

Seminar: Bestimmung der Zusammensetzung von heterogenen Gemischen

Bestimmung der Materialzusammensetzung:
Probemenge und Identifizierung der Bestandteile

Bestimmung der chemischen Zusammensetzung

Berechnung der Gemischdichte



Bestimmung der Materialzusammensetzung: Probemenge und Identifizierung der Bestandteile

Halde von aufbereitetem Beton- bzw. Mauerwerkbruch



Bestimmung der Materialzusammensetzung nach DIN EN 933-11 Prüfverfahren für geometrische Eigenschaften von Gesteins- körnungen

Teil 11: Prüfung zur Einteilung der Bestandteile von rezyklierter grober Gesteinskörnung

Mindestmasse der Messprobe

Korngröße <i>D_i</i> (maximale Korngröße) mm	Masse der Messprobe (Minimum) kg
63	50
32 und kleiner	20

ANMERKUNG Größere Massen der Messproben können erforderlich sein, um eine ausreichende Genauigkeit bei der Bestimmung geringer Anteile festgelegter Bestandteile sicherzustellen (siehe Anhang A).

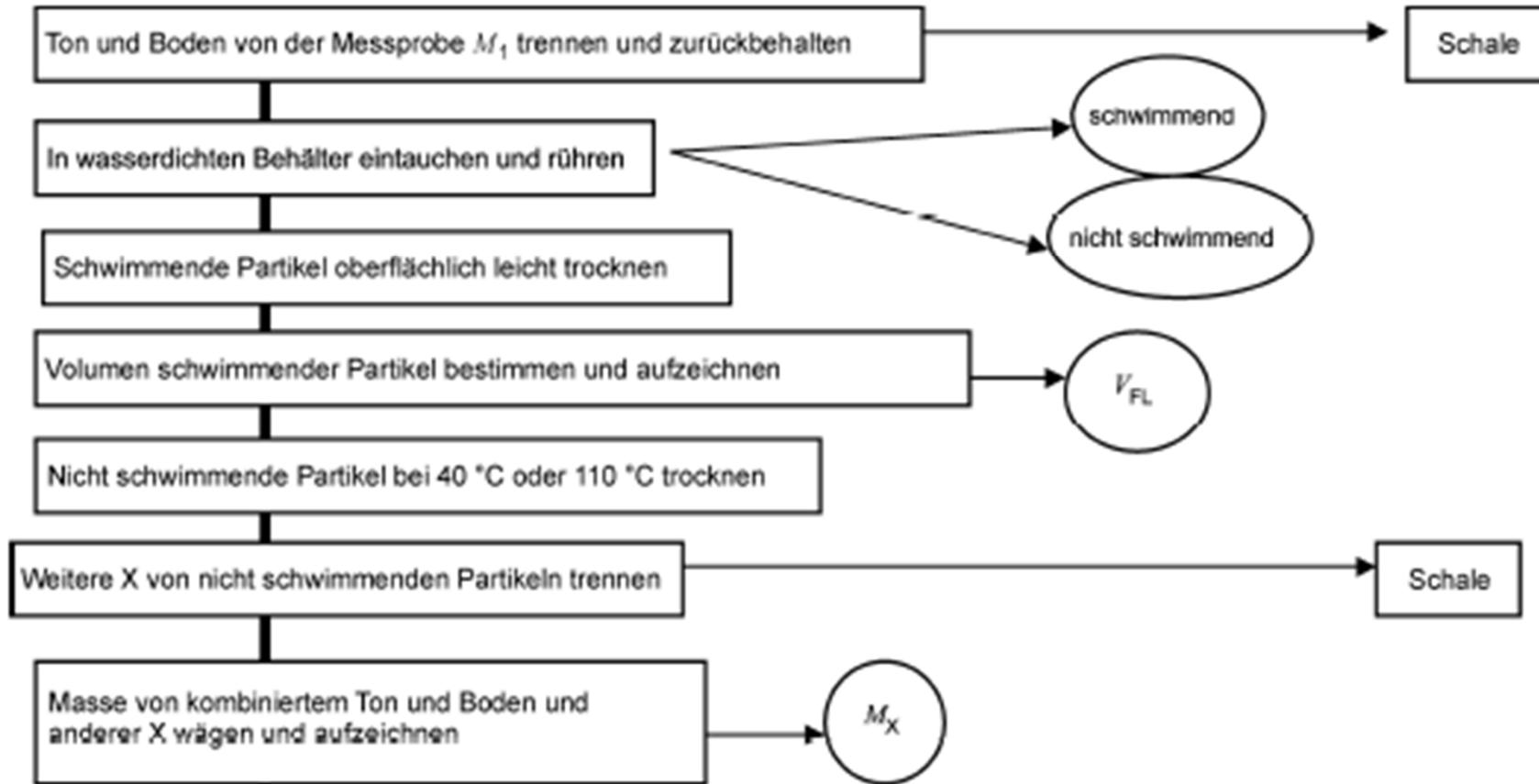
Zu bestimmende Bestandteile

- Volumen der schwimmenden Partikel V_{FI}
- Masse der nicht schwimmenden Partikel, untergliedert in
 - sonstige Materialien und
 - Baustoffarten

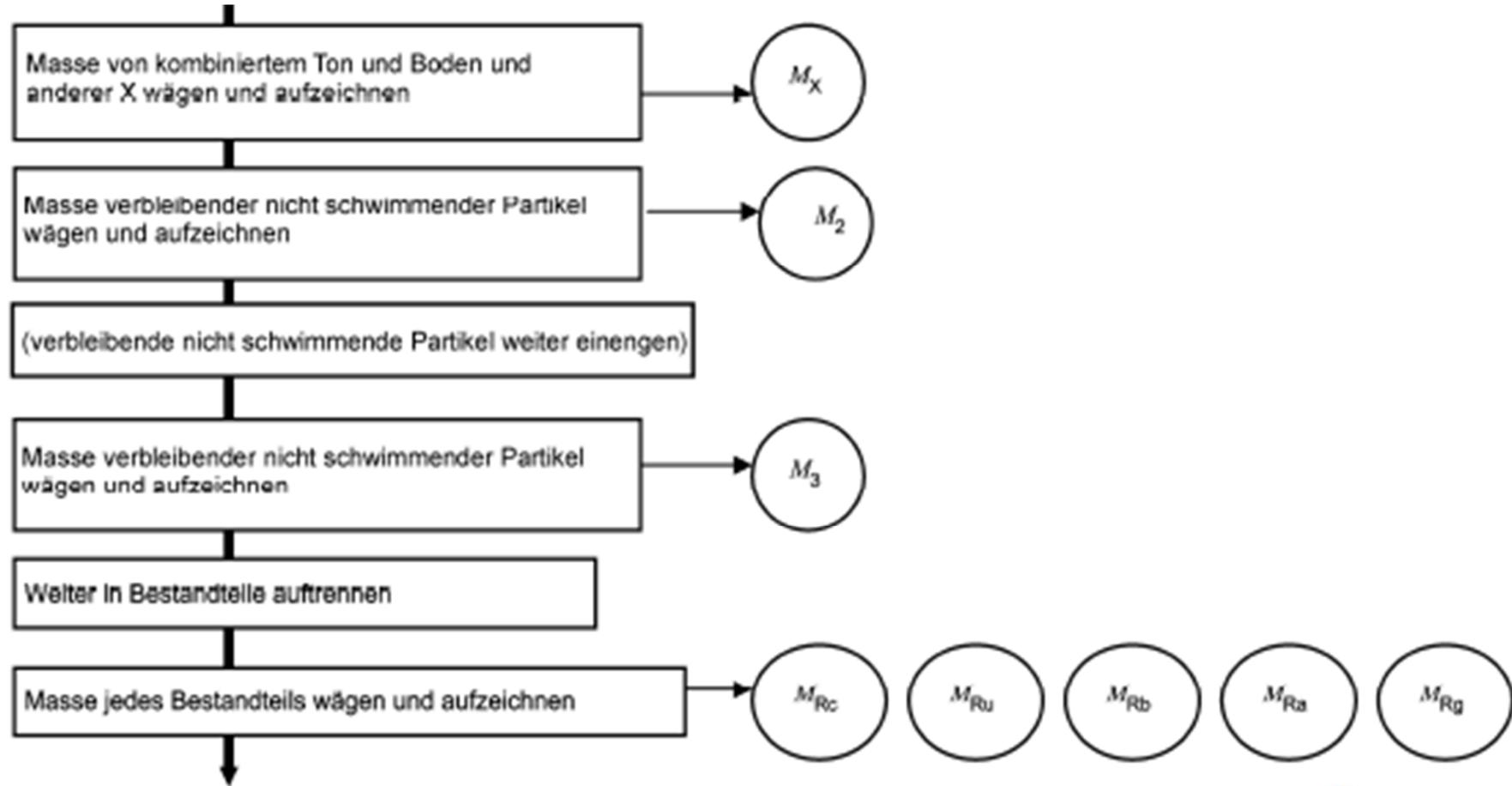
Bestandteil	Beschreibung
Rc	Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton
Ru	ungebundene Gesteinskörnung, Naturstein hydraulisch gebundene Gesteinskörnung
Rb	Mauerziegel (d. h. Mauersteine und Ziegel) Kalksandsteine nicht schwimmender Porenbeton
Ra	bitumenhaltige Materialien
Rg	Glas
X	sonstige Materialien: bindige Materialien (d. h. Ton und Boden) verschiedene sonstige Materialien: Metalle (Eisen- und Nichteisenmetalle) nicht schwimmendes Holz, Kunststoff und Gummi Gips

Ablauf der Bestimmung

Masse der Einwaage m_1



Vorlesung D/Kapitel 4: Beton



Volumen der schwimmenden Partikel pro kg Einwaage $FL \text{ (cm}^3\text{/kg)} = 1000 \frac{V_{FL}}{M_1}$

Masse-% Sonstiges

$$X \text{ (\%)} = 100 \frac{M_x}{M_1}$$

Masse-% Baustoffarten

$$R_c \text{ (\%)} = 100 \left(\frac{M_2}{M_1} \right) \cdot \left(\frac{M_{Rc}}{M_3} \right)$$

	Gehalt [Masse-%]	Kategorie
Rc	≥ 90	Rc ₉₀
	≥ 80	Rc ₈₀
	≥ 70	Rc ₇₀
	≥ 50	Rc ₅₀
	< 50	Rc _{angeben}
	Keine Anforderung	Rc _{NR}
Rc + Ru	≥ 95	Rcu ₉₅
	≥ 90	Rcu ₉₀
	≥ 70	Rcu ₇₀
	≥ 50	Rcu ₅₀
	< 50	Rcu _{angeben}
	Keine Anforderung	Rcu _{NR}

	Gehalt [Masse-%]	Kategorie
Rb	≤ 10	Rb ₁₀
	≤ 30	Rb ₃₀
	≤ 50	Rb ₅₀
	> 50	Rb _{angeben}
	Keine Anforderung	Rb _{NR}
Ra	≤ 1	Ra ₁₋
	≤ 5	Ra ₅₋
	≤ 10	Ra ₁₀₋
X + Rg	≤ 0,5	XRg _{0,5-}
	≤ 1	XRg ₁₋
	≤ 2	XRg ₂₋
	Gehalt [cm ³ /kg]	
FL	≤ 0,2	FL _{0,2-}
	≤ 2	FL ₂₋
	≤ 5	FL ₅₋

Vorlesung D/Kapitel 4: Beton

Anforderungen an die stoffliche Zusammensetzung von rezyklierten Gesteinskörnungen für die Betonherstellung (1)

Materialgruppen entsprechend DIN EN 12620			Materialgruppen entsprechend DIN 4226-100		
Materialgruppen	Gehalt [Ma.-%]		Materialgruppen	Gehalt [Ma.-%]	
	Typ 1	Typ 2		Typ 1	Typ 2
Rc: Beton, Betonprodukte, Mörtel, Mauersteine aus Beton	Rc+Ru ≥ 90	Rc+Ru ≥ 70	Beton und natürliche Gesteinskörnungen	≥ 90	≥ 70
Ru: Ungebundene Gesteinskörner, Naturstein, hydraulisch gebundene Gesteinskörner GK					
Rb: Mauer- und Dachziegel aus gebranntem Ton, Kalksandsteine, nicht schwimmender Gasbeton	≤ 10	≤ 30	Klinker, nicht por. Ziegel	≤ 10	≤ 30
			Kalksandstein		
			porosierter Ziegel, Leichtbeton, haufwerksporiger Beton, Porenbeton, Putz, Mörtel, poröse Schlacke, Bimsstein	≤ 2	≤ 3

Bestimmung der chemischen Zusammensetzung

- Feststoffanalyse: Bestimmung der chemischen Bestandteile
- Eluatanalyse: Bestimmung der eluierten (gelösten) Bestandteile

Analysenmethoden

- Klassische nass-chemische Methoden → Oxidanteile
- Röntgenfluoreszenz (RFA) → Oxidanteile
- Optisches Atomemissionsspektrometer mit Plasmaanregung (ICP-OES) → Elementanteile

Probenmenge

- unkritisch, weil gemahlene Probe verwendet wird
- Voraussetzung: sachgerechte Probenteilung

Aufgabe 1: Reicht die Probemenge nach DIN EN 933 – 11 für die Bestimmung der Nebenbestandteile aus?

- 10 kg mit einer maximalen Korngröße von 32 mm sollen 1000 Körnern (DIN EN 933 - 11) entsprechen?

Tabelle 3 — Hinweise zur Probemasse von mindestens 1 000 Körnern

Korngröße D_n (maximale Korngröße) mm	Mindestmasse kg
63	50
32	10
20	4
16	2
14	1
8	0,5

ANMERKUNG Tabelle 3 gibt Hinweise in Bezug auf die für 1 000 Körner erforderliche Masse. Die tatsächliche Masse wird von der Korngrößenverteilung und der Rohdichte der Gesteinskörnung bestimmt. Für die Materialien, die regelmäßig untersucht werden, kann in den Prüflaboratorien auf Grund von Erfahrungen die erforderliche Masse geschätzt werden.

d_{\max} [mm]	mittlere Korngröße [cm]	Korn- masse [g]	Proben- masse [kg]	Partikel- anzahl
31,5	1,8	7,3	10	1365
16	1	1,3	2	1592
8	0,6	0,3	0,5	1843

Aufgabe 1: Reicht die Probemenge aus?

- Welcher Gehalt kann mit einer relativen Fehlertoleranz von 20 % und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 95 % bestimmt werden ?

$$\text{Anzahl } Z = \left(\frac{z(S)}{\Delta\bar{X}/P} \right)^2 \cdot \frac{1-P}{P}$$

$$\Delta\bar{X}/P = 0,2 \quad (\approx 1,5/7 \text{ bei Politbarometer})$$

d_{\max}	mittlere Korngröße	Korn-masse	Proben-masse	Partikel-anzahl
[mm]	[cm]	[g]	[kg]	
31,5	1,8	7,3	10	1365
16	1	1,3	2	1592
8	0,6	0,3	0,5	1843

Gehalt
[Masse-%]
6,6 ± 1,3
5,7 ± 1,1
5,0 ± 1,0

Aufgabe 1: Reicht die Probemenge aus?

- Welche Partikelanzahl muss untersucht werden, wenn der Gehalt an schwimmenden Bestandteilen ebenfalls mit einer Fehlertoleranz von 20 % bestimmt werden soll?

Umrechnung des Volumenanteils an schwimmenden Bestandteilen in einen Masseanteil

$$FL = \frac{0,2 \text{ cm}^3}{\text{kg P}} * \frac{0,5 \text{ g FL}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * 100 [\%] \quad \text{Annahme Dichte } 0,5 \text{ g/cm}^3$$

$$FL = 0,01 \text{ Masse - \%}$$

$$FL = \frac{0,2 \text{ cm}^3}{\text{kg P}} * \frac{1,0 \text{ g FL}}{\text{cm}^3} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * 100 [\%] \quad \text{Annahme Dichte } 1,0 \text{ g/cm}^3$$

$$FL = 0,02 \text{ Masse - \%}$$

	Gehalt [cm ³ /kg]		Gehalt [Masse-%]
FL	≤ 0,2	FL _{0,2-}	≤ 0,02
	≤ 2	FL ₂₋	≤ 0,2
	≤ 5	FL ₅₋	≤ 0,5

Aufgabe 1: Reicht die Probemenge aus?

Berechnung der notwendigen Partikelanzahl und der Probenmasse bei einer Körnung 4/16 mm

P		Partikelanzahl	Probenmasse bei 16 mm GK
[Masse-%]	[-]		
0,02	0,0002	480104	624
0,2	0,002	47924	62
0,5	0,005	19112	25

Aufgabe 2: Identifizierung der Bestandteile?

Aufgabe 3: Eluatanalyse versus Feststoffanalyse

Eluatanalyse für RC-Baustoffe, Grenzwert für Sulfat in mg SO_4^{2-}/l

MEB		RC-1	RC-2	RC-3
Parameter	Dim.			
pH-Wert ①		6-13	6-13	6-13
el. Leitf ②	$\mu S/cm$	2.500	3.200	10.000
Chlorid	mg/l			
Sulfat	mg/l	450	800	3.500

Feststoffanalyse? Angabe in g SO_3 pro 100 g Probe [Masse-%]

$$\text{Gehalt} = \frac{450 \text{ mg } SO_4^{2-}}{l \text{ H}_2O} * \frac{2 \text{ l H}_2O}{1000 \text{ g Probe}} * \frac{80 \text{ g } SO_3/\text{mol}}{96 \text{ g } SO_4^{2-}/\text{mol}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * 100$$

$$= \frac{450 * 2 * 80 * 100}{1000 * 96 * 1000} = 0,075 \text{ Masse-\%}$$

Aufgabe 3: Elementanalyse versus Oxidanalyse

Gegeben: Element-
gehalte Si, Al....

Gesucht: Oxidgehalte

Umrechnung anhand
der Molmasse

	Molmasse		Umrechnungsfaktor		
	[g/mol]				
SiO ₂	60,090	Si	28,0855	SiO ₂ /Si	2,140
CaO	56,080	Ca	40,078	CaO/Ca	1,399
MgO	40,310	Mg	24,305	MgO/Mg	1,659
Fe ₂ O ₃	159,690	Fe	55,845	Fe ₂ O ₃ /Fe	1,430
Al ₂ O ₃	101,960	Al	26,981538	Al ₂ O ₃ /Al	1,889
MnO	86,840	Mn	54,938049	MnO/Mn	1,581
TiO ₂	79,900	Ti	47,867	TiO ₂ /Ti	1,669
K ₂ O	94,200	K	39,0983	K ₂ O/K	1,205
Na ₂ O	61,980	Na	22,98977	Na ₂ O/Na	1,348
SO ₃	80,060	S	32,065	SO ₃ /S	2,497
P ₂ O ₅	141,940	P	30,97376	P ₂ O ₅ /P	2,291
		O	15,999		

Chemische Zusammensetzung

Zusammensetzung [%]											
	TV	GV	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl
Reine Ziegel, 22 Proben											
Mittelwert	0,15	0,87	66,80	15,51	6,49	2,63	1,99	3,06	0,75	0,49	0,01
MIN	0	0	55,1	10,58	4,08	0,4	0,5	1,53	0,22	0	0
MAX	0,3	2,6	79,33	19,3	15,3	7,8	4	4,42	2,02	3,4	0,055
Standard abw.	0,103	0,808	6,576	2,112	2,242	2,284	1,038	0,768	0,435	0,745	0,014
Mauerwerkbruch, 33 Proben											
Mittelwert	0,39	5,11	67,99	9,54	3,55	7,98	1,33	2,15	0,71	0,84	0,04
MIN	0	2,5	52	7,2	2,5	3,7	0,8	1,36	0,45	0,1	0,003
MAX	1,1	12,3	74,5	14,7	5,7	15	1,98	3,47	0,89	3,3	0,154
Standard abw.	0,288	2,030	5,384	1,541	0,708	2,784	0,303	0,548	0,120	0,724	0,025

Aufgabe 3: Unterschiede zwischen Zusammensetzungen

	Mauerwerk			Ziegel			
	GV	Al ₂ O ₃	CaO		GV	Al ₂ O ₃	CaO
Mittelwert	5,11	9,54	7,98		0,87	15,51	2,63
Varianz	4,12	2,38	7,75		0,65	4,46	5,22
berechneter Wert F'	6,31	1,88	1,49				
Ablesewert (32; 32; 0,95) F	1,83	1,83	1,83				
berechneter Wert t'	11,15	13,12	8,54				
Ablesewert (FG; 0,95) t	2,02	2	2,01	FG	41,89	58,55	61,65
Signifikanter Unterschied F-Test	ja	ja	nein				
Signifikanter Unterschied t-Test	ja	ja	ja				

Aufgabe 3: Dichte von Gesteinskörnungen aus mehreren Komponenten

Gegeben: a_A, a_B, a_C : Anteile der Komponenten A, B, C in kg/kg
 ρ_A, ρ_B, ρ_C : Rohdichten von A, B, C in kg/dm³

Berechnung mittels Wichtung mit den Anteilen

$$\rho_G = a_A * \rho_A + a_B * \rho_B + a_C * \rho_C \quad \text{Falsch!}$$

$$= \left[\frac{kg(A)}{kg(G)} * \frac{kg(A)}{dm^3(A)} \right]$$

Berechnung nach exakter Ableitung

$$\begin{aligned}
 \rho_G &= \frac{m_A + m_B + m_C}{V_A + V_B + V_C} \\
 &= \frac{m_A + m_B + m_C}{m_A/\rho_A + m_B/\rho_B + m_C/\rho_C} \\
 &= \frac{m \cdot (a_A + a_B + a_C)}{m \cdot \left(\frac{a_A}{\rho_A} + \frac{a_B}{\rho_B} + \frac{a_C}{\rho_C} \right)} \\
 &= \frac{a_A + a_B + a_C}{\frac{a_A \cdot \rho_B \cdot \rho_C + a_B \cdot \rho_A \cdot \rho_C + a_C \cdot \rho_A \cdot \rho_B}{\rho_A \cdot \rho_B \cdot \rho_C}} \\
 &= \frac{\rho_A \cdot \rho_B \cdot \rho_C}{a_A \cdot \rho_B \cdot \rho_C + a_B \cdot \rho_A \cdot \rho_C + a_C \cdot \rho_A \cdot \rho_B} \\
 &= \left[\frac{\frac{kg(A)}{kg(G)} + \frac{kg(B)}{kg(G)} + \frac{kg(C)}{kg(G)}}{\frac{kg(A) \cdot dm^3(A)}{kg(G) \cdot kg(A)} + \frac{kg(B) \cdot dm^3(B)}{kg(G) \cdot kg(B)} + \frac{kg(C) \cdot dm^3(C)}{kg(G) \cdot kg(C)}} \right] \\
 &= \left[\frac{\frac{kg(A) + kg(B) + kg(C)}{kg(G)}}{\frac{dm^3(A) + dm^3(B) + dm^3(C)}{kg(G)}} \right] \\
 &= \left[\frac{kg(A) + kg(B) + kg(C)}{dm^3(A) + dm^3(B) + dm^3(C)} \right]
 \end{aligned}$$

Berechnung mittels
Wichtung

Dichte [kg/dm ³]	2,078
Falsch!	

Berechnung nach exakter
Ableitung

	Rohdichte	RC-Baustoff	
	[kg/m ³]	[M.-%]	[kg/kg]
Naturstein	2,6	10	0,10
Altbeton	2,35	25	0,25
Klinker	2,2	15	0,15
Mauerziegel	1,8	25	0,25
Kalksandstein	1,8	25	0,25
Leichtstoffe	0,4	0	0,00
Fremdstoffe	1	0	0,00
Dichte [kg/dm ³]		2,037	