

Austrocknungsverhalten von Calciumsulfat-Fliessestrichen

Text und Bilder Hansjörg Epple*

In applica 19/2005, Seite 16, wurden die Vorzüge der Calciumsulfat-Fliessestriche dargestellt und einige elementare Bedingungen genannt, die zum Gelingen eines einwandfreien Werks notwendig sind. Eine der Bedingungen ist die schnelle, gezielte und garantierte Trocknung. Der vorliegende Beitrag erläutert die Voraussetzungen dafür.

Schwimmende Estriche (früher: Unterlagsböden) werden auf Folien oder auf Wärme- und Trittschalldämmungen verlegt. Sie bilden eine ebene Unterlage zur Aufnahme eines Bodenbelags. Damit dieser schadenfrei verlegt werden kann, muss der Estrich ausreichend trocken sein.

Im Fall von Calciumsulfat-Fliessestrichen (Bild 1) legt die Norm SIA 253 die maximal zulässigen Feuchtigkeitsgehalte fest, die zum Verlegen von Bodenbelägen erreicht sein müssen:

- Ohne Bodenheizung: $\leq 0,5$ Masse-%
- Mit Bodenheizungen: $\leq 0,3$ Masse-%

* Tecnotest AG, 8803 Rüslikon



1 Calciumsulfat-Fliessestriche sind zwar schnell verlegt, erfordern aber viel Fachwissen und eine sorgfältige Planung.

Der Feuchtigkeitsgehalt muss an einer repräsentativen Probe über die gesamte Dicke des Estrichs mit Hilfe der CM-Methode¹ gemessen werden (Bild 2). Er lässt sich aber auch durch Darren² bei einer Temperatur von 40 °C bestimmen. Bei Calciumsulfatestrichen entspricht die Darrfeuchte der CM-Feuchte.

Wird der vorgeschriebene Feuchtigkeitsgehalt überschritten, können Bauschäden entstehen, deren Behebung recht kostspielig sein kann (Bild 3). Auch ist festzuhalten, dass sich Calciumsulfatestriche nicht für Nassräume eignen (Bild 4).

In den Werkverträgen werden immer häufiger kurze Trocknungszeiten vorgegeben. Damit der Unternehmer diese garantieren kann, müssen nach dem Einbau bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Diese kann der Unternehmer jedoch meist nicht direkt beeinflussen. Umso wichtiger ist, dass er den Besteller oder dessen Hilfsperson rechtzeitig über die erforderlichen Randbedingungen nach dem Einbau des Estrichs genauestens informiert und bereits vor Beginn der Arbeiten dafür besorgt ist, dass die verlangten Voraussetzungen gegeben sind und umgesetzt werden. Wenn der Estrich für die zeitgerechte Trocknung auch beheizt werden muss, ist dies im Werkvertrag anzugeben.

¹ Bei der CM-Methode wird eine Materialprobe in einer Druckflasche mit Calciumcarbid in Kontakt gebracht. Dieses reagiert mit der Feuchtigkeit der Estrichprobe, und es entsteht Acetylen gas. Der Druck des Gases ist ein Mass für den Feuchtegehalt.

² Beim Darren wird eine bestimmte Probe solange getrocknet, bis sich kein Gewichtsverlust mehr einstellt.



2 Der Druck des in einer Stahlflasche entwickelten Azetylgases ist bei der CM-Feuchtemessmethode ein Maß für die Feuchtigkeit der vermessenen Materialprobe.



3 Wird ein Bodenbelag auf einem ungenügend ausgetrockneten Estrich verlegt, können teure Bauschäden eintreten wie hier dieses schüsselnde Parkett.

Der Unternehmer wird immer häufiger verpflichtet, den Trocknungsprozess zu begleiten und den Estrich zur vorgegebenen Zeit ausreichend trocken dem Folgeunternehmer zu übergeben. Für diesen Fall müssen der zulässige Feuchtigkeitsgehalt und auch die Messmethode vereinbart sein.

Austrocknungsverhalten des Calciumsulfat-Fliessestrichs

Jeder mineralische Baustoff weist in Abhängigkeit zur relativen Feuchtigkeit der ihn umgebenden Luft eine bestimmte Gleichgewichts- oder Ausgleichsfeuchte auf. Er gilt als trocken, wenn er die Gleichgewichtsfeuchte bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65% erreicht hat und kein Wasser mehr an die Umgebungsluft abgibt.

Die Gleichgewichtsfeuchte ist bei allen mineralischen Baustoffen abhängig von der Porenstruktur. Sie nimmt mit zunehmendem Anteil feiner Poren mit einem Radius kleiner als $0,1 \mu\text{m}$ zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass das Wasser in den sehr feinen Poren (auch Gelporen genannt) unter normalen Luftbedingungen physikalisch gebunden bleibt und deshalb nicht sehr mobil ist. Es lässt sich erst bei hohen Temperaturen von etwa 100°C aus dem Baustoff austreiben. In den Poren über $0,1 \mu\text{m}$ ist das Wasser hingegen beweglich. Dort finden dann auch die für die Wasseraufnahme und die Trock-

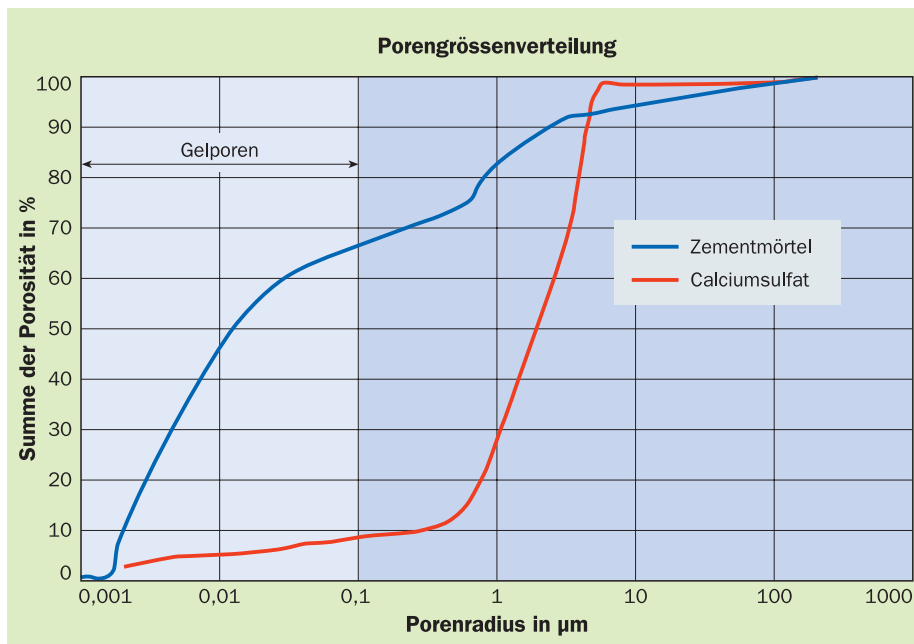
nung des Baustoffs wesentlichen Transporte sowie auch Diffusionsprozesse statt.

Die Gleichgewichtsfeuchte liegt bei einem Calciumsulfatmörtel unter 0,3 Masse-%. Dagegen beträgt sie beim Zementmörtel etwa 2,5–3,5 Masse-% (bestimmt durch Darren bei einer Temperatur von 105°C). Aus Bild 5 ist ersichtlich, dass beim Zementmörtel der Porenanteil unter einem Radius von $0,1 \mu\text{m}$ – entsprechend der höheren Ausgleichsfeuchte – über 60% ausmacht. Beim Calciumsulfatmörtel liegt dieser Porenanteil bei lediglich etwa 10%.

Die Ausgleichsfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der relativen Luftfeuchtigkeit



4 Calciumsulfat-Fliessestriche sind ungeeignet für Nassräume. Bei dieser Betriebsküche löste sich der Plattenbelag infolge Durchnässung des Calciumsulfat-Fliessestrichs grossflächig ab.



5 Summenkurve der Porosität in Abhängigkeit der Porenradien. Zementmörtel hat viel mehr feine Poren als Calciumsulfatmörtel.

zeigt Bild 6. Dort ist aus dem Verlauf der Sorptionskurven ersichtlich, dass sich die Ausgleichsfeuchtigkeit beim Calciumsulfatmörtel zwischen 30% und 80% verhältnismässig wenig verändert. Dies bedeutet, dass in den Poren des Calciumsulfatmörtels nur wenig Wasser durch Adsorption und Kapillarkondensation gespeichert wird.

Die Porenstruktur im Calciumsulfatmörtel ist für eine schnelle kapillare Austrocknung zwischen 30% und 70% relativer Raumluftfeuchtigkeit günstig. In der kapillaren Austrocknungsphase lässt sich deshalb die Trocknung ganz erheblich beschleunigen.

Die Porenstruktur ist bei allen Calciumsulfat-Fliessestrichen weitgehend gleich und gilt grundsätzlich für alle auf dem Markt angebotenen Calciumsulfate aus

- Natur-Anhydrit
- synthetischem Anhydrit
- thermischem Anhydrit
- Alpha-Halbhydrat

und deren Abmischungen. Der Gesamtwassergehalt kann zwischen den einzelnen Estrichmischungen in Abhängigkeit der zugemischten Gesteinskornfraktionen deutlich voneinander abweichen. Diese Unterschiede äussern sich vorwiegend im Festigkeits- und Verformungsverhalten der Estriche. Sie beein-

flussen die Möglichkeiten für eine zügige Trocknung nur wenig.

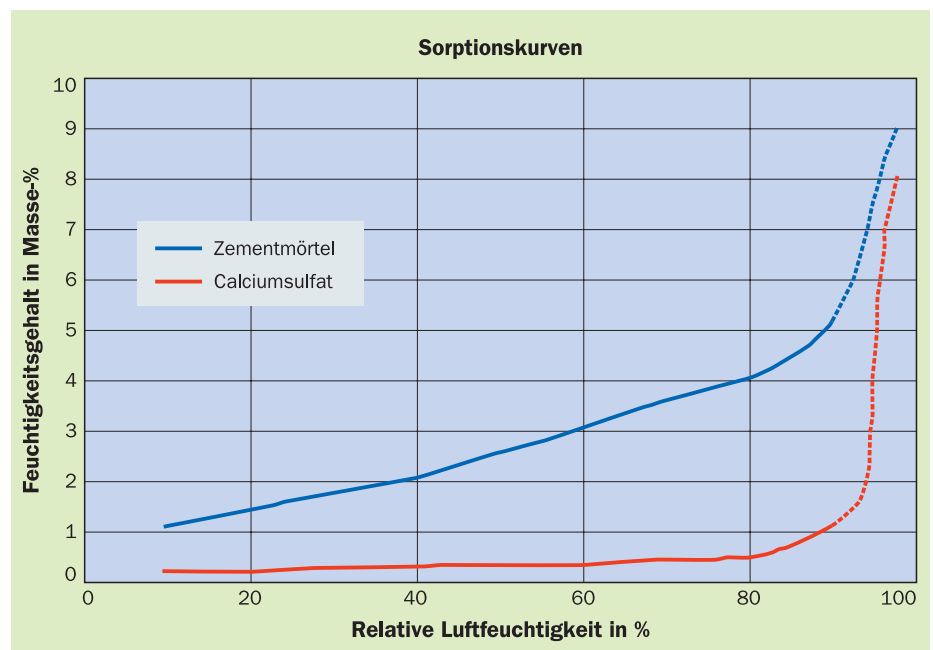
Bei einzelnen Produkten kann sich durch Fließmittel oder andere Verarbeitungshilfen an der Oberfläche eine Schicht ausbilden, welche die Poren verschliesst. Bei diesen Systemen muss die erhärtete Oberfläche geschliffen werden, um die kapillare Austrocknung in Schwung zu halten.

Trocknungsphasen des Calciumsulfat-Fliessestrichs

Es lassen sich grundsätzlich drei wesentliche Trocknungsphasen unterscheiden:

- Phase 1: Trocknung durch Kapillarrowassertransport
- Phase 2: Übergang vom Kapillarrowassertransport zur Diffusion
- Phase 3: Trocknung durch reine Diffusion unter der Oberfläche

In Phase 1 wird die Trocknungsgeschwindigkeit vorwiegend durch die Verdunstungsleistung an der Oberfläche bestimmt. Während der ersten Stunden ist die Oberfläche noch mit einem Wasserfilm bedeckt. Die Kapillarporen sind bis an die Oberfläche mit Wasser gefüllt und sorgen für einen schnellen Feuchtigkeitnachschieb. Nachdem der Wasserfilm an der Oberfläche verdunstet



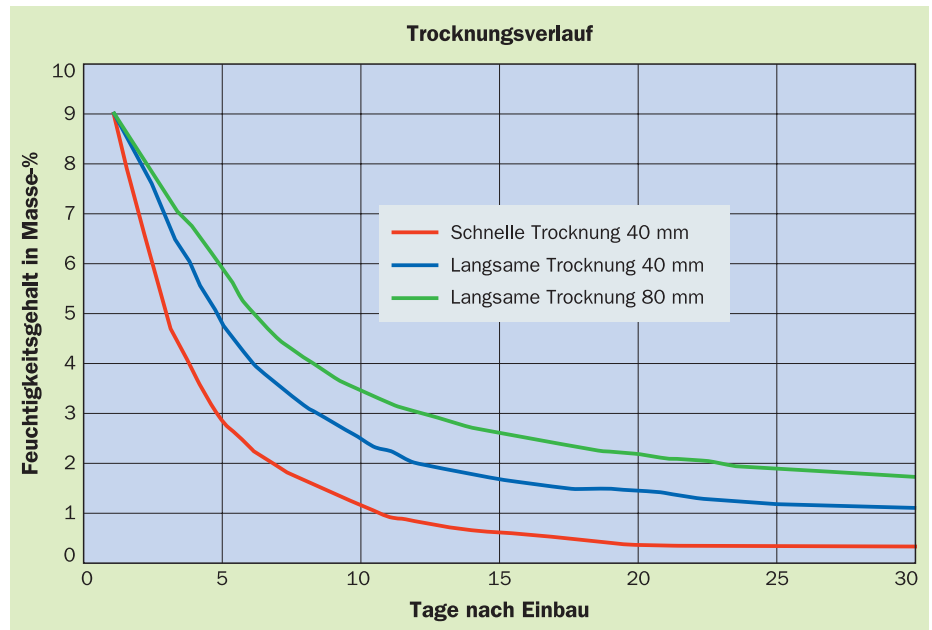
6 Die Sorptionskurven zeigen an, welche Ausgleichsfeuchtigkeit der Baustoff bei einer bestimmten relativen Luftfeuchtigkeit aufweist.

ist, verlangsamt sich die Trocknungsgeschwindigkeit, bleibt aber recht stabil, bis die grossen Poren kein Wasser aus dem Untergrund mehr hochtransportieren. Damit der schnelle kapillare Feuchtigkeitstransport funktioniert, müssen die Poren an der Oberfläche offen bleiben. Sie dürfen nicht durch Salzausscheidungen verstopfen.

In Phase 2 geht der Kapillarwasser-nachschub stark zurück. Vor allem die grossen Poren, welche die grösste Transportleistung aufweisen, sind nun «trocken». Die feinen Poren versorgen die Oberfläche anfänglich nach wie vor mit Wasser aus den tieferen Schichten. Da die Transportleistung der zunehmend feineren Poren wesentlich kleiner ist als die der grösseren, verlangsamt sich die Trocknung allmählich. Nach der kapillaren Phase hat der Calciumsulfatestrich einen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 2 Masse-% erreicht.

In Phase 3 sind die Oberfläche und die obersten Schichten des Calciumsulfatestrichs ausgetrocknet. Die weitere Trocknung der tieferen Schichten wird allmählich nur noch via Diffusion über die grossen Poren bestimmt. Die Trocknungsleistung ist nun vor allem vom Wasserdampfdruckgefälle sowie von der Dicke und Dichte der trockenen Oberflächenschicht abhängig.

Bild 7 zeigt das Austrocknungsverhalten eines 40 mm dicken Calciumsulfat-Fliessestrichs unter schneller und langsamer Trocknung. Vor allem in der ersten Trockenphase ist durch optimale Bedingungen eine sehr effiziente und schnelle Trocknung möglich. In den Phasen 2 und 3 lässt sich die Trocknungsgeschwindigkeit weniger stark beeinflussen. Defizite in der Trocknung während der Phase 1 können daher in



7 Schnelle und langsame Trocknung eines 40 mm und eines 80 mm dicken Calciumsulfat-Fliessestrichs. Für die Trocknung bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von etwa 2 Masse-% sind kapillare Feuchtetransporte hauptverantwortlich.

den Phasen 2 und 3 nicht mehr aufgeholt werden.

Eine schnelle Trocknung wird erreicht, wenn die Oberfläche sehr gut belüftet ist. Neben einer regelmässigen Stosslüftung sind im Raum Ventilatoren zu postieren, die für eine hohe Luftbewegung während der Trocknungsphasen 1 und 2 sorgen. Während der Trocknungsphase 3 kann die Trocknung nur noch durch eine Beheizung des Estrichs massgeblich beschleunigt werden. Damit wird die Wasserdampfdruckdifferenz zur Raumluft erheblich erhöht.

Einfluss der Dicke des Calciumsulfat-Fliessestrichs

Die Trocknungsdauer nimmt mit zunehmender Dicke des Calciumsulfat-Fliessestrichs überproportional zu. In Phase 1, in der die Trocknungsgeschwindigkeit

in erster Linie durch die Verdunstungsleistung an der Oberfläche bestimmt wird, nimmt die Trocknungsdauer noch linear zur Estrichdicke zu. Das heisst, in Phase 1 verdoppelt sich die Trocknungsdauer bei einem doppelt so dicken Estrich, wie aus dem Kurvenverlauf in Bild 7 ersichtlich ist. In den Phasen 2 und 3, in denen die Trocknung vorwiegend über die Diffusion stattfindet, nimmt die Trocknungsdauer hingegen etwa quadratisch zu. Die Dauer der Trocknung vervierfacht sich deshalb bei einer Verdoppelung der Estrichdicke.

Wegen der doch deutlichen Zunahme der notwendigen Trocknungszeit sind die Estrichdicken möglichst gering zu halten. Zudem dürfen die Estrichdicken nicht allzu stark schwanken, wenn eine gleichmässige Trocknung erreicht werden soll. Einzuhalten sind die

in Tabelle 1 genannten Minimal- und Maximaldicken. Dazu muss der Untergrund entsprechend eben ausgeführt sein. Die zugehörigen Anforderungen für neue Betondecken sind in der Empfehlung SIA V414/10 festgehalten:

- Die zulässigen Toleranzen für waagrechte Flächen *über eine gebundene Messdistanz* vom höchsten zum tiefsten Punkt (z.B. über die Raumdiagonale) für flächenfertigen Beton bzw. als Unterlage für Dämmungen finden sich in Tabelle 2. Bei weit gespannten Decken lassen sich diese Anforderungen wegen der Durchbiegung häufig nicht einhalten. Zu grosse Durchbiegungen müssen deshalb vor dem Verlegen der Dämmschichten ausgeglichen werden.
- Bei einer Messung mit einer 2 oder 4 m langen Latte an beliebigen Stellen (*ungebundene Messdistanz*) müssen bezüglich der Ebenheit die Toleranzen gemäss Tabelle 3 eingehalten werden. Abweichungen von den Ebenheiten erfordern einen Höhenausgleich der Betonoberfläche. Diese Anforderungen an die Ebenheit muss der Baumeister allerdings nur dann einhalten, wenn sie im Werkvertrag vereinbart sind.

Eine Kontrolle der Ebenheit des Untergrunds ist unabdingbar, wenn eine zeitgerechte Austrocknung gewährleistet werden muss. Ein Ebenheitsausgleich ist in aller Regel billiger als die Mehrkosten für ausserordentliche Trocknungsmassnahmen und allfällige Kosten infolge von Bauverzögerungen. Dasselbe gilt, wenn die Unebenheiten des Untergrunds auf den Estrich übertragen werden und ein unebener Estrich abgeliefert wird. In diesem Fall sind meistens sehr teure Spachtelarbeiten vor dem Verlegen des Belags notwendig.

Empfehlung für den unbeheizten Calciumsulfat-Fliessestrich

In Tabelle 4 sind die voraussichtlichen Trocknungszeiten von Calciumsulfat-Fliessestrichen für übliche Dicken ohne Bodenheizung in Abhängigkeit der Beanspruchungen auf Dämmschichten mit einer Zusammendrückbarkeit von weniger als 3 mm angegeben. Der Estrich ist

belegreif, wenn ein Feuchtigkeitsgehalt von 0,5 Masse-% erreicht wird.

Die angegebenen Trocknungszeiten gelten für relative Luftfeuchtigkeiten zwischen 40% und 60%. Darüber verzögert sich die Trocknung durch Diffusion. Ab relativen Luftfeuchtigkeiten von 70% ist eine geregelte Trocknung nicht mehr möglich. →

**Tabelle 1:
Dicke von Fliessestrichen**

Nenndicke	Minimaldicke	Maximaldicke
40 mm	35 mm	45 mm
45 mm	40 mm	50 mm
50 mm	45 mm	55 mm
55 mm	50 mm	65 mm
60 mm	55 mm	70 mm

**Tabelle 2:
Zulässige Abweichungen zwischen höchstem und tiefstem Punkt für flächenfertigen Beton**

Gebundene Messdistanz					
Messdistanz (m)	bis 2	2-4	4-10	10-20	20-40
Abweichung (mm)	±8	±8	±10	±12	±16

**Tabelle 3:
Zulässige Abweichungen der Ebenheit für flächenfertigen Beton**

Ungebundene Messdistanz					
Messdistanz (m)	bis 0,4	0,4-1	1-2	2-4	4-10
Abweichung (mm)	±5	±6	±8	±10	±12

**Tabelle 4:
Trocknungszeiten ohne Beheizung**

Belastung	Festigkeitsklasse	Nenndicke	Trocknung	
			Mit Ventilatoren	Gute Belüftung
2 kN	CAF-C30-F6	40 mm	25-30 Tage	30-40 Tage
4 kN	CAF-C35-F7	45 mm	30-35 Tage	35-45 Tage

**Tabelle 5:
Trocknungszeiten mit Beheizung**

Belastung	Festigkeitsklasse	Nenndicke	Trocknung	
			Mit Ventilatoren	Gute Belüftung
2 kN	CAF-C35-F7	55 mm	15-25 Tage	30-40 Tage
4 kN	CAF-C35-F7	60 mm	20-30 Tage	35-45 Tage

Die Trocknungsdauer lässt sich mit Hilfe einer provisorischen Beheizung mit Elektrokabeln, die ausschliesslich für den Trocknungsvorgang eingesetzt werden, verkürzen. Die Beheizung erfolgt mit einer Temperatur von 50 °C. Die Heizkabel werden nach dem Trocknungsvorgang wieder abgeschaltet, aber im Estrich belassen. Die Trocknung kann für beschleunigte Estriche bereits nach einem Tag begonnen werden. Damit lassen sich die oben angegebenen Trocknungszeiten um mindestens 15 Tage verkürzen. Die Trocknung durch Einsatz einer Beheizung ist nahezu unabhängig von der relativen Luftfeuchtigkeit. Hingegen muss der Estrich sehr gut belüftet sein.

Empfehlung für den beheizten Calciumsulfat-Fliessestrich

Für Calciumsulfat-Fliessestriche mit Bodenheizung sind in Tabelle 5 die voraussichtlichen Trocknungszeiten für übliche Dicken in Abhängigkeit der Beanspruchungen auf Dämmschichten mit einer Zusammendrückbarkeit von weniger als 3 mm angegeben. Der Estrich ist belegreif, wenn ein Feuchtigkeitsgehalt von 0,3 Masse-% erreicht wird.

Die Bodenheizung wird je nach System 1 bis 5 Tage nach dem Einbau des Estrichs in Betrieb genommen. Eine einwandfreie Trocknung mit Hilfe der Fussbodenheizung ist allerdings nur dann möglich, wenn die Beheizung gleichmässig erfolgen kann. Unbeheizte Bereiche trocknen nicht gleich schnell. Die Trocknungszeiten sind von der relativen Luftfeuchtigkeit nahezu unabhängig im Bereich zwischen 40% und 60%. Eine gute Belüftung ist jedoch ab Beginn der Trocknung vorzusehen.

Kontrolle der Trocknung

Eine gezielte Trocknung muss überwacht werden. Neben der regelmässigen Kontrolle der Belüftung sind bei Bodenheizungen auch die Vorlauftemperaturen periodisch zu überprüfen. Die Ventilatoren sind nach Bedarf umzustellen, damit die Luftbewegung möglichst alle Bereiche des Bodens erfasst. Selbstverständlich ist der Trocknungserfolg nur dann möglich, wenn die Bodenflächen nicht überstellt oder abgedeckt sind.

Der Trocknungsverlauf am Estrich wird mit Hilfe elektronischer Messgeräte verfolgt. Bei 40 mm dicken Calciumsulfat-Fliessestrichen kann mit dielektrischen Messverfahren das Ende der Trocknung gut erfasst werden. Die Trocknungskontrolle erfolgt an einer Materialprobe mit Hilfe der CM-Methode oder durch Darren bei einer Temperatur von 40 °C. In der Regel sollen drei Messungen durchgeführt werden. Der Feuchtigkeitsgehalt muss an einer repräsentativen Probe aus der gesamten Dicke des Estrichs bestimmt werden.

Zusammenfassung

Calciumsulfat-Fliessestriche können gezielt getrocknet werden, wenn die folgenden Voraussetzungen gegeben sind:

- Die Estrichnenndicke ist auf die jeweilige Beanspruchung anzupassen. Die Estrichdicke soll nicht grösser sein als die Nenndicke, die in der Norm SIA 251 (Vernehmlassungsentwurf) für die jeweilige Belastung angegeben ist.
- Der Calciumsulfat-Fliessestrich muss in einer möglichst gleichmässigen Dicke eingebaut werden. Unebene Betonuntergründe müssen vorgängig ausgeglichen werden. Ebenfalls sind

Einsenkungen von grossen Durchbiegungen vor dem Verlegen auszubehalten.

- Während der Trocknung ist für eine sehr gute Belüftung der Räume zu sorgen. Die besten Trocknungserfolge werden erzielt, wenn die Luft mit Hilfe von Ventilatoren bewegt wird. Dies gilt insbesondere für tote Räume und Ecken.
- Für eine gezielte Trocknung ohne Mithilfe der Bodenheizung muss die relative Luftfeuchtigkeit unter 60% liegen.
- Unter Mithilfe der Bodenheizung lassen sich die Trocknungszeiten erheblich verkürzen. Die Heizung muss bei gleichzeitiger Belüftung so früh wie möglich in Betrieb gesetzt werden.
- Die Beheizung muss gleichmässig sein.
- Die Vorlauftemperatur ist wenn immer möglich auf 50 °C einzustellen. Dies gilt für Sommer und Winter. Die gezielte Trocknung mit Bodenheizung erfolgt nahezu unabhängig von der Raumluftfeuchtigkeit.
- Die Trocknung muss regelmässig überwacht und kontrolliert werden. Dazu eignen sich dielektrische Messverfahren.
- Die Schlusskontrolle erfolgt an durchschnittlichen Proben über die gesamte Dicke des Estrichs. Die Feuchtigkeit wird mit Hilfe der CM-Methode oder durch Darren bei einer Temperatur von 40 °C ermittelt.