

Carbonatatie van beton

In het milieudebat wordt er bijna enkel gesproken over de CO₂-uitstoot die door de mens veroorzaakt wordt. In dit artikel gaan we het niet hebben over CO₂-uitstoot, maar wel over CO₂-opname. Iedereen weet dat bomen CO₂ opnemen, maar wat velen niet weten is dat ook beton CO₂ opneemt en dat dit invloed kan hebben op de levensduur van de constructie en op de milieu-impact ervan. We staan even stil bij een innovatie op dit vlak. Staalslakken binden onder invloed van CO₂ en zorgen zo voor een volwaardige cementvervanging in bijvoorbeeld betonblokken.

KOOLSTOFDIOXIDE

CO₂ is de chemische aanduiding voor het kleur- en reukloos gas koolstofdioxide. Ongeveer 0,04 % (420 ppm; parts per million) van de lucht om ons heen bestaat uit CO₂ [1]. De andere bestanddelen zijn stikstofgas (78 %), zuurstofgas (21 %) en argon (0,9 %). Daarnaast bevat lucht nog een kleine hoeveelheid waterdamp en sporen van andere edelgassen [2]. Planten nemen water en CO₂ op en zetten dit onder invloed van zonlicht om in zuurstof en glucose, wat een bouwsteen is voor

de productie van cellulose, een hoofdbestanddeel van de celwanden van planten. Zonder CO₂ kunnen planten niet groeien en in leven blijven. De toename van het CO₂-gehalte in de atmosfeer resulteert dan ook in een algehele vergroening van de aarde en een toenemende productiviteit van landbouw en veeteelt [3]. Niet voor niets dat in de glastuinbouw het CO₂-gehalte in de kassen wordt verhoogd voor een optimale groei van de gewassen [4].

De houtbouwindustrie beweert dat houtproducten uit duurzaam beheerde bossen CO₂-neutraal zijn omdat bomen CO₂ opnemen en vasthouden tot aan het einde van de levensduur [12]. Nochtans ontstaat er een tijdelijke koolstofschuld bij het kappen van bomen, heeft een nieuw bos tot 41 jaar nodig om de koolstofschuld in evenwicht te brengen, wordt in Europa slechts 18,7 % van het gekapte hout voor langetermijndoeleinden gebruikt en veroorzaken het transport en de verwerking van het ruwe hout ook koolstofemissies. Wanneer al deze factoren in rekening worden gebracht wordt de term koolstofneutraliteit enigszins vaag [13].



Carbonatation du béton

Dans le débat environnemental, on parle presque exclusivement des émissions de CO₂ causées par l'homme. Dans cet article, nous ne parlerons pas des émissions de CO₂, mais plutôt de l'absorption de CO₂. Tout le monde sait que les arbres absorbent du CO₂, mais ce que beaucoup ignorent, c'est que le béton absorbe également du CO₂ et que cela peut avoir une influence sur la durée de vie de la construction et sur son impact environnemental. Nous nous attarderons sur une innovation dans ce domaine. Les scories d'acier se lient sous l'influence du CO₂ et constituent ainsi un substitut de ciment à part entière dans, par exemple, des blocs de béton.

DIOXYDE DE CARBONE

Le CO₂ est la désignation chimique du gaz incolore et inodore dioxyde de carbone. Environ 0,04 % (420 ppm; parties par million) de l'air qui nous entoure est constitué de CO₂ [1]. Les autres composants sont le gaz azote (78 %), le gaz oxygène (21 %) et l'argon (0,9 %). De plus, l'air contient une petite quantité de vapeur d'eau et des traces d'autres gaz rares [2]. Les plantes

absorbent l'eau et le CO₂ et les transforment, sous l'influence de la lumière du soleil, en oxygène et en glucose, un élément de base pour la production de cellulose, un composant principal des parois cellulaires des plantes. Sans CO₂, les plantes ne peuvent ni croître ni survivre. L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère entraîne donc une verdisation globale de la Terre et une productivité accrue de

L'industrie de la construction en bois affirme que les produits en bois provenant de forêts gérées de manière durable sont neutres en CO₂ parce que les arbres absorbent et retiennent le CO₂ jusqu'à la fin de leur durée de vie [12]. Cependant, une dette carbone temporaire se crée lors de l'abattage des arbres, une nouvelle forêt nécessitant jusqu'à 41 ans pour compenser cette dette carbone. En Europe, seulement 18,7 % du bois est abattu pour des projets à long terme, et le transport et la transformation du bois brut génèrent également des émissions de carbone. Lorsque tous ces facteurs sont pris en compte, le terme de neutralité carbone devient quelque peu vague [13].

CARBONATATIE EN LEVENSDUUR

Door de aanwezigheid van vrije kalk in beton (calciumhydroxide of $\text{Ca}(\text{OH})_2$), een product van de reactie van cement met water, heeft het poriewater een hoge concentratie OH^- en Ca^{2+} -deeltjes, waardoor het ook een hoge pH-waarde heeft (12 à 13). De Fe^{2+} -deeltjes van de wapeningsstaaf vormen met de OH^- -deeltjes een laag ijzeroxide ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) op het staafoppervlak. Deze laag zorgt ervoor dat het staal niet meer direct in contact

staat met het poriewater en voorkomt dat de wapening corrodeert [5].

Carbonatatie is de chemische reactie waarbij calciumcarbonaat (CaCO_3) en water gevormd worden uit de reactie tussen CO_2 uit de lucht en de OH^- en Ca^{2+} -deeltjes in het poriewater van het beton. Door voortgaande carbonatatie kan de pH-waarde van het poriewater dalen. Bij een pH-waarde van ongeveer 9 of lager wordt de laag ijzeroxide dunner, totdat deze compleet

verdwenen is. Vanaf dat moment kan de wapeningsstaaf corroderen. Bij corrosie door carbonatatie is de lage pH-waarde in het poriewater overal redelijk gelijk, waardoor de staaf overal gelijkmatig dunner wordt. Hierdoor is er minder staal beschikbaar voor het opnemen van trekspanningen in de constructie. Een ander gevolg is dat het ontstane roest een groter volume heeft dan het verdwenen staal, waardoor het beton rond de wapening wordt weggeduwd en kan scheuren of zelfs afbrokkelen [5]. →



l'agriculture et de l'élevage [3]. Ce n'est pas sans raison que dans l'horticulture en serre, la teneur en CO_2 est augmentée pour une croissance optimale des cultures [4].

CARBONATATION ET DURÉE DE VIE

En raison de la présence de chaux libre dans le béton (hydroxyde de calcium ou $\text{Ca}(\text{OH})_2$), un produit de la réaction du ciment avec l'eau, l'eau des pores a une haute concentration en particules OH^- et Ca^{2+} , ce qui lui confère également une valeur de pH élevée (12 à 13). Les particules Fe^{2+} des barres d'armature forment avec les particules

OH^- une couche d'oxyde de fer ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) à la surface des barres. Cette couche empêche l'acier d'être en contact direct avec l'eau des pores et évite ainsi la corrosion de l'armature [5].

La carbonatation est la réaction chimique dans laquelle le carbonate de calcium (CaCO_3) et l'eau sont formés à partir de la réaction entre le CO_2 de l'air et les particules OH^- et Ca^{2+} dans l'eau des pores du béton. Avec la carbonatation continue, la valeur du pH de l'eau des pores peut diminuer. À un pH d'environ 9 ou moins, la couche d'oxyde de fer devient plus fine, jusqu'à disparaître

complètement. À partir de ce moment, la barre d'armature peut corroder. Lors de la corrosion par carbonatation, la faible valeur de pH de l'eau des pores est à peu près uniforme partout, ce qui fait que la barre devient plus fine de manière homogène. Par conséquent, moins d'acier est disponible pour absorber les tensions de traction dans la construction. Un autre effet est que la rouille formée a un volume plus important que l'acier disparu, ce qui pousse le béton autour de l'armature, pouvant provoquer des fissures ou même un effritement [5]. →

Voorgespannen welfsels

de meest ecologische vloeroplossing in beton



Bouwt de toekomst

De omzetting van calciumhydroxide in calciumcarbonaat kan alleen in een vochtig milieu plaatsvinden. CO₂ kan daarentegen uitsluitend binnendringen als de poriën open zijn, dus opgedroogd. Carbonatatie kan dan ook alleen optreden onder drogende omstandigheden. De plaats tot waar het carbonatatieproces is doorgedrongen wordt het carbonatatiefront genoemd. Zolang het carbonatatiefront de wapening nog niet bereikt heeft, is het wapeningsstaal afdoende beschermd. De snelheid waarmee de carbonatatie in het beton voortschrijdt, is een belangrijk gegeven om iets te kunnen zeggen over de kans dat corrosie zal optreden. Maar voor het optreden van corrosie moet aan meer randvoorwaarden worden voldaan dan

alleen carbonatatie. Beton in droge ruimten carbonateert vaak tot voorbij de wapening zonder dat er sprake is van corrosie. Er is namelijk geen water in het beton aanwezig om corrosie te veroorzaken [6].

De betondekking speelt bij corrosie een belangrijke rol. Mits voldoende aanwezig en verdicht, verhindert de betondekking dat de wapening voortdurend vochtig wordt. De permeabiliteit van de betondekking bepaalt vooral hoe snel het vochttransport van buiten naar binnen en van binnen naar buiten gebeurt. Vanaf een diepte van +/- 15 mm zullen geen vochtuitwisselingen meer optreden. De verschillende omstandigheden waaraan betonconstructies kunnen worden blootgesteld,

leveren geen wezenlijk verschil op in de diepte tot waar vochtfluctuaties worden waargenomen. Het dieper gelegen beton droogt gedurende de droge periodes langzaam maar zeker uit. Wapeningsstaal dat in gecarbonateerd beton ligt, kan enkel roesten als de betondekking te klein is [6].

De beste maatregel ter voorkoming van wapeningscorrosie is in de ontwerpfaserekening te houden met voldoende betondekking, in de uitvoering ervoor te zorgen dat de betondekking ook gerealiseerd wordt en dat het betonoppervlak goed nabehandeld wordt [6]. De NBN EN 1992-1-1 + ANB [7] geeft richtlijnen met betrekking tot de minimale betondekking (tabel 1). →

TABEL 1 – MINIMALE BETONDEKKINGSEISEN MET BETREKKING TOT DUURZAAMHEID $C_{MIN,DUR}$ VOOR PREFAB ELEMENTEN MET EEN PLAATGEOMETRIE, EEN ONTWERPLEVENSDUUR VAN 50 JAAR EN EEN KWALITEITSBORGINGSSYSTEEM

Milieuklasse <i>Classe d'exposition</i>	XC1	XC2, XC3	XC4
Omgevingsklasse <i>Classe d'environnement</i>	EI	EE1, EE2	EE3
Sterkteklasse beton <i>Classe de résistance du béton</i>	≥ C30/37	≥ C35/45	≥ C40/50
Minimale betondekking voor betonstaal <i>Recouvrement minimal pour l'acier d'armature</i>	10 mm	10 mm	15 mm
Minimale betondekking voor voorspanstaal <i>Recouvrement minimal pour l'acier de précontrainte dans le béton</i>	15 mm	20 mm	25 mm

TABEAU 1 – EXIGENCES MINIMALES D'ENROBAGE EN CE QUI CONCERNE LA DURABILITÉ $C_{MIN,DUR}$ POUR LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS ASSIMILABLES À DES DALLES, AVEC UNE DURÉE DE VIE DE CONCEPTION DE 50 ANS ET UN SYSTÈME DE MAÎTRISE DE LA QUALITÉ.

La conversion de l'hydroxyde de calcium en carbonate de calcium ne peut avoir lieu que dans un environnement humide. Le CO₂, en revanche, ne peut pénétrer que si les pores sont ouverts, c'est-à-dire desséchés. La carbonatation ne peut donc se produire que dans des conditions de séchage. L'endroit jusqu'où le processus de carbonatation a progressé est appelé le front de carbonatation. Tant que le front de carbonatation n'a pas atteint l'armature, l'acier d'armature est suffisamment protégé. La vitesse à laquelle la carbonatation progresse dans le béton est un élément important pour

pouvoir évaluer la probabilité de corrosion. Mais pour que la corrosion se produise, plusieurs autres conditions doivent être remplies en plus de la carbonatation. Le béton dans des espaces secs se carbonate souvent jusqu'au-delà de l'armature sans qu'il y ait de corrosion. En effet, il n'y a pas d'eau dans le béton pour provoquer la corrosion [6].

L'enrobage des armatures joue un rôle important dans la corrosion. S'il est suffisamment présent et dense, l'enrobage empêche l'armature de rester continuellement humide. La perméabilité de l'enrobage détermine principalement

la rapidité du transport de l'humidité de l'extérieur vers l'intérieur et vice versa. À partir d'une profondeur d'environ 15 mm, aucun échange d'humidité ne se produit. Les différentes conditions auxquelles les structures en béton peuvent être exposées n'entraînent pas de différence significative dans la profondeur à laquelle les fluctuations d'humidité sont observées. Le béton plus en profondeur sèche lentement mais sûrement pendant les périodes sèches. L'acier d'armature dans le béton carbonaté ne peut rouiller que si l'enrobage est insuffisant [6].

La meilleure mesure de prévention de la corrosion de l'armature consiste à prendre en compte un enrobage adéquat dès la phase de conception, à veiller à sa mise en œuvre lors de la construction et à bien traiter la surface du béton par la suite [6]. La norme NBN EN 1992-1-1 + ANB [7] fournit des directives concernant l'enrobage minimal (tableau 1). →



CARBONATATION ET MILIEU-IMPACT

Aangezien CO₂ uit de atmosfeer via het oppervlak in het beton dringt, zal in verschillende stadia van de levenscyclus van een gebouw carbonatatie optreden. De hoeveelheid CO₂ die opgenomen wordt is afhankelijk van het type beton, de omgevingsomstandigheden bij gebruik en het scenario aan het einde van de levensduur. Vooral na het afbreken van het gebouw en het breken van het beton neemt de carbonatatie drastisch toe, omdat het specifieke oppervlak wordt vergroot. Hierbij is de korrelgrootte van belang, hoe kleiner hoe beter. Opslag van zeer fijne deeltjes in grote hopen is echter niet optimaal voor carbonatatie vanwege de beperkte CO₂-penetratie door de hoop [8].

De CO₂-opname in de gebruiksfase van de constructie kan worden gekwantificeerd met behulp van de norm NBN EN 16757 [8], welke de basis vormt voor de EPD's (Environmental Product Declarations) van prefab betonproducten. De maximale theoretische CO₂-opname in volledig gecarbonateerd beton (U_{tcc}) is gecorreleerd met de hoeveelheid reactief calciumoxide (CaO) in de bindmiddelen. Als conservatieve benadering kunnen berekeningen worden gedaan met enkel het CaO-gehalte in de klinker. CEM I bevat minstens 95 % klinker en heeft een U_{tcc}-waarde van 0,49 kg CO₂/kg cement. Voor andere cementsoorten dan CEM I kan de U_{tcc}-waarde berekend worden door de CO₂-opname van CEM I te vermenigvuldigen

TABEL 2 – MAXIMUM THEORETISCHE CO₂-OPNAME IN VOLLEDIG GECARBONATEERD BETON, U_{tcc} [8]

	U _{tcc} [kg CO ₂ /kg cement] / [kg CO ₂ /kg ciment]
CEM I (95 % klinker/clinker)	0,49
CEM II/A (80 % klinker/clinker)	0,41
CEM III/A (40 % klinker/clinker)	0,21
CEM II/B (70 % klinker/clinker)	0,36
CEM III/B (20 % klinker/clinker)	0,10

TABEAU 2 – ABSORPTION MAXIMALE THÉORIQUE DE CO₂ DANS DU BÉTON COMPLÈTEMENT CARBONATÉ, U_{tcc} [8]

CARBONATATION ET IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

Étant donné que le CO₂ de l'atmosphère pénètre dans le béton à travers sa surface, la carbonatation se produit à différents stades du cycle de vie d'un bâtiment. La quantité de CO₂ absorbée dépend du type de béton, des conditions environnementales lors de son utilisation et du scénario en fin de vie. Surtout après la démolition du bâtiment et le concassage du béton, la carbonatation augmente considérablement, car la surface spécifique est agrandie. Le calibre des granulats est importante, plus ils sont petits, mieux c'est. Cependant, le stockage de particules très fines en grands tas n'est pas optimal pour la carbonatation en raison de la pénétration limitée du CO₂ à travers le tas [8].

L'absorption de CO₂ pendant la phase d'utilisation de la construction peut être quantifiée à l'aide de la norme NBN EN 16757 [8], qui sert de base pour les Déclarations Environnementales Produit (DEP) des produits préfabriqués en béton. L'absorption maximale

théorique de CO₂ dans du béton complètement carbonaté (U_{tcc}) est corrélée à la quantité d'oxyde de calcium réactif (CaO) dans les liants. Comme approche conservatrice, des calculs peuvent être effectués en utilisant uniquement la teneur en CaO dans le clinker. Le CEM I contient au moins 95 % de clinker et a une valeur U_{tcc} de 0,49 kg CO₂/kg de ciment. Pour les autres types de ciment que le CEM I, la valeur U_{tcc} peut être calculée en multipliant l'absorption de CO₂ du CEM I par la teneur en clinker du ciment en % et en divisant par 0,95. Les valeurs U_{tcc} pour différents types de ciment sont présentées dans le tableau 2 [8].

Pour estimer l'absorption de CO₂ du béton qui n'est pas entièrement

carbonaté, nous devons connaître la profondeur de carbonatation. Celle-ci peut être calculée à l'aide de la formule 1: $d = k \cdot \sqrt{t}$

AVEC

- d:** profondeur de carbonatation (mm);
- k:** facteur k (mm/an^{0,5});
- t:** le temps (années).

L'absorption de CO₂ par m² de surface en béton pendant 't' années peut être calculée avec la formule 2:

$$\text{absorption de CO}_2 = k \cdot (\sqrt{t/1000}) \cdot U_{tcc} \cdot C \cdot D_c$$

AVEC **k:** voir formule 1

t: voir formule 1

U_{tcc}: voir tableau 2

C: quantité de ciment (kg/m³)

D_c: degré de carbonatation (%)

met het klinkergehalte van het cement in % en te delen door 0,95. Voor verschillende cementsoorten zijn de U_{tcc} -waarden weergegeven in tabel 2 [8].

Om de CO_2 -opname van niet volledig gecarbonatiseerd beton te schatten moeten we de carbonatatie diepte kennen. Deze kan berekend worden met formule 1: $d = k \cdot \sqrt{t}$

MET **d**: carbonatatie diepte (mm);
k: k-factor (mm/jaar^{0.5});
t: de tijd (jaar).

De CO_2 -opname per m² betonoppervlak gedurende 't' jaren kan berekend worden met formule 2:

$CO_2\text{-opname} = k \cdot (\sqrt{t/1000}) \cdot U_{tcc} \cdot C \cdot D_c$

MET **k**: zie formule 1

t: zie formule 1

U_{tcc} : zie tabel 2

C: hoeveelheid cement (kg/m³)

D_c : carbonatatiegraad (%)

De k-factor en carbonatatiegraad ' D_c ' kunnen teruggevonden worden in tabel 3 voor verschillende sterkteklassen en omgevingsomstandigheden.

Voor andere cementsoorten dan CEM I of voor de combinatie van CEM I en toevoegsels, moet de k-factor vermenigvuldigd worden met de correctiefactor ' K_k ' uit tabel 4 vanwege de hogere carbonatatiesnelheid. Als conservatieve benadering mag slechts één toevoegsel in rekening worden gebracht. De berekeningsmethode voor de CO_2 -opname in de gebruiksfase kan in principe ook worden toegepast op het einde van de levensduur [8]. Meer informatie is terug te vinden in CEN/TR 17310 [9].

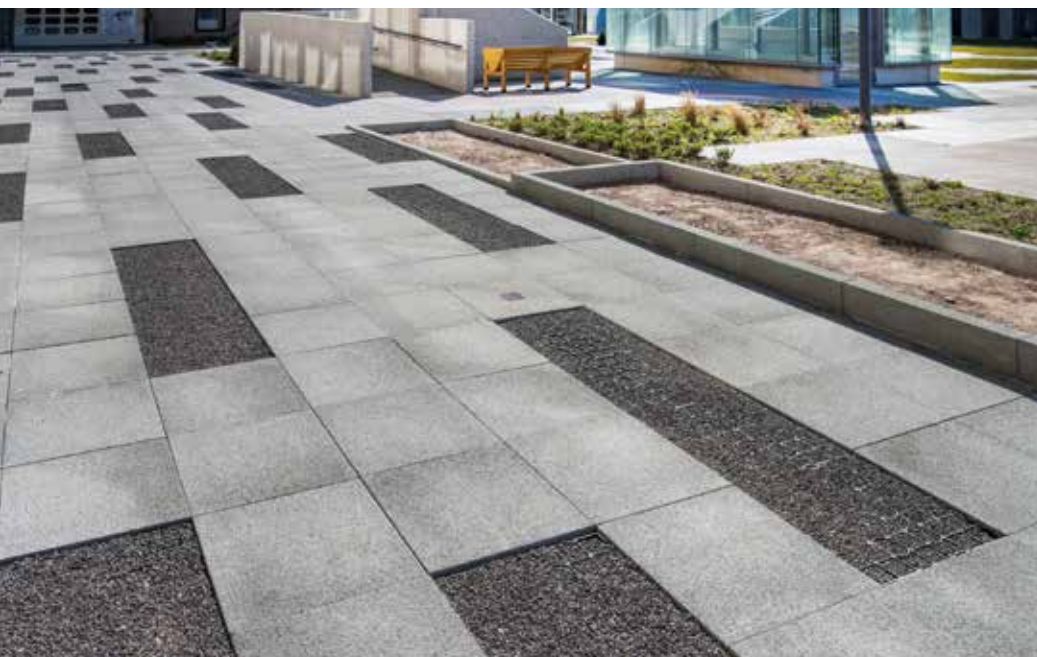
TABEL 3 – CARBONATATIEGRAAD ' D_c ' EN K-FACTOR VOOR BEREKENING CARBONATATIEDIEPTE 'D' [8]

	K-factor (mm/jaar ^{0.5}) Facteur K (mm/année ^{0.5})		Carbonatatie-graad D_c Degré de carbonatation
	C25/30 C35/45	> C35/45	
Buiten, in contact met regen <i>Extérieur, en contact avec la pluie</i>	1,6	1,1	85 %
Buiten, beschermt tegen regen <i>Extérieur, protégé de la pluie</i>	4,4	2,7	75 %
Binnen^a, met bekleding^b <i>Intérieur^a avec revêtement^b</i>	4,6	2,7	40 %
Binnen^a, zonder bekleding^b <i>Intérieur^a sans revêtement^b</i>	6,6	3,8	40 %

^a Relatieve vochtigheid 45 % - 65 % / Humidité relative 45 % - 65 %

^b Verf of behangpapier (tegels, parket en laminaat: k = 0)
Peinture ou papier peint (carrelage, parquet et laminé: k = 0)

TABLEAU 3 – DEGRÉ DE CARBONATATION " D_c " ET FACTEUR K POUR LE CALCUL DE LA PROFONDEUR DE CARBONATATION "D" [8]



Le facteur k et le degré de carbonatation ' D_c ' peuvent être trouvés dans le tableau 3 pour différentes classes de résistance et conditions environnementales. Pour les autres types de ciment que le CEM I ou pour la combinaison de CEM I et d'additifs, le facteur k doit être multiplié par le facteur correctif ' K_k ' du tableau 4 en raison de la vitesse de carbonatation plus élevée. Comme approche conservatrice, seul un additif peut être pris en compte. La même méthode de calcul pour l'absorption de CO_2 pendant la phase d'utilisation peut en principe également être appliquée à la fin de la durée de vie [8]. Pour plus d'informations, veuillez-vous référer à la norme CEN/TR 17310 [9].

LA CARBONATATION DES SCORIES D'ACIER

Les scories d'acier sont des résidus issus de la production d'acier. Dans les hauts fourneaux, le minerai de fer est transformé en fonte brute et en scories de haut fourneau. La fonte brute liquide est transformée en acier et en scories d'acier à l'aide de chaux, de ferraille et d'oxygène. Les principaux éléments des scories d'acier sont le silicium, l'aluminium, le fer, le calcium et le manganèse, généralement sous forme d'oxydes [10].

CARBONATATIE VAN STAALSLAKKEN

Staalslakken zijn resten die ontstaan bij de productie van staal. In hoogovens wordt ijzererts omgezet in ruwijzer en hoogovenslak. Het vloeibare ruwijzer wordt met kalk, schroot en zuurstof omgezet in staal en staalslak. De belangrijkste elementen van staalslakken zijn silicium, aluminium, ijzer, calcium en mangaan, veelal in de vorm van oxides [10]. De fijnste restfracties van deze staalslakken kunnen als bindmiddel dienen. De calciumoxides in de staalslakken reageren met CO₂ in de

atmosfeer en vormen op die manier calciumcarbonaat. Door deze natuurlijke carbonatatie hechten de deeltjes aan elkaar. Onderzoek en ontwikkeling leidden tot een technologie waarbij dit natuurlijk proces versneld wordt om van de fijne restfractie (filler) een hoogwaardig materiaal te maken voor toepassing in o.a. beton. In de fabriek wordt de filler gemengd met diverse slakkenzanden en water. Het water dient om de aanwezige CaO te hydrateren en om carbonatatie mogelijk te maken. Door middel van een pers

kunnen bijvoorbeeld holle en volle blokken, dakpannen en tegels gevormd worden die vervolgens in een autoclaaf geplaatst worden voor de carbonatatie. Hierbij wordt CO₂ onder hoge druk en temperatuur in de elementen gebracht zodat ze versneld uitharden. Samen met een energie-efficiënt productieproces en het feit dat ze gedurende de volledige levenscyclus CO₂ uit de lucht halen kunnen dit soort producten resulteren in een negatieve CO₂-voetafdruk [11]. (BHE) ■

Les fractions les plus fines de ces scories d'acier peuvent servir de liant. Les oxydes de calcium dans les scories d'acier réagissent avec le CO₂ de l'atmosphère pour former du carbonate de calcium. Grâce à cette carbonatation naturelle, les particules adhèrent les unes aux autres. Des recherches et des développements ont conduit à une technologie où ce processus naturel est accéléré pour transformer la fraction fine résiduelle (filler) en un matériau de haute qualité destiné à être utilisé dans le béton, entre autres. En usine, le filler est mélangé à divers sables de scories et à l'eau. L'eau permet d'hydrater le CaO présent et de favoriser la carbonatation. À l'aide d'une presse, par exemple, des blocs creux et pleins, des tuiles et des carreaux peuvent être formés, puis placés dans un autoclave pour la carbonatation. Pendant ce processus, du CO₂ est introduit dans les éléments sous haute pression et température pour accélérer leur durcissement. Associés à un processus de production énergétiquement efficace et au fait qu'ils capturent du CO₂ de l'air tout au long de leur cycle de vie, de tels produits peuvent aboutir à une empreinte carbone négative [11]. (BHE) ■

TABEL 4 – CORRECTIEFACTOR 'K_K' VOOR TOEVOEGSELS [8]

Gehalte toevoegsel (% gewicht) Teneur en additifs (% poids)	≤ 10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80
Kalksteen / Calcaire	-	1,05	1,10	-	-	-
Silica fume Fumée de silice	1,05	1,10	-	-	-	-
Vliegas Cendres volantes	-	1,05	-	1,10	-	-
Gemalen gegranuleerde hoogovenslakken Laitier de haut fourneau granulé moulu	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30

TABEAU 4 – FACTEUR CORRECTIF 'K_K' POUR ADDITIFS [8]

REFERENTIES | RÉFÉRENCES

- 1 Voorwaarden voor draagbare en vervoerbare CO₂-meters, Prebes, www.prebes.be.
- 2 De samenstelling van de atmosfeer, KMI, www.meteo.be.
- 3 Nutritive value of plants growing in enhanced CO₂ concentrations, CO₂ Coalition, march 2024.
- 4 Hoe kan je de hoeveelheid CO₂ in de kas verhogen?, Royal Brinkman, www.royalbrinkman.nl.
- 5 Corrosie uitvergroot, BETONIEK 15/26, augustus 2012.
- 6 Carbonatatie en corrosie, BETONIEK 8/22, februari 1991.
- 7 NBN EN 1992-1-1:2005 + ANB:2010 - Eurocode 2 : Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- 8 NBN EN 16757:2022 - Sustainability of concrete works - Environmental product declarations - Product Category Rules for concrete and concrete elements.
- 9 CEN/TR 17310:2019 - Carbonation and CO₂ uptake in concrete.
- 10 Wageningen Marine Research rapport CO₂5/24, Uitloging LD-staalslakken, mei 2024.
- 11 www.orbix.be.
- 12 <https://www.hout100procent.nl/hout-bevat-veel-vastgelegde-co2>.
- 13 Carbon Accounting for Building Materials - An assessment of Global Warming Potential of biobased construction products, LBPSIGHT, version 03, June 8th, 2022.

UPDATE WET- EN REGELGEVING

De laatste jaren werd hard gewerkt aan de nieuwe generatie Eurocodes. Onderstaande nieuwe Europese normen werden reeds gepubliceerd door het NBN, maar hebben nog niet de status van Belgische norm. Deze documenten mogen slechts worden toegepast van zodra de corresponderende Belgische Nationale Bijlage (ANB) gepubliceerd is. De publicatie van deze normen in dit stadium heeft als enig doel de gebruikers van de Eurocodes toe te laten kennis te nemen van de toekomstige normteksten in afwachting van de invoeging van de nieuwe generatie van de Eurocodes en hun respectievelijke ANB's.

- **NBN EN 1990:2023** – Eurocode 0 – Basis van constructief en geotechnisch ontwerp
- **NBN EN 1991-1-2:2024** – Eurocode 1 – Belastingen op constructies – Deel 1-2: Belastingen op constructies blootgesteld aan brand
- **NBN EN 1991-2:2023** – Eurocode 1 – Belastingen op constructies – Deel 2: Verkeersbelastingen op bruggen en andere civieltechnische werken
- **NBN EN 1992-1-1:2023** – Eurocode 2 – Ontwerp van betonconstructies - Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen, bruggen en civieltechnische constructies
- **NBN EN 1992-1-2:2023** – Eurocode 2 – Ontwerp van betonconstructies – Deel 1-2: Structureel brandontwerp

Op 12 maart 2024 werd de onderstaande norm gepubliceerd:

- **NBN EN 1745 ANB:2024** – Metselwerk en metselstenen – Methode voor de bepaling van de thermische kenmerken – Nationale Bijlage: deze norm bevat o.a. tabellen met λ -waarden voor Belgische holle betonmetselstenen. Meer info hierover is terug te vinden in BETON 263.

MISE À JOUR LÉGISLATIVE ET RÉGLEMENTAIRE

Ces dernières années, la nouvelle génération d'Eurocodes a fait l'objet de nombreux travaux. Les nouvelles normes européennes ci-dessous ont déjà été publiées par le NBN, mais n'ont pas encore le statut de normes belges. Ces documents ne peuvent être appliqués que lorsque l'annexe nationale belge (ANB) correspondante est publiée. La publication de ces normes à ce stade a pour seul but de permettre aux utilisateurs des Eurocodes de prendre connaissance des futurs textes normatifs en attendant l'entrée en vigueur de la nouvelle génération d'Eurocodes et de leurs ANB respectives.

- **NBN EN 1990:2023** – Eurocode 0 – Bases des calculs structuraux et géotechniques
- **NBN EN 1991-1-2:2024** – Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 1-2: Actions sur les structures exposées au feu
- **NBN EN 1991-2:2023** – Eurocode 1 – Actions sur les structures – Partie 2: Actions dues au trafic sur les ponts et autres ouvrages du génie civil
- **NBN EN 1992-1-1:2023** – Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments, les ponts et les ouvrages de génie civil
- **NBN EN 1992-1-2:2023** – Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-2: Règles générales – Calcul du comportement au feu

Le 12 mars 2024, la norme ci-dessous a été publiée:

- **NBN EN 1745 ANB:2024** – MMAçonnerie et éléments de maçonnerie – Méthodes pour la détermination des propriétés thermiques – Annexe Nationale : cette norme comprend entre autres des tableaux avec des valeurs λ pour les éléments de maçonnerie creux en béton belges. Plus d'informations à ce sujet sont disponibles dans BETON 263.