

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 58-59 (1990-1991)
Heft: 6

Artikel: Der Mischungsentwurf für zementgebundene Unterlagsböden
Autor: Meyer, Bruno
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153745>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 09.02.2026

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

CEMENTBULLETIN

JUNI 1990

JAHRGANG 58

NUMMER 6

Der Mischungsentwurf für zementgebundene Unterlagsböden

Benötigte Materialkennwerte. Stoffraumrechnung. Beispiele und Hinweise.

Wenn in Ausschreibungen gefordert wird, dass der fertig verdichtete Mörtel eines Unterlagsbodens beispielsweise 300 kg/m^3 Zement enthalten soll, so ist damit noch nicht gesagt, wie man eine solche Mischung herstellt. Zuvor ist ein Rezept aufzustellen, das zu diesem gesteckten Ziel führt. Für den Unternehmer geht es dabei aber um weit mehr als nur um den Zementgehalt. Für ihn sind Verarbeitbarkeit und Trocknungsverhalten ebenso wichtig. Zudem muss er eine minimale Festigkeit erreichen.

Die *Mörtelmischung* besteht aus Sand, Zement und Wasser. Allenfalls werden noch Zusätze verwendet. Gesucht sei nun ihr Mengenverhältnis. Die einzelnen Komponenten können entweder nach Masse (durch Wägen) oder nach Volumen (z.B. durch Abmessen in Kistchen oder Schaufeln) dosiert werden. Der Zusammenhang wird bekanntlich über die Stoffraumgleichung hergestellt. Um damit rechnen zu können, braucht man vorerst die einschlägigen Materialkennwerte.

Entscheidend für die Mörtelqualität ist die *Rohdichte* des frisch eingebrachten, verdichteten Mörtels. Dieser Wert wird zwar nicht vorgeschrieben. Die Anforderungen gemäss Norm SIA 251 [1] gehen aber davon aus, dass man für die Belastungskategorie 2 mit

2 einem Mörtel 0/4 mm (Zementdosierung 350 kg/m^3) eine Rohdichte von 2000 kg/m^3 erreichen sollte [2]. In diesem Fall wird man auch die zugehörigen Festigkeitsanforderungen erfüllen können. Es ist allerdings möglich, in Abhängigkeit der Festigkeit auch andere Dosierungen zu wählen, sofern man die Ergebnisse mittels Vorversuchen nachweist, vgl. [1], Art. 4 14 2.

Benötigte Materialkennwerte

Die *Dichte* ist der Quotient aus Masse geteilt durch Volumen. Die Masse ist in diesem Fall kompakt, d. h. ohne jegliche Hohlräume. Bei einem porösen Körper wird die Rohdichte verwendet. Sie ist dessen Masse geteilt durch das beanspruchte Volumen inklusive Hohlräume. Die Rohdichte ist also kleiner als die zugehörige Dichte. Die Schüttdichte wird für Lockermaterial ermittelt und ist der Quotient aus der Masse und jenem Volumen, das die Körner einschliesslich ihrer Hohlräume und die Zwischenräume zwischen den Körnern einnehmen. Die Dichte eines einzelnen Kornes wird als Kornroh-dichte bezeichnet, da die Körner leicht porös sind.

Sand hat eine Kornroh-dichte von $2,6$ bis $2,7 \text{ kg/dm}^3$. Würde es also gelingen, einen Würfel von 1 dm Kantenlänge so mit Sand zu füllen, dass zwischen den Körnern keine Zwischenräume mehr bestünden, so hätte er eine Masse von $2,6$ bis $2,7 \text{ kg}$. In der Praxis lassen sich die Körner aber nur lose schütten und leicht verdichten. Die Schüttdichte von trockenem Sand beträgt etwa $1,6 \text{ kg/dm}^3$. Sehr wichtig ist der Einfluss von Feuchtigkeit und Kornzusammensetzung auf die Schüttdichte, vgl. Abb. 1. Sobald dem trockenen Sand etwas Feuchtigkeit zugegeben wird, nimmt er an Volumen zu, d. h. seine Schüttdichte sinkt. Gibt man dem nassen Sand noch mehr Wasser zu, so steigt seine Schüttdichte wieder an. Die Schüttdichte des nassen Sandes wird also zwischen $1,25$ und $1,50 \text{ kg/dm}^3$ schwanken.

Weil die Sande unterschiedliche Feinanteile aufweisen, können keine Zahlenwerte von allgemeiner Gültigkeit angegeben werden. Abb. 1 zeigt vier Beispiele. Kurve A ist ein Grubensand, Kurve B ein Brechsand und Kurve C eine Mischung der beiden. Brechsand hat etwas tiefere Schüttdichten als Grubensand. Kurve D ist ein Sand mit hohem Feinanteil. Seine Schüttdichte liegt markant tiefer als jene der gebräuchlicheren Sande.

Bei Unterlagsböden ist auch Sand mit Grösstkorn 8 mm zu empfehlen. Er wird aus den Komponenten $0/4$ und $4/8 \text{ mm}$ hergestellt. Dadurch steigt die Schüttdichte. Abb. 2 zeigt ein Beispiel mit einem

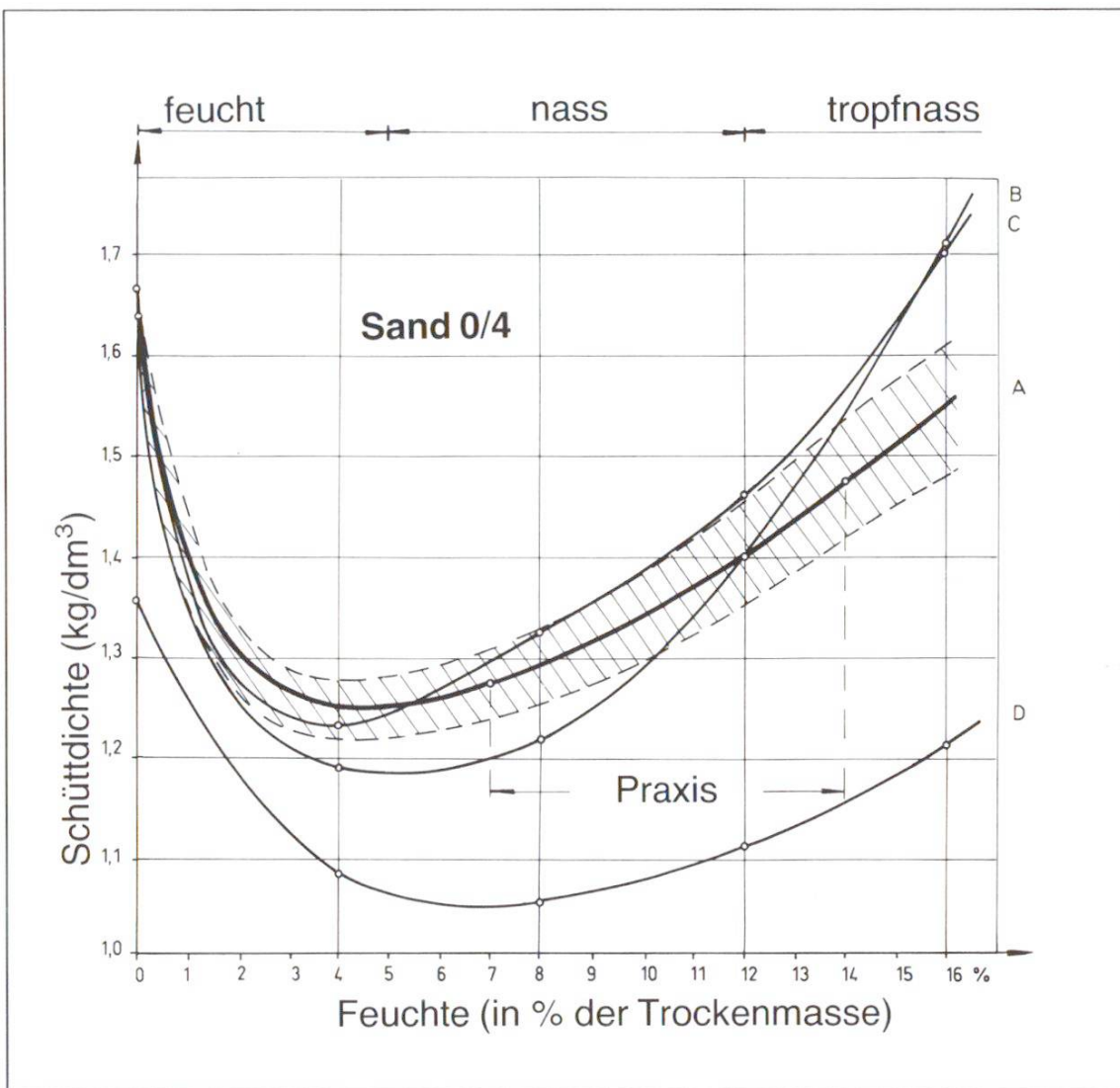


Abb. 1 Einfluss der Feuchte und des Feinanteils auf die Schüttdichte von Sand. Jeder Sand hat eine eigene Kurve mit zugehörigem Streubereich, vgl. Sand A. Der Sand D hat einen wesentlich höheren Feinanteil.

Mengenverhältnis von 70:30%. Verwendet wurde derselbe Sand wie in Kurve A aus Abb. 1. Die Schüttdichten des Sandes 0/8 mm liegen in diesem Fall um etwa 0,1–0,2 kg/dm³ höher als jene des zugehörigen Sandes 0/4 mm.

Zement hat eine Dichte von etwa 3,15 kg/dm³. Dieser Wert gilt für Portlandzement und schwankt sehr wenig. Andere Zementsorten variieren zwischen 2,9 und 3,2 kg/dm³. Die Schüttdichte von PC beträgt im Mittel etwa 1,2 kg/m³. Sie schwankt sehr stark und beträgt je nach Schüttung, Verdichtung, Mahlfineinheit und Lagerung etwa 0,9–1,4 kg/dm³. 1 Sack PC à 50 kg braucht 35–55 Liter Platz.

Die Dichte des Wassers beträgt 1 kg/dm³. Zu beachten ist, dass sich das Anmachwasser als Summe aus Eigenfeuchte plus Zugabewasser errechnet.

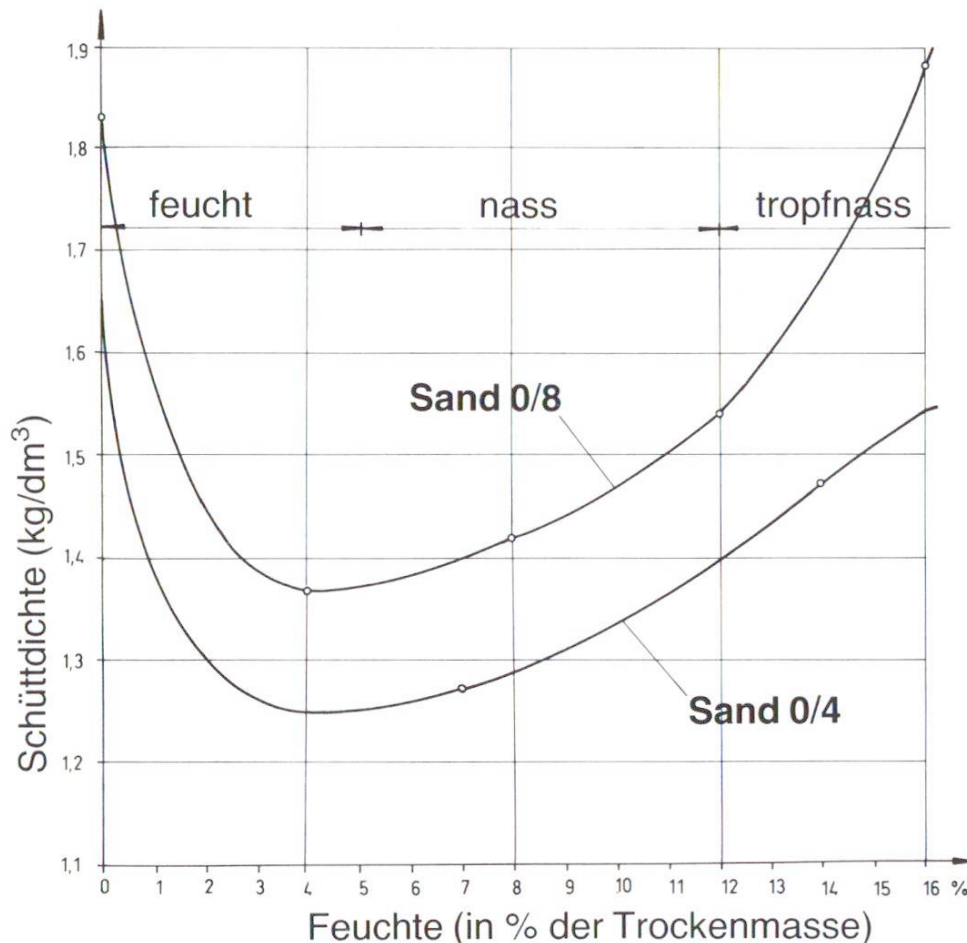


Abb. 2 Einfluss des Grösstkorns und der Feuchte auf die Schüttdichte. Untere Kurve: Sand A aus Abb. 1. Obere Kurve: Mischung aus 70% Sand A (0/4 mm) und 30% Kieskomponente (4/8 mm).

Zusätze werden in Zusatzstoffe und Zusatzmittel unterschieden. Die Zusatzstoffe müssen rechnerisch wie Feinanteile behandelt werden. Ihre Dichte ist bei der Lieferfirma in Erfahrung zu bringen. Die Zusatzmittel werden in so geringen Mengen beigegeben, dass sie in der Stoffraumrechnung nicht zu berücksichtigen sind (Ausnahme: Luftporenbildner, die aber bei Unterlagsböden kaum verwendet werden). Ihre Dosierung ist auf das Bindemittel bezogen und soll gemäss Vorschrift des Herstellers gemacht werden.

Die Stoffraumrechnung

Mit der Stoffraumrechnung ermittelt man die Volumenanteile der einzelnen Komponenten und zwar so, wie sie im Mörtel des fertigen Unterlagsbodens enthalten sein sollen. Grundlage ist die *Stoffraumgleichung*, die der Betontechnologie entnommen ist. Sie lautet:

$$5 \quad \frac{\text{Zement}}{\text{Dichte PC}} + \frac{\text{Wasser}}{\text{Dichte W}} + \frac{\text{Sand}}{\text{Dichte S}} + \frac{\text{Zusätze}}{\text{Dichte Z}} + \frac{\text{Luft}}{\text{Dichte L}} = 1$$

Im Zähler ist angegeben, wieviel Masse der jeweiligen Komponente im fertigen Mörtel enthalten sein soll, z.B. 350 kg PC je m³ Mörtel bzw. je 1000 l Mörtel. Im Nenner steht die zugehörige Dichte. Die Luft hat eine vernachlässigbare Masse und kann direkt als Volumenanteil eingesetzt werden.

In dieser Gleichung sind die einzelnen Größen entweder gegeben, angenommen oder gesucht. Man hat dabei einige Freiheitsgrade, darf aber die Mischung nicht überbestimmen. Die Berechnung wird mit Vorteil in Tabellenform durchgeführt. Drei Beispiele:

Beispiel 1	Gegeben:	Zementdosierung	350 kg/m ³
		Dichte PC	3,15 kg/dm ³
		Dichte Wasser	1,0 kg/dm ³
		Dichte Sand	2,68 kg/dm ³
		Zusätze	keine
	Angenommen:	Wasser (W/Z=0,60)	210 l/m ³
		Luft	170 l/m ³
	Gesucht:	Zugabewasser, Sand 0/4 mm (feucht), Rohdichte (Frischmörtel, verdichtet)	

Die benötigte Menge an Anmachwasser richtet sich nach der gewünschten Konsistenz des Mörtels. Frischmörtel für Unterlagsböden sind erdfeucht. Ihr Mengenverhältnis von Wasser und Zement – ausgedrückt als W/Z-Wert – beträgt etwa 0,60. In Beispiel 1 ist es zu 210:350=0,60 angenommen.

Je nach Verdichtung und Austrocknung beträgt das Porenvolumen eines Frischmörtels 10–25%. Entsprechend sinkt die Festigkeit. In Beispiel 1 ist eine mittlere Verdichtung mit einem Porenvolumen von 17% angenommen, d.h. 170 l Luft je m³ Mörtel, vgl. Tab. 1.

Die Berechnung erfolgt nun so, dass man das Volumen zu 1 ergänzt. Daraus erhält man das benötigte Volumen an Sand (509 l) und kann mit dessen Dichte die benötigte Masse berechnen (1364 kg/m³). Nun addiert man die Massen der einzelnen Komponenten (1924 kg) und erhält daraus die Rohdichte des Mörtels (1,92/dm³). Mit dieser Rohdichte liegt man in einem Bereich, der für Unterlagsböden üblich ist. Je nach Anforderungen (z.B. Belastungskategorie) schwankt die Rohdichte zwischen 1,85 und 2,10 kg/dm³.

6 Tabelle 1 Stoffraumrechnung zu Beispiel 1

Mörtelkomponenten	Dichte kg/l	1 m ³ Frischmörtel, verdichtet	
		Masse kg	Volumen l
Zementdosierung	3,15	350	111
Anmachwasser	1,00	210	210
Luft	–	–	170
Zusätze	–	–	–
Sand (trocken)	2,68	1 364	509
Frishmörtel, verdichtet	1,92	1 924	1 000

Nun soll noch das Schüttvolumen und das Zugabewasser berechnet werden. Hat der Sand z. B. eine Feuchtigkeit von 8% seiner Trockenmasse, so beträgt seine Schüttdichte ca. 1,30 kg/dm³ (Abb. 1). Benötigt wird dann eine Masse von $1364 \times 1,08 = 1473$ kg bzw. ein Schüttvolumen von 1133 Litern. Die Feuchtigkeit von 8% bedeutet, dass in diesem Beispiel bereits $0,08 \times 1364$ kg, d. h. 109 l Wasser im Sand vorhanden sind. Man benötigt also noch $210 - 109 = 101$ l Zugabewasser je m³.

Sobald ein Unterlagsboden stärker verdichtet wird, steigt die Rohdichte, und das Mengenverhältnis ändert sich. Das Porenvolumen wird kleiner, und der Sandbedarf nimmt zu.

Beispiel 2 Gegeben: dieselben Größen wie in Beispiel 1

Angenommen: Wasser (W/Z=0,60) 210 l/m³
Luft 110 l/m³

Gesucht: Zugabewasser, Sand 0/4 mm (feucht),
Rohdichte (Frischmörtel, verdichtet)

Zement- und Wassergehalt seien unverändert, hingegen soll das Porenvolumen nicht mehr 17%, sondern nur noch 11% betragen, d. h. 110 l je m³, vgl. Tab. 2. Entsprechend werden Festigkeit und Rohdichte steigen. Der Rechnungsgang ist gleich wie in Tab. 1. Man benötigt 1525 kg Sand (trocken) und erhält eine Rohdichte von 2,08 kg/dm³.

Hat der Sand wiederum eine Feuchtigkeit von 8%, so braucht es 1647 kg bzw. 1267 l Sand (feucht) und 88 l Zugabewasser. Beispiel 2 braucht also bei gleicher Sandfeuchtigkeit etwas weniger Zugabewasser, aber 12% mehr Sand als Beispiel 1.

7 Tabelle 2 Stoffraumrechnung zu Beispiel 2

Mörtelkomponenten	Dichte kg/l	1 m ³ Frischmörtel, verdichtet	
		Masse kg	Volumen l
Zementdosierung	3,15	350	111
Anmachwasser	1,00	210	210
Luft	–	–	110
Sand (trocken)	2,68	1 525	569
Frischmörtel, verdichtet	2,08	2 085	1 000

Bei größerem Sand kann die Zementdosierung reduziert werden, vgl. Norm SIA 251. Deshalb soll an einem Beispiel die Auswirkung berechnet werden.

Beispiel 3	Gegeben:	Zement	300 kg/m ³
		Dichte PC	3,15 kg/dm ³
		Dichte Wasser	1,0 kg/dm ³
		Dichte Sand	2,68 kg/dm ³
		Zusätze	keine
	Angenommen:	Wasser (W/Z=0,64)	192 l/m ³
		Luft	170 l/m ³
	Gesucht:	Zugabewasser, Sand 0/8 mm (feucht), Rohdichte (Frischmörtel, verdichtet)	

Wegen der Konsistenz wird ein etwas höherer W/Z-Wert angenommen. Man beachte aber, dass die absolute Wassermenge geringer ist als in Beispiel 1 und 2. Tab.3 zeigt den Rechnungsgang. Man benötigt 1455 kg Sand (trocken) und erhält eine Rohdichte von 1,95 kg/dm³.

Liegt der Sand in den Komponenten 0/4 und 4/8 mm vor, so kann man ihn z. B. im Verhältnis von 70:30% mischen. Man benötigt also 1019 kg Sand 0/4 und 436 kg Sand 4/8 (trocken). Der Sand 0/4 habe wiederum eine Feuchtigkeit von 8%, so dass man eine Masse von 1100 kg bzw. ein Schüttvolumen von 845 l benötigt. Die Komponente 4/8 hat nur wenig Feuchtigkeit, da keine Feinanteile vorhanden sind. Bei 2% benötigt man 445 kg oder etwa 275 l. An Wasser ist im Zuschlag vorhanden: $0,08 \times 1019 + 0,02 \times 436 = 82 + 9 = 91$ l. Das Zugabewasser beträgt in diesem Fall noch $192 - 91 = 101$ l je m³.

8 Tabelle 3 Stoffraumrechnung zu Beispiel 3

Mörtelkomponenten	Dichte kg/l	1 m ³ Frischmörtel, verdichtet	
		Masse kg	Volumen l
Zementdosierung	3,15	300	95
Anmachwasser	1,00	192	192
Luft	–	–	170
Sand (trocken) 0/4 70 % 4/8 30 %	2,68	1 019	543
	2,68	436	
Frishmörtel, verdichtet	1,95	1 947	1 000

Kennt man das Schüttgewicht des Sandes 0/8 mm (vgl. Abb. 2), so kann man die erforderliche Sandmenge direkt berechnen. Bei 6% Feuchtigkeit braucht man 1542 kg bzw. 1120 l Sand (feucht) und 105 l Zugabewasser.

Fragen

Frage 1: Wieviel Mörtel kann für einen Unterlagsboden der Kategorie 1 von 60 mm Dicke mit 100 Sack PC à 50 kg hergestellt werden? – Für den Mörtel werde Sand 0/4 verwendet. Vorgeschrieben ist eine minimale Dosierung von 350 kg PC je m³. Die Zementmenge von 100×50 kg reicht für $5000:350=14,3\text{ m}^3$ oder 238 m^2 à 60 mm. Abweichungen würden bedeuten, dass über- oder unterdosiert worden ist.

Frage 2: Wieviel Sand braucht man, um 10 m³ Mörtel (Unterlagsboden, fertig verdichtet) herzustellen? – Eine alte Bauregel sagt, dass man für 10 Liter Mörtel etwa 12 Liter feuchten Sand benötigt. Aufgrund dieser Faustregel lautet die Antwort: 12 m³ Sand. Die obigen drei Beispiele bestätigen diese Regel mit Abweichungen von bis zu 10%. Für grössere Arbeiten sind deshalb genauere Berechnungen notwendig. Sie hängen hauptsächlich von der Verdichtung des Mörtels und vom Feuchtigkeitsgehalt des Sandes ab. Man muss die Stoffraumrechnung durchführen und die Rezepte mit Ergiebigkeitsproben überprüfen und anpassen.

Frage 3: Vorgesehen ist eine Tagesetappe von 100 m² zementgebundenem Unterlagsboden à 65 mm Dicke, Nutzlast 4 kN/m². Die Unterlagsbodenfirma wählt einen Mörtel mit Grösstkorn 8 mm. Die erforderliche Zementdosierung beträgt 350 kg/m³, hergestellt in

9 einem Betonwerk. Wie soll bestellt werden? – Die Menge beträgt $6,5\text{ m}^3$. Ausser Ort, Zeit, Zufahrt, Verwendungszweck und Zementdosierung sind anzugeben: Konsistenz erdfeucht, Grösstkorn 0/8 mm. – Verantwortlich für die Zementdosierung ist der Unternehmer. Das Betonwerk dosiert die Mörtel- und Betonmischungen in der Regel auf volle Verdichtung ($2,35\text{--}2,45\text{ kg/dm}^3$), weil der Verwendungszweck nicht von vornherein bekannt ist. Wird eine solche Mischung nicht voll verdichtet, wie dies bei den Unterlagsböden der Fall ist, so entsteht eine Unterdosierung. Bei der Bestellung muss deshalb entweder die nominelle Zementdosierung erhöht oder der Verwendungszweck als Mörtel für Unterlagsboden klar vereinbart werden, damit das Betonwerk sein Rezept entsprechend anpasst.

Praktische Hinweise

Mörtel für Unterlagsböden werden häufig *auf der Baustelle hergestellt* und mit der Mischerpumpe eingebracht. Dabei wird volumetrisch dosiert, d. h., die Genauigkeit liegt weit unter jener der gerechneten Beispiele. Die Berechnungen zeigen allerdings die Tendenzen sehr deutlich auf. Gemäss Norm SIA 251 beträgt nun die Mindestzementdosierung 300 kg/m^3 , ein Wert, der früher nicht immer erforderlich war. Für den Sand soll man die Sieblinien in Erfahrung bringen, denn bei der Wahl der Sandzusammensetzung sind auch die Sieblinien gemäss Norm SIA 251 für die jeweilige Belastungskategorie zu beachten.

Wird der Mörtel bei einem *Betonwerk* bezogen, hat man den Vorteil der präziseren Mischung und kann dabei auch von den laufenden Erfahrungen aus der Betontechnologie profitieren. Man soll aber den Mörtel für Unterlagsböden nicht verwechseln mit jenem des Maurers, wie er ihn für Überzüge auf Treppen, Kellerböden, Vorplätzen usw. verwendet. Bei den Mengen soll man nur soviel bestellen, wie in nützlicher Zeit verarbeitet werden kann. (Erdfeuchter Mörtel lässt sich nicht befriedigend verzögern.) Betonwerke müssen den Mischer jeweils waschen, wenn sie das Rezept wechseln. Dies bedingt besonders bei Werken, die nur über einen einzigen Mischer verfügen, dass man den Mörtel rechtzeitig bestellt.

Der Unternehmer soll sich durch eine eigene *Qualitätskontrolle* über seine Arbeit vergewissern. Er wird sich dazu eine Übersicht über die erreichbare Festigkeit und Zementdosierung in Abhängigkeit der Verdichtung und der Sandqualität verschaffen. Dadurch leistet er einen Beitrag zur Bauqualität im allgemeinen, denn die Böden sind sichtbare Teile und können sehr bald zu Beanstandungen führen.

- 10 Empfehlenswert ist die Verwendung von grobkörnigem Sand (0/8 statt 0/4 mm). Bei den erforderlichen Schichtstärken von 55 mm und mehr ist dies problemlos möglich. Damit lassen sich die Verarbeitbarkeit verbessern und der Wasserbedarf verringern. So kann man ohne Mehraufwand zu höheren Rohdichten und Festigkeiten gelangen. Aus ökologischen Gründen ist auch das Kieswerk daran interessiert, die Komponente 4/8 mm zu verwerten.

Bruno Meyer

Literatur

- [1] Norm SIA 251 (1988): «Schwimmende Unterlagsböden». Zürich: Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein
- [2] Balzan, P., Girard, L. (1990): Comment réussir vos chapes flottantes. Ecublens: Eigenverlag