



**Duurzamer beton door gebruik van
Mecalithe®**

Datum : 1 april 2016
Versie : W1.1.1



GreenCem BV

Inhoudsopgave

1	Inleiding	3
2	Cement	4
2.1	Algemeen.....	4
2.2	Cement in Nederland.....	4
2.3	CO ₂ uitstoot cement	5
2.4	Relatie Global Carbon Atlas – CO ₂ uitstoot cement	6
3	Mecalithe®	8
4	Transport	10
5	Beton	11
5.1	Inleiding	11
5.2	CO ₂ uitstoot per m ³ - CEM I 52,5R	11
5.3	CO ₂ uitstoot per m ³ - CEM III 42,5B	11
5.4	CO ₂ uitstoot per m ³ - CEM III A, B, C.....	12
6	Literatuurlijst	13



1 Inleiding

De beperking van de uitstoot van broeikasgassen en dan vooral van CO₂, dat goed is voor 80% van de door de industrielanden uitgestoten broeikasgassen, is vandaag een planetaire uitdaging, vastgelegd in het Kyoto-protocol. Dat protocol heeft er toe geleid dat de wereldgemeenschap nu haar energieverbruik probeert te beperken en de energie en de energiebronnen van fossiele oorsprong (steenkool, olie...) probeert te vervangen door hernieuwbare en vervangingsenergie. Ook wordt getracht door vele initiatieven om de CO₂ uitstoot op andere wijzen te verminderen.

De productie van cement gaat onvermijdelijk gepaard met de uitstoot van CO₂. Als vuistregel wordt aangenomen dat de cementindustrie verantwoordelijk is voor 5% van de wereldwijde door menselijke activiteiten uitgestoten CO₂.

Door het gebruik van Mecalithe[®] kan de hoeveelheid cement met 30 – 40% worden verminderd, waardoor de CO₂ uitstoot ten gevolge van het gebruik van cement aanzienlijk wordt verminderd.

In dit document wordt eerst ingegaan op de CO₂ uitstoot t.g.v. cement. Daarna wordt aandacht besteed aan Mecalithe[®]. Ook komt de CO₂ uitstoot van het transport aan bod. Vervolgens worden voorbeelden van CO₂ uitstoot voor verschillende soorten beton gegeven. Aan het einde van dit document is een literatuurlijst opgenomen.

2 Cement

2.1 Algemeen

Wereldwijd is de uitstoot van CO₂ in 2012 in totaal 35.418 miljoen ton geweest. Hiervan is ongeveer 5% veroorzaakt door cement. Dit cijfer wordt genoemd in de Global Carbon Atlas. De CO₂ uitstoot veroorzaakt door cement is wereldwijd 1.866 miljoen ton en die in Nederland is 1,3 miljoen ton. De resultaten zijn in onderstaande tabel nogmaals weergegeven.

	<i>totaal</i>	<i>cement</i>	<i>%</i>
Wereld	35.418	1.866	5,3
China	9.621	1.107	11,5
Europa (incl. CIS)	5.934	149	2,5
Duitsland	732	17	2,3
Groot Brittannië	471	3,8	0,8
België	99	4,3	4,3
Nederland	166	1,3	0,8

Opmerkingen:

- De waarden die worden weergegeven hebben betrekking op de CO₂ uitstoot die wordt veroorzaakt door verbranding van fossiele brandstoffen. Om de totale CO₂ uitstoot aan te geven dient hierbij de CO₂ uitstoot die wordt veroorzaakt door calcinatie van calcium carbonaat te worden opgeteld (zie paragraaf 2.4).

2.2 Cement in Nederland

Zoals algemeen wordt aangenomen en ook blijkt uit bovenstaande cijfers bedraagt de wereldwijde CO₂ uitstoot veroorzaakt door cement ongeveer 5% van de totale CO₂ uitstoot. In Nederland is dit minder dan 1%. Als gekeken wordt naar de cijfers van de Nederlandse cementindustrie is de procentuele CO₂ uitstoot van cement in Nederland nog veel lager: volgens de Nederlandse Emissie Autoriteit 0,3% in 2010. Er is dus een groot verschil tussen de relatieve CO₂ uitstoot wereldwijd (5%) en de uitstoot volgens de Nederlandse Emissie Autoriteit (0,3%). De oorzaken hiervan zijn als volgt:

- Nederland behoort tot de weinige landen die niet zelfvoorzienend zijn voor cement. Een groot deel van het cement en ook van het halffabricaat cementklinker moet worden geïmporteerd. Als we er vanuit mogen gaan dat het cement en de cementklinker uit het buitenland niet fundamenteel verschillen van de in Nederland geproduceerde, moeten we getal van 0,3 vermenigvuldigen met een correctiefactor 3,3 voor importen. Zou al het cement dat in Nederland wordt gebruikt ook in Nederland zijn gemaakt, dan zouden we dus uitkomen op een aandeel van 1% in de nationale CO₂-emissie.
- Een tweede oorzaak heeft te maken met welvaart. De gemiddelde wereldburger stoot 4,5 ton CO₂ per jaar uit. De gemiddelde Nederlander bijna 11 ton. Dat scheelt een factor 0,42. De CO₂-uitstoot en welvaart zijn sterk aan elkaar gekoppeld. We rijden meer auto, vliegen meer, eten meer vlees, produceren meer goederen, etcetera. Relateren we de wereldwijde CO₂ uitstoot door cementproductie aan ons welvaartsniveau, dan zou de emissie voor cement in Nederland uitkomen op 2,1%.



GreenCem BV

- Een derde oorzaak is de inzet van secundaire brandstoffen en secundaire grondstoffen. De inzet van CO₂-neutrale biomassa (onder andere gedroogd zuiveringsslib) en van alternatieve grondstoffen die de vereiste oventemperatuur omlaag brengen, reduceert de CO₂-uitstoot in de schoorsteen van de cementfabriek met 25%. Dat betekent een reductiefactor van 0,75 ten opzichte van de wereldstandaard die stelt dat de productie van 1 ton portlandcement 1 ton CO₂ veroorzaakt.
- Een vierde oorzaak is de gebruikte grondstoffen. Portlandcement is op wereldschaal het meest toegepaste cement, maar niet in Nederland. Cementsoorten kunnen worden gekarakteriseerd door het gehalte portlandcementklinker. Dat is het materiaal dat uit de cementoven komt. In portlandcement is het klinkergehalte 95%. In Nederland is een flink deel van de portlandklinker in cement vervangen door poederkoolvliegas en hoogovenslak. Aan die stoffen kleeft nauwelijks CO₂. Het klinkeraandeel in cement dat in Nederland wordt gebruikt is gemiddeld 46%. Dat leidt tot een reductiefactor van 0,6 ten opzichte van portlandcement.

In een overzicht ziet dat er als volgt uit:

NL cementproductie	0,3%	Wereld cementproductie	5%
Factor import	x 3,3	Factor welvaart	x 0,42
		NL gewogen	2,1%
		Factor brandstof	x 0,75
		NL klinker	1,6%
		Factor grondstof	x 0,6
<hr/>		<hr/>	
NL cementconsumptie	1,0%	NL cementconsumptie	1,0%

In Nederland zitten we dus niet op een niveau van 5% maar slechts op 1%. Daarmee is de cementindustrie in Nederland wereldwijd koploper. Dat is vooral te danken aan de innovaties op het gebied van de inzet van secundaire brandstoffen, secundaire grondstoffen en een heel efficiënte procesbeheersing.

Opmerkingen: • Bovenstaande gegevens zijn overgenomen uit 'Roadmap duurzaam cement' van het Cement&BetonCentrum.

2.3 CO₂ uitstoot cement

Het nu in gebruik zijnde cement bestaat in hoofdzaak uit Portlandklinker en een kleine hoeveelheid nevenbestanddelen. In Nederland wordt voor een aantal toepassingen Hoogovenslak toegevoegd. In onderstaande tabel zijn enkele in Nederland veel voorkomende soorten benoemd.

Cementsoort	Portlandklinker	Hoogovenslak	Nevenbestanddelen
CEM I	95% tot 100%		0% tot 5%
CEM III A	35% tot 64%	34% tot 65%	0% tot 5%
CEM III B	20% tot 34%	66% tot 80%	0% tot 5%
CEM III C	5% tot 19%	81% tot 95%	0% tot 5%



GreenCem BV

Het productieproces van Portlandklinker veroorzaakt veel CO₂ uitstoot. Hoogovenslak is een 'afvalproduct' van het staalfabricage proces. Dit proces veroorzaakt ook veel CO₂ uitstoot, maar die wordt doorberekend aan het staal en niet aan het afvalproduct Hoogovenslak. Daardoor is de CO₂ uitstoot die wordt toegekend aan cement waarin Hoogovenslak is verwerkt (CEM III) lager dan de CO₂ uitstoot die voor 'pure' Portlandcement (CEM I) geldt. In onderstaande tabel is dit weergegeven.

	Klinkergehalte	Klimaatimpact in kg <i>(indicatie op basis van klinkergehalte)</i>	
		per kg	per ton
1 kg pure klinker	100%	0,88	880
CEM I	95%	0,82	820
CEM III A hoog	65%	0,57	570
Grens CEM III A / CEM III B	35%	0,31	310
Grens CEM III B / CEM III C	20%	0,18	180
CEM III C laag	5%	0,04	40

Opmerkingen: • Bovenstaande gegevens zijn overgenomen uit het rapport 'Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw' van CE Delft.

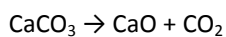
2.4 Relatie Global Carbon Atlas – CO₂ uitstoot cement

Op het eerste gezicht matchen de cijfers die worden gegeven in de Global Carbon Atlas niet met de cijfers die worden gegeven in paragraaf 2.3 – CO₂ uitstoot cement. In the Global Carbon Atlas wordt aangegeven dat in 2012 de CO₂ emissie veroorzaakt door cement 1.866 miljoen ton is. Als wordt uitgegaan van een wereldwijde cementproductie van 3.600 miljoen ton kan hieruit worden berekend dat de CO₂ uitstoot ongeveer 0,5 ton per ton cement is. In paragraaf 2.3 is aangegeven dat de CO₂ uitstoot van (Portland)cement in Nederland 0,82 kg per kg cement is, ofwel 820 kg CO₂ per ton cement.

Het verschil wordt veroorzaakt doordat in de Global Carbon Atlas alleen de uitstoot van CO₂ ten gevolge van de verbranding van fossiele brandstoffen is opgenomen.

Portlandcement wordt vervaardigd uit kalkzandsteen. Kalkzandsteen bevat doorgaans ongeveer 80% calciumcarbonaat. Bij het verhittingsproces om tot klinker te komen wordt op twee manieren CO₂ uitgestoten: het verbranden van fossiele brandstoffen (kolen, olie, gas, etc.) en de calcinatie van calcium carbonaat.

Bij de calcinatie wordt calciumcarbonaat (CaCO₃) omgezet in calciumoxide (CaO) en koolstofdioxide (CO₂) volgens de volgende chemische formule:



Zoals uit de formule blijkt komt hierbij CO₂ vrij.

Volgens de BREF studie 'Cement- en kalkproducerende industrie' is voor de vervaardiging van 1 ton cement ongeveer 1,57 ton ruw uitgangsmateriaal (kalkzandsteen) nodig. Per ton cement wordt door het uiteenvallen van het calciumcarbonaat in calciumoxide en koolstofdioxide ongeveer 570 kg CO₂ geproduceerd. Om de totale CO₂ uitstoot veroorzaakt door de productie van cement te berekenen moet men de waarde voor de CO₂ uitstoot veroorzaakt door verbranding van fossiele brandstoffen (zoals te



GreenCem BV

vinden in de Carbon Atlas) optellen bij de waarde van de CO₂ uitstoot ten gevolge van de chemische reactie (570 kg per ton cement).

Uitgaande van de gegevens van de Global Carbon Atlas (GCA) en de CO₂ uitstoot veroorzaakt door de chemische reactie kan de totale CO₂ uitstoot ten gevolge van de productie van cement als volgt worden berekend:

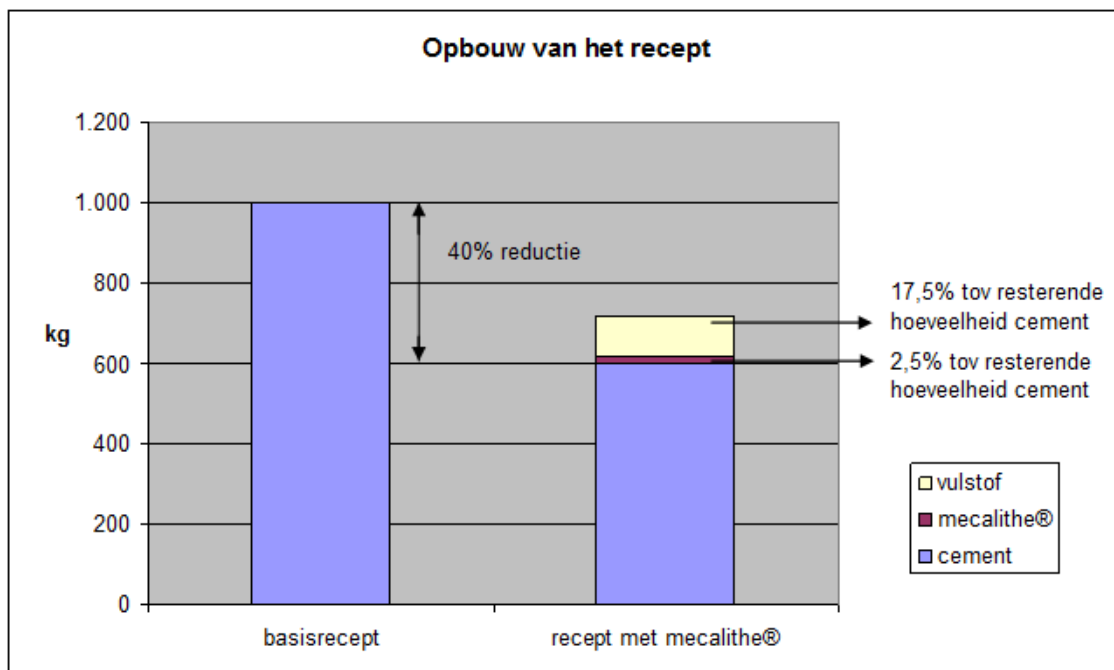
	<i>CO₂ uitstoot cement (GCA) in miljoen ton</i>	<i>Cement Productie in miljoen ton</i>	<i>CO₂ uitstoot per ton cement</i>		<i>CO₂ uitstoot cement (tot) in miljoen ton</i>
			<i>verbranding in kg per ton</i>	<i>incl. calcinatie in kg per ton</i>	
Wereld	1.866	3.600	518	1.088	3.918
China	1.107	2.135	518	1.089	2.323
Europa (incl. CIS)	149	314	475	1.045	328
Groot Brittannië	3,8	8,4	452	1.022	8,6
Duitsland	17	34	500	1.070	36,4
België	4,3	6,4	672	1.242	7,9
Nederland	1,3	4,27	304	874	3,25

Een en ander wordt onderstreept door het NRMCA-rapport 'Concrete CO₂ Fact Sheet' waarin staat dat 50 – 60% van de CO₂ emissie van cement is toe te schrijven aan calcinatie van calcium carbonaat. Zoals aangegeven wordt deze CO₂ uitstoot niet meegerekend in de Global Carbon Atlas. Dit houdt in dat de uit de Global Carbon Atlas op te halen cijfers slechts 50 - 40% van de totale CO₂ uitstoot voor de productie van cement uitmaken.

- Opmerkingen:
- Voor de kolommen in de tabel geldt het volgende:
 - in de eerste kolom zijn de verschillende gebieden aangegeven;
 - de tweede kolom toont de CO₂ uitstoot ten gevolge van de productie van cement zoals aangegeven in de Global Carbon Atlas – dus alleen voor de verbranding van fossiele brandstoffen voor de verbranding;
 - de derde kolom bevat de productiecijfers voor cement zoals aangegeven door CemBureau;
 - de vierde kolom is de berekening van de CO₂ uitstoot per ton, uitgaande van de getallen in de tweede en derde kolom;
 - in de vijfde kolom is de totale CO₂ uitstoot voor het productie proces van cement berekend – er van uitgaande dat het calcinatieproces 570 kg CO₂ uitstoot per ton cement veroorzaakt. Deze waarde wordt opgeteld bij de waarde uit kolom 4;
 - in de zesde kolom is de totale uitstoot van CO₂ voor het productieproces van CO₂ berekend door de getallen uit kolom 5 te vermenigvuldigen met de totale cementproductie (kolom 3).
 - De verschillen per gebied/land worden o.a. veroorzaakt doordat verschillende ('schonere' of 'vuilere') brandstoffen worden gebruikt.

3 Mecalithe®

Mecalithe® is een poedervormige cementshulpstof die bestaat uit metaaloxides en calciumverbindingen. Het versterkt de werking van cement in beton met 40 – 50%. Hierdoor kan de benodigde hoeveelheid cement in beton met 30 -40% worden gereduceerd, waarbij het beton dezelfde sterkte eigenschappen blijft houden. Tegenover de vermindering van het cement staat uiteraard wel een toevoeging van Mecalithe®. Er dient 2.5% Mecalithe® en 17.5% vulstof te worden toegevoegd (de percentage zijn t.o.v. de resterende hoeveelheid cement). Dit is in onderstaande figuur aangegeven.



	basisrecept	recept met mecalithe®
	kg	kg
cement	1.000	600
mecalithe®	0	15
vulstof	0	105

Opmerkingen:

- Door het gebruik van Mecalithe® wordt een reductie van 40% van cement bereikt. Dit wordt deels opgevuld met Mecalithe® + vulstof (20% van de overgebleven hoeveelheid cement). Er dient nog extra toeslagmateriaal - bijv. zand en grind - te worden toegevoegd, zodat het totaal eenzelfde gewicht heeft als het basisrecept

Door de reductie van cement wordt de CO₂ uitstoot voor beton aanzienlijk minder. Zowel Mecalithe® als de andere toe te voegen materialen (vulstof en toeslagmaterialen) hebben een veel lagere CO₂ uitstoot.



GreenCem BV

De CO₂ uitstoot van Mecalithe® en de vulstof is in onderstaande tabel weergegeven.

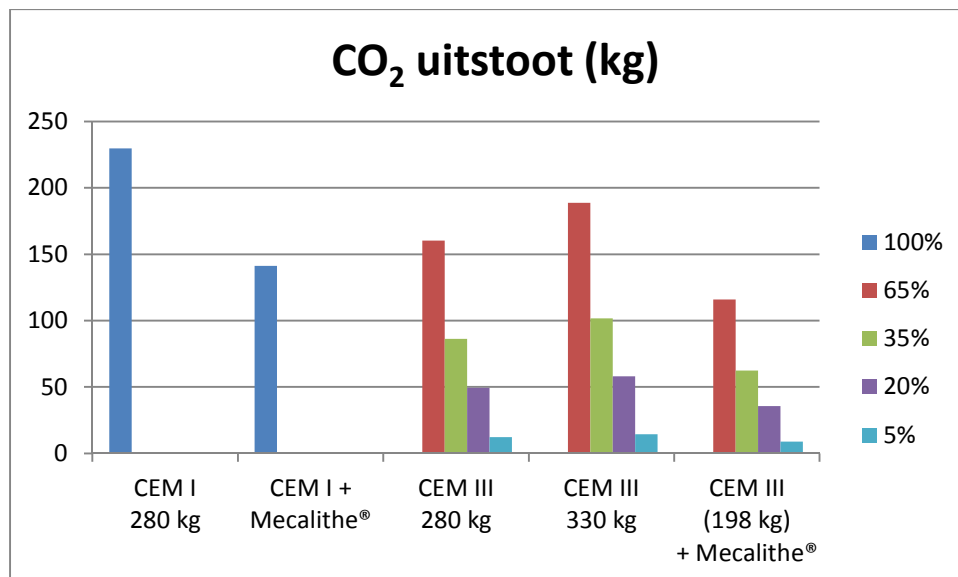
	CO₂ uitstoot in kg	
	per kg	per ton
Materiaal	0,063	63
Handling/transport	0,037	37
	0,1	100

Toegepast in beton levert het gebruik van Mecalithe® dus een reductie van de CO₂ uitstoot op. In onderstaande tabel is de CO₂ uitstoot voor het bindmiddel in een betonrecept met CEM I 'puur' en in combinatie met Mecalithe® aangegeven. Tevens is voor het bindmiddel in 4 betonrecept varianten van CEM III – met respectievelijk 65%, 35%, 20% en 5% Portlandcement de CO₂ uitstoot aangegeven.

Betonrecept met	95%	65%	35%	20%	5%
CEM I - 280 kg	230				
CEM I + Mecalithe®	141				
CEM III - 330 kg		188	102	59	13
CEM III (60% = 198 kg)+ Mecalithe®		117	65	40	12

Opmerkingen: • CEM I bevat 95% klinker.

Grafisch kunnen de resultaten als volgt worden weergegeven:





4 Transport

Onderstaande gegevens zijn overgenomen uit het rapport 'Ketenanalyse prefab betonproducten' van GMB.

Het kwantificeren van de uitstoot voor het transport wordt gedaan op basis van de conversiefactoren die in gebruik zijn bij ProRail. Voor bulk goederen wordt 0,11 kg CO₂ per ton per kilometer aangehouden voor vervoer per vrachtauto en 0,07 kg per ton per km voor vervoer per schip.

Voor de transportafstanden van de grondstoffen naar de betonfabrikanten wordt uitgegaan van een gemiddelde afstand van 180 km voor het vervoer van cement (en Mecalithe®) per vrachtauto, 150 km voor het vervoer van grind per schip en 60 km voor het vervoer van zand per schip.

Bovengenoemde waarden leveren dus de volgende CO₂ uitstoot ten gevolge van het transport op.

	<i>Gemiddelde afstand</i>	<i>CO₂ uitstoot</i>	
		<i>per km per ton</i>	<i>per ton</i>
Zand	60 km	0,11 kg	6,6 kg
Grind	150 km	0,07 kg	10,5 kg
Cement / Mecalithe® / vulstof	180 km	0,07 kg	12,6 kg
Totaal transport			29,7 kg

5 Beton

5.1 Inleiding

Uit bovenstaande gegevens kan de CO₂ uitstoot voor beton gemaakt met verschillende soorten cement en voor mengsels met Mecalithe® worden berekend. Hierbij dient uiteraard wel rekening te worden gehouden met de CO₂ uitstoot van het gebruikte zand en grind. In het eerder genoemde rapport 'Ketenanalyse prefab betonproducten' van GMB zijn hiervoor de volgende waarden aangegeven:

	<i>CO₂ uitstoot in kg per ton</i>
Zand	3,01
Grind	1,09
Water	0,276

In onderstaande paragrafen wordt de CO₂ uitstoot voor beton voor verschillende mengsels weergegeven.

5.2 CO₂ uitstoot per m³ - CEM I 52,5R

<i>materiaal</i>	<i>CO₂ bij winning KG/ton</i>	<i>aantal kg</i>	<i>traditioneel</i>	<i>met Mecalithe®</i>
			<i>CO₂ uitstoot kg/m³</i>	<i>CO₂ uitstoot kg/m³</i>
zand	3,01	660	1,99	2,12
grind	1,09	1300	1,42	1,45
Cement CEM I 52,5R	820	280	229,60	137,76
Mecalithe® + vulstof	100		0,00	3,40
Water	0,276	123	0,03	0,03
Transporten			29,70	29,70
Totale CO₂ uitstoot per m³ beton			262,74	174,47
CO₂ reductie			33,6%	

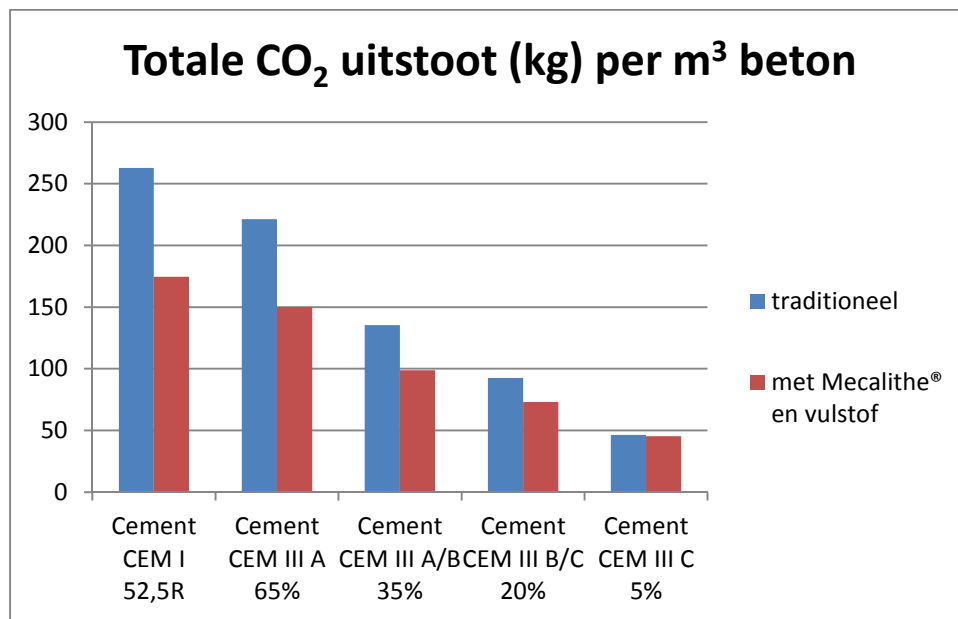
5.3 CO₂ uitstoot per m³ - CEM III 42,5B

<i>Materiaal</i>	<i>CO₂ bij winning KG/ton</i>	<i>aantal kg</i>	<i>traditioneel</i>	<i>met Mecalithe®</i>
			<i>CO₂ uitstoot kg/m³</i>	<i>CO₂ uitstoot kg/m³</i>
Zand	3,01	640	1,93	2,08
Grind	1,09	1280	1,40	1,49
Cement CEM III 42,5B	370	330	122,10	73,26
Mecalithe® + vulstof	100		0,00	4,00
Water	0,276	145	0,04	0,04
transporten			29,70	29,70
Totale CO₂ uitstoot per m³ beton			155,16	110,57
CO₂ reductie			28,7%	

5.4 CO₂ uitstoot per m³ - CEM III A, B, C

De waarden van de totale CO₂ uitstoot voor de eerder vermelde cementsoorten met en zonder gebruik van Mecalithe[®] zijn in onderstaande tabel en grafiek weergegeven. Als referentie zijn de waarden die gelden voor beton met CEM I 52,5R uit paragraaf 5.2 ook opgenomen.

<i>Betonsoort met</i>	<i>Totale CO₂ uitstoot (kg) per m³ beton</i>		<i>Reductie</i>
	<i>traditioneel</i>	<i>met Mecalithe[®]</i>	
Cement CEM I 52,5R	263	174	34%
Cement CEM III A 65%	221	150	32%
Cement CEM III A/B 35%	135	99	27%
Cement CEM III B/C 20%	92	73	21%
Cement CEM III C 5%	46	45	2%





6 Literatuurlijst

Voor het opstellen van dit document is gebruik gemaakt van de volgende documenten:

- Titel Global Carbon Atlas
Auteur Global Carbon Project – gesponsord door BNP Paribas Foundation
Datum November 2013
Versie 2012
- Titel Roadmap Duurzaam Cement
Auteur Cement&BetonCentrum
Datum Oktober 2012
- Titel Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw
Auteur CE Delft
Datum April 2013
- Titel Ketenanalyse prefab betonproducten
Auteur GMB
Datum December 2010
- Titel Concrete CO₂ Fact Sheet
Auteur NRMCA – National Ready Mixed Concrete Association
Datum Februari 2012
- Titel Key facts and figures : Quarterly Economics Reports
Auteur Cembureau
Datum 2012
- Titel Best Available Techniques Reference Document
Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries
Auteur European Commission
Datum Mei 2010