



Page d'accueil

'Absorption revendiquée de CO₂ par le béton incorrecte'

'Absorption revendiquée de CO₂ par le béton incorrecte'

Koos Schenk, Alef Schippers

Vendredi 10 février 2017

article

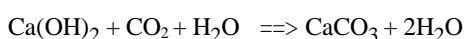
Récemment, il a été déclaré dans Nature Geoscience [1] que l'absorption de CO₂ par le béton pendant sa durée de vie est beaucoup plus élevée que ce que l'on supposait auparavant. Environ la moitié des émissions de CO₂ libérées lors de la calcination du matériau seraient à nouveau absorbées en raison de la carbonatation. Une approche de la chimie du ciment montre que cette conclusion n'est pas correcte.

Sur la base de la théorie dans divers ouvrages sur la chimie du ciment [3-7], il semble que la pierre de ciment puisse absorber une quantité de CO₂ beaucoup plus faible que ce qui est indiqué dans la publication de Nature Geoscience [1, 2]. La publication dans Nature Geoscience est si complexe qu'il faudra bientôt un réviseur une semaine de travail complète pour combiner correctement toutes les différentes études qui sont liées les unes aux autres dans l'article. C'est pourquoi nous abordons la carbonatation du béton (et du ciment) sous un angle complètement différent. Nous obtenons par ce biais une estimation réaliste que 1% du CO₂ émis pendant la production peut être relié avec le béton. Ainsi, cette estimation est significativement inférieure aux 50% mentionnés.

Explication.

L'absorption du CO₂ chimiquement expliquée.

La carbonatation du béton est une réaction chimique dans le ciment dans laquelle le dioxyde de carbone (CO₂) réagit avec l'hydroxyde de calcium Ca(OH)₂ et dans laquelle se forme le carbonate de calcium (CaCO₃) (voir la terminologie dans l'encart sous "terminologie").



Remarquable ici est que l'eau (H₂O) est également nécessaire pour la carbonatation. Plus à ce sujet ci-dessous.

Un effet positif de la carbonatation est donc que le CO_2 est absorbé par l'air. Incidemment, la carbonatation est généralement considérée comme un problème. Il abaisse le pH du béton, ce qui peut conduire à une situation où la protection du renfort contre la rouille ne peut plus être assurée. Mais dans cet article, nous nous concentrons uniquement sur l'aspect positif, l'absorption du CO_2 .

EMISSION VERSUS ABSORPTION

Le CO_2 est libéré lors de la production de ciment. Ceci est en partie dû à la réaction chimique lors de la fabrication du ciment, en partie à cause de l'énergie nécessaire à la production. À l'échelle internationale, les émissions fluctuent entre 0,9 et 1,15 tonne de CO_2 par tonne de ciment (CEM I). Globalement, vous pouvez donc affirmer que le rapport ciment / CO_2 est d'environ 1:1. Bien que l'article de Nature Geoscience ne comptabilise que les émissions de CO_2 résultant de la calcination, nous pensons qu'il faut considérer le coût total en CO_2 pour la fabrication du ciment.

Afin de déterminer quel pourcentage de ces émissions sera absorbé, on effectue un calcul à partir d'un ciment imaginaire. À cette fin, la proportion de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dans ce ciment est déterminée en premier, car elle détermine la mesure avec laquelle le béton carbonate.

QUANTITÉ DISPONIBLE $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ET CO_2 CAPTURÉ

Le $\text{Ca}(\text{OH})_2$ apparaît lors de la réaction des minéraux du ciment avec l'eau (hydratation). La quantité de minéraux dans le ciment est donc importante. Dans cette revue, nous utiliserons du ciment Portland (CEM I, voir encadré «Ciment Portland contre ciment de haut fourneau»). La composition minéralogique du ciment, basée entre autres sur la période 1930 - 2013 est de :

- 55% C_3S
- 15% C_2S
- 10% C_4AF
- 20% d'autres minéraux

Les minéraux C_3S et C_2S réagissent avec l'eau pour former $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (en plus des hydrates de silicate de calcium, ou C-S-H). Par rapport à ces minéraux de ciment, respectivement 40% et 18% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ apparaissent, calculés en masse [4]. De plus, la réaction de C_4AF avec l'eau affecte la quantité de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Cependant, aucun $\text{Ca}(\text{OH})_2$ n'est libéré dans ce processus, mais environ 30% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ est absorbé dans la structure minérale et est ainsi retiré du «stock à carbonater» $\text{Ca}(\text{OH})_2$ [4].

Au total, cela signifie la quantité suivante de $\text{Ca}(\text{OH})_2$:

- 55% C_3S x 40% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ après hydratation = 22% dans la pierre de ciment
- 15% C_2S x 18% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ après hydratation = 3% dans la pierre de ciment
- 10% C_4AF x -30% $\text{Ca}(\text{OH})_2$ après hydratation = -3% dans la pierre de ciment
- 20% d'autres minéraux

Quantité totale disponible de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ pour la carbonatation = 22% dans la pierre de ciment

Ainsi, 22% de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ seront libérés lorsque le ciment est complètement hydraté. Parce que vous pouvez lier 1 mole de CO_2 avec 1 mole de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (voir réaction susmentionnée) et le rapport de masse molaire entre $\text{Ca}(\text{OH})_2$ et CO_2 est de 74: 44 (59%), 59% de CO_2 peut être lié au $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Au total, c'est $22 \times 59 = 13\%$.

Conclusion provisoire: si tout le ciment Portland (100%) s'hydrate, au mieux seulement 13% de CO₂ seront captés parmi les 100% environ émis pendant la production (en supposant des émissions de CO₂ par rapport au ciment de masse à 1: 1).

Front d'humidité

La carbonatation n'a lieu qu'en présence d'une petite quantité d'eau (<50%). Le béton sec ne se carbonate pas parce qu'il y a un manque d'eau, le béton humide n'est pas carbonaté car le CO₂ ne peut pas pénétrer les pores remplis d'eau dans ce cas.

Le béton ne peut donc que brièvement carbonater un peu sur le front d'humidité, la ligne de séparation entre la matière humide et sèche dans un pore de ciment.

La carbonatation complète du béton (où toutes les 22% de Ca(OH)₂ réagissent) est donc le résultat de fréquents mouvements d'humidité dans les pores du ciment, en mouillant alternativement la surface du béton (pour une plus longue période) et en la séchant.

Cette dessiccation répétée et la saturation à nouveau avec de l'eau peut être considérée comme un renouvellement répété de l'air (CO₂) dans les pores.

Des exemples de telles surfaces de béton sont des dessous de plaques de galerie.

Avec des surfaces en béton qui se mouillent régulièrement / subissent la pluie, le front de déshydratation ne dépasse jamais quelques mm dans le béton. Le béton intérieur sèche complètement une seule fois, auquel cas une petite quantité négligeable de Ca(OH)₂ carbonate.

Incidemment, avec une carbonatation supplémentaire du béton, la matrice C-S-H peut également être carbonatée. Cette réaction se produit exclusivement dans l'enveloppe extérieure des ciments à faible teneur en calcium tels que le ciment de haut fourneau.

Dans le ciment Portland, cette forme de carbonatation ne se produit pratiquement jamais [6].

Moins de 13%

Il a été indiqué ci-dessus que le ciment ne peut absorber que 13% des 100% de CO₂ qui ont été émis pendant la production. En pratique, ce sera beaucoup plus bas. Il y a deux raisons à cela.

RAISON 1: DEGRÉ D'HYDRATATION

La valeur calculée de 13% suppose une hydratation de 100%. Parce que le béton a rarement un facteur ciment supérieur à 0,55, le béton aura rarement ou jamais un degré d'hydratation supérieur à 60% pour un ciment Portland CEM I 32,5 et environ 80% pour un CEM I 42,5 [graphique 4 sur 7]. Parce que la recherche couvre plusieurs décennies (1930 - 2013), nous supposons un degré d'hydratation de 60%. Les 40% de ciment non hydraté ne peuvent pas être carbonatés.

Cela signifie que sur les 13% susmentionnés, seulement 8% de CO₂ est absorbé.

RAISON 2: PROFONDEUR DE LA CARBONATION

Le béton ne carbonisera jamais sur toute sa section, même dans des conditions favorables à la carbonatation.

Locher a indiqué dans [5]:

La profondeur maximale de carbonatation du béton après 30 ans dans un environnement industriel protégé contre les précipitations à Duisburg-Rheinhausen (Allemagne) est de B15 jusqu'à 30 mm et pour un B45 jusqu'à 3 mm de profondeur de carbonatation.

D'autres auteurs et chercheurs parviennent également à des prédictions et à des résultats de tests comparables.

Donc, cela signifie que pas tous les bétons carbonatent, même dans ces conditions favorables pour la carbonatation. Nous supposons une profondeur de carbonatation de 20% de l'épaisseur du béton. Cela

correspond par exemple à une profondeur de carbonatation de 30 mm pour une épaisseur de paroi de 150 mm ou à une profondeur de carbonisation de 120 mm pour une épaisseur de paroi de 600 mm.

RAISON 3: EMBLEMMENT DU BÉTON

Comme mentionné, le béton ne se carbonise pas dans toutes les circonstances, mais surtout lorsque les surfaces sont «à l'extérieur mais à l'abri». Toutes les surfaces en béton ne sont pas situées dans de telles circonstances. Mais parce que d'autres surfaces montrent toujours une certaine carbonatation, nous estimons que 50% de toutes les surfaces de béton carbonatent.

Conclusion

Si nous prenons ces trois effets ensemble, donc une hydratation moyenne de 60% (raison 1), 20% de la profondeur de carbonatation (raison 2) et 50% de la surface carbonatable (raison 3), avec une liaison CO₂ théorique maximale de 13%, seulement environ 0,8% du cout total en CO₂ peut être lié dans le béton produit. Considérablement moins que les 50% mentionnés dans [1 et 2].

Ciment moderne

Dans notre exemple de ciment, nous avons utilisé la composition minéralogique moyenne estimée entre 1930 et 2013. Qu'en est-il du ciment moderne?

Un ciment de l'ENCI Maastricht contient en moyenne 63% de C3S, 13% de C2S et 9% de C₄AF. Pour tous les ciments (CEM I 32,5 t / m 52,5), la pierre de ciment consistera en 24,6% de Ca(OH)₂ hydratée à 100%. Par ce Ca(OH)₂ à 24,6%, 14,6% de CO₂ peuvent ensuite être reliés à partir de l'atmosphère.

Supposons que l'hydratation ne soit pas de 60% mais de 80% (raison 1) et que la raison 2 reste inchangée.

Au plus 1,2% du CO₂ libéré lors de la production sera recyclé tout au long de la vie du béton.

Le béton ne contient pas de quantité négative de CO₂

En ce qui nous concerne, il est évident que le ciment ne peut pas absorber les quantités de CO₂ mentionnées dans [1] et [2], peu importe comment vous calculez. Nous ne prévoyons donc pas que le béton contienne des quantités négatives de CO₂.

Ciment Portland versus ciment de haut fourneau

Le ciment de haut fourneau réagit avec l'eau pour cimenter la pierre, tout comme le ciment Portland. Étant donné que le ciment de haut fourneau ne comprend que partiellement du clinker de ciment Portland, la capacité de liaison au CO₂ sera également considérablement moindre. De plus, le ciment de haut fourneau ne représente en général que quelques pourcents de tout le ciment utilisé, notamment en raison de la période de recherche de 1930 à 2013. Pour cette raison, ces ciments ne sont plus mentionnés dans ce mémorandum.

Références

1. Zhu Liu e.a., Substantial global carbon uptake by cement carbonation, Nature Geoscience 9, 880–883, 2016.
2. Vermeulen, E.M.M., CO₂-footprint concrete much lower than expected,

Cementonline.nl, November 2016.

3. Neville, A.M., Brooks, J.J., Properties of Concrete. Pearson Education Limited, 1963.

4. Czernin, W., Cement chemistry and physics for civil engineering. Chemical Publishing Company, 1962.

5. Locher, F.W., Cement, principles of production and use. Verlag Bau und Technik, 2006.

6. Rooij, M.R.de, Cement stone. Aeneas Media, 2010.

7. Hoe porous is concrete, Betoniek 6/3. Aeneas Media, March 1983.

Note des éditeurs

Les éditeurs de Betoniek ont pris note de cet article et ont des doutes quant à la véracité des conclusions de l'article. Schippers et Schenk pensent que l'article de Nature Geoscience surestime d'un facteur de 50 à 60 leur conclusion concernant l'absorption de CO₂ pendant la carbonatation. Alors que divers comités techniques se sont penchés sur l'article de Nature Geoscience et ont conclu qu'il ne fournit pas de nouvelles informations et connaissances. La méthodologie est largement conforme à l'EN 16757 (Durabilité des travaux de construction) et à d'autres publications.

Particulièrement cette différence considérable de perspicacité soulève des points d'interrogation.

Une partie des objections à l'article de Schippers et Schenk concerne l'estimation du pourcentage de béton qui carbonate. Schippers et Schenk n'utilisent le béton de la phase utilisateur qu'à raison de 13% à 1%. Les mortiers et la phase de recyclage sont laissés de côté. Et précisément les mortiers et la phase de recyclage représentent une part considérable de l'absorption du CO₂.

De plus, Schippers et Schenk relie l'absorption de CO₂ du béton aux émissions totales de CO₂, c'est-à-dire à la fois par la calcination et par l'énergie utilisée dans la production de ciment (selon eux environ 1 tonne de CO₂ par tonne de ciment). L'article de Nature Geoscience repose uniquement sur les émissions de CO₂ résultant de la calcination, qui représente environ 50% du total.

Les éditeurs, cependant, croient qu'une discussion sur ce sujet est importante. C'est pourquoi nous pensons que nous devrions fournir une plateforme pour les idées de Schippers et de Schenk. Si vous voulez répondre à cet article, envoyez un email à betoniek@aeneas.nl et info@slimbreker.nl.

Les éditeurs