

NACHBEHANDLUNG VON KLINKERARMEN BETONEN – HERAUSFORDERUNGEN DER ZUKUNFT

Betonfachpersonalschulung 2026 in Dotternhausen
26. Februar 2026
Dr.-Ing. Julian Link

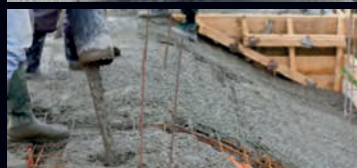


NACHBEHANDLUNG VON KLINKERARMEN BETONEN – HERAUSFORDERUNGEN DER ZUKUNFT

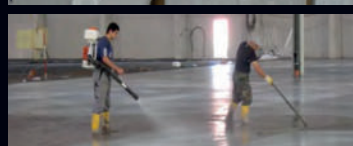
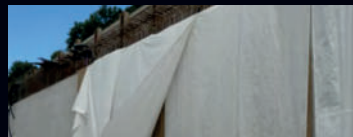
Aktuelle Nachbehandlung



Eigenschaften zukünftiger klinkerarme Betone



Nachbehandlung bei klinkerarmen Betonen



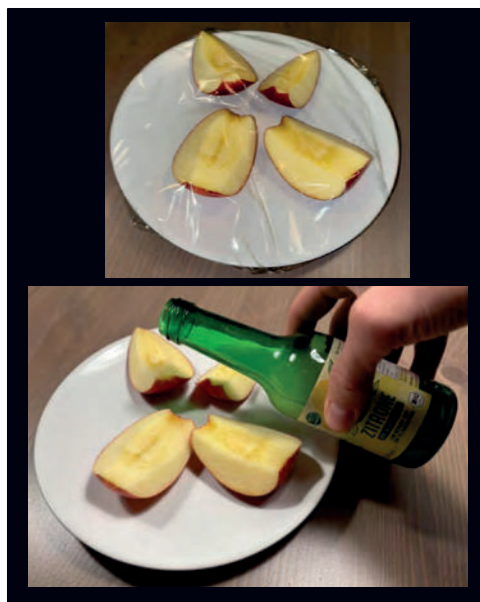
Schäden durch fehlerhafte Nachbehandlung



NACH- BEHANDLUNG UND SCHUTZ



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ ALLTÄGLICHE BEISPIELE DER NACHBEHANDLUNG



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ

ZIELE DER NACHBEHANDLUNG

Ziele der Nachbehandlung

- Ausreichende mechanische Festigkeit und Dauerhaftigkeit in der Betonrandzone
- Verringerung des Risspotenzials infolge von
 - Fröhschwinden (plastischem Schwinden) oder
 - Temperatur-Zwangsspannungen (Hydratation/Witterung)
- Erreichen der Oberflächenanforderungen bei Sichtbetonflächen

AK-N

AK-E

AK-S

AK-E

AK-S

AK-E

AK-S



Betonbaukonzept
mit Besprechung und
Beschreibung der
Nachbehandlung

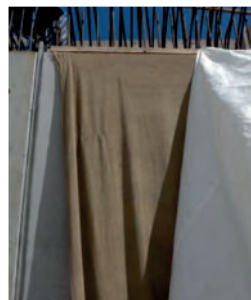


NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ

EINWIRKUNGEN

Schutz des jungen Betons vor

- vorzeitigem Austrocknen durch Wind, Sonne, trockene Kälte
- extremen Temperaturen (Kälte / Hitze) und raschen Temperaturwechseln
- schädlichen Witterungseinfluss durch Niederschläge
- schädlichen Erschütterungen, wie Stößen oder Beschädigungen
- schädigendem Kontakt mit betonangreifenden Stoffen (Bsp. Chloride)



Nachbehandlungsverfahren



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ

ZEITPUNKT

Zeitpunkt der Nachbehandlung

- Nach dem Verdichten und der Oberflächenbearbeitung ist die Betonoberfläche sofort nachzubehandeln
- Ggfs. Zwischennachbehandlung vor abschließender Oberflächenbearbeitung z.B. zur Vermeidung einer Rissbildung durch Fröhschwinden

Wasserrückhaltende Zwischen-Nachbehandlungsmaßnahmen



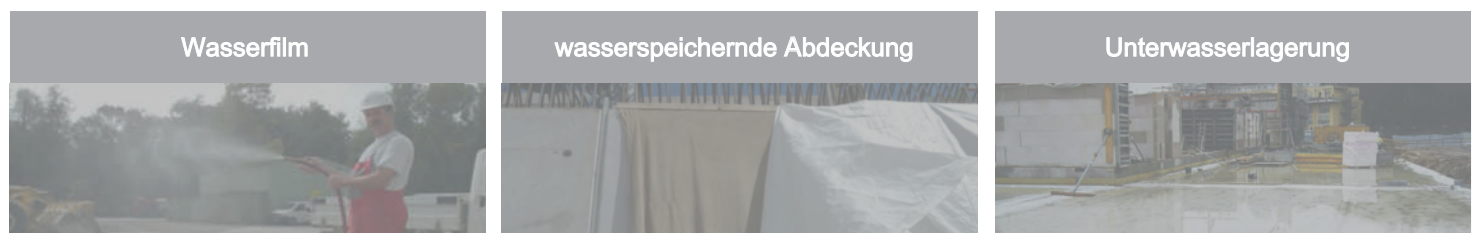
NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ

MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen



Wasserzuführende Maßnahmen



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung

Abdecken mit Folie/Vlies

Nachbehandlungsmittel

Natürliche Nachbehandlung
85% rel. LF

Belassen in Schalung

- Schutz vor Austrocknen und Beschädigungen (sinnvoll wenn Ausschulfristen passen)
- Nicht geschalte Flächen müssen gesondert nachbehandelt werden.



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung

Abdecken mit Folie/Vlies

Nachbehandlungsmittel

Natürliche Nachbehandlung
85% rel. LF

Abdeckung mit Folie

- Folie muss dicht anliegen
- Gegen Durchzug sichern (Stoßbereiche)
- Kann bei Sichtbeton problematisch sein (Verfärbungen)



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung

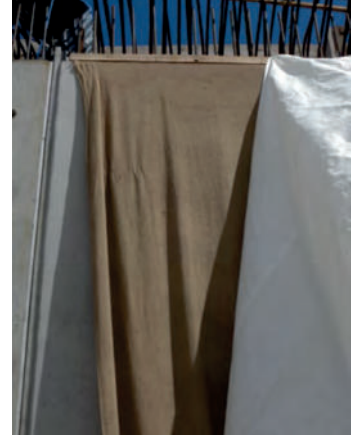
Abdecken mit Folie/Vlies

Nachbehandlungsmittel

Natürliche Nachbehandlung
85% rel. LF

Abdeckung mit Vlies

- Wasserhaltend & -zuführend
- Vlies muss permanent feucht gehalten werden
- Aufwändig, aber unempfindlich gegen Wind
- Gute Ergebnisse bei Sichtbeton



11 | 26. Februar 2026 | NACHBEHANDLUNG VON KLINGERARMEN BETONENHERAUSFORDERUNG DER ZUKUNFT



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung

Abdecken mit Folie/Vlies

Nachbehandlungsmittel

Natürliche Nachbehandlung
85% rel. LF

Nachbehandlungsmittel

- Wasserhaltend durch Filmbildung
- Pigmentzusatz verringert Temperaturanstieg im Sommer
- Problematisch an Arbeitsfugen und bei Beschichtungen
- Eignung muss nachgewiesen werden



12 | 26. Februar 2026 | NACHBEHANDLUNG VON KLINGERARMEN BETONENHERAUSFORDERUNG DER ZUKUNFT



NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung	Abdecken mit Folie/Vließ	Nachbehandlungsmittel	Natürliche Nachbehandlung 85% rel. LF
----------------------	--------------------------	-----------------------	--

Natürliche Nachbehandlung

- min. 85% rel. LF
- keine Verdunstung durch Hitze oder Wind
- Wetterveränderungen beachten

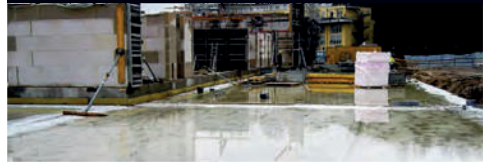


NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserrückhaltende Maßnahmen

Belassen in Schalung	Abdecken mit Folie/Vließ	Nachbehandlungsmittel	Natürliche Nachbehandlung 85% rel. LF
			

Wasserzuführende Maßnahmen

Wasserfilm	wasserspeichernde Abdeckung	Unterwasserlagerung
		

NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ MAßNAHMEN

Wasserzuführende Maßnahmen

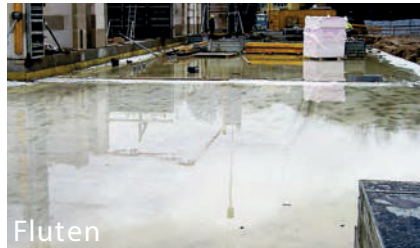
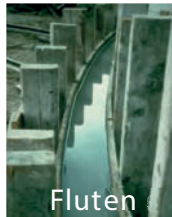
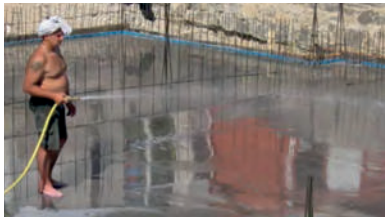
Wasserfilm

wasserspeichernde Abdeckung

Unterwasserlagerung

Wasserzuführende Nachbehandlung

- Oberfläche steht in ständigem Kontakt zu Wasser
- keine Abtrocknung der Oberfläche
- Gefahr schockartiger Abkühlung



Fluten



Fluten



Wassernebel

NACH- BEHANDLUNGS- DAUER



MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER

NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2- XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)
Anteil an f_{ck}	nicht festgelegt	50% (Nachweis)	70% (Nachweis)
Alternative zum Anteil an f_{ck}	$\geq 0,5$ Tage (ohne Reifenachweis)	Minstdauer anhand maßgeblicher Temperatur	Minstdauer anhand maßgeblicher Temperatur verdoppeln



MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER

NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2- XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)

Mindestnachbehandlung in Tagen für NBK 3

Oberflächen -/ Lufttemperatur	Festigkeitsentwicklung des Betons			
	schnell ($r \geq 0,5$)	mittel ($0,3 \leq r < 0,5$)	langsam ($0,15 \leq r < 0,3$)	sehr langsam ($r < 0,15$)
$\geq 25\text{ °C}$	1	2	2	3
$< 25\text{ °C bis } 15\text{ °C}$	1	2	4	5
$< 15\text{ °C bis } 10\text{ °C}$	2	4	7	10
$< 10\text{ °C bis } 5\text{ °C}$	3	6	10	15



PK-E
AK-E



MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER

NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2- XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)

Mindestnachbehandlung in Tagen für NBK 4

Oberflächen -/ Lufttemperatur	Festigkeitsentwicklung des Betons			
	schnell ($r \geq 0,5$)	mittel ($0,3 \leq r < 0,5$)	langsam ($0,15 \leq r < 0,3$)	sehr langsam ($r < 0,15$)
$\geq 25\text{ °C}$	2	4	4	6
$< 25\text{ °C bis } 15\text{ °C}$	2	4	8	10
$< 15\text{ °C bis } 10\text{ °C}$	4	8	14	20
$< 10\text{ °C bis } 5\text{ °C}$	6	12	20	30

PK-E

AK-E



MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER

NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2- XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)
Anteil an f_{ck}	nicht festgelegt	50% (Nachweis)	70% (Nachweis)
Alternative zum Anteil an f_{ck}	$\geq 0,5$ Tage (ohne Reifenachweis)	- Mindestdauer anhand maßgeblicher Temperatur - für XC2 - XC4, XF1: Mindestdauer anhand Frischbetontemperatur	Mindestdauer anhand maßgeblicher Temperatur verdoppeln



MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2 - XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)

Mindestnachbehandlung in Tagen für XC2 - XC4 & XF1 (NBK3)

Frischbeton- temperatur	Festigkeitsentwicklung des Betons		
	schnell ($r \geq 0,5$)	mittel ($0,3 \leq r < 0,5$)	langsam ($0,15 \leq r < 0,3$)
$\geq 15\text{ °C}$	1	2	4
$< 15\text{ °C bis } \leq 10\text{ °C}$	2	4	7
$< 10\text{ °C bis } 5\text{ °C}$	4	8	14

PK-E AK-E

MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER NACHBEHANDLUNGSKLASSEN (NBK)

Anforderungen	NBK 1	NBK 3	NBK 4
Expositionsklassen	X0, XC1	XC2 - XC4, XA, XD, XS, XF2 - XF3, XF4 bei $r \geq 0,3$ (mittel und schnell)	XM, XF4 bei $r < 0,3$ (langsam und sehr langsam)

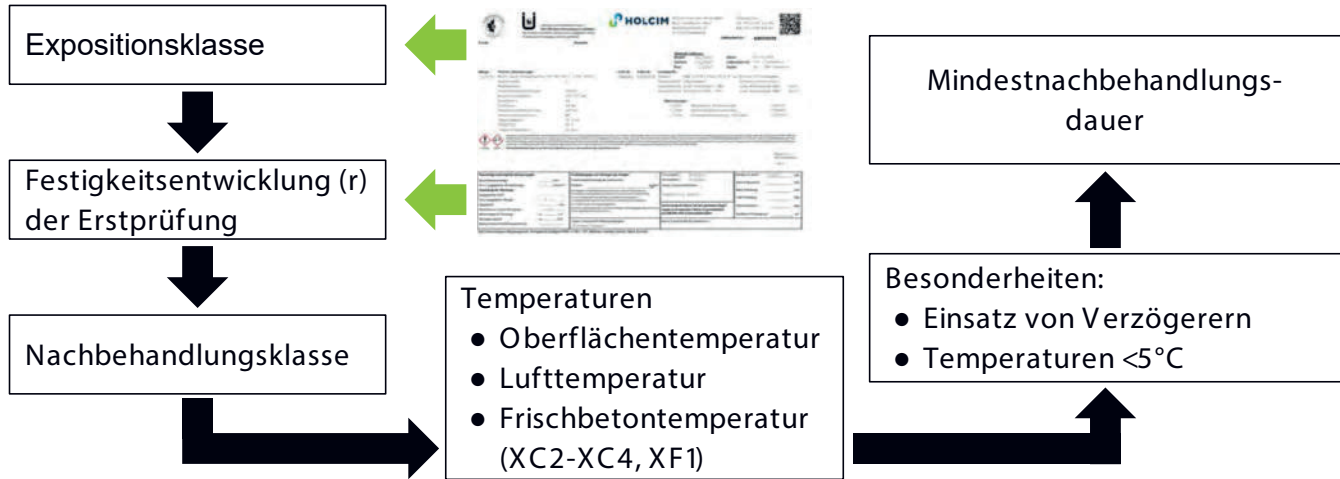
Allgemein

- bei Verarbeitungszeit von mehr als 5h: Nachbehandlung angemessen zu verlängern
- bei $T_{\text{Oberfläche}} < 5\text{ °C}$: Nachbehandlung um diese Zeit zu verlängern
- Mindestdruckfestigkeit Betonrandzone $f_{\text{cm}} = 5\text{ MPa}$ bevor $T_{\text{Oberfläche}} < 0\text{ °C}$
- bei Lufttemperatur $< -3\text{ °C}$: Betontemperatur $\geq 10\text{ °C}$ für mind. 3 Tage
- Abweichung für erhöhte oder speziell festzulegende Nachbehandlungsanforderungen führen zu **AK-E** oder **AK-S**

MINDESTNACHBEHANDLUNGSDAUER

ZUSAMMENFASSUNG

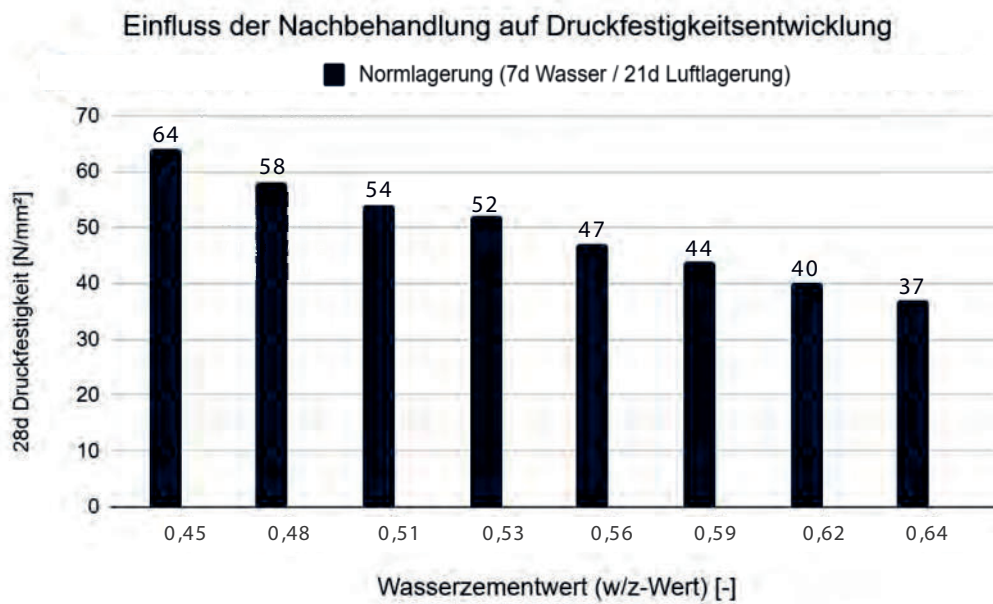
Vorgehen zur Bestimmung der Nachbehandlungsdauer



EINFLUSS DER NACH-BEHANDLUNG



EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER LABORBEDINGUNGEN



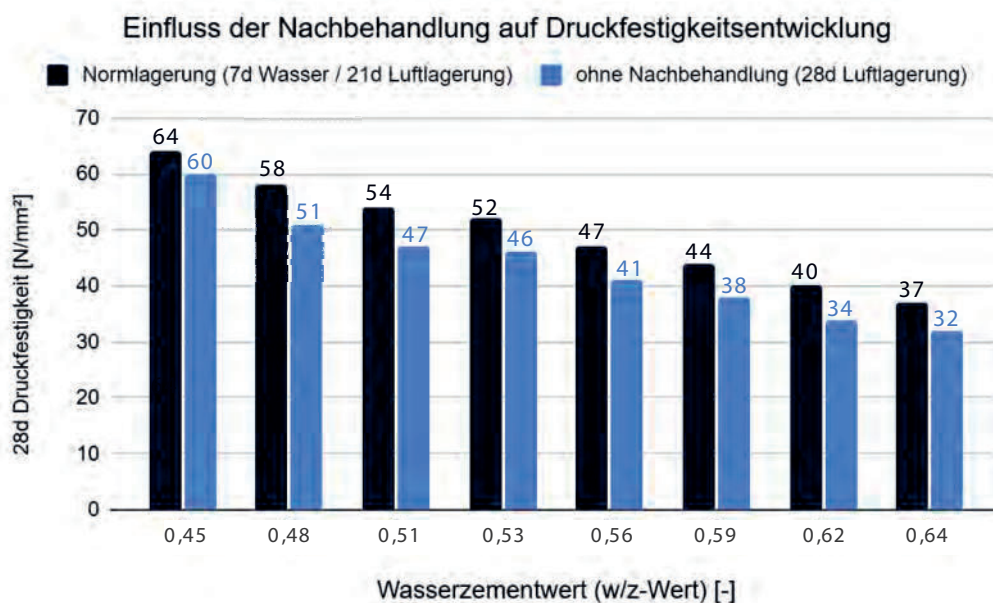
Einflüsse

- **zusätzliche Wasserzugabe**
Abnahme der Druckfestigkeit

Faustregel:

10 l/m³ zusätz. Anmachwasser
vermindert 28d Druckfestigkeit
um 3 – 5 N/mm²

EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER LABORBEDINGUNGEN



Einflüsse

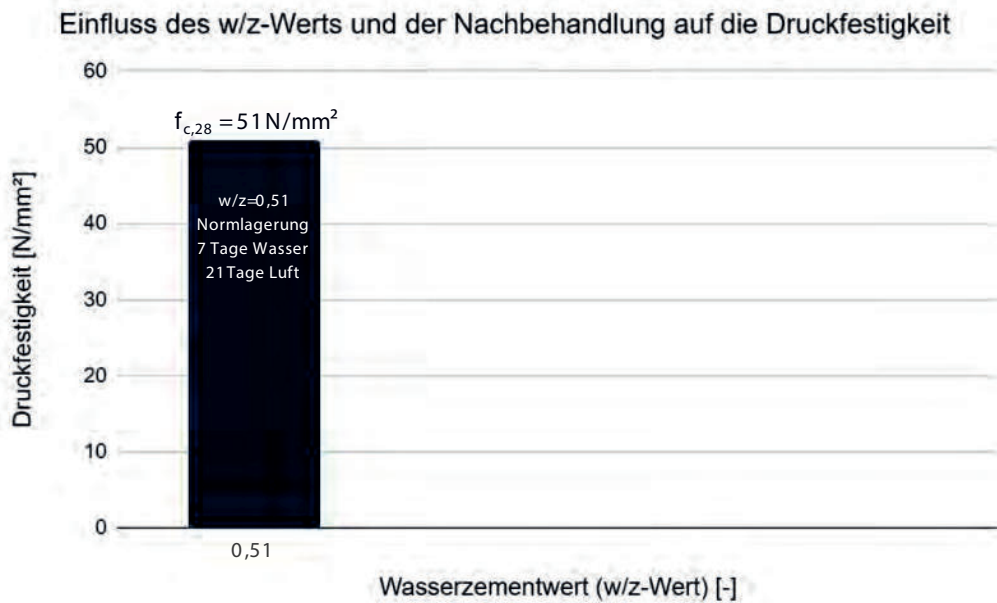
- **zusätzliche Wasserzugabe**
Abnahme der Druckfestigkeit

Faustregel:

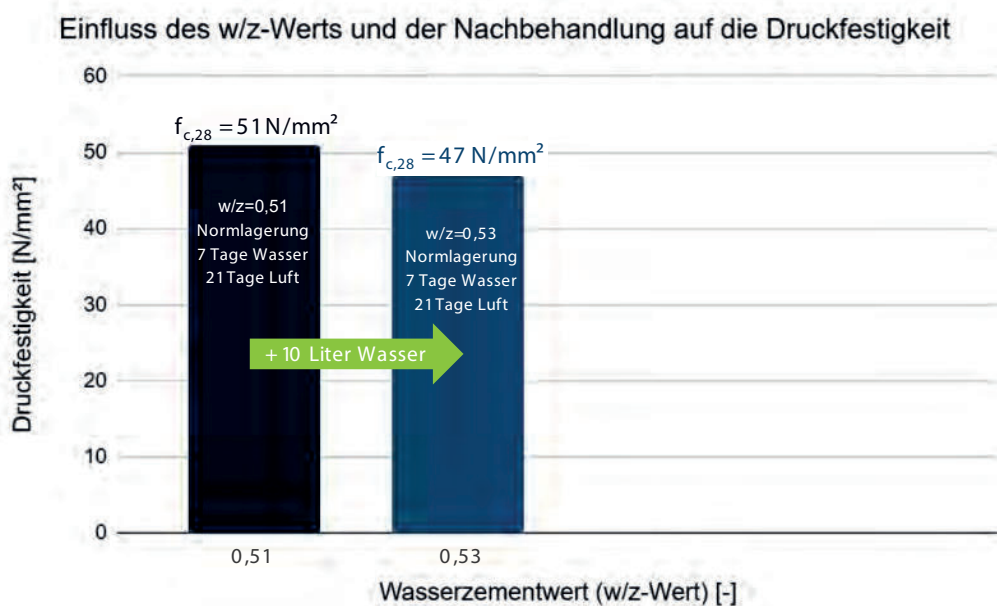
10 l/m³ zusätz. Anmachwasser
vermindert 28d Druckfestigkeit
um 3 – 5 N/mm²

- **Luftlagerung**
Wasserverlust führt zur
Abnahme der Druckfestigkeit

EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER BAUSTELLENBEDINGUNGEN



EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER BAUSTELLENBEDINGUNGEN

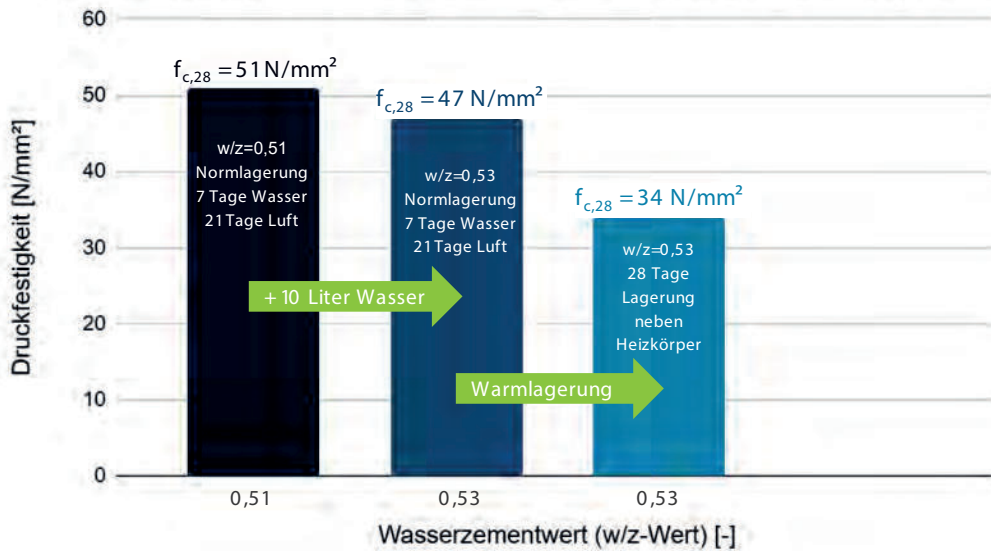


Einflüsse

- w/z -Wert: -4 N/mm² durch zusätzliche Wasserzugabe.

EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER BAUSTELLENBEDINGUNGEN

Einfluss des w/z-Werts und der Nachbehandlung auf die Druckfestigkeit

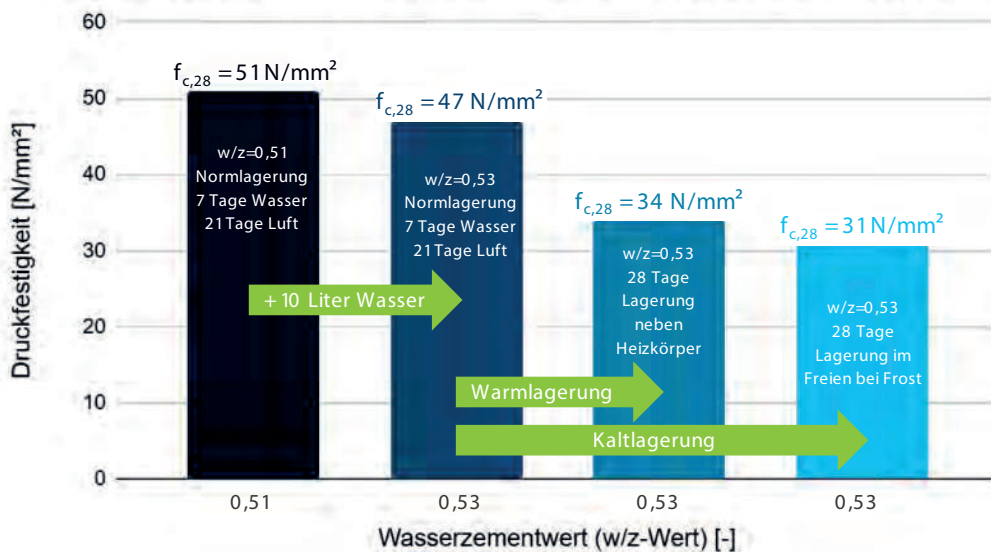


Einflüsse

- **w/z-Wert: -4 N/mm²**
durch zusätzliche Wasserzugabe.
- **Warmlagerung: -13 N/mm²**
durch Wasserverlust und unvollständige Hydratation

EINFLUSS DER NACHBEHANDLUNG UNTER BAUSTELLENBEDINGUNGEN

Einfluss des w/z-Werts und der Nachbehandlung auf die Druckfestigkeit

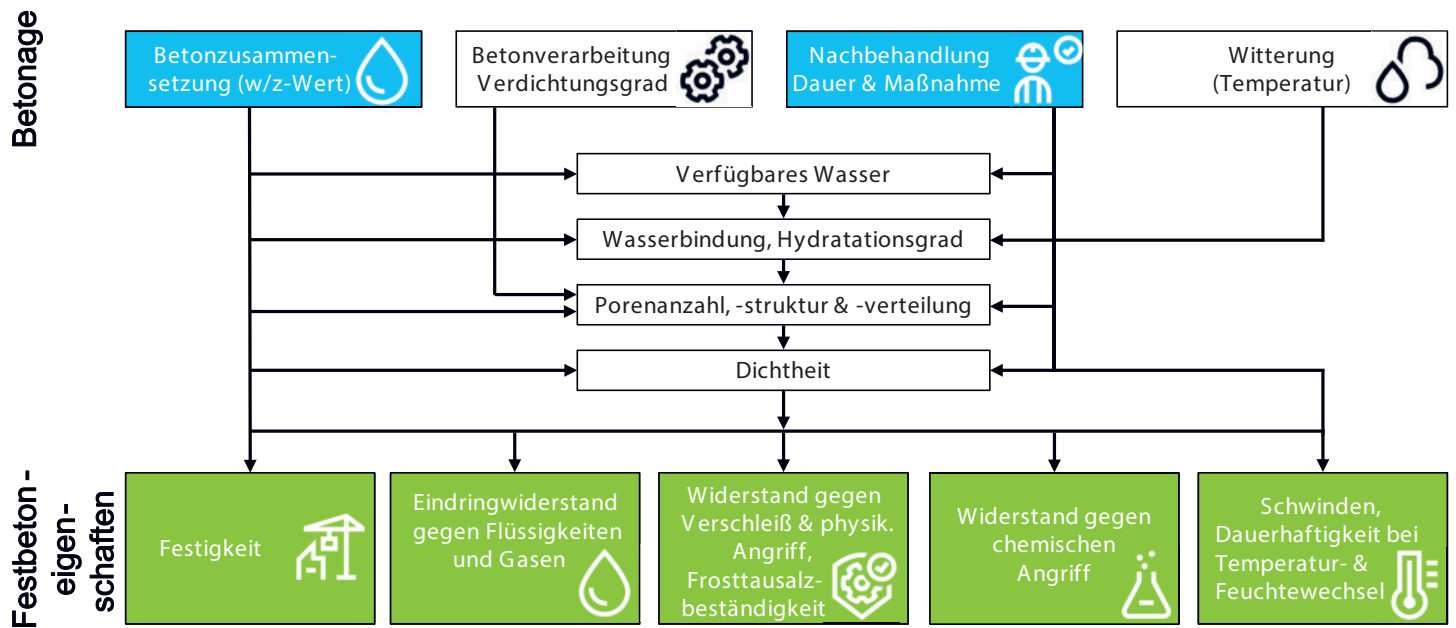


Einflüsse

- **w/z-Wert: -4 N/mm²**
durch zusätzliche Wasserzugabe.
- **Warmlagerung: -13 N/mm²**
durch Wasserverlust und unvollständige Hydratation
- **Kaltlagerung: -16 N/mm²**
durch Frost mit unterbrochener und unvollständiger Hydratation

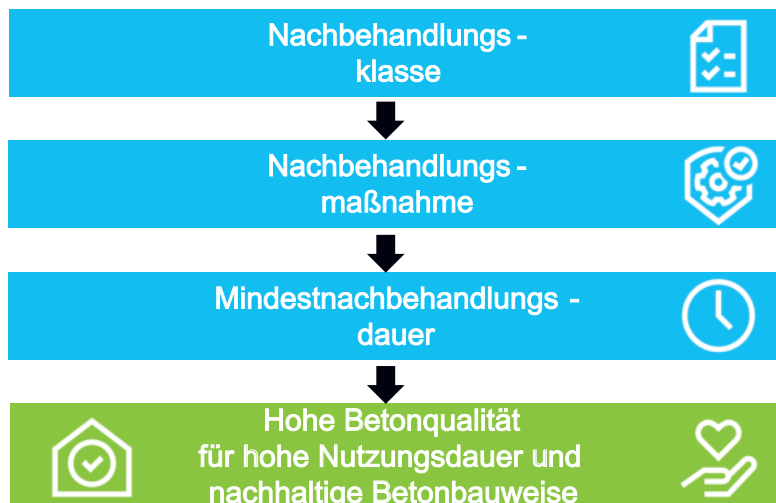
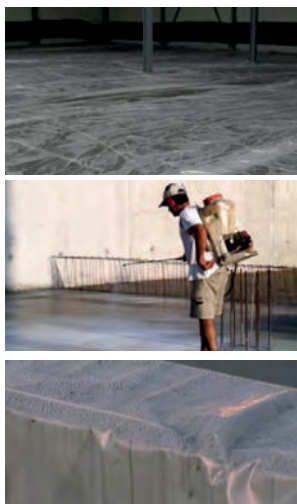
Betonqualität nimmt mit fehlerhafter Nachbehandlung sehr stark ab!

BEEINFLUSSENDE FAKTOREN FÜR DIE BETONQUALITÄT



NACHBEHANDLUNG ZUSAMMENFASSUNG

Nachbehandlung zwingend und ausreichend durchführen, um hohe Betonqualität sicherzustellen!



ZEMENTE DER ZUKUNFT

NACHHALTIGE ZEMENTE FÜR
ZIRKULÄRES BAUEN



ANFORDERUNGEN AN ZEMENTE DER ZUKUNFT

NACHHALTIGKEIT - CO₂-REDUKTION & KREISLAUFWIRTSCHAFT



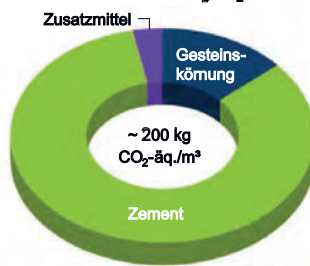
KLIMANEUTRALITÄT IN 2050



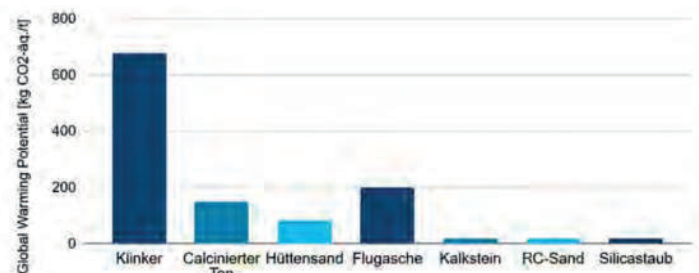
Betonzusammensetzung
[M.-%]



Anteil an CO₂-Emissionen
im Beton [%]



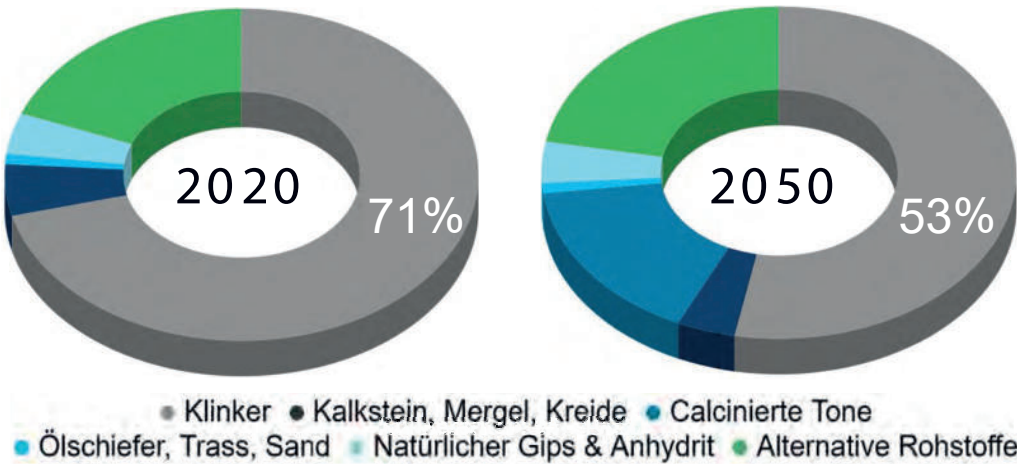
CO₂-Emissionen von Zement-Hauptkomponenten



Reduktion des Klinkerfaktors

ENTWICKLUNG DER ZEMENTSORTEN

VORHERSAGE KLINKERFAKTOR



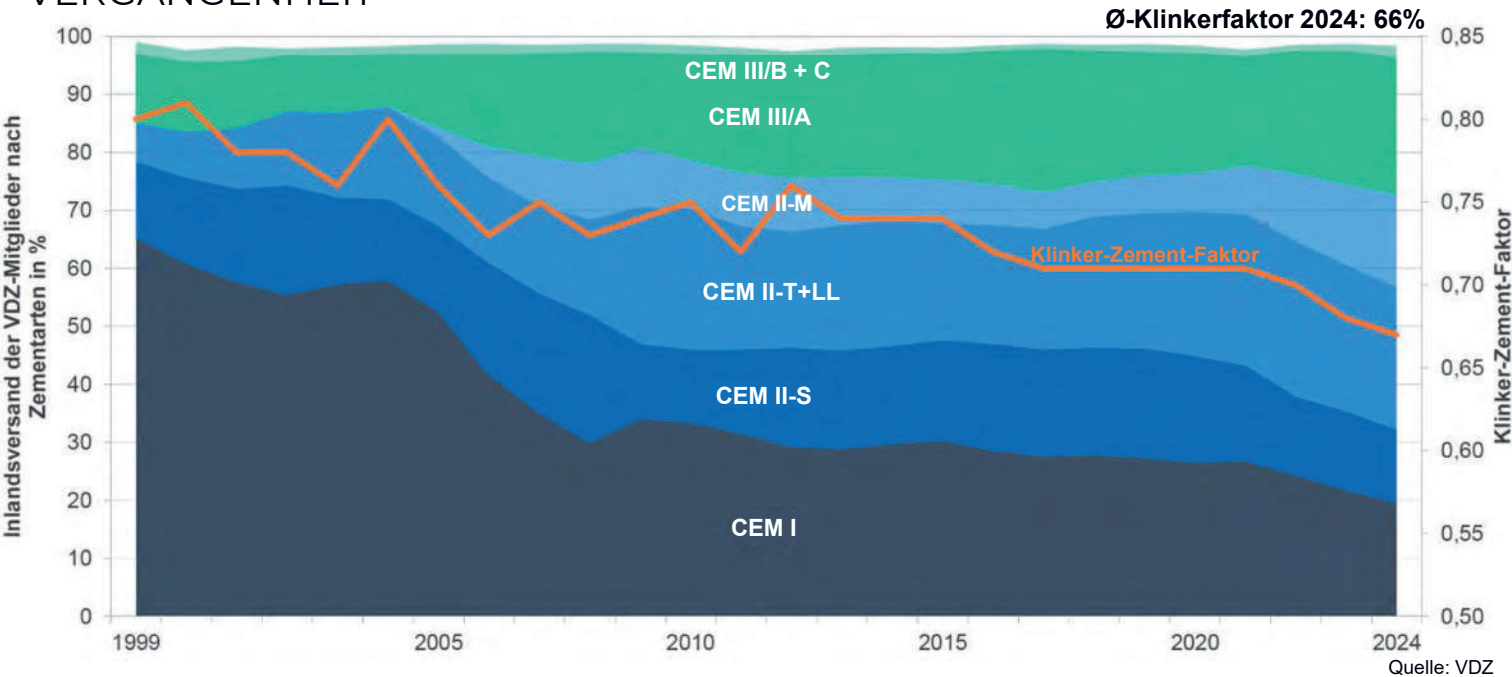
Absenkung des Klinkerfaktors durch Verwendung von Klinkerersatzstoffen, wie:

- gebrannter Ölschiefer
- RC-Sand
- Kalksteinmehl
- Hüttensand
- calcinierter Ton
- ...

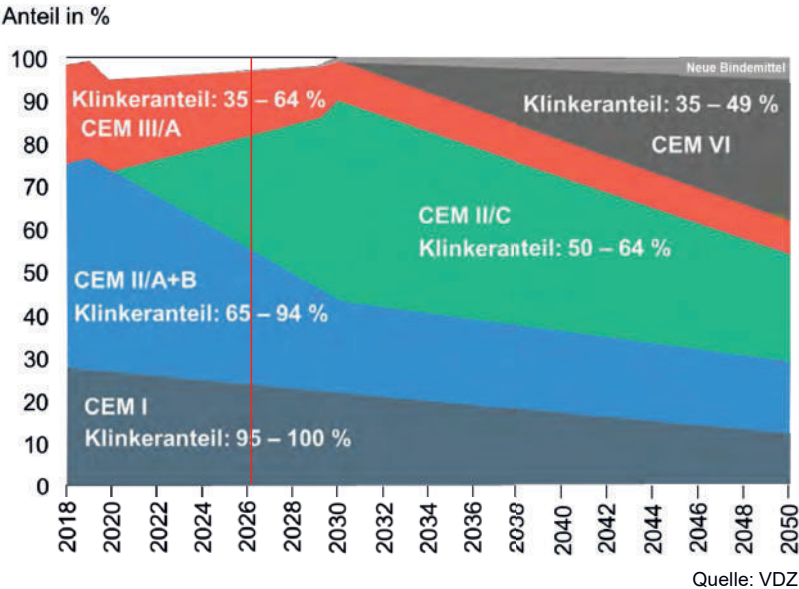
Quelle: VDZ

ENTWICKLUNG DER ZEMENTE

VERGANGENHEIT



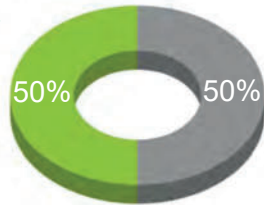
ENTWICKLUNG DER ZEMENTE ZUKUNFT



Nachhaltige Zementarten

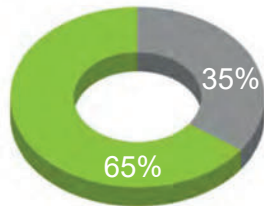
CEM II/C

50%



CEM VI

35%



→Geringere CO₂-Emissionen

BEWERTUNG KLIMAFREUNDLICHER ZEMENTE ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION

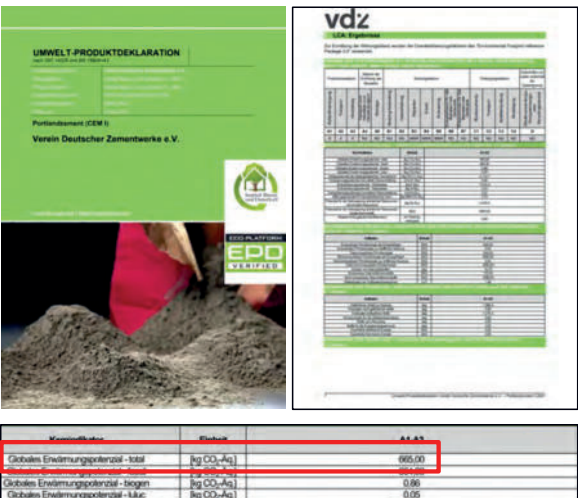
Global Warming Potential (GWP) in [kg CO₂-äq./t]

- CO₂-Emissionen
- Energieverbrauch
- Abfall
- Produktion
- Wasserverbrauch
- Lebenszyklus
- Transport
- Rohstoffverbrauch
- Recycling

Environmental Product Declaration (EPD)

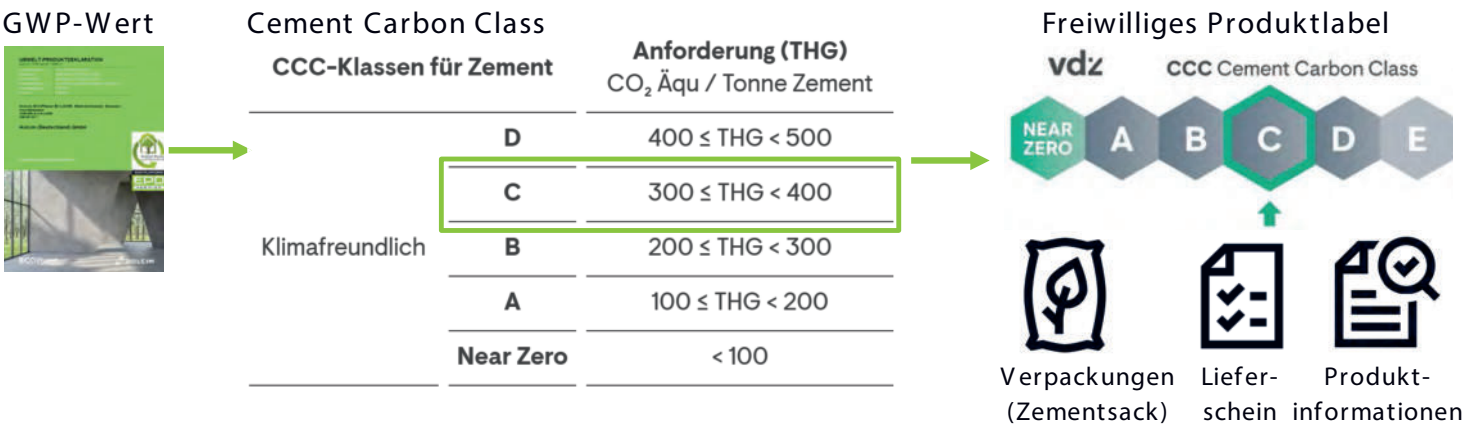


Generische EPD CEM I (VDZ)



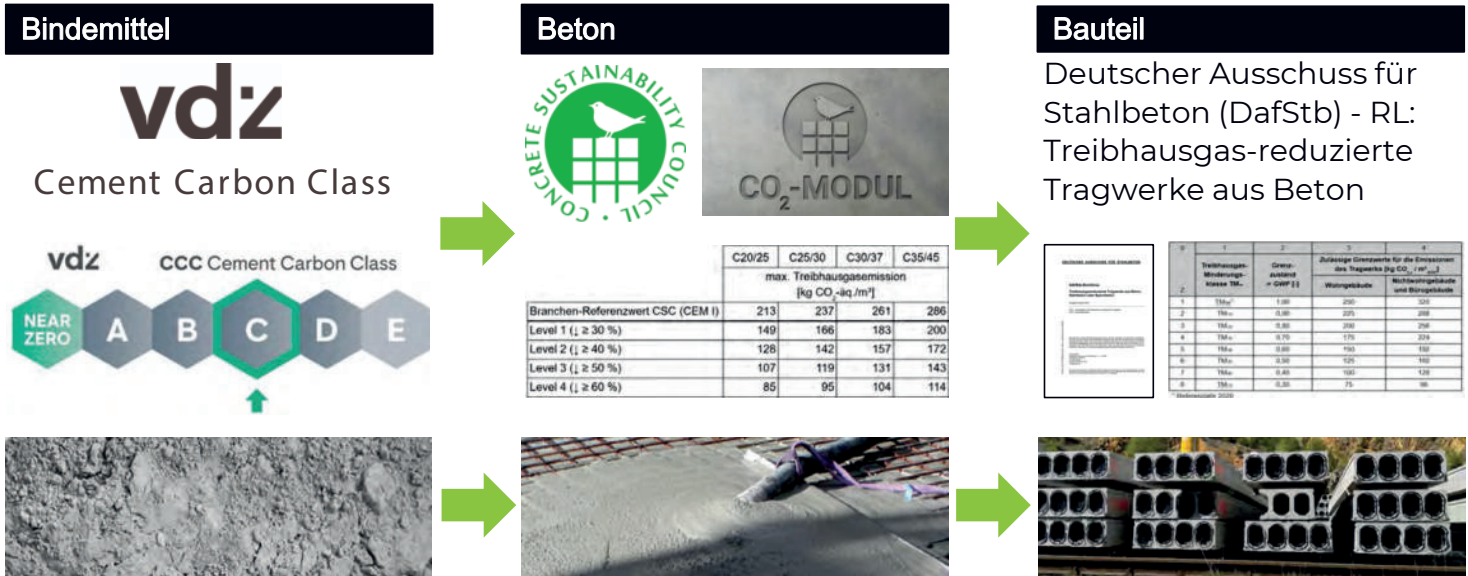
KLASSIFIZIERUNG KLIMAFREUNDLICHER ZEMENTE

CEMENT CARBON CLASS (CCC-LABEL) (VDZ)



EINBEZUG CO₂-OPTIMierter BAUSTOFFE

VOM BINDEMittel ZUM BAUTEIL

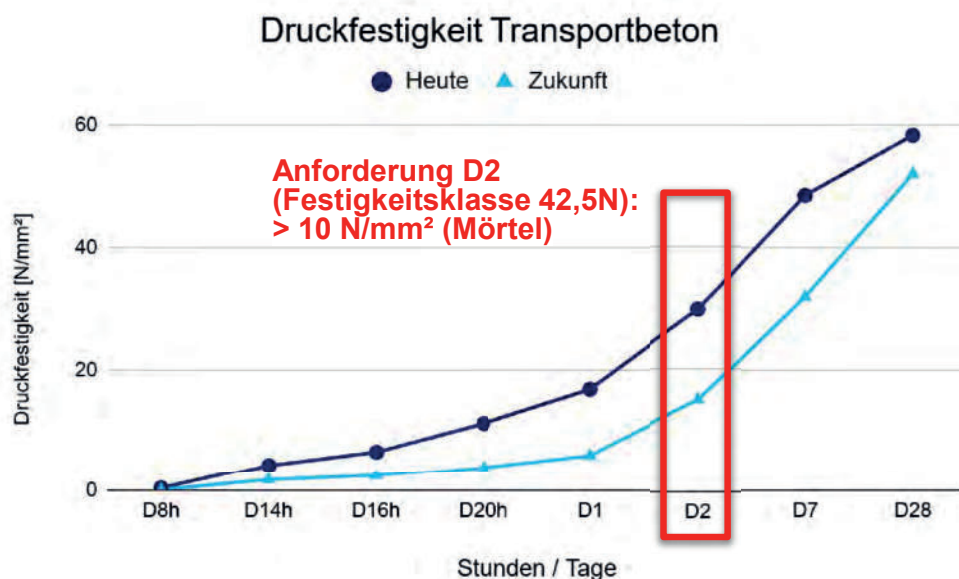


EIGENSCHAFTEN DER ZEMENTE DER ZUKUNFT

VERARBEITBARKEIT
AUSSCHALFRISTEN
FRÜHFESTIGKEITEN

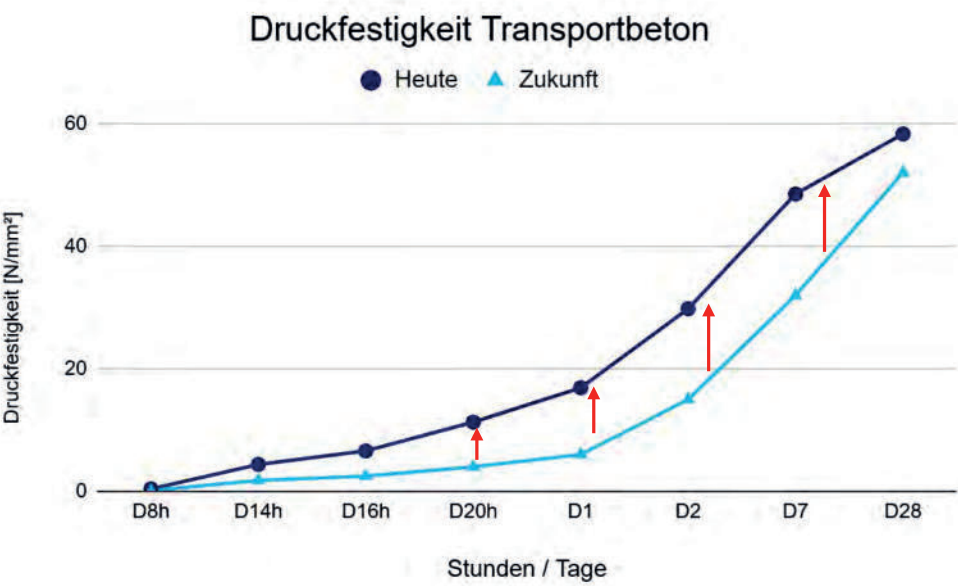


ZEMENTE DER ZUKUNFT DRUCKFESTIGKEITSENTWICKLUNG



ZEMENTE DER ZUKUNFT

DRUCKFESTIGKEITSENTWICKLUNG



Anpassungen Bindemittel

- Neue Hauptbestandteile
- Mahlfeinheit erhöhen
- Optimierung Sulfatträger
- Natürliche Kristallisationskeime

Chemische Beschleunigung

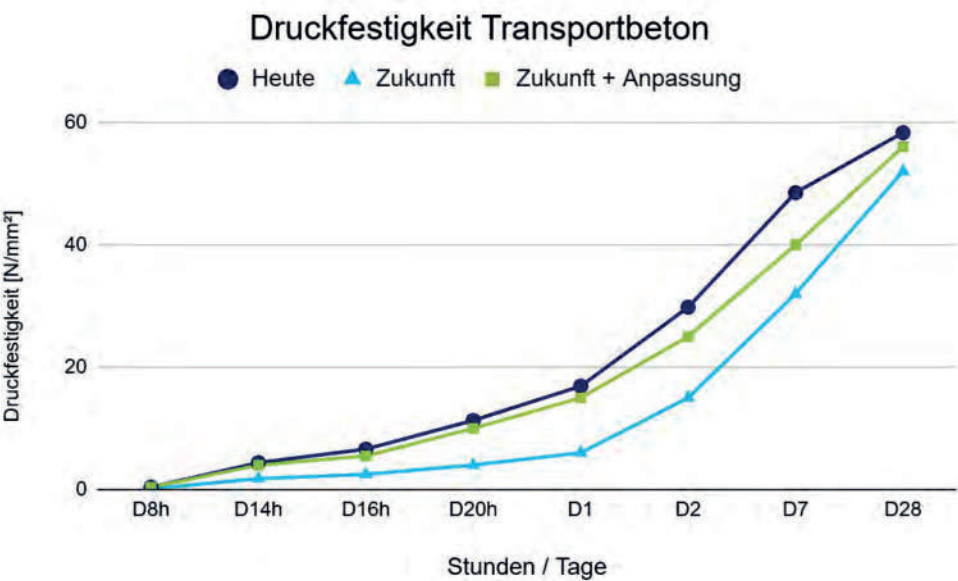
- Zusatzmittel

Thermische Beschleunigung

- Wärmebehandlung
- Frischbetontemperatur

ZEMENTE DER ZUKUNFT

DRUCKFESTIGKEITSENTWICKLUNG



Anpassungen Bindemittel

- Neue Hauptbestandteile
- Mahlfeinheit erhöhen
- Optimierung Sulfatträger
- Natürliche Kristallisationskeime

Chemische Beschleunigung

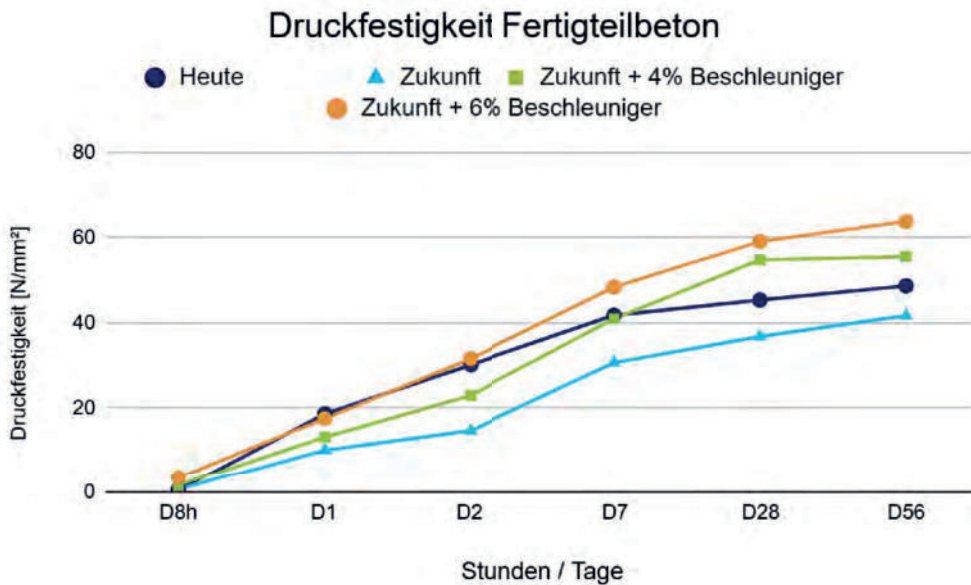
- Zusatzmittel

Thermische Beschleunigung

- Wärmebehandlung
- Frischbetontemperatur

ZEMENTE DER ZUKUNFT

DRUCKFESTIGKEITSENTWICKLUNG



Fertigteilzement

Performance-Erhöhung durch
Zugabe eines Beschleunigers.



ZEMENTE DER ZUKUNFT

VERARBEITBARKEIT, AUSSCHALFRISTEN, FRÜHFESTIGKEITEN

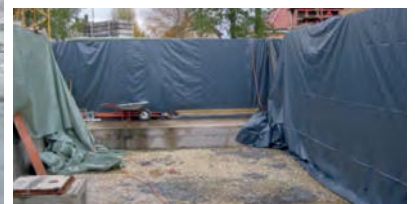
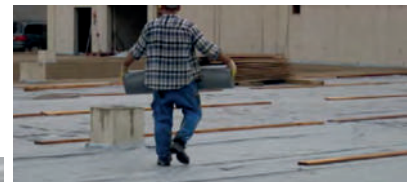
Mögliche Auswirkungen bei klinkerarmen Betonen:

- Feine, poröse Klinkerersatzstoffe ☒ Wasseranspruch steigt
- Zemente nicht für alle Expositionsklassen zugelassen ☒ AbZ erforderlich
- Geringere Frühfestigkeiten ☒ spätere Entschalung/ späteres Abheben
- Verlängerung von Betoniertakten

Herausforderungen für gleichbleibende Performance:

- Anpassung Zementzusammensetzung
- Individuelle Optimierung der Produktion
- Weiterentwicklung der Zusatzmittel

**Höhere Diversifizierung von Zementen
für unterschiedliche Anwendungen.**



BETONE DER ZUKUNFT

NACHBEHANDLUNG VON BETONEN MIT LANGSAMER HYDRATATION

Geringere Festigkeitsentwicklung aufgrund geringer Hydratationskinetik	längere Nachbehandlung	
Langsameres Einbinden des Anmachwassers in Hydratationsphasen (Risiko: Fröhschwindrisse)	wasserrückhalte & -zuführende Maßnahmen; längere Nachbehandlung	
Bei geringen Temperaturen reicht geringe Hydratationswärme nicht aus	Zusätzliche Wärmeisolierung oder Temperatur -zuführende Maßnahmen.	
Abnahme der Robustheit gegenüber äußere Einflüsse beim Erhärten	Konsequentes Nachbehandeln, frühes Nachbehandeln	
Geringe Alkalitätsreserve erhöht Anfälligkeit für Karbonatisierung	längere, intensivere Nachbehandlung, um die Dichtigkeit der Betonrandzone sicherzustellen	
Betone mit langsamer Hydratation bedürfen einer längeren und intensiveren Nachbehandlung		

ZUSAMMEN- FASSUNG



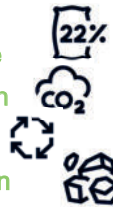
NACHBEHANDLUNG UND SCHUTZ

HERAUSFORDERUNGEN – HEUTE UND IN DER ZUKUNFT

Nachbehandlung zwingend und ausreichend durchführen, um hohe Betonqualität sicherzustellen!

Klimafreundliche Zemente

- Geringere Klinkergehalte
- Geringe CO₂-Emissionen
- Kreislaufwirtschaft
- Neue Hauptkomponenten



Herausforderungen bei Bindemitteln

- Anpassung Bindemittel
- Chemische Beschleunigung
- Zulassung der Expositionsklassen
- Höhere Diversifizierung der Zemente



Herausforderungen bei der Nachbehandlung von Betonten mit langsamer Hydratation

- geringere Festigkeitsentwicklung
- längere Nachbehandlungsdauer
- intensivere wasserrückhaltende und wasserzuzuführende Maßnahmen
- wärmeisolierende oder temperatur -zuführende Maßnahmen (thermische Beschleunigung)
- Ggfs. mögliche Adaption des Bauablaufs

