

Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip: Klassifikation Materialwiderstände, Produktionskontrolle (PC), Konformitätskriterien und -kontrolle (CC)

Studie zum Einfluss der Gesteinskörnung auf den Karbonatisierungs- und
Chlorideindringwiderstand

Vorgehen

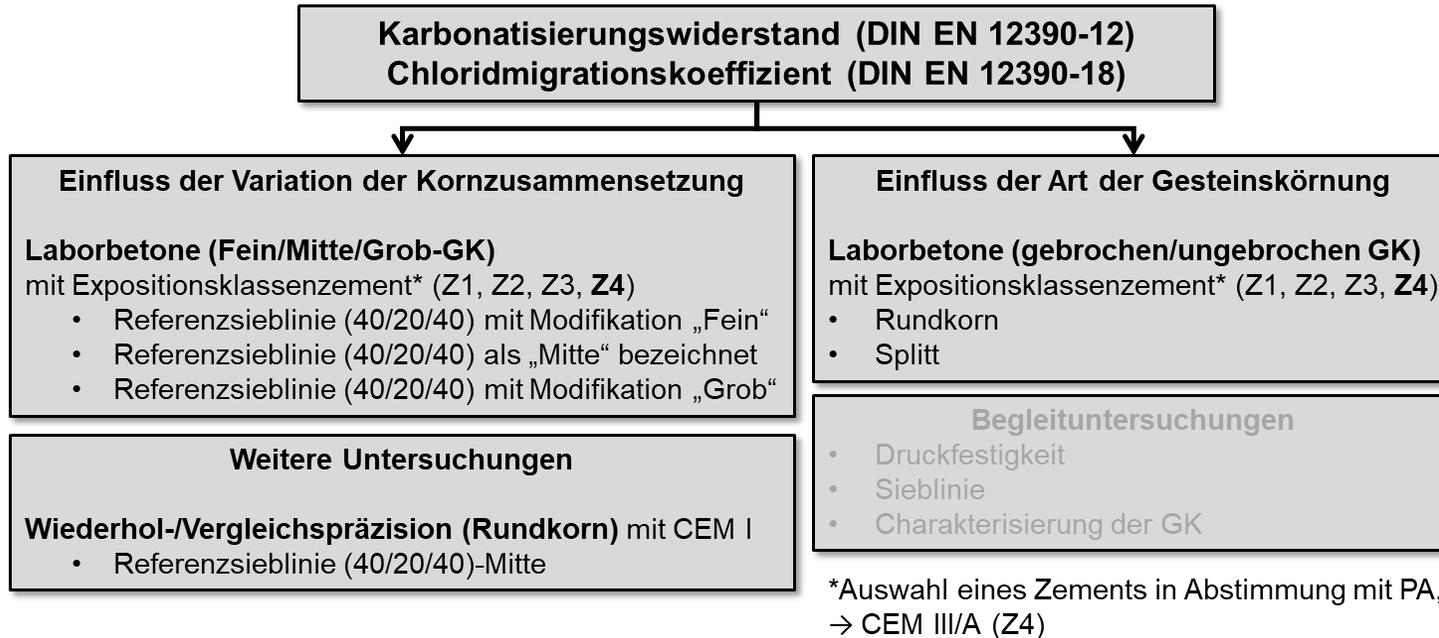


Abb. 01: Vorgehen zur Untersuchung des Einflusses der Gesteinskörnung auf den Chloridmigrationskoeffizienten und die Karbonatisierungsgeschwindigkeit

Durchführung der Versuche

Tab.: 01: Analysen der verwendeten Gesteinskörnung (Rundkorn und Splitt)

Gesteinskörnungsanalysen		Einheit	Rundkorn			Splitt		
			(0/2)	(2/8)	(8/16)	(0/2)	(2/8)	(8/16)
Rohdichte ρ_{ssd}	DIN EN 1097-6:2013-09	[kg/dm ³]	2,58	2,56	2,58	2,78	2,72	2,76
abschlämbbare Bestandteile	in Anlehnung an DIN EN 933-1:2012-03	[M.-%]	0,53	0,11	0,17	4,24	2,31	1,64
	Absetzverfahren (Messzylinder)	[M.-%]	0,50	n. v.	n. v.	4,59	n. v.	n. v.
Wasseraufnahme	DIN EN 1097-6:2013-09	[%]	1,18	1,93	1,34	0,30	0,27	1,56

In Abstimmung mit dem projektbegleitenden Ausschuss wurde die folgende Referenzsieblinie (GK – Mitte) definiert:

- 40 Vol.-% (0/2)
- 20 Vol.-% (2/8)
- 40 Vol.-% (8/16).

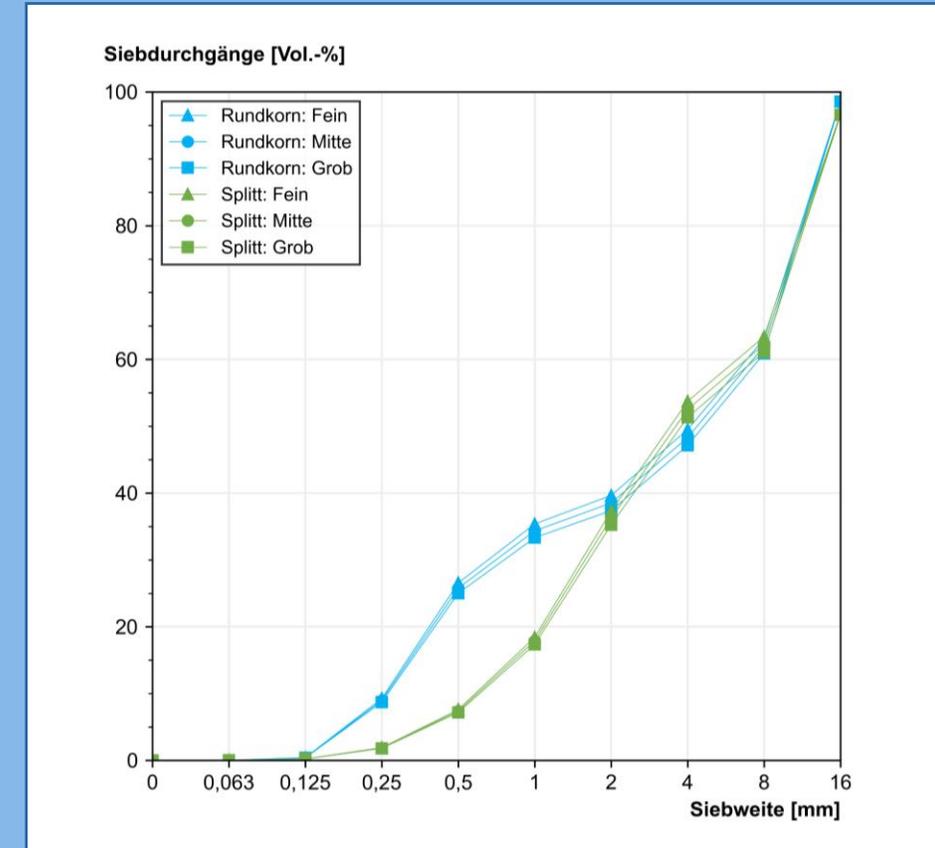


Abb. 02: Sieblinien der Kornzusammensetzungen „Grob“, „Mitte“, „Fein“ für die Gesteinskörnungsart Rundkorn und Splitt

Statistische Auswertung des Schnellmigrationstests: Kornzusammensetzung

Tab.: 02: Statistische Auswertung der Migrationskoeffizienten mittels einfaktorieller Varianzanalyse (CEM III/A, w/z 0,5) | Kornzusammensetzung

Gesteinskörnung		Chloridmigrationkoeffizient		
Art	Zusammensetzung	M _{nss}	Mittelwert	P-Wert
		[10 ⁻¹² m ² /s]	[10 ⁻¹² m ² /s]	[-]
Rund- korn	Grob	3,15	2,87	0,053 > α = 0,05 kein Unterschied
		2,59		
	Mitte	3,78	3,82	
		3,86		
	Fein	3,13	3,12	
		3,10		
Splitt	Grob	3,60	3,75	0,069 > α = 0,05 kein Unterschied
		3,15		
	Mitte	2,55	2,34	
		2,12		
	Fein	1,90	2,18	
		2,45		

→ Es konnte kein signifikanter Einfluss der Kornzusammensetzung innerhalb der Dosiergenauigkeit nach DIN 1045-2:2023-08 auf den Migrationskoeffizienten festgestellt werden.

Statistische Auswertung des Schnellmigrationstests: Gesteinskörnungsart

Tab.: 03: Statistische Auswertung der Migrationskoeffizienten mittels einfaktorieller Varianzanalyse | Gesteinskörnungsart

Gesteinskörnungsart	Chloridmigrationkoeffizient			
	M_{nss}	Mittelwert	P-Wert	
	$[10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}]$	$[10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}]$	$[-]$	
Rundkorn	3,71	3,27	0,011 $< \alpha = 0,05$	
	3,72			
	3,78			
	3,86			
	3,13			
	3,10			
Splitt	3,60	2,63		Unterschied!
	3,15			
	2,55			
	2,12			
	1,90			
	2,45			

→ Es konnte ein signifikanter Einfluss der untersuchten Gesteinskörnungsarten auf den Migrationskoeffizienten festgestellt werden.

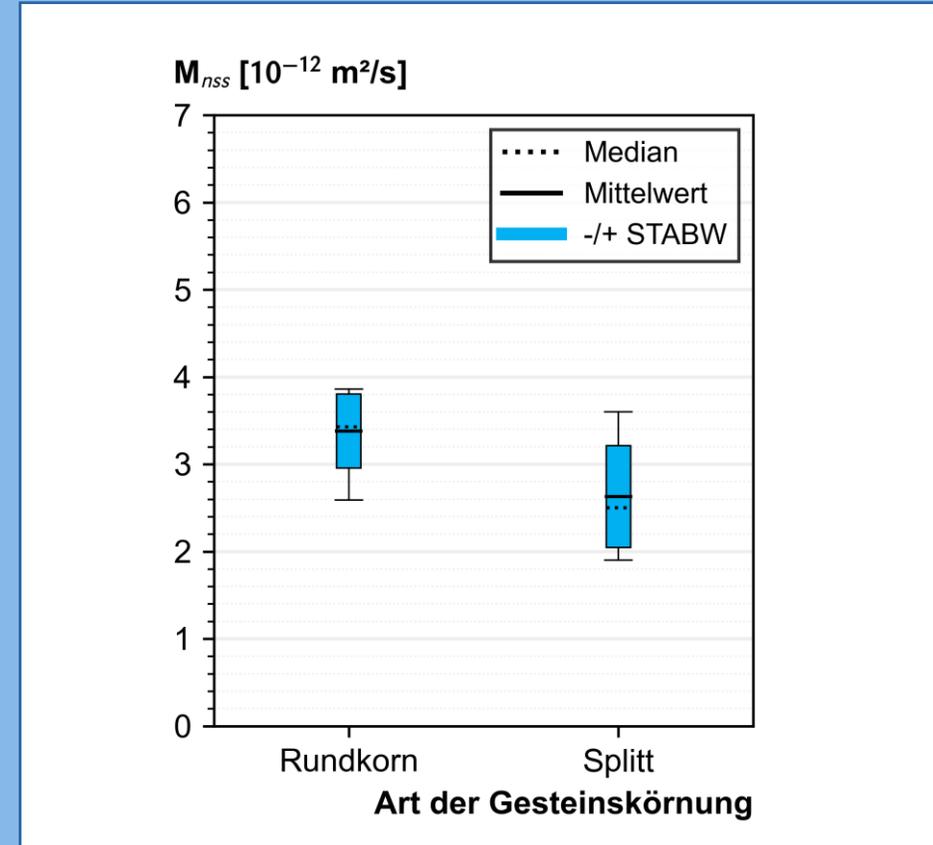


Abb. 03: Streuverhalten des Migrationskoeffizienten für den CEM III/A (w/z 0,5) in Abhängigkeit der Gesteinskörnungsart

Statistische Auswertung des Schnellmigrationstests: Einordnung in Expositionswiderstandsklassen

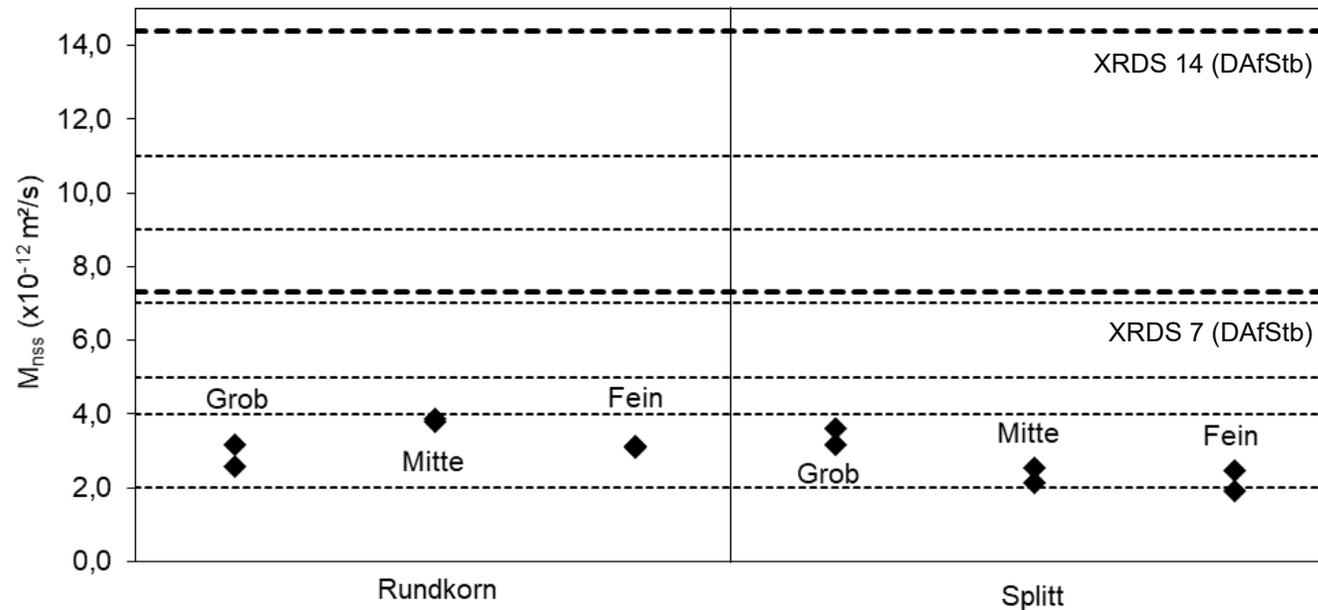


Abb. 04: Einordnung der ermittelten Chloridmigrationskoeffizienten (CEM III/A-Beton) in die Expositionswiderstandsklassen XRDS nach Entwurf 14 der EN 206-100 (dünne Linien) und ERC-Richtlinie des DAfStb (dicke Linien)

Statistische Auswertung des beschl. Karbonatisierungsverfahrens: Kornzusammensetzung

Tab.: 04: Statistische Auswertung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit mittels einfaktorieller Varianzanalyse (CEM III/A, w/z 0,5) | Kornzusammensetzung

Gesteinskörnung		Karbonatisierungsgeschwindigkeit		
Art	Zusammensetzung	K_{AC}	Mittelwert	P-Wert
		[mm/ \sqrt{d}]	[mm/ \sqrt{d}]	[-]
Rund- korn	Grob	1,2	1,3	0,385 > $\alpha = 0,05$ kein Unterschied
		1,3		
	Mitte	1,1	1,2	
		1,2		
	Fein	1,2	1,2	
		1,1		
Splitt	Grob	1,2	1,2	0,650 > $\alpha = 0,05$ kein Unterschied
		1,1		
	Mitte	1,1	1,1	
		1,1		
	Fein	1,1	1,2	
		1,2		

→ Es konnte kein signifikanter Einfluss der Kornzusammensetzung innerhalb der Dosiergenauigkeit nach DIN 1045-2:2023-08 auf die Karbonatisierungsgeschwindigkeit festgestellt werden.

Statistische Auswertung des beschl. Karbonatisierungsverfahrens: Gesteinskörnungsart

Tab.: 05: Statistische Auswertung der Karbonatisierungsgeschwindigkeit mittels einfaktorieller Varianzanalyse | Gesteinskörnungsart

Gesteinskörnungsart	Karbonatisierungsgeschwindigkeit		
	K _{AC}	Mittelwert	P-Wert
	[mm/√d]	[mm/√d]	[-]
Rundkorn	1,2	1,2	0,209 > α = 0,05
	1,3		
	1,1		
	1,2		
	1,2		
	1,1		
Splitt	1,2	1,1	kein Unterschied
	1,1		
	1,1		
	1,1		
	1,1		
	1,2		

→ Es konnte kein signifikanter Einfluss der untersuchten Gesteinskörnungsarten auf die Karbonatisierungsgeschwindigkeit festgestellt werden.

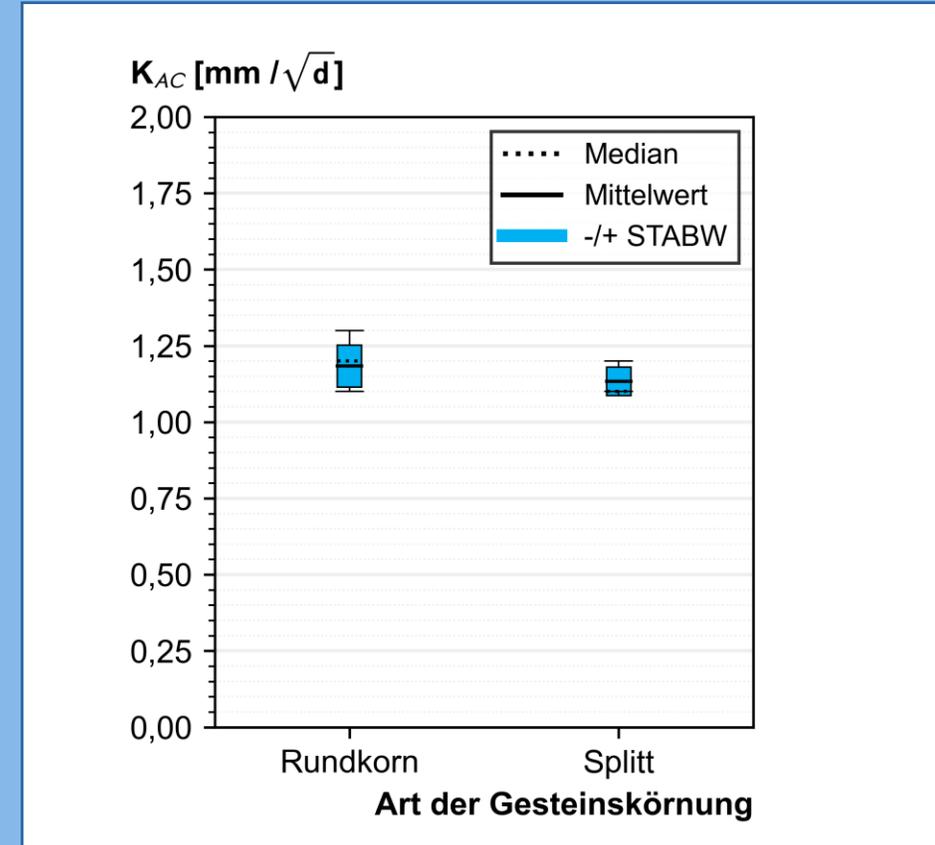


Abb. 05: Streuverhalten der Karbonatisierungsgeschwindigkeit für den CEM III/A (w/z 0,5) in Abhängigkeit der Gesteinskörnungsart

Statistische Auswertung des beschl. Karbonatisierungsverfahrens: Einordnung in Expositionswiderstandsklassen

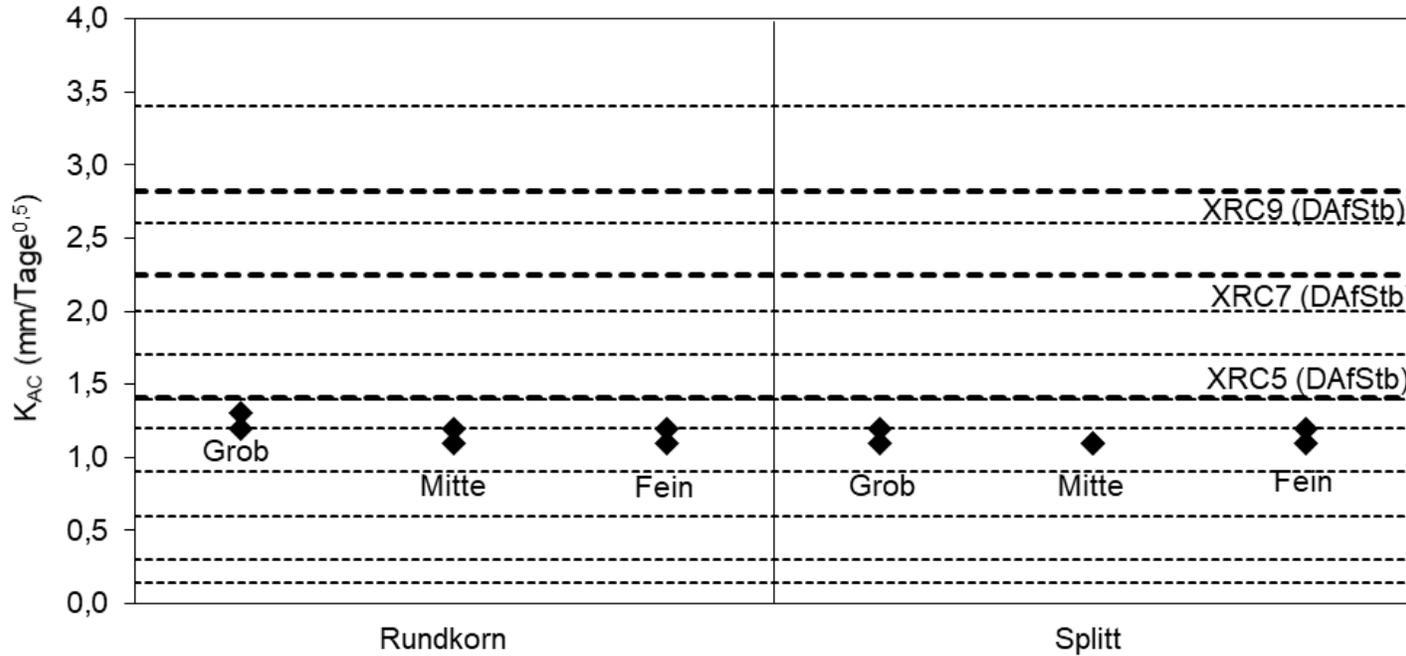


Abb. 06: Einordnung der ermittelten Karbonatisierungsgeschwindigkeiten in die Expositionswiderstandsklassen XRC nach Entwurf 14 der EN 206-100 (dünne Linien) und ERC-Richtlinie des DAfStb (dicke Linien)

Gemeinsame Betrachtung der untersuchten Einflüsse: Monte-Carlo-Simulation

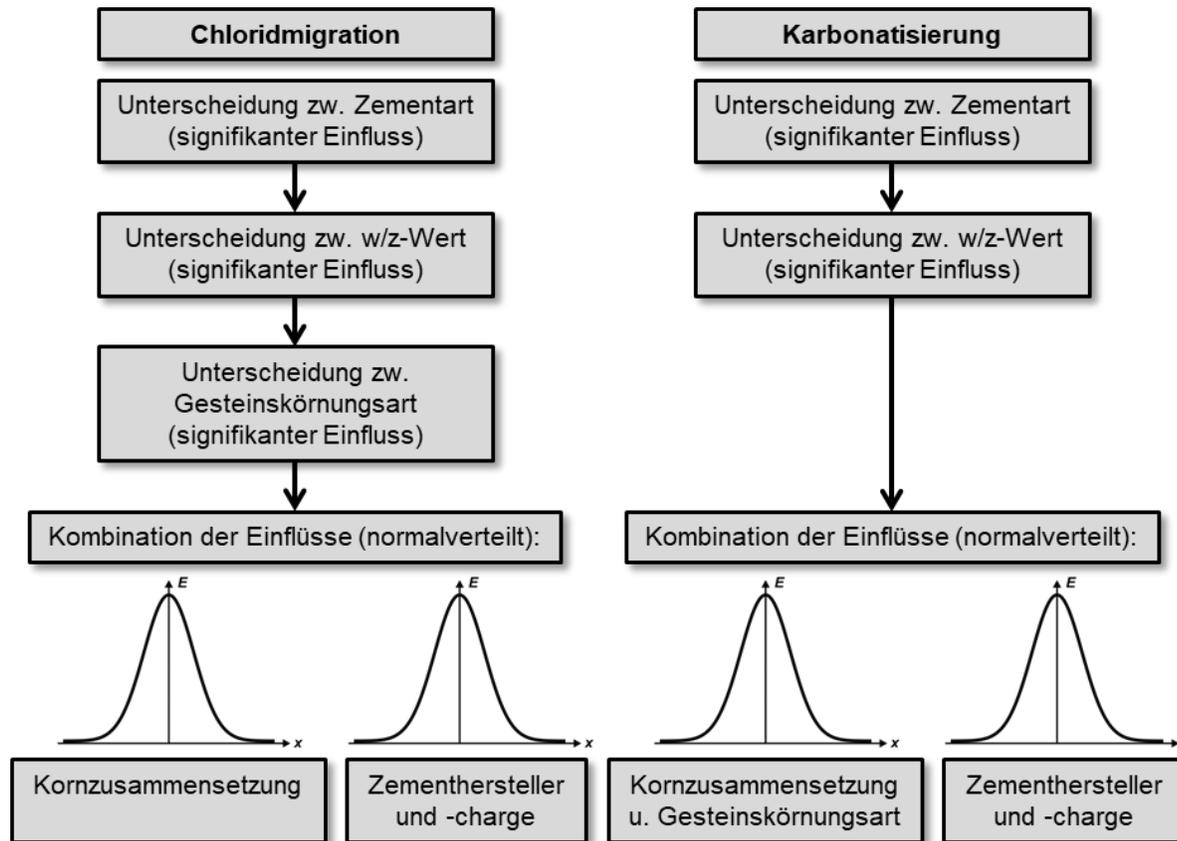


Abb. 07: Schema einer gemeinsamen Betrachtung der untersuchten Einflüsse

Gemeinsame Betrachtung der untersuchten Einflüsse: Monte-Carlo-Simulation

Tab.: 06: Angesezte Normalverteilungen der untersuchten Einflüsse als Eingangsgrößen für die Monte-Carlo-Simulation für einen CEM III/A, w/z 0,50, Rundkorn

Einfluss	Normalverteilung			
	Chloridmigrationskoeffizient [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]		Karbonatisierungsgeschw. [mm/\sqrt{d}]	
	Mittelwert	Standardabw.	Mittelwert	Standardabw.
Zementhersteller und -charge	5,25	1,37	1,47	0,27
Kornzusammensetzung (Migration: Rundkorn)	3,38	0,42	1,16	0,06



Tab.: 07: Resultierende Normalverteilungen durch Kombination der untersuchten Einflüsse mittels Monte-Carlo-Simulation für einen CEM III/A, w/z 0,50, Rundkorn

	Chloridmigrationskoeffizient [$10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$]	Karbonatisierungsgeschw. [mm/\sqrt{d}]
Mittelwert	4,31	1,31
Standardabweichung	0,72	0,14
95 %-Quantil	5,49	1,54

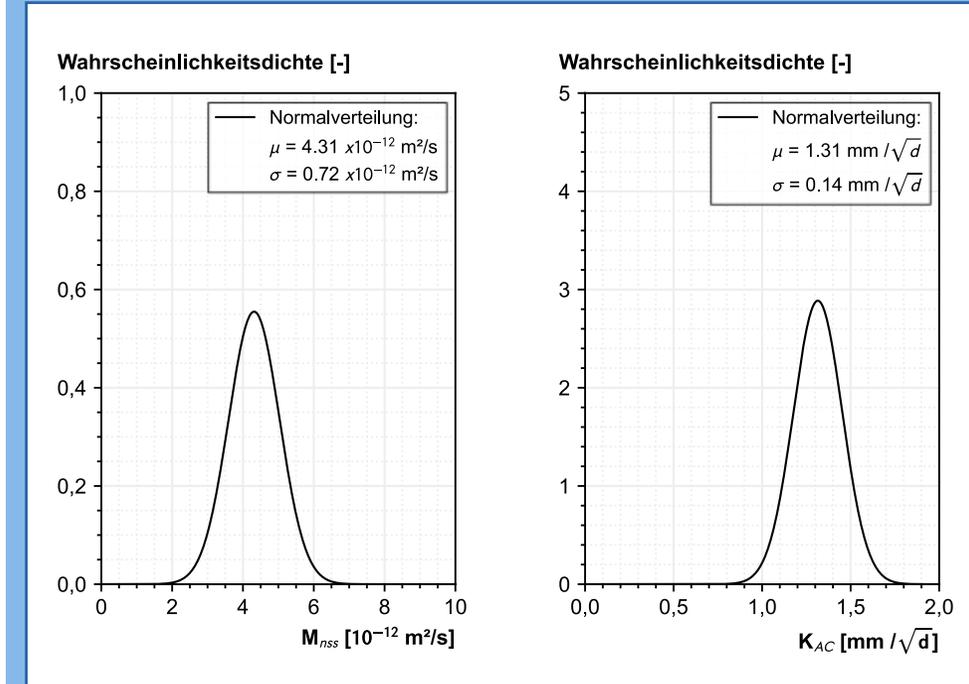


Abb. 08: Resultierende Normalverteilung der kombinierten Einflüsse auf die Chloridmigrationskoeffizienten (links) und die Karbonatisierungsgeschwindigkeit (rechts) für einen CEM III/A, w/z 0,50, Rundkorn

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit