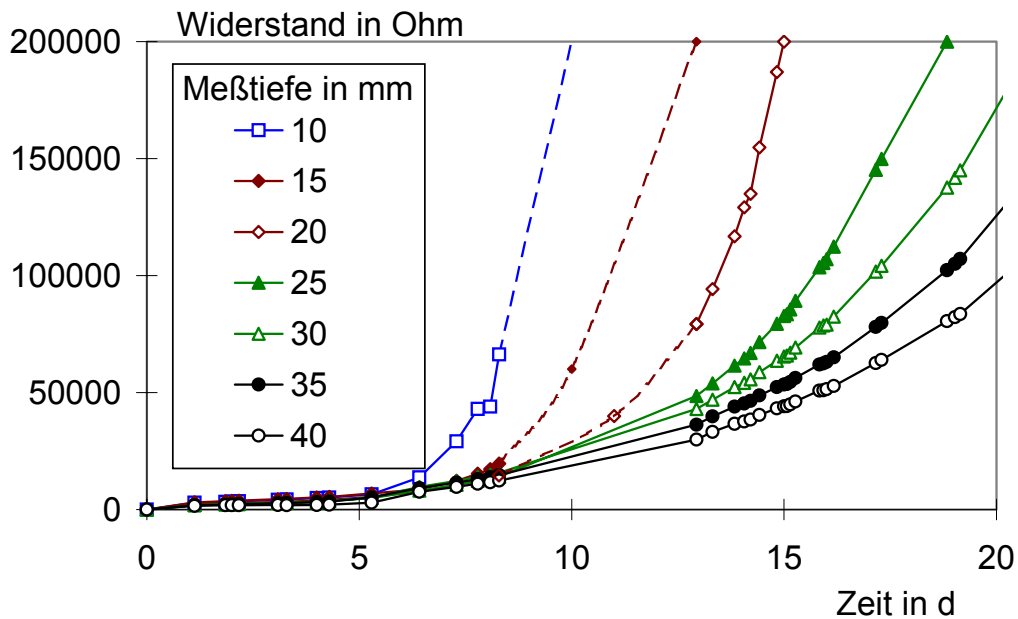


Bild 6: Ergebnisse der MRE-Messung bei Austrocknung im Laborklima 20°C/65 % r.F. von Estrichkleinflächen 30 x 30 x 4 cm³ über die Zeit nach Herstellung

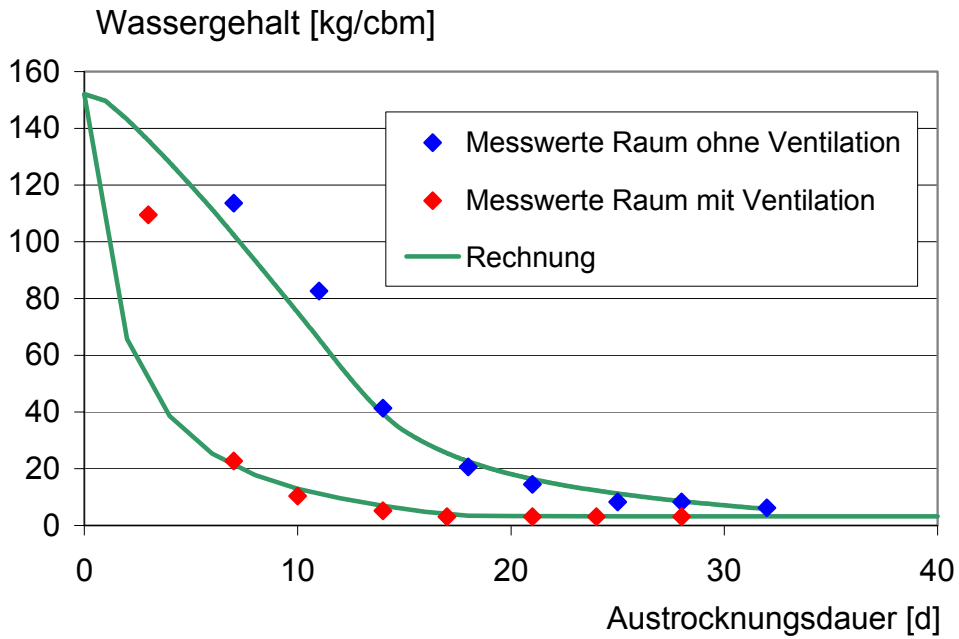


Bild 7: Masseverlust durch Austrocknung von Estrichflächen $300 \times 400 \times 3,5 \text{ cm}^3$ und Einfluss der Ventilation, Vergleich Praxisversuch und FEM-Berechnung

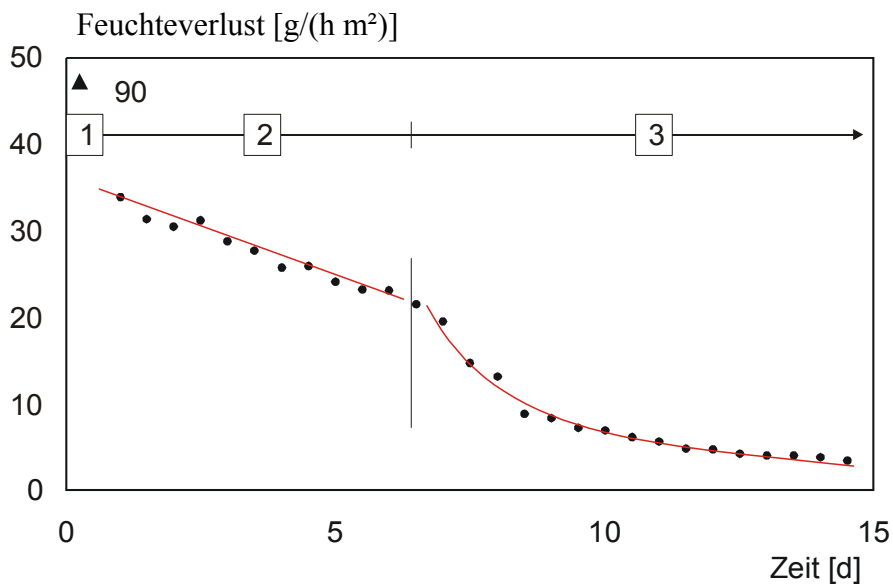


Bild 8: Feuchteverlust bei Austrocknung im Laborklima $20^\circ\text{C}/65\% \text{ r.F.}$ von Estrichkleinflächen und schematische Darstellung der Transportvorgänge