

R. Vogel

Zur Tragfähigkeit von Fluiden

Einleitung

Im Rahmen der Entwicklung und Herstellung von selbstverdichtendem Beton – SCC (Self Compacting Concrete) – sowie der Beschreibung der für die Frischbetonverarbeitung wichtigen Eigenschaften, spielen die Begriffe *Fließfähigkeit* und *Tragfähigkeit* eine Rolle. ¹⁾

Unter *Tragfähigkeit* wird die Eigenschaft einer Flüssigkeit verstanden, massive Körper zu tragen bzw. in der Schwebelage zu halten. Im Allgemeinen ist dies nur möglich, wenn das Trägermedium spezifisch schwerer ist, mindestens jedoch die gleiche Dichte aufweist, wie das zu tragende Gut. Massive Betonzuschläge sind spezifisch schwerer als das Trägerfluid, die Mörtelmatrix. Im folgenden werden die Bedingungen analysiert, unter denen der Basismörtel des SCC massive Zuschläge zu tragen imstande ist.

Die nachfolgenden Betrachtungen dienen ausschließlich dazu, den technisch-physikalischen Inhalt des Begriffes *Tragfähigkeit* zu hinterfragen und allgemein gültige Informationen, z.B. Kenngrößen abzuleiten. Hierzu wird vorausgesetzt:

1. Das Trägerfluid – gekennzeichnet durch den Index Fl – ist ein Kontinuum mit bekannten Eigenschaften.
2. Die zu tragenden massiven Körper – Index K – besitzen eine definierte Gestalt. Ihre Dichte ist gekennzeichnet durch die Bedingung $\rho_K > \rho_{Fl}$.

Um sich einen Überblick zu verschaffen, werden zunächst zwei Körperformen für das Zuschlagkorn ausgewählt. Einerseits interessiert die *Kugel*, andererseits hat der *Zylinder* eine bestimmte Bedeutung, da dieser auch als Messsonde zur Bestimmung rheologischer Eigenschaften verwendet werden kann.

¹⁾ Zitate aus: D. Hornung, B. Gathemann, J. Stark ; **IB AUSIL**-Bericht 2-0195 ; 2003
Leistungsoptimierte integrierte Bindemittel für leicht- und selbstverdichtende Betone mit hoher Dauerhaftigkeit

„Diese erhöhten Anforderungen an die Frischbetoneigenschaften resultieren daraus, dass diese Betonart eine sensible Feststoffsuspension aus schwimmenden, schweren Massivzuschlägen in einer gut fließ- und tragfähigen entmischungsstabilen Mörtelmatrix darstellt.“

„Sind die Systeme extrem entmischungssicher, entsprechen sie oft nicht den Erwartungen an die Fließfähigkeit. Die offensichtliche Widersprüchlichkeit zwischen Mobilität und Stabilität erfordert eine Optimierung der rheologischen Eigenschaften der fluiden Matrix, wobei neben den Transportvorgängen für den Beton auch seine Selbstentlüftungsfähigkeit ohne zusätzlichen Energieeintrag gewährleistet sein muss.“

„Die Leimphase des Betons besteht aus den mehlfeinen Stoffen Zement, Zusatzstoff und dem Mehlkornanteil der Zuschläge sowie verflüssigenden Zusatzmitteln, Wasser und Luftporen.“

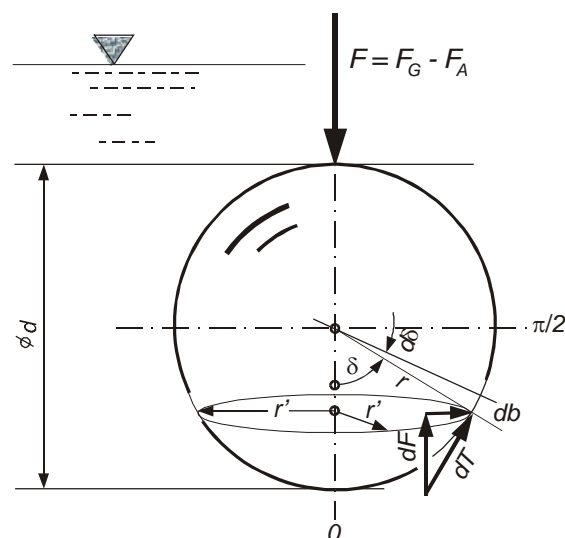
Kräftebilanz für eine Kugel

Abb.1 zeigt eine *KUGEL*, die in eine Flüssigkeit eintaucht. Unter Einwirkung der Kräftekombination aus Schwerkraft und Auftrieb $F_G - F_A$ und unter der Bedingung $\rho_K > \rho_{Fl}$ bewegt sich die Kugel im 'Normalfall' in einem *NEWTON-Fluid* anfangs beschleunigt, danach mit konstanter Sinkgeschwindigkeit abwärts. Um zu erkennen, unter welchen Bedingungen ein Verharren im Ruhezustand erreicht werden kann, muss eine Kräftebilanz aufgestellt werden. Fest steht, dass ein Stillstand der Kugel bzw. eines beliebigen Körpers nur durch eine weitere vertikale Kraft bzw. Kraftkomponente erreicht werden kann. Schließt man äußere Kräfte aus, so kommt hierfür nur eine fluideigene Kraft in Frage. Schaut man sich aus dieser Perspektive die Fließkurven der bekannten Fluide an und sucht nach einer solchen, die bei Stillstand – also bei $\dot{\gamma} = 0$ – in Erscheinung tritt, so sind das nur die, deren Fließkurve eine Fließgrenze aufweisen.

Die Fließgrenze des Fluids bewirkt eine Reibungskraft, also eine Tangentialkraft an der Oberfläche der Kugel. Entsprechend Abb.1 erhält man

$$\begin{aligned} dT &= \tau \cdot dO = \tau \cdot 2\pi r' \cdot db \\ &= \tau \cdot 2\pi r \cdot \sin \delta \cdot r \cdot d\delta \end{aligned}$$

Zu dieser Tangentialkraft, die hier die Reibungskraft bei Stillstand verkörpert, gehört eine vertikale



$$\begin{aligned} \sin \delta &= \frac{r'}{r} = \frac{dF}{dT} \\ \widehat{b} &= r \cdot \delta \rightarrow db = r \cdot d\delta \end{aligned}$$

Abb.1 Schema zur Kräftebilanz an einer Kugel, die von einem Fluid umhüllt ist.

Komponente dF , die letztlich ein Verharren der Kugel erzwingt. Nach der schematischen Vektordarstellung in Abb.1 ist

$$\begin{aligned} dF &= \sin \delta \cdot dT = \sin \delta \cdot \tau \cdot 2\pi r^2 \cdot \sin \delta \cdot d\delta \\ \text{bzw.} \quad F &= \tau \cdot 2\pi r^2 \cdot \underbrace{\int_0^{\pi/2} \sin^2 \delta \cdot d\delta}_{=\pi/4} \cdot 2 \end{aligned}$$

Durch Integration dieses Ausdruckes folgt

$$F = \tau \cdot 2\pi r^2 \cdot 2 \frac{\pi}{4} = \tau \cdot \pi^2 r^2 \quad (1)$$

Diese Kraft muss das Gleichgewicht mit

$$F_G - F_A = \frac{\pi}{6} d^3 (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g \quad \text{herstellen, wenn ein Verharren der Kugel erreicht}$$

werden soll. Es muss folglich sein:

$$\frac{\pi}{6} d^3 (\rho_K - \rho_{Fl}) \cdot g = \tau \cdot \frac{\pi^2}{4} d^2 \quad .$$

Damit wird bestätigt, dass ein Verharren der Kugel in keinem Fall in einem *NEWTON*'schen Medium erreicht werden kann, da hierfür im Ruhezustand – also $\dot{\gamma} = 0$ – auch $\tau = 0$ ist, also überhaupt keine Gegenkraft anliegt. Wie bereits postuliert, kommen als Trägermedien nur solche Fluide in Frage, die eine eindeutige Grenzfließspannung – also eine Fließgrenze – besitzen.

Mit $\tau = \tau_0$ gilt für die Kugel die Forderung

$$\tau_0 \geq \frac{2}{3\pi} \cdot d_K \cdot g \cdot \Delta\rho$$

Ist das Trägermedium ein Basismörtel mit $\rho_{Fl} \approx 2250 \text{ kg/m}^3$ und kann für den Zuschlag $\rho_K \approx 2600 \text{ kg/m}^3$ angenommen werden, so sollte für ein Zuschlagkorn von $d_K = 16 \text{ mm}$ die Fließgrenze des Basismörtels nicht unter $\tau_0 = 12 \text{ Pa}$ liegen.

Kräftebilanz für einen Zylinder

Um für Vorausberechnungen eine zuverlässige, allgemein gültige Aussage zur Körperkonstanten machen zu können, ist es erforderlich, bei den weiteren Betrachtungen neben der Form auch die Lage des Korns im Fluid mit einzubeziehen. Stellt man sich einen vertikal ausgerichteten (stehenden) **Zylinder** vor, dann erhält man aus

$$F_G - F_A = \frac{d^2 \pi}{4} h \cdot \rho_{Fl} \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_{Fl}} \right] \cdot g \quad \text{und der Gegenkraft} \quad F_V = \tau \cdot d \cdot \pi \cdot h$$

das Gleichgewicht $\left[\frac{\tau_0}{d \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \geq \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{\Delta\rho}{\rho_{Fl}} \right]$. Die Konstante für den stehenden

Zylinder mit Kreisquerschnitt beträgt demnach $1/4$. Wie man sieht, spielt die Streckung des Zylinders, also das h/d -Verhältnis, keine Rolle. D.h. aber auch, dass eine runde Scheibe, die durch eine *liegende Münze* symbolisiert werden kann, den gleichen Wert besitzt.

Betrachtet man die *stehende Münze* als Extremwert des *liegenden Zylinders* – siehe Abb.2 – so gelten folgende Zusammenhänge:

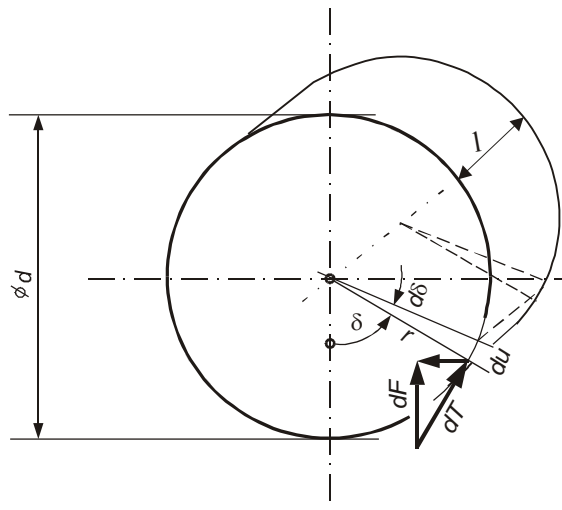
$$F_G - F_A = F_{Stirn} + F_{Mantel} \quad .$$

Darin ist $F_{Stirn} = 2 \cdot d^2 \pi / 4 \cdot \tau \quad .$

Aus $\sin \delta = \frac{dF}{dT}$ erhält man $F_{Mantel} = \int \sin \delta \cdot dT$.

Wird nun $dT = \tau \cdot l \cdot du = \tau \cdot l \cdot r \cdot d\delta$ eingeführt, so gilt

$$F_{Mantel} = \tau \cdot l \cdot \frac{d}{2} \cdot \underbrace{\int_0^{\pi/2} \sin \delta \cdot d\delta \cdot 4}_{=1} = \tau \cdot 2 \cdot d \cdot l .$$



$$\sin \delta = \frac{dF}{dT}$$

$$du = r \cdot d\delta$$

Abb.2 Kräfte-Schema für den liegenden Zylinder

Das Gleichgewicht mit Schwerkraft und Auftrieb führt zu dem Ergebnis

$$\frac{d^2 \pi}{4} l \cdot \rho_{Fl} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] \cdot g = \tau \cdot d \cdot \pi \cdot l \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot l} + \frac{2}{\pi} \right) \quad \text{bzw.}$$

$$\left[\frac{\tau_0}{d \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \geq \frac{1}{\left(2 \frac{d}{l} + \frac{8}{\pi} \right)} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] .$$

Die Körperkonstante des *liegenden Zylinders* ist demnach l/d -abhängig. Für $l/d = 2$ besitzt diese den Wert $KK_{l/d=2} = \frac{\pi \cdot l/d}{2 \cdot \pi + 8 \cdot l/d} = 0,282$. Da bei Münzen mit $l/d \approx 0,1$ gerechnet werden muss, beträgt für

die *stehende Münze* $KK = 0,044$.

Wählt man einen **Zylinder** mit *quadratischem Querschnitt* (stehend)

mit den Abmessungen $a \times a \times h$, so ist

$$F_G - F_A = a^2 \cdot h \cdot \rho_{Fl} \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] \cdot g \quad \text{und} \quad F_V = \tau \cdot 4 \cdot a \cdot h .$$

Aus dem Gleichgewicht folgt auch hier analog zu dem bekannten Ergebnis

$$\left[\frac{\tau_0}{a \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \geq \frac{1}{4} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] .$$

Da dies unabhängig von h/d ist, spielt es

offenbar keine Rolle, ob es sich um eine flache Scheibe mit quadratischem Querschnitt handelt oder

um einen Würfel. Allerdings gibt es einen Unterschied zum Zylinder mit Kreisquerschnitt, wenn bei der Fraktionierung des Grobzuschlages ein Rundlochsieb benutzt wird. Für diesen Fall entspricht der Spitzkant des Quadrates dem Kugel- bzw. Kreisdurchmesser. Mit $d = a \cdot \sqrt{2}$ folgt

$$\left[\frac{\tau_0}{d \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \geq \frac{1}{4 \cdot \sqrt{2}} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right]$$

Ein **Zylinder** mit quadratischem Querschnitt (liegend)

mit den Abmessungen $a \times a \times l$, ergibt




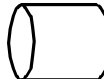


$$F_G - F_A = a^2 \cdot l \cdot \rho_{Fl} \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] \cdot g \quad \text{und} \quad F_V = 2 \cdot \tau \cdot (a^2 + a \cdot l) = \tau \cdot a \cdot l \cdot 2 \cdot \left(\frac{a}{l} + 1 \right).$$

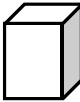



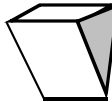
Aus dem Gleichgewicht folgt hier

$$\left[\frac{\tau_0}{a \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \geq \frac{1}{2 \left(1 + \frac{a}{l} \right)} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] \quad \text{und bei länglicher, nagelähnlicher Form mit } \frac{a}{l} \rightarrow 0$$

$$\left[\frac{\tau_0}{a \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \rightarrow \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{\Delta \rho}{\rho_{Fl}} \right] \quad \text{mit dem Ergebnis } KK \rightarrow \frac{1}{2}$$

Tafel 1 Kennzeichnung ausgewählter, einfacher Körper nach Form und Lage im Fluidbett

		 			
Korn-Konstante	$\frac{2}{3\pi}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{\pi \cdot \frac{l}{d}}{2\pi + 8 \cdot \frac{l}{d}}$	$\frac{2}{3\pi} \cdot \frac{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{l}{d}}{1 + \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{l}{d}}$	$\frac{2}{3\pi} \cdot \frac{1 + \frac{3}{2} \cdot \frac{h}{d}}{1 + \frac{4}{\pi} \cdot \frac{h}{d}}$
KK	0,212	0,250	0,282 $\left\langle \frac{l}{d} = 2 \right\rangle$	0,293 $\left\langle \frac{l}{d} = 1 \right\rangle$	0,233 $\left\langle \frac{h}{d} = 1 \right\rangle$

		 		
Korn-Konstante	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2 \cdot \left(1 + \frac{a}{l} \right)}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{4 \cdot \left(1 + \frac{a}{2 \cdot l} \right)}$
KK	0,250	0,50 $\left\langle \frac{a}{l} \rightarrow 0 \right\rangle$	0,167	0,250 $\left\langle \frac{a}{l} \rightarrow 0 \right\rangle$

Aus der Wertezusammenstellung in Tafel 1 geht hervor, dass für die Körperkonstante KK ein beachtliches Spektrum zur Auswahl steht. Kommen Natursande bzw. -kiese mit den natürlichen, rundlichen Formen zum Einsatz, so kann man sicher alle Werte, die eine Stäbchenform beschreiben ausschließen und die erforderliche Fließgrenze des Trägerfluids mit $KK \approx 0,3$ näherungsweise ermitteln. Bei Verwendung von Brechmaterial dürfte der KK -Wert niedriger liegen. Hierüber sollten Experimente weitere Auskunft geben.

Resümee

Aus dem Dargelegten kann man das Phänomen *Tragfähigkeit* auch in Form von dimensionslosen Kennzahlen ausdrücken. Setzt man diese in eckige Klammern, so gilt ganz allgemein

$$\left[\frac{\tau_0}{d_K \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] = f \left\{ \left[\frac{\rho_K}{\rho_{Fl}} \right]; [KK] \right\} \quad \text{und im Speziellen}$$

$$\left[\frac{\tau_0}{d_K \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] = KK \cdot \left[\frac{\Delta\rho_{K-Fl}}{\rho_{Fl}} \right] = KK \cdot \left[\frac{\rho_K}{\rho_{Fl}} - 1 \right] = KZ1 .$$

Dieser Zusammenhang wird durch den jeweils verwendeten Grobzuschlag geprägt, was sowohl in der relativen Dichte ρ_K / ρ_{Fl} bzw. der Dichtedifferenz $\Delta\rho_{K-Fl} = \rho_K - \rho_{Fl}$, als auch in der kornformtypischen Materialkonstanten KK zum Ausdruck kommt.

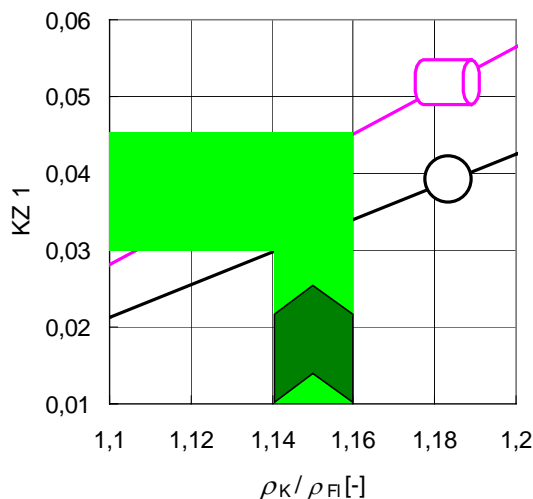


Abb.7 KENNZAHL-Abhängigkeit und -Größenordnung für SCC-Basismörtel

In Abb.7 ist die Verknüpfung beider dimensionsloser Kenngrößen grafisch dargestellt. Und zwar für die Fälle:

Kugelform

Zylinder (liegend $l/d = 2$).

Für einen SV-Beton kann bei massivem Zuschlag mit $\rho_K / \rho_{Fl} \approx 1,15$ gerechnet werden. Im Falle

$$1,14 < \rho_K / \rho_{Fl} < 1,16$$

erhält man diesen Körperformen entsprechend, eine Streuung der Fließgrenzen-Kennzahl innerhalb der farbigen Markierung, also von

$$0,03 \leq \left[\frac{\tau_0}{d_K \cdot g \cdot \rho_{Fl}} \right] \leq 0,045 .$$

Bei gegebenem Produkt $d_K \cdot g \cdot \rho_{Fl}$ wäre demnach mit einer Fließgrenzenspreizung von τ_0 ..bis.. $1,5 \cdot \tau_0$ zu rechnen.

Alle Betrachtungen gelten für Einzelpartikel in einem homogenen Fluid. Inwieweit Inhomogenitäten und insbesondere das Vorhandensein eines Haufwerks mit breitem Kornband die getroffenen Aussagen beeinflussen, kann nur vermutet und muss mit Experimenten untermauert werden.

Ausblick

Aus der Sicht des Anwenders ist es zweckmäßig, durch Umstellung der Fließgrenzen-Kennzahl eine Parameter-Reduzierung zu vollziehen, d.h. dort ρ_{Fl} durch $\rho_K - \rho_{Fl} = \Delta\rho_{K-Fl}$ zu ersetzen. Bedenkt man weiter, dass auch spezifisch leichtere Zuschläge (leichter als das Trägerfluid) in Betracht gezogen werden müssen, so ist es erforderlich, die Dichtedifferenz als Absolut-Wert einzuführen. Damit gilt:

$$\left[\frac{\tau_{0,\Lambda}}{d \cdot g \cdot |\Delta\rho_{K-TF}|} \right] = \Lambda \quad (10)$$

Hierin steht anstelle von d_K die Siebmaschenweite d und für die Körperkonstante KK die komplexere Größe Λ , die die rheologische Stabilität der jeweils zur Rede stehenden Mischung, z.B. des SCC beschreibt und die wegen d von KK abweicht. Da die Festlegung von $\tau_{0,\Lambda}$ am Größtkorn orientiert ist, ist ein negativer Einfluss des Haufwerkes nicht zu erwarten, da kleinere Körnungen die großen bremsen.

Die Kennzahl Λ bestimmt die rheologische Stabilität des Gemisches und muss Körnung spezifisch ermittelt werden. Sie ist allgemeingültiger Natur, sie gilt für Zementleim etc. ebenso wie für Fäkalien oder Grundsubstanzen der Lebensmittelbranche.

Nach ersten Messungen darf für ‚natürliche‘ Körnungen bei Sanden und Kiesen $\Lambda \geq 0,3$ gesetzt werden.

Orientiert man sich bei der Beurteilung der rheologischen Stabilität eines Mörtels am Wasser-Zement-Wert ω und bestimmt dessen Dichte in bekannter Weise über

$$\rho_{ZL;F;S} = \frac{M}{V} = \frac{m_Z + m_W + m_F + m_S}{V_Z + V_W + V_F + V_S} = \rho_Z \cdot \frac{1 + \omega + \frac{m_F}{m_Z} + \frac{m_S}{m_Z}}{1 + \omega \cdot \frac{\rho_Z}{\rho_W} + \frac{m_F}{m_Z} \cdot \frac{\rho_Z}{\rho_F} + \frac{m_S}{m_Z} \cdot \frac{\rho_Z}{\rho_S}} = \rho_M = \rho_{TF} \quad ,$$

so erhält man aus Gl.(10) die Abhängigkeit $\tau_{0,\Lambda} = f(m_F/m_Z)_{\Lambda;\omega;d}$, oder auch $\tau_{0,\Lambda} = f(\omega)_{\Lambda;m_F/m_Z;d}$, wenn als weitere Parameter die Dichten $\rho_K; \rho_Z; \rho_F$ sowie das Masseverhältnis m_S/m_Z beachtet werden.

Mit den Abb.9 wird beispielhaft gezeigt, wie sich der Füllereinsatz auf die erforderliche Grenzfließspannung des jeweiligen Trägerfluids auswirkt.

Berechnungsgrundlage der Grafiken: $\rho_Z = 3050 \text{ kg/m}^3$; $\rho_F = 2740 \text{ kg/m}^3$; $\rho_K = 2630 = \rho_S \text{ kg/m}^3$.

Die für einen Wasser-Zement-Wert $\omega = 0,45$ entworfenen Abb.9 lassen folgende grundsätzliche Schlussfolgerungen zu:

Die Dichte des Trägerfluids nimmt mit wachsendem Füller-Zement-Wert zu. Daraus resultiert eine Verminderung der wirksamen Dichtedifferenz $\Delta\rho_{K-TF}$, was wiederum eine Verringerung der erforderlichen Grenzfließspannung des Trägerfluids nach sich zieht.

Zement-Füller-Leim besitzt demnach eine größere ‚Tragfähigkeit‘ als reiner Zementleim. Es kann durch Füllerzugabe eine wesentliche Absenkung der erforderlichen Grenzfließspannung erreicht werden.

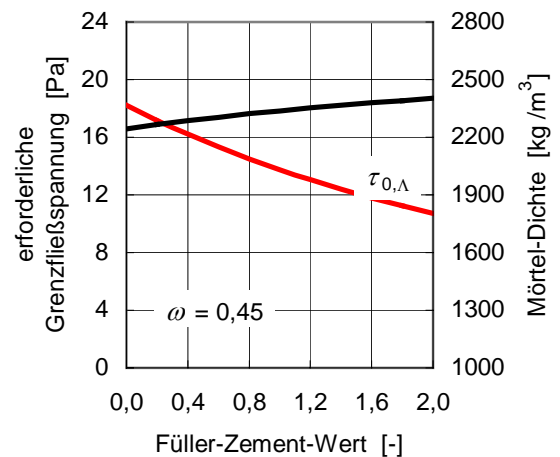
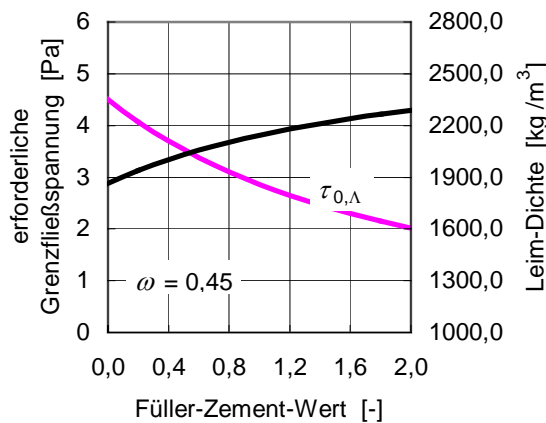


Abb.9a Trägerfluid : Zement-Füller-Leim
 Zuschlag : Sand $d = 2 \text{ mm}$

Abb.9b Trägerfluid : Mörtel mit $m_S/m_Z = 2$
 Zuschlag : Kies $d = 16 \text{ mm}$

Wie aus Gl.(10) zu erkennen, ist die Grenzfließspannung proportional der Partikelgröße des Zuschlags. Käme für SCC lediglich der Füller-Zement-Leim als Trägerfluid in Frage, so müsste in Abb.9a ein τ_0 -Verlauf eingetragen werden, der eine 16/2 mal größere Grenzfließspannung ausweist als der gezeichnete.

Wenn es gelingt, den SCC-Basismörtel so aufzubauen, dass dieser wie der Zementleim die Kontinuumsbedingung erfüllt, dann – und nur dann – ist mit den Werten für $\tau_{0,\Lambda} = \tau_{0,TF}$ aus Abb.9b zu rechnen. Oder anders ausgedrückt: Abb.9b setzt Mörtel als einen Zement-Füller-Sand-Leim voraus. Diese Annahme ist zwar gang und gäbe, jedoch nicht zwingend.

Verwendete Formelzeichen, Abkürzungen und Indices

a	[m]	Kantenabstand
α, δ	[$^{\circ}$]	Winkel
b	[m]	Bogenmaß
d	[m]	charakteristische Kornabmessung, Sieb-Maschenweite
F	[N]	Kraft
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
h, H	[m]	Höhe
KK	[-]	Körperkenngröße
Λ	[-]	Stabilitätskennzahl
m	[kg]	Masse
M	[m ²]	Mantelfläche
$\dot{\gamma}$	[s ⁻¹]	Schergefälle, Scherrate
O	[m ²]	Oberfläche
r, R	[m]	Radius
ρ	[kg/m ³]	Dichte
$\Delta\rho$	[kg/m ³]	Dichtedifferenz
s	[m]	Sehne
T	[N]	Tangentialkraft
τ	[Pa]	Schubspannung, Fließspannung
τ_0	[Pa]	(Schubspannung an der) Fließgrenze
z	[m]	Höhenkoordinate

Indices

A	Auftrieb	K	Korn, massiver Zuschlag
B	(Frisch-) Beton	M	Mörtel
Δ	Differenz	0	im Abszissen-Nullpunkt
erf, Λ	erforderlich	TF	Trägerfluid
F	Füller	S	Sand (feiner Zuschlag)
Fl	Fluid	W	Wasser
FM	Fließmittel	Z	Zement
G	Schwer(kraft)	ZL	Zementleim