

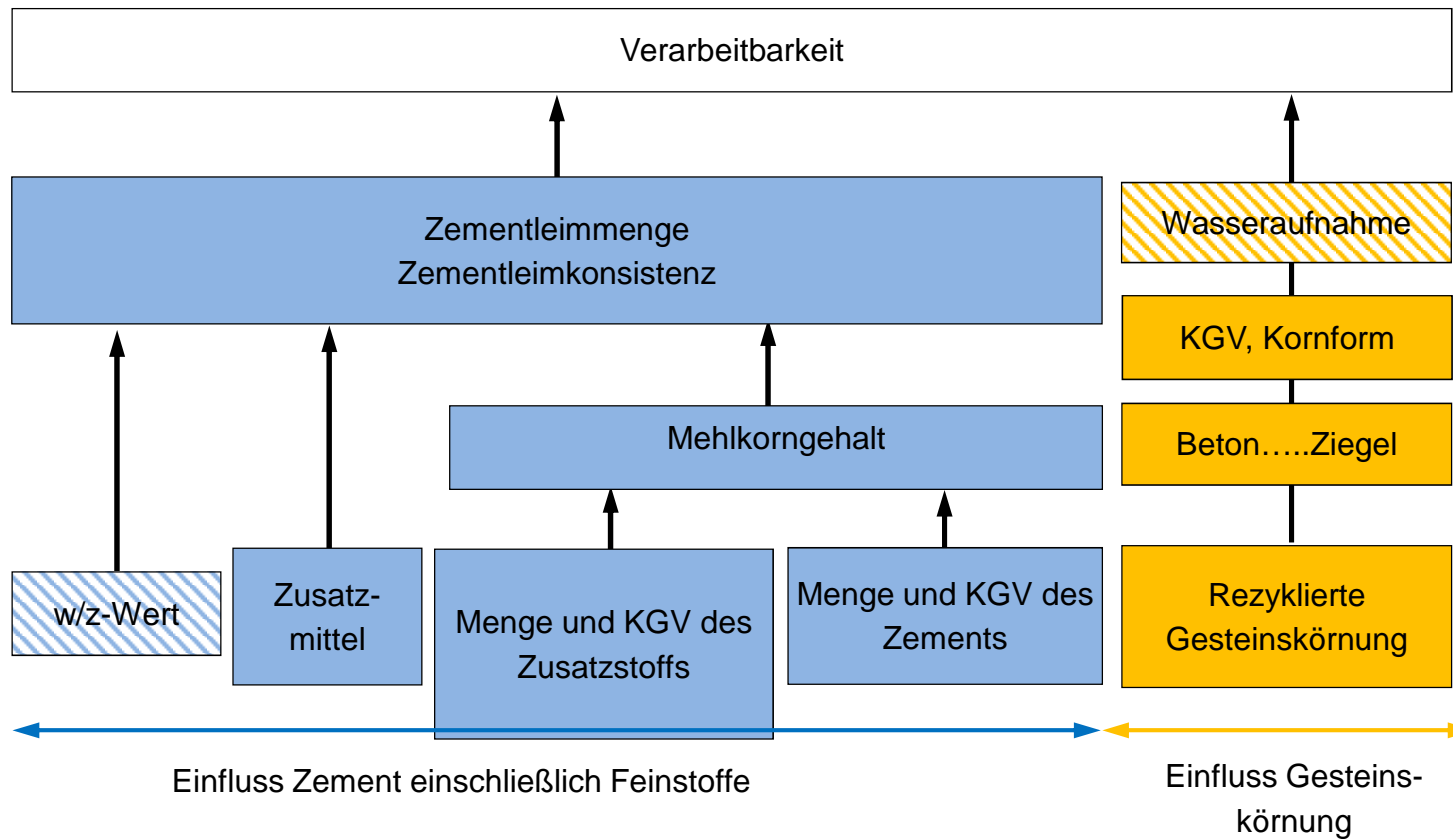
Mischungsentwurf für Beton mit rezyklierten Zuschlägen Nachweis der Änderungen der Betoneigenschaften

Frischbetoneigenschaften

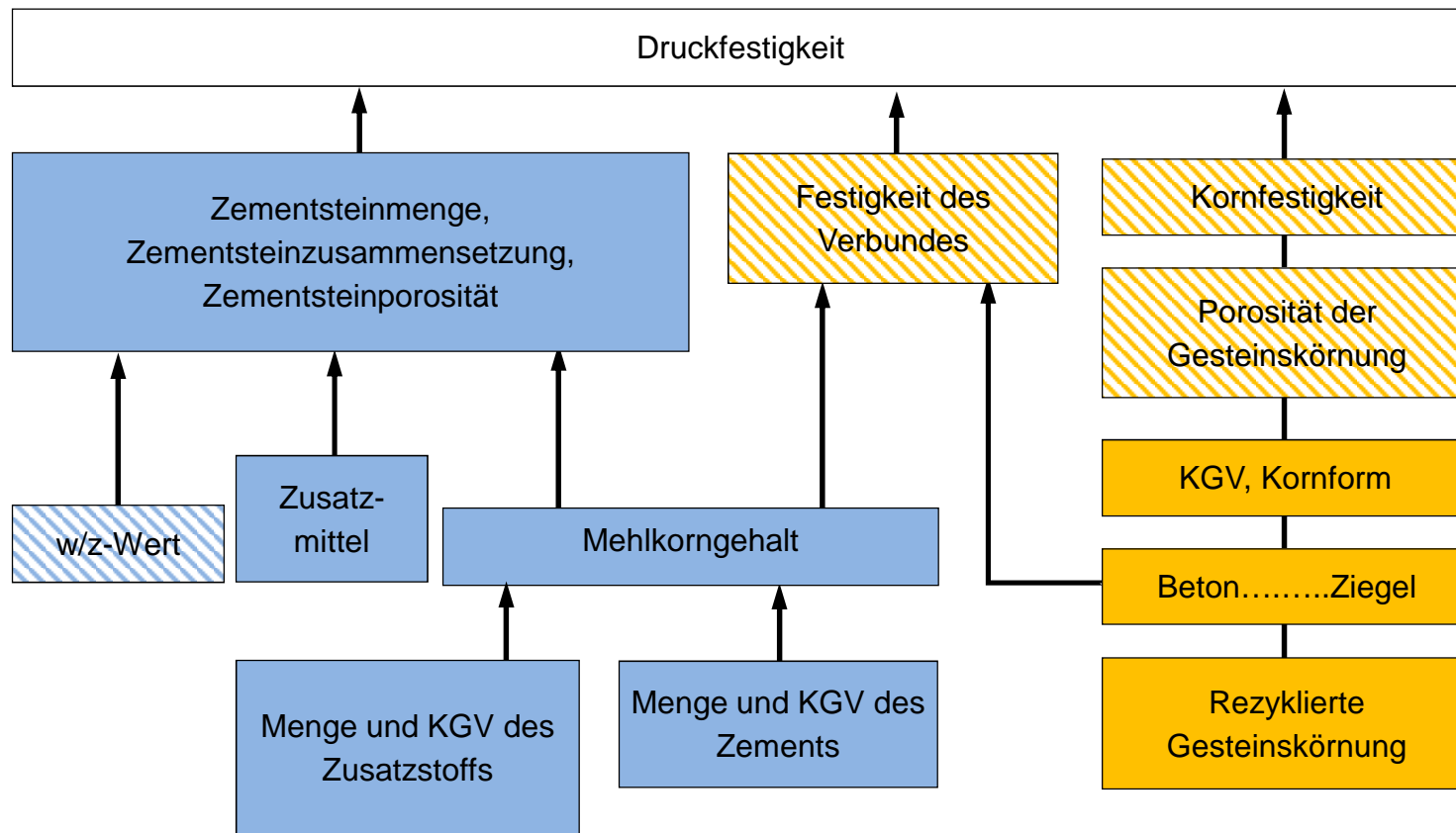
Mechanische Eigenschaften des Festbetons

Dauerhaftigkeit

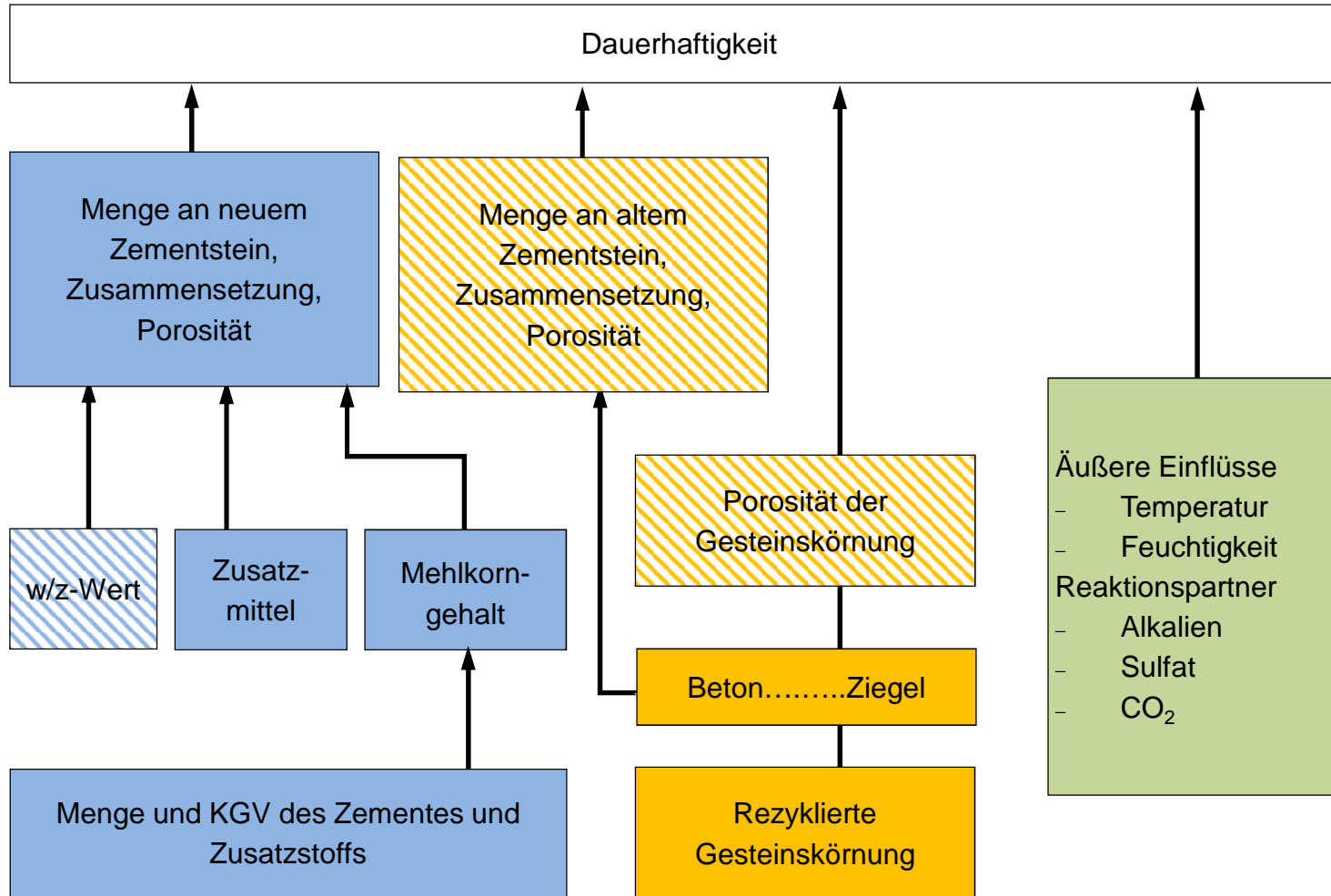
Frischbetoneigenschaften



Mechanische Eigenschaften des Festbetons



Dauerhaftigkeit



3 Beispielaufgaben: Mischungsberechnung mit RC-Zuschlag

**Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von
RC-Zuschlag**

Einfluss auf

Frischbetoneigenschaften

3 Beispielaufgaben: Mischungsberechnung mit RC-Zuschlag

Aufgabe 2: Veränderung der Trockenrohdichte von Beton durch die Zugabe von Ziegelsplitt

Einfluss auf

Mech. Eigenschaften des Festbetons

Dauerhaftigkeit

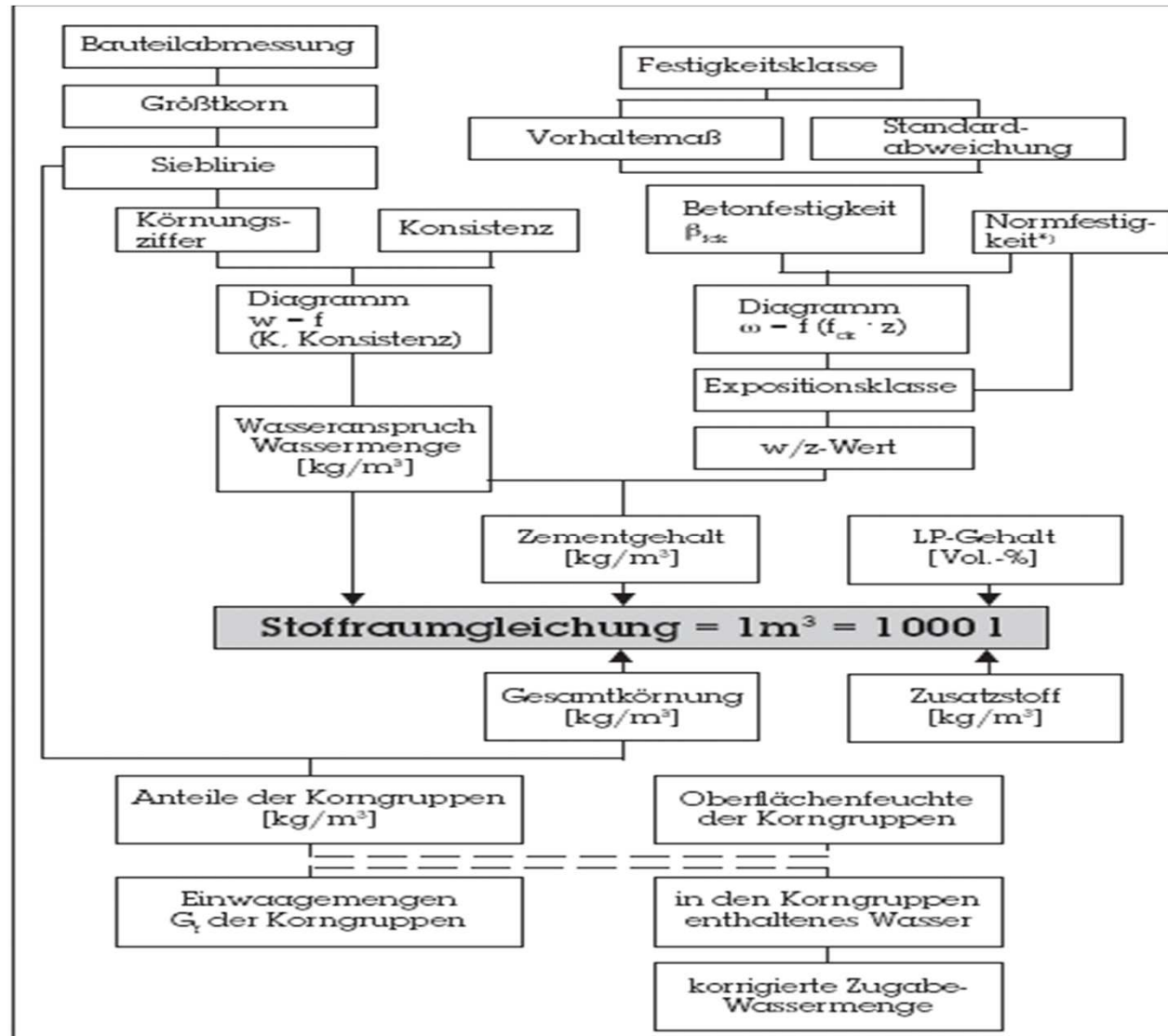
3 Beispielaufgaben: Mischungsberechnung mit RC-Zuschlag

**Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch
Verwendung von RC-Zuschlag**

Einfluss auf

Mech. Eigenschaften des Festbetons

Grundlagen: Berechnungs- schema



*) Zement-Normdruckfestigkeit nach DIN EN 196-1

Grundlagen:

Stoffraum-
gleichung:

Die Stoffraumgleichung besagt, dass das Volumen von $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 1000 \text{ l}$ verdichtetem Frischbeton sich aus der Summe der Volumenanteile (“Raumanteile”) von Zement, Wasser, Körnung, Betonzusatzstoffen und Luftporen ergibt.

In der Gleichung bedeuten:

z = Zementgehalt (Masse) $[\text{kg}/\text{m}^3]$

w = Wassergehalt (Masse) $[\text{kg}/\text{m}^3]$

g = Korngehalt (Masse) $[\text{kg}/\text{m}^3]$

f = Gehalt an Zusatzstoffen (Masse) $[\text{kg}/\text{m}^3]$

p = Luftgehalt (Porenvolumen) im verdichteten Frischbeton $[\text{dm}^3/\text{m}^3]$

ρ_z = Dichte des Zementes $[\text{kg}/\text{dm}^3]$

ρ_w = Dichte des Wassers $[\text{kg}/\text{dm}^3]$

ρ_g = Rohdichte der Gesteinskörnung $[\text{kg}/\text{dm}^3]$

ρ_f = Dichte des Zusatzstoffes $[\text{kg}/\text{dm}^3]$

$$\frac{z}{\rho_z} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{g}{\rho_g} + \frac{f}{\rho_f} + p = 1000 [\text{dm}^3]$$

Grundlagen:

Berechnungs-
grundlage:

$$\text{Stoffraum} = \frac{\text{Masse}}{\text{Dichte bzw. Rohdichte}}$$

Durch Umstellen der Stoffraumgleichung lässt sich der Stoffraum des Korngemisches aus den übrigen Größen berechnen

$$V_g = \frac{g}{\rho_g} = 1000 \cdot \left[\frac{z}{\rho_z} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{f}{\rho_f} + p \right] [\text{dm}^3]$$

Durch weitere Auflösung folgt die Massen der trockenen Gesteinskörnung

$$g = V_g \cdot \rho_g [\text{kg}]$$

Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von RC-Zuschlag

Es soll die Rezeptur für einen Beton berechnet werden, bei dem 50 Vol-% jeder Zuschlagkörnung durch Recycling-Zuschläge zu ersetzen sind. Wie viel kg Wasser müssen je m³ Frischbeton zusätzlich zugegeben werden, um das Saugen der Recycling-Zuschläge zu kompensieren?

Vorgaben:

$$z = 350 \text{ kg/dm}^3$$

$$\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$$

$$w/z = 0,5$$

$$\rho_{\text{Kies}} = 2,62 \text{ kg/dm}^3$$

Sieblinie: A/B 16

Kennwerte RC-Material:

KG	ρ_{Roh} [kg/dm ³]	WA [M-%]
----	--	------------

0/4 mm	1,63	11,7
--------	------	------

4/8 mm	1,75	10,9
--------	------	------

8/16 mm	1,89	10,1
---------	------	------

Der Luftporengehalt v_p wird mit 20 dm³/m³ angenommen.

Stoffraumrechnung: $1000 = g/\rho_g + z/\rho_z + w/\rho_w + v_p$

Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von RC-Zuschlag

Volumenanteile der einzelnen Korngruppen aus der Sieblinie:
 Mitte zwischen Sieblinie A und Sieblinie B:

Fraktion 0/4 mm

46 Vol-% = $460 \text{ dm}^3/\text{m}^3$

= $230 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ Kies + $230 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ RC

Fraktion 4/8 mm

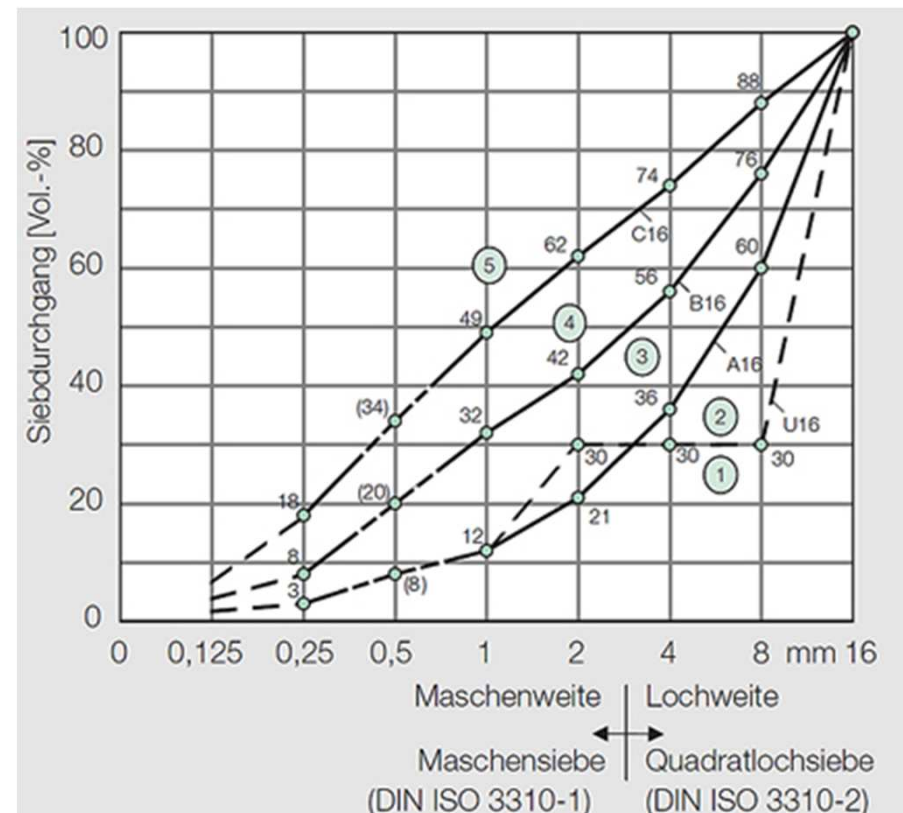
22 Vol-% = $220 \text{ dm}^3/\text{m}^3$

= $110 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ Kies + $110 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ RC

Fraktion 8/16 mm

32 Vol-% = $320 \text{ dm}^3/\text{m}^3$

= $160 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ Kies + $160 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ RC



Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von RC-Zuschlag

Massenanteil Kies

$$(230 + 110 + 160) \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 2,62 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 1310 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Massenanteil Abbruchmaterial

$$230 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 1,63 \text{ kg}/\text{dm}^3 + 110 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 1,75 \text{ kg}/\text{dm}^3 + 160 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 1,89 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 870 \text{ kg}/\text{m}^3$$

Rohdichte Gesamtzuschlag

$$\rho_g = 1310 \text{ kg}/\text{m}^3 + 870 \text{ kg}/\text{m}^3 = 2180 \text{ kg}/\text{m}^3 = 2,18 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

Stoffraumrechnung

$$1000 = g/\rho_g + z/\rho_Z + w/\rho_w + v_p$$

$$g = \rho_g \cdot (1000 - z/\rho_Z - w/\rho_w - v_p)$$

$$g = 2,18 \text{ kg}/\text{dm}^3 \cdot (1000 - 350/3,1 - 175 - 20) \text{ dm}^3/\text{m}^3 \text{ Beton} = 1509 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ Beton}$$

Raumanteil Gesamtzuschlag:

$$V_g = 1509 \text{ kg}/\text{m}^3 \text{ Beton} / 2,18 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 692,2 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \text{ Beton}$$

Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von RC-Zuschlag

Raumanteile der einzelnen Fraktionen der Gesteinskörnungen
 $V_g = 692,2 \text{ dm}^3\text{GK}/\text{m}^3\text{Beton}$

RC 0/4
230 dm³/m³GK

RC 4/8
230 dm³/m³GK

RC 8/16
160 dm³/m³GK

Kies 0/4
230 dm³/m³GK

Kies 4/8
110 dm³/m³GK

Kies 8/16
160 dm³/m³GK

Raumanteile der einzelnen Fraktionen

$$V_{0/4} = \frac{692,2 \text{ dm}^3\text{GK}}{\text{m}^3\text{Beton}} \cdot \frac{230 \text{ dm}^3\text{0/4}}{\text{m}^3\text{GK}} \cdot \frac{1 \text{ m}^3 \text{ GK}}{1000 \text{ dm}^3\text{GK}}$$

Massenanteile der einzelnen Fraktionen

$$g_{\text{Kies 0/4}} = V_{\text{Kies0/4}} \cdot \rho_{\text{Kies}} = 159,18 \text{ dm}^3/\text{m}^3\text{Beton} \cdot 2,62 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

$$g_{\text{Kies 0/4}} = 417 \text{ kg}/\text{m}^3\text{Beton u.s.w.}$$

Aufgabe 1: Veränderung des Wasseranspruchs von RC-Zuschlag

Rezeptur für 1 m³ Beton

	Dichte [kg/dm ³]	Masse [kg]		Volumen [dm ³]	
Zement	3,10	350	← Vorgabe	113	
Wasser	1,00	175	← Vorgabe	175	
Kies 0/4 mm	2,62	417		159	← Berechnet
Kies 4/8 mm	2,62	199		76	← Berechnet
Kies 8/16 mm	2,62	290		111	← Berechnet
Abbruchmaterial 0/4 mm	1,63	259		159	← Berechnet
Abbruchmaterial 4/8 mm	1,75	133		76	← Berechnet
Abbruchmaterial 8/16 mm	1,89	209		111	← Berechnet
	-	Σ 2032		980	

Zusatzwasser: $w_{\text{Zusatz}} = (259 \cdot 0,117 + 133 \cdot 0,109 + 209 \cdot 0,101) \text{ kg}$

$$w_{\text{Zusatz}} = 66 \text{ kg}$$

Unter Berücksichtigung des Saugens der Recycling-Zuschläge müssen je m³ Frischbeton 66 kg Wasser zusätzlich zugegeben werden.

Aufgabe 2: Veränderung der Trockenrohddichte von Beton durch die Zugabe von Ziegelsplitt

Um wie viel Prozent verringert sich die theoretische Trockenrohddichte eines Betons gegenüber dem Ausgangsbeton, wenn 50 Vol-% des Zuschlages durch Ziegelsplitt ersetzt werden? Der Ausgangsbeton soll Rheinkies ($\rho_g = 2,62 \text{ kg/dm}^3$) enthalten und mit einem w/z-Wert von 0,5 hergestellt werden. Die Rohddichte des Ziegelsplitts beträgt $1,8 \text{ kg/dm}^3$. In beiden Betonen sollen 350 kg/m^3 CEM I 42,5 R ($\rho_z = 3,1 \text{ kg/dm}^3$) enthalten sein. Der Luftporengehalt wird mit $20 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ angenommen.

Stoffraumrechnung: $1000 = g/\rho_g + z/\rho_z + w/\rho_w + v_p$

Theoretische Trockenrohddichte: $\rho_{tr} = 1,2z + g$

Aufgabe 2: Veränderung der Trockenrohddichte von Beton durch die Zugabe von Ziegelsplitt

Beton aus Rheinkies:

$$g = \rho_g (1000 - z/\rho_z - w/\rho_w - v_p)$$

$$g = 2,62 (1000 - 350/3,1 - 175 - 20)$$

$$g = 1813 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Theo. Trockenrohddichte } \rho_{tr} = 1,2z + g = 1,2 \cdot 350 + 1813$$

$$\rho_{tr} = 2233 \text{ kg/m}^3 = 2,23 \text{ kg/dm}^3$$

$$\text{Rheinkies: } 1813 \text{ kg/m}^3 / 2,62 \text{ kg/dm}^3 = 691 \text{ dm}^3/\text{m}^3$$

Aufgabe 2: Veränderung der Trockenrohddichte von Beton durch die Zugabe von Ziegelsplitt

Recycling-Beton

50 Vol.-% Rheinkies: $g_{RK} = 346 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 2,62 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 906,5 \text{ kg}/\text{m}^3$

50 Vol. -% Ziegelsplitt: $g_{ZS} = 346 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \cdot 1,8 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 623 \text{ kg}/\text{m}^3$

Zuschlag gesamt: $g = 906,5 \text{ kg}/\text{m}^3 + 623 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1529,5 \text{ kg}/\text{m}^3$

Theo. Trockenrohddichte $\rho_{tr} = 1,2 \cdot 350 + 1529,5 =$

$$\rho_{tr} = 1949,5 \text{ kg}/\text{m}^3 = 1,95 \text{ kg}/\text{dm}^3$$

Veränderung $\Delta\rho_{tr} = 2,23 - 1,95 = 0,28 \text{ kg}/\text{dm}^3 \rightarrow 12,6 \%$

Die Trockenrohddichte verringert sich gegenüber dem Ausgangsbeton um 12,6%.

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

Ausgehend von den errechneten Volumenanteilen der einzelnen Betonbestandteile aus Aufgabe 1 soll nun ermittelt werden, um wieviel % der E-Modul sinkt bei:

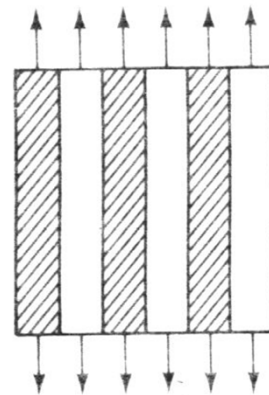
1. Zugabe von 50 Vol % Betonbruch und
2. Zugabe von 50 Vol % Ziegelbruch.

Vorgaben:

- | | |
|--------------------------|-----------------------------|
| - E-Modul Matrix: | 20.000,00 N/mm ² |
| - E-Modul Naturzuschlag: | 40.000,00 N/mm ² |
| - E-Modul Betonbruch: | 20.000,00 N/mm ² |
| - E-Modul Ziegelbruch: | 12.000,00 N/mm ² |

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

Der Berechnung liegt ein vertikal geschichtetes Betonstrukturmodell zugrunde.



(a)



Matrix



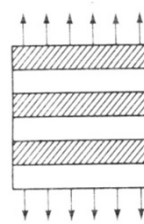
Aggregate

$$E_{Komposit} = E_1 \cdot V_1 + E_2 \cdot V_2$$

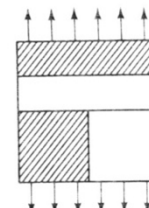
E_1 E-Modul der Komponente 1 in N/mm²

V_1 Volumenanteil der Komponente 1 in m³/m³

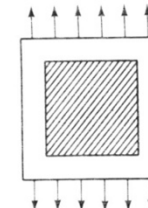
Vergleich: Weitere
 Betonstrukturmodelle



(b)



(c)



(d)

nach Young

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

Volumenanteile Ausgangsbeton

	Dichte [kg/dm ³]	Masse [kg]	Volumen [dm ³]
Zement	3,10	350	113
Wasser	1,00	175	175
Kies 0/4 mm	2,62	417	159
Kies 4/8 mm	2,62	199	76
Kies 8/16 mm	2,62	290	111
Abbruchmaterial 0/4 mm	1,63	259	159
Abbruchmaterial 4/8 mm	1,75	133	76
Abbruchmaterial 8/16 mm	1,89	209	111
	-	Σ 2032	980

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

E-Modul Ausgangsbeton

$$V_{\text{Beton}} = V_{\text{Matrix}} + V_{\text{G}} + V_{\text{Poren}}$$

$$V_{\text{Matrix}} = V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Zement}} = 113 \text{ dm}^3 + 175 \text{ dm}^3 = 288 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{G}} = 159 \text{ dm}^3 \cdot 2 + 76 \text{ dm}^3 \cdot 2 + 111 \text{ dm}^3 \cdot 2 = 692 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{Poren}} = 20 \text{ dm}^3$$

$$\text{E-Modul} = 0,288 \cdot 20000 \text{ N/mm}^2 + 0,692 \cdot 40000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{E-Modul Ausgangsbeton} = 33400 \text{ N/mm}^2$$

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

E-Modul RC-Beton , Betonbruch:

$$V_{\text{Beton}} = V_{\text{Matrix}} + V_{\text{G}} + V_{\text{Poren}}$$

$$V_{\text{Matrix}} = V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Zement}} = 113 \text{ dm}^3 + 175 \text{ dm}^3 = 288 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{G(Naturzuschlag)}} = V_{\text{G(Betonbruch)}} = 159 \text{ dm}^3 + 76 \text{ dm}^3 + 111 \text{ dm}^3 \\ = 346 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{Poren}} = 20 \text{ dm}^3$$

$$\text{E-Modul} = 0,288 \cdot 20000 \text{ N/mm}^2 + 0,346 \cdot 40000 \text{ N/mm}^2 \\ + 0,346 \cdot 20000 \text{ N/mm}^2$$

E-Modul RC-Beton, Betonbruch = 26520 N/mm²

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

E-Modul RC-Beton , Ziegelbruch

$$V_{\text{Beton}} = V_{\text{Matrix}} + V_{\text{G}} + V_{\text{Poren}}$$

$$V_{\text{Matrix}} = V_{\text{Wasser}} + V_{\text{Zement}} = 113 \text{ dm}^3 + 175 \text{ dm}^3 = 288 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{G(Naturzuschlag)}} = V_{\text{G(Betonbruch)}} = 159 \text{ dm}^3 + 76 \text{ dm}^3 + 111 \text{ dm}^3 \\ = 346 \text{ dm}^3$$

$$V_{\text{Poren}} = 20 \text{ dm}^3$$

$$\text{E-Modul} = 0,288 \cdot 20000 \text{ N/mm}^2 + 0,346 \cdot 40000 \text{ N/mm}^2 \\ + 0,346 \cdot 12000 \text{ N/mm}^2$$

E-Modul RC-Beton, Ziegelbruch = 23752 N/mm²

Aufgabe 3: Änderung des E-Moduls durch Verwendung von RC-Zuschlag

Gegenüberstellung:

E-Modul Ausgangsbeton = 33400 N/mm²

E-Modul RC-Beton, Betonbruch = 26520 N/mm²

→ Absenkung um 20,7%

E-Modul RC-Beton, Ziegelbruch = 23752 N/mm²

→ Absenkung um 29,0%