

SUMMARY

Increasing demands in terms of resource efficiency and climate protection will continue to represent a major challenge for modern concrete construction work. As no single ideal course of action is foreseeable in the near future, the aim must be to exploit the potential offered by all available options. On account of the considerable efforts made by cement plants in Germany to enhance thermal energy efficiency, little potential now remains for reducing CO₂ in cement production in this manner. Another approach is the increased use of alternative raw materials and fuels, in particular carbon-neutral biomass. This method has also been systematically employed for many years now. It does, however, still offer a certain amount of potential for further development. As the advantages to be gained from the above-mentioned techniques have already been exhausted or are limited, efforts are now concentrating on developing so-called "breakthrough technologies" for the manufacturing process. The focus is on carbon capture at cement plants. Further advancement is required, not just with regard to process engineering methods, but also and in particular in terms of the material concepts that have already proved successful. One major aspect to be taken into account is the fact that Portland cement clinker will remain the principal constituent of cement in the foreseeable future. There are currently no signs of any alternatives of an adequate technical performance that would be capable of satisfying the constantly growing global demand for cement. A further increase in clinker efficiency through a reduction of the clinker/cement factor with the available raw materials therefore remains the crucial issue. The aim, then, is to further enhance the CO₂ footprint of concrete without losing sight of its technical performance. In the simplest case, the most important performance feature is the compressive strength, in addition to robust fresh concrete properties under practical conditions, representative of the mechanical properties of the concrete. In addition, durability is a central consideration depending on the area of application of the concrete. ▶

ZUSAMMENFASSUNG

Erhöhte Anforderungen an die Ressourceneffizienz und den Klimaschutz werden die moderne Betonbauweise auch weiterhin vor große Herausforderungen stellen. Da ein Königsweg für deren Bewältigung kurzfristig nicht in Sicht ist, gilt es, die Potenziale aller zur Verfügung stehenden Möglichkeiten gleichermaßen zu heben. Erhebliche Anstrengungen der Zementwerke zur Steigerung der thermischen Energieeffizienz haben dazu geführt, dass dieser Weg der CO₂-Reduzierung in der Zementherstellung mittlerweile weitestgehend ausgeschöpft ist. Die vermehrte Nutzung alternativer Roh- und Brennstoffe, insbesondere CO₂-neutraler Biomasse, ist ein weiterer Baustein. Diese Möglichkeit wird ebenfalls seit vielen Jahren konsequent umgesetzt. Gleichwohl bestehen hier noch gewisse Entwicklungspotenziale. Da die Möglichkeiten der genannten Wege aber ausgeschöpft bzw. limitiert sind, wird nun mit Hochdruck an so genannten „Breakthrough-Technologien“ für den Herstellprozess gearbeitet. Hierbei steht die CO₂-Abscheidung in Zementwerken im Mittelpunkt. Neben den verfahrenstechnisch geprägten Maßnahmen sind insbesondere auch die bereits bewährten baustofflichen Konzepte weiterzuentwickeln. Hierbei ist als wesentliche Randbedingung zu berücksichtigen, dass Portlandzementklinker auf absehbare Zeit der wesentliche Bestandteil von Zement bleibt. Alternativen in ausreichender technischer Qualität, die den stetig wachsenden globalen Bedarf an Zement decken können, sind bislang nicht in Sicht. Daher bleibt die weitere Steigerung der Klinkereffizienz über die Senkung des Klinker/Zement-Faktors mit den zur Verfügung stehenden Rohstoffen die wesentliche Herausforderung. Es gilt somit, die CO₂-Bilanz des Betons weiter zu verbessern, ohne die technische Leistungsfähigkeit aus den Augen zu verlieren. Im einfachsten Fall ist das wesentliche Leistungsmerkmal neben baustellentauglichen Frischbetoneigenschaften die Druckfestigkeit – stellvertretend für die mechanischen Eigenschaften des Betons. Je nach Anwendungsfeld des Betons steht die Dauerhaftigkeit zusätzlich im Mittelpunkt der Betrachtungen. ▶

Concepts for resource-efficient concretes using the example of cement

Konzepte zur Herstellung von ressourceneffizienten Betonen am Beispiel Zement

1 Initial situation

If the "CO₂ content" in concrete is referenced to the concrete compressive strength achieved and this value is plotted against the concrete compressive strength, the relationship shown as an example in Fig. 1 results. From the life cycle assessments for concretes of different strength classes, commissioned by VDZ on behalf of the German Ready-Mixed Concrete Association (Bundesverband der Deutschen Transportbetonindustrie – BTB) and the Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau eV (FTB), a statistically verified CO₂ intensity for the respective strength classes was determined, entered in the figure as "Status today". These data form the starting point for further considerations.

2 New cement standard EN 197-5

Cements with a minimum clinker content of 50 mass % are now standardised as CEM II/C in the new cement standard EN 197-5. Other main constituents may be included up to 20 mass % as limestone and either up to 30 mass % as blast furnace slag, fly ash or natural pozzolana. The properties of mortars and concretes using such cements with slag and limestone were investigated by VDZ in a number of research projects. Achieving structurally relevant strengths in concrete with the appropriate concrete technology boundary conditions did not present a hurdle to applications. The same applies for Portland-limestone cements with limestone contents of up to 30 mass %. In this respect, the relationship between CO₂ intensity and concrete compressive strength as shown in Fig. 1 as the "CEM II/C scenario" can be given at least for internal component concretes where, in addition to site-specific fresh concrete properties, the strength and deformation properties are relevant.

3 Comparison of compressive strength and durability

If use in an external component is to be evaluated, durability must be considered in addition to compressive strength. In a study [1], fresh and hardened concrete properties as well as durability values of concretes using CEM II/C-M (S-LL) and CEM II/B-LL cements are presented and compared with evaluation criteria or reference concretes common in Germany. The application options of CEM II/C-M (S-LL) and CEM II/B-LL cements are estimated based on this data.

The adopted data includes 25 CEM II/C-M (S-LL) cements and 32 CEM II/B-LL cements used in up to four concrete compositions. For comparison, concretes using CEM I, CEM II/A-LL, CEM II/A or B-S, CEM III/A and CEM II/B-M (S-LL) were adopted.

1 Ausgangssituation

Bezieht man den „CO₂-Gehalt“ im Beton auf die erreichte Betondruckfestigkeit und trägt diesen Wert wiederum über der Betondruckfestigkeit auf, so ergibt sich beispielhaft der im Bild 1 dargestellte Zusammenhang. Aus den Ökobilanzen für Betone verschiedener Festigkeitsklassen, die der VDZ im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Transportbetonindustrie e.V. (BTB) und der Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. (FTB) erstellt hat, konnte eine statistisch abgesicherte CO₂-Intensität für die jeweilige Festigkeitsklasse ermittelt werden, die im Bild als „Stand heute“ eingetragen wurde. Diese Daten bilden den Ausgangspunkt für die weiteren Überlegungen.

2 Neue Zementnorm EN 197-5

In der neuen Zementnorm EN 197-5 u.a. Zemente mit einem Mindestklinkerhalt von 50 M.-% als CEM II/C genormt sein. Weitere Hauptbestandteile können bis zu 20 M.-% Kalkstein und entweder bis zu 30 M.-% Hüttensand, Flugasche oder natürliches Puzzolan sein. Im VDZ wurden in verschiedenen Forschungsprojekten die Eigenschaften von Mörteln und Betonen unter Verwendung solcher Zemente mit Hüttensand und Kalkstein untersucht. Das Erreichen baupraktisch relevanter Festigkeiten im Beton stellte unter entsprechenden betontechnologischen Randbedingungen keine Hürde für eine Anwendung dar. Ähnliches gilt z.B. für Portlandkalksteinezemente mit Kalksteingehalten von bis zu 30 M.-%. Insofern kann mindestens für Innenbauteilbetone, bei denen neben baustellengerechten Frischbetoneigenschaften die Festigkeits- und Verformungseigenschaften relevant sind, der Zusammenhang zwischen CO₂-Intensität und Betondruckfestigkeit – wie in Bild 1 als „CEM II/C-Szenario“ dargestellt – angegeben werden.

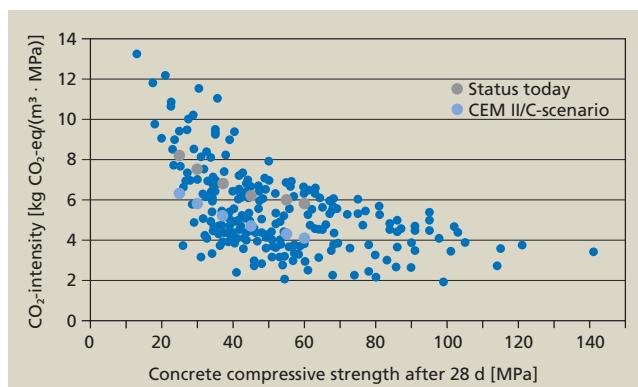


Figure 1: CO₂ intensity as a function of the concrete compressive strength (data collection and scenarios: VDZ)

Bild 1: CO₂-Intensität in Abhängigkeit der Betondruckfestigkeit (Datensammlung und Szenarien: VDZ)

The exposure classes XC3 or XC4/XF1 should be considered for common external components in building construction. Investigations by VDZ indicate that if common water-cement ratios and corresponding concrete compressive strengths are used, sufficient carbonation and freeze-thaw resistances for moderate water saturation can generally be achieved (► Figs. 2 and 3).

Under these boundary conditions, it would be possible to reduce the CO₂ intensity of about 65 % of the annual ready-mixed concrete volume in Germany by around 25 %. According to current forecasts, enough blast furnace slag is available for this scenario in the longer term. In Germany, this is around 7 million t/a [2]. By 2035, the German Building Materials Association (bbs = Bundesverband Baustoffe Steine und Erden e.V.) assumes around 6.7 million tonnes in the lower scenario and around 8.9 million t in the upper scenario [4]. Domestic German cement shipments are currently around 26 million t [5].

If cement use of around 60 % in ready-mixed concrete is assumed, this corresponds to around 15 million tonnes. Internal and external components (XC1 and XF1/XC4) are estimated to account for around 65 %, i.e. around 9.5 million t. For CEM II/C-M (S-LL) cements, 30 mass % of blast furnace slag is required in the boundary composition (sulphate agent free). Around 3 million t of blast furnace slag would be required to manufacture all concrete for internal and external components made of ready-mixed concrete in Germany using CEM II/C-M (S-LL) cements. According to the forecasts discussed above, this quantity will continue to be available in the medium term. In order to achieve this target, it may be necessary to accept an application-related differentiation of the available raw materials: cements and concretes for large proportions of common building construction on one side and cements and concretes subject to special applications/severe conditions on the other.

4 Outlook: Comparison of CO₂ intensity with service life

The challenge for concrete construction is to achieve the lowest possible CO₂ intensity over the entire service life. Even

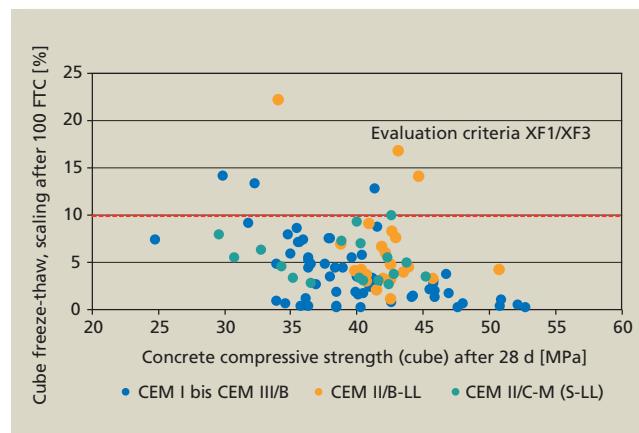


Figure 2: Relationship between concrete compressive strength and loss in mass using the cube method after 100 freeze-thaw cycles compliant with CEN/TS 12390-9 (XF1/XF3 criterion: 10 mass % loss compliant with [3, 6]), (data collection: VDZ, concretes with w/c = 0.60)

Bild 2: Zusammenhang zwischen Betondruckfestigkeit und dem Masseverlust im Würfelfeverfahren nach 100 Frost-Tau-Wechseln nach CEN/TS 12390-9 (XF1/XF3-Kriterium: 10 % Masseverlust nach [3, 6]), (Datensammlung: VDZ, Betone mit w/z = 0,60)

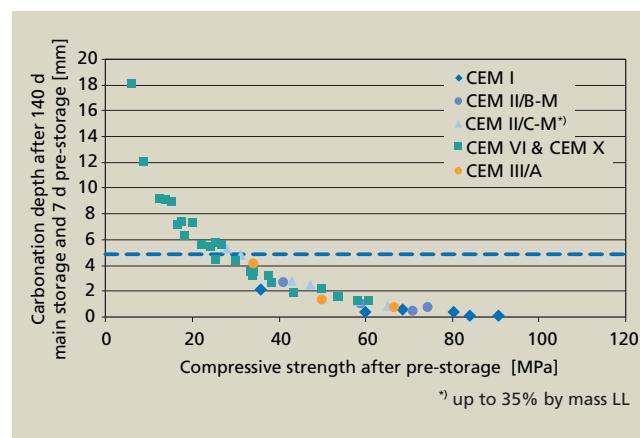


Figure 3: Relationship between compressive strength and carbonation depth (evaluation criterion 5 mm carbonation depth after 140 d main storage according to [6], data from [1])

Bild 3: Zusammenhang zwischen der Druckfestigkeit und der Carbonatisierungstiefe (Bewertungskriterium 5 mm Carbonatisierungstiefe nach 140 d Hauptlagerung nach [6]; Daten aus [1])

3 Vergleich Druckfestigkeit zu Dauerhaftigkeit

Sobald eine Anwendung im Außenbauteil zu bewerten ist, muss neben der Druckfestigkeit auch die Dauerhaftigkeit betrachtet werden. In einer Studie [1] werden Frisch- und Festbetoneigenschaften sowie Dauerhaftigkeitskennwerte von Betonen mit CEM II/B-LL- und CEM II/C-M-(S-LL)-Zementen dargestellt und mit in Deutschland üblichen Bewertungskriterien bzw. Referenzbetonen verglichen. Die Anwendungsmöglichkeiten von CEM II/B-LL- und CEM II/C-M (S-LL)-Zementen werden anhand dieser Datenlage abgeschätzt.

Für die Studie wurden Daten aus verschiedenen Quellen sowie anonymisierte Daten aus der Zementindustrie ausgewertet. Die Datenbasis umfasst 25 CEM II/C-M (S-LL)-Zemente sowie 32 CEM II/B-LL-Zemente, die in bis zu vier Betonzusammensetzungen eingesetzt wurden. Zum Vergleich wurden Betone mit CEM I, CEM II/A-LL, CEM II/A- bzw. B-S, CEM III/A sowie CEM II/B-M (S-LL) aus den genannten Quellen herangezogen.

Bei üblichen Außenbauteilen des Hochbaus sind die Expositionsklassen XC3 bzw. XC4/XF1 zu betrachten. Untersuchungen des VDZ weisen darauf hin, dass bei üblichen Wasserzementwerten und einer entsprechenden Betondruckfestigkeit i.d.R. ein ausreichender Carbonatisierungswiderstand sowie Frostwiderstand bei mäßiger Wassersättigung erreicht werden können (► Bilder 2 und 3).

Unter diesen Randbedingungen könnte die CO₂-Intensität von etwa 65 % des jährlichen Transportbetonvolumens in Deutschland um rund 25 % verringert werden. Für dieses Szenario steht nach derzeitigen Prognosen auch auf längere Sicht genügend Hüttensand zur Verfügung. In Deutschland sind dies jährlich rund 7 Mio. t [2]. Bis zum Jahr 2035 geht der Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden (bbs) von rund 6,7 Mio. t im unteren und rund 8,9 Mio. t im oberen Szenario aus [4]. Der Zementinlandsversand in Deutschland beträgt derzeit rund 26 Mio. t [5].

Geht man von einer Verwendung des Zements zu rund 60 % in Transportbeton aus, so entspricht dies rund 15 Mio. Tonnen. Auf Innen- und Außenbauteile (XC1 bzw. XF1/XC4) entfallen dabei schätzungsweise rund 65 %, also rund 9,5 Mio. t. Für CEM II/C-M-(S-LL)-Zemente werden in der Grenzzusammen-

CONCRETE TESTING COMPACT



Verlag Bau+Technik GmbH
Steinhof 39
40699 Erkrath, Germany

Order:
vertrieb@verlagbt.de
[www.verlagbt.de / bookshop](http://www.verlagbt.de/bookshop)

The 30 most important European (EN) tests: cement, aggregate, mortar, concrete

The book contains instructions on how to carry out the 30 most important standardized and non-standardized building material tests. They are subdivided into cement tests, aggregates tests, fresh concrete tests, hardened concrete tests and on-site evaluations. The book is aimed at students, vocational school students, apprentices in industry and trade as well as building material testers who need reliable information on frequently used but also less frequently used test methods. The test procedures are presented and explained in the form of a proven checklist - subdivided into the goals of the test, the required equipment and aids, the material to be provided, the work steps, the frequent sources of error, the accident hazards and the minimum information in the test report. Everything is explained with numerous colour illustrations. The execution of all prescribed work steps ensures that the chronological test sequences are adhered to and that the results are reproducible. Some tests are presented in simplified form in order to make the sometimes very complex procedures comprehensible and transparent. Observing the information on potential sources of error makes it possible to exclude errors from the outset. For each test procedure, a completed form of a test report with all the necessary information is reproduced in the book, which is intended as an example for the reader and can be adapted by him to his requirements if necessary.

In words and 350 images
193 S., 21 x 29,7 cm, € 59,80
ISBN 978-3-7640-0625-9



New Star Mixer
For the production of
High-quality cement mortar
Made in Germany



Mortar mixer, 5 litres capacity with manual control

EN 196, ASTM C305

Features:

- Manual supply of cement, water and sand
- Clear safety cover, which is removable for cleaning purposes
- High safety standards due to CE compliance
- Emergency Stop button stops automatically when the bowl is lowered during the mixing process
- Reduced weight of the bowl to protect laboratory staff according to work safety regulations
- Easy lowering mechanism
- Optimized handling
- Lightweight design made of aluminium
- Stainless steel stirrer and stainless steel mixing bowl
- Two mixing speeds: $140 \pm 5 \text{ U/min}$, $285 \pm 10 \text{ U/min}$
- Dim. (w x d x h): $235 \times 396 \times 568 \text{ mm}$
- Weight: approx. 22 kg
- 85-264 V/ 47-63 Hz

though it is known from life cycle assessments of buildings that concrete accounts for only a minor proportion compared to other factors, such as energy requirements over the entire service life, further potentials can be realised. Compressive strength and service life could be related to CO₂ intensity in order to evaluate the concrete in terms of its CO₂ efficiency [7]. The result of an analysis based on [7] is shown in ▶ Fig. 4 as an example for the exposure class XC3 in Germany. The time to reach the serviceability limit state "depassivation of the reinforcement" was calculated according to the principles of the fib model code "Service Life Design". It should be noted that these approaches are not entirely uncontroversial among experts and practitioners in terms of their transferability with regard to practical experience.

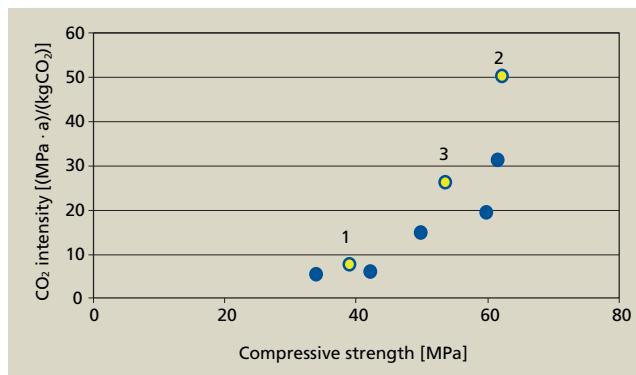


Figure 4: CO₂ efficiency calculated according to [7] as a function of the concrete compressive strength

Bild 4: CO₂-Effizienz berechnet nach [7] in Abhängigkeit von der Betondruckfestigkeit

However, here it is about the principle of simultaneous consideration of technical performance and CO₂ intensity. Here, three concretes are highlighted (▶ Table 1): Concrete 1 using Portland cement was manufactured with w/c = 0.65 and achieved a calculated service life of around 50 years.

Table 1: Properties of the concretes highlighted in Fig. 4
Tafel 1: Eigenschaften der in Bild 4 hervorgehobenen Betone

Parameter	Concrete			
	1	2	3	
Cement type	CEM I	CEM III/A	CEM II/C	
Clinker intensity	kg/(m ³ · MPa)	7,2	2,8	2,7
Cement content	kg/m ³	280	320	320
w/c	–	0,65	0,50	0,50
f _{c,cube}	MPa	38,9	62,1	59,9
GWP	kg CO ₂ eq./m ³	266	183	162
t to β = 0.5 (= "service life")	a	53	133	57

GWP: Global warming potential

β: Reliability index β = 0.5 corresponds to a probability of 30 % that a limit state, here "depassivation of the reinforcement" by carbonation, in the exposure class XC3 (DE), is achieved

setzung 30 M.-% Hüttensand benötigt (sulfatfreierfrei). Rechnerisch würden also rund 3 Mio. t Hüttensand benötigt, um alle aus Transportbeton hergestellten Innen- und Außenbauteile in Deutschland mit CEM II/C-M-(S-LL)-Zementen herzustellen. Diese Menge wird nach den oben genannten Prognosen auch in mittlerer Zukunft zur Verfügung stehen. Um dieses Ziel zu erreichen, wird man bei den zur Verfügung stehenden Rohstoffen ggf. eine anwendungsbezogene Differenzierung in Kauf nehmen müssen: Zemente und Betone für weite Teile des üblichen Hochbaus auf der einen Seite sowie Zemente und Betone unter besonderer Beanspruchung auf der anderen Seite.

4 Ausblick: Vergleich CO₂-Intensität zu Lebensdauer

Die Herausforderung für die Betonbauweise besteht darin, über die gesamte Lebensdauer bzw. Nutzungsdauer eine möglichst geringe CO₂-Intensität zu erreichen. Auch wenn aus Ökobilanzen für Gebäude bekannt ist, dass der Beton nur einen geringen Anteil im Vergleich zu anderen Faktoren wie dem Energiebedarf über die gesamte Lebensdauer hat, können weitere Potenziale gehoben werden. Zur Bewertung des Betons im Hinblick auf seine CO₂-Effizienz könnten Druckfestigkeit und Lebensdauer mit der CO₂-Intensität in Beziehung gesetzt werden [7]. Das Ergebnis einer Berechnung auf Basis von [7] ist in ▶ Bild 4 als Beispiel für die Expositionsklasse XC3 dargestellt. Die Zeit bis zum Erreichen des Grenzzustands „Depassivierung der Bewehrung“ wurde nach den Grundsätzen des fib-Model-Code „Service Life Design“ berechnet. Es ist anzumerken, dass diese Ansätze unter Fachleuten hinsichtlich der Übertragbarkeit in Bezug auf die praktische Erfahrung nicht völlig unumstritten sind. An dieser Stelle geht es allerdings um das Prinzip der gleichzeitigen Berücksichtigung von technischer Leistung und CO₂-Intensität.

In dieser Darstellung sind drei Betone hervorgehoben (▶ Tafel 1): Beton 1 mit Portlandzement wurde mit w/z = 0,65 hergestellt und erreicht eine rechnerische Lebensdauer von rund 50 Jahren. Beton 2 mit CEM III/A erreicht eine rechnerische Lebensdauer von rund 130 Jahren mit w/z = 0,50, was im Hochbau nur selten nachgewiesen werden muss und wo eine relativ große Menge an Hüttensand (50 M.-%) verwendet wird. Beton 3 mit CEM II/C (30 M.-% Hüttensand, 20 M.-% Kalkstein) in sonst gleicher Zusammensetzung wie Beton 2 erreicht

20 JAHRE

Berufsportal mit Stellenmarkt für Bauingenieure [seit 2001]

bauingenieur 24.de
content for constructors

„Über die Filtermöglichkeiten im Stellenmarkt finde ich passende Jobs für mich.“

Matthias Stiller, Bauingenieur

Concrete 2 using CEM III/A achieves a calculated service life of around 130 years with w/c = 0.50, which rarely needs to be demonstrated in building construction and where a relatively large quantity of blast furnace slag (50 mass %) is used. Concrete 3 using CEM II/C (30 mass % blast furnace slag, 20 mass % limestone), in otherwise the same composition as concrete 2, reaches a calculated service life of approximately 50 years. If the governing service life is 50 years, concrete 3 is the most sustainable solution, taking its technical and ecological performance into account. The clinker intensity and thus the global warming potential (GWP) are low.

The strength and the calculated service life are sufficient for the intended use, in particular taking into account that calculations only consider the time until depassivation of the reinforcement and there is a reserve within the propagation phase (= corrosion phase). ▶

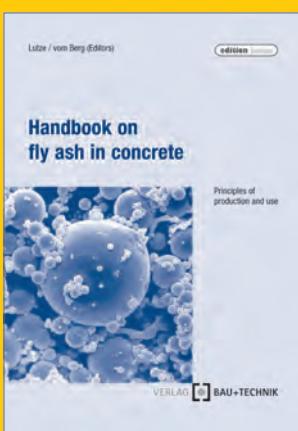
eine rechnerische Lebensdauer von rund 50 Jahren. Wenn eine Lebensdauer von 50 Jahren maßgebend ist, ist Beton 3 unter Berücksichtigung der technischen und ökologischen Leistung die nachhaltigste Lösung. Die Klinkerintensität und damit das Treibhauspotenzial (GWP) sind gering.

Die Festigkeit und die errechnete Lebensdauer sind für den Verwendungszweck ausreichend, insbesondere unter Berücksichtigung, dass bei der Berechnung nur die Zeit bis zur Depassivierung der Bewehrung berücksichtigt wird und innerhalb der Propagationsphase (= Korrosionsphase) eine Reserve besteht. ▶

LITERATURE / LITERATUR

- [1] Müller, C.; Palm, S.; Hermerschmidt, W.: Dauerhaftigkeitseigenschaften von Betonen mit CEM II/B-LL und CEM II/C-M (S-LL) – Zementen. beton 69 (2019) No. 10, S. 362 ff.
- [2] Schuster, T; Baetzner, S.; Bolte, G.; Ehrenberg, A.; Neufert, W.; Palm, S.: Stoffliche Potenziale für klinkereffiziente Zemente. Fachtagung „Zementchemie“, Düsseldorf 2019
- [3] Siebel, E.: Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton – Beurteilung mittels Würfelverfahren. Beton 42 (1992) H. 9, S. 496–501
- [4] Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine-und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland. Bundesverband Baustoffe, Steine und Erden (BBS), Berlin 2016
- [5] Zahlen und Daten. Zementindustrie in Deutschland 2018. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf 2018
- [6] CEN/TR 16563:2013 "Principles of the equivalent durability procedure"
- [7] Haist et al.: Ansatz zur Quantifizierung der Nachhaltigkeit von Beton auf der Baustoffebene. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016) H. 10

Fly ash in concrete



Lutze / vom Berg
Handbook on fly ash in concrete
Principles of production and use

146 pages, 16,5 x 23,5 cm,
61 figures, 41 tables, softcover
€ 49,80
ISBN 978-3-7640-0527-6

When used as an addition and binder component, fly ash has become an indispensable construction material for many concrete applications. The conditions produced in power stations when firing fine pulverized coal result in the formation of a reactive, flour-fine, pozzolanic mineral material from the accompanying rock in the coal. Owing to its specific charac-

teristics it has a positive impact on the properties of fresh and hardened concrete and facilitates cost-effective production of high-grade, durable concretes. The authors of this handbook have combined the latest discoveries from the field of research with practical experience of the use and effects of fly ash in concrete. This handbook provides the necessary information and makes interesting suggestions for selective use of fly ash in concrete.

Content

Basic principles / Effect of fly ash in concrete / Use of fly ash in concrete / Properties of concrete containing fly ash / Special concretes and types of construction / Codes of practice / Guidelines / Standards and legal regulations

Verlag Bau+Technik GmbH
Steinhof 39
40699 Erkrath, Germany
Order
Fax: +49 (0) 2 11/9 24 99-55
www.verlagbt.de ► bookshop

edition beton