



# Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw

## Status quo en toetsing van verbeteropties

**Rapport**  
Delft, april 2013

**Opgesteld door:**  
M.M. (Marijn) Bijleveld  
G.C. (Geert) Bergsma  
M. (Marit) van Lieshout



# Colofon

**Bibliotheekgegevens rapport:**

M.M. (Marijn) Bijleveld, G.C. (Geert) Bergsma, M. (Marit) van Lieshout  
Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw  
Status quo en toetsing van verbeteropties

Delft, CE Delft, april 2013

Publicatienummer: 13.2828.24

Opdrachtgever: Ministerie van Infrastructuur en Milieu.  
Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via [www.ce.nl](http://www.ce.nl)

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Geert Bergsma.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft  
Committed to the Environment

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.



# Inhoud

	<b>Woord vooraf</b>	<b>5</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>13</b>
1.1	Inleiding	13
1.2	De betonketen	13
1.3	Methode	15
<b>2</b>	<b>Inventarisatie</b>	<b>19</b>
2.1	Inleiding	19
2.2	(Gewapend) betongebruik in de Nederlandse bouw	19
2.3	Bouwactiviteiten	21
2.4	Gebruiksfase	22
2.5	Slopen en breken	23
2.6	Transport	26
<b>3</b>	<b>Resultaten</b>	<b>29</b>
3.1	Inleiding	29
3.2	Klimaatimpact	29
3.3	Gevoeligheidsanalyse en variaties klimaatimpact	34
3.4	Andere milieueffecten	39
3.5	Conclusies en aanbevelingen milieu-analyse betonketen	45
<b>4</b>	<b>Handelingsperspectieven</b>	<b>49</b>
4.1	Inleiding	49
4.2	Betonkernactivering	50
4.3	Cementtype en klinkergehalte	54
4.4	De klimaatimpact van klinker	57
4.5	Inzet betongranulaat als cementvervanger	60
4.6	Conclusies verbeteropties voor de betonketen	61
4.7	Aanbevelingen verbeteropties betonketen	62
	<b>Bronvermelding</b>	<b>65</b>





# Woord vooraf

Dit rapport is het eindresultaat van een milieukundig onderzoek naar de betonketen, op macroniveau, dat CE Delft heeft uitgevoerd in opdracht van Rijkswaterstaat en met medewerking van het MVO Netwerk Beton. Het rapport biedt voor diverse milieueffecten de resultaten van de analyse van het totale betongebruik in Nederland gedurende één jaar. Hierbij zijn alle ketenstappen beschouwd: van materiaalwinning, productie van beton en cement, gebruik van wapeningsstaal, bouwwerkzaamheden, de gebruiksfase van gebouwen (ten dele), de sloop, het breken van beton tot inzet van granulaten in nieuwe toepassingen en alle tussenliggende transportstappen.

Het project heeft zich gekenmerkt door samenwerking met vele bereidwillige personen uit de cement- en betonbranche, die op verschillende manieren inbreng hebben geleverd:

Peter Broere	BRBS Recycling
Leo Dekker	Mebin/Heidelbergcement
Jeroen Frenay	ENCI/Heidelbergcement
Frank Hoekemeijer	Heijmans
Pieter Lanser	Cement&BetonCentrum
Piet van Luijk	Ministerie van Binnenlandse Zaken
Màrie van der Poel	VOBN
Evert Schut	MVO Nederland/Rijkswaterstaat
Henk Schuur	BFBN

Wij danken alle betrokkenen hartelijk voor het meedenken tijdens het proces en/of het aanleveren van gegevens. Zonder hun input had dit rapport niet tot stand kunnen komen.

Parallel aan deze studie heeft CE Delft voor Bouwend Nederland een milieukundige analyse uitgevoerd van de gehele bouwketen, waarbij ook verbeterrichtingen worden benoemd. Resultaten van deze betonstudie zijn opgenomen in het rapport voor Bouwend Nederland (CE Delft, 2013).

De auteurs





# Samenvatting

Eind 2012 is de Green Deal “Verduurzaming betonketen” gesloten tussen de overheid en het MVO Netwerk Beton, waarin 21 bedrijven en 6 branche-organisaties in de betonketen deelnemen. Het doel van deze Green Deal is een 100% duurzame betonketen in 2050, plus het zetten van concrete stappen daartoe op korte termijn.

Binnen dit verduurzamingsprogramma is de behoefte ontstaan aan een milieuanalyse van de betonketen op dit moment, zodat het vertrekpunt voor het doorvoeren van verbeteringen duidelijk is. Hiervoor heeft Rijkswaterstaat, samen met diverse afgevaardigden van het MVO Netwerk Beton, CE Delft gevraagd om een overzichtsstudie uit te voeren.

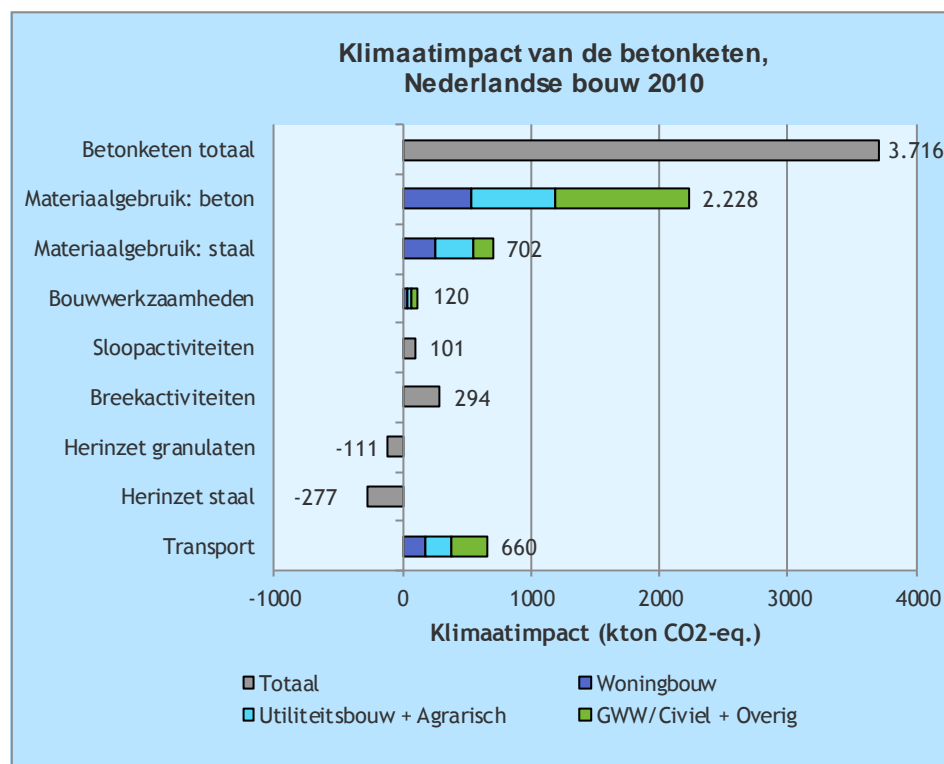
De uitgevoerde studie bestaat uit twee onderdelen:

1. Een analyse van de milieu-impact van de Nederlandse betonketen op macroschaal, over 2010. De analyse omvat de ketenstappen betonproductie, wapeningsstaalproductie, betongerelateerde bouwactiviteiten en transport, sloop en recycling van betonpuin. Ook wordt de gebruiksfase van bouwwerken belicht. Onderzochte milieueffecten zijn de klimaatimpact, fijnstofemissie en het primair energieverbruik.
2. De te behalen milieuwinst door kansrijke verbeteropties of handelingsperspectieven in de betonketen, ten opzichte van de status-quo.

## Belangrijkste resultaten macro-analyse

Figuur 1 geeft de resultaten weer van de klimaatimpactanalyse van de betonketen in Nederland in 2010.

Figuur 1 Klimaatimpact van de betonketen, Nederland 2010, uitgesplitst naar toepassingsgebied



Weergegeven zijn alle ketenfasen die direct toerekenbaar zijn aan beton-gebruik inclusief effecten in het buitenland. Energieverbruik tijdens de gebruiksfase van gebouwen is wel berekend, maar in Figuur 1 niet inbegrepen, want niet volledig toerekenbaar aan de betonketen. Voor zover mogelijk is onderscheid gemaakt tussen de verschillende toepassingsgebieden van beton: woningbouw, utiliteitsbouw en GWW/civiel, waarbij ook betongebruik in de agrarische sector is gevoegd.

In 2010 werd 14 miljoen m<sup>3</sup> beton gebruikt in de Nederlandse bouw en ongeveer 550 kton aan wapeningsstaal. Belangrijkste milieueffecten van dit gebruik zijn:

- Totale klimaatimpact: ongeveer 3.700 kton CO<sub>2</sub>-eq. (= 3,7 miljard kg CO<sub>2</sub>-eq); dit is ongeveer 1,7% van de Nederlandse nationale emissie (CBS)
- Totaal primair energieverbruik: ruim 45 PJ (= 45 x 10<sup>9</sup> MJ). In vergelijking met CBS-gegevens van het primair energieverbruik van alle Nederlandse economische activiteiten is dit 1,1%. Ongeveer 5% van alle energie die gebruikt wordt in de betonketen is afkomstig uit duurzame bron.
- Totale fijnstofemissie: ruim 6 kton PM10-eq. In vergelijking met CBS-gegevens van de fijnstofemissie van alle Nederlandse economische activiteiten is dit 13%. Belangrijke opmerking hierbij is dit resultaat vermoedelijk aan de hoge kant is<sup>1</sup>. Het resultaat voor al veroorzaakt door betonproductie en transport, en slechts voor een klein deel door fijnstofvorming bij de bouw-, sloop- en breekactiviteiten. Er worden maatregelen getroffen om fijnstofvorming in de hand te houden en er is een convenant van kracht op het gebied van fijnstof die alle betrokken branches (betonproducenten, bouwers, slopers) hebben ondertekend en wordt gehandhaafd door overheid. Daarmee is werken met beton arbeidsveilig mogelijk mits de juiste beschermingsmaatregelen en preventiemaatregelen worden aangehouden.

De resultaten van een levenscyclusanalyse (LCA) afhankelijk zijn van gebruikte methoden, beschikbare achtergrondgegevens en de keuzes die voor de analyse worden gemaakt. Verandering hierin leidt tot andere resultaten.

Een voorbeeld is de toerekening van wapeningsstaal aan de betonketen, het toerekenen van milieuwinst door recycling en de selectie van berekende milieueffecten.

Het **betongebruik (materiaal)** heeft het grootste aandeel in de milieu-impact (40 tot 60%, afhankelijk van het milieueffect), veroorzaakt door cement-gebruik, dat 95% van de klimaatimpact van het materiaal beton voor zijn rekening neemt. Verbeteropties om de impact van cement te verlagen zijn zodoende zeer relevant. In 2010 vrijgekomen betongranulaat bij sloop wordt weer nuttig ingezet, maar levert een bescheiden extra milieuwinst op.

Het **transport** heeft een aanzienlijke bijdrage doordat het zware cement en beton grotendeels over de weg worden vervoerd. Vervoer met binnenvaartschip verlaagt bij gelijke afstand de klimaatimpact en primair energieverbruik met een factor 3 tot 4. De fijnstofemissie verandert niet of nauwelijks.

---

<sup>1</sup> Voor fijnstof van cement- en betonproductie is uitgegaan van de Ecoinvent database, wegens ontbreken van fijnstofgegevens specifiek voor de Nederlandse situatie. De Ecoinvent database levert voor klimaatimpact een stuk hogere score op dan bronnen specifiek voor de Nederlandse situatie; dit is vermoedelijk ook zo voor fijnstof.





Het gebruik van **wapeningsstaal** heeft ook een aanzienlijke impact, zeker bij fijnstof (40%), ondanks dat wapeningsstaal een groot aandeel gerecycled staal bevat (70%). Na gebruik wordt het wapeningsstaal gerecycled, waardoor de totale impact van staal verder wordt verlaagd. Immers, ook door recycling na afdanking wordt het gebruik van virgin staal vermeden. Bij deze analyse is een dubbeltelling van winst door vermeden virgin staal voorkomen. Het is zeker nuttig om ook te kijken of het staalgebruik kan worden verminderd, aangezien de verhouding tussen staalgebruik (input) en vrijkomend staal (output) gelijk is.

Energieverbruik voor **bouw-, sloop- en breekactiviteiten** dragen samen 14% tot 19% bij aan de totale milieuscores.

Er is ook gekeken naar de klimaatmissie van energiegebruik tijdens de **gebruiksfase** van woningen en kantoren in 2010. Per jaar wordt een grote hoeveelheid energie verbruikt in woningen en kantoren. De impact daarvan is 12 keer (klimaatimpact) tot 18 keer (primair energiegebruik) zo hoog als de impact van het beton- en wapeningsstaalgebruik in woningen en kantoren in 2010.

Als we alleen kijken naar energie voor verwarming van woningen die in 2010 zijn gebouwd, dan schatten we in dat met de huidige EPC-norm<sup>2</sup> (0,8) de klimaatimpact van het betongebruik in een woning ongeveer gelijk staat aan de klimaatimpact van 5 jaar verwarmen van een woning. Over een levensduur van 50 jaar is het energiegebruik voor verwarming van een woning uit 2010 dus grofweg tien keer zoveel energie dan de energie benodigd voor het beton met wapening in de woning.

### **Aanbevelingen naar aanleiding van de ketenanalyse**

Bij het uitvoeren van de analyse heeft CE Delft een aantal zaken geconstateerd die deze analyse en LCA-analyses door andere onderzoekers kunnen verbeteren.

1. De bekendheid en algemene beschikbaarheid van de milieu-informatie van beton en diverse cementtypen, specifiek voor de Nederlandse situatie, kan verbeterd worden. De veel gebruikte Ecoinvent database (beschikbaar in LCA-software) bevat voor Nederland verouderde informatie.
2. Er is nog geen uitgesplitste milieu-informatie beschikbaar voor betontypen CEM II, CEM IV, CEM V en een range aan CEM III-typen. De verschillen tussen betontypen zijn echter wel substantieel. Verdere verfijning per betontype kan analyse derhalve preciezer maken.
3. Fijnstofemissie wordt niet gerapporteerd over Nederlands cement en beton. Voor een volledige milieuanalyse zou het goed zijn als ook fijnstof voor de Nederlandse situatie beschikbaar is, zodat men niet afhankelijk is van de Ecoinvent database.

---

<sup>2</sup> De energieprestatiecoëfficiënt (EPC) is een index die de energetische efficiëntie van nieuwbouw aangeeft. Het is een theoretische eis voor energiegebruik die voor aanvang van de bouw van de woning wordt vastgesteld.



## **Verbeteropties en handelingsperspectieven**

In deze studie is ingezoomd op de enkele verbeteropties in de betonmateriaalketen. Omdat gebruik van het materiaal beton zo'n groot aandeel (60%) heeft in de totale keten, wat vooral veroorzaakt wordt door het gebruik van cement (95%), is het logisch om vooral te kijken naar de cementproductie. Er zijn al grote stappen gezet door het gebruiken van cementtype CEM III in plaats van CEM I.

Het realistische potentieel van verbeteropties en de termijn waarop implementatie kan plaatsvinden is afhankelijk van aspecten als technische haalbaarheid, ontwikkelingen en kosten. CE Delft velt in deze studie hier geen oordeel over. Hier bestaan andere studies voor of is meer onderzoek naar nodig. Daarom worden de resultaten in deze studie zodanig gepresenteerd dat de betonbranche zelf het potentieel kan bepalen en kan aflezen uit de grafieken wat de bijbehorende klimaatwinst is. Twee hoofdverbeteringen zijn onderzocht:

- het verlagen van de klimaatimpact van klinker;
- het vervangen van CEM I in beton door cement met lager klinkergehalte.

Voor beide zijn er diverse manieren om tot verbetering te komen.

In een rapportage van de ECRA (2009) wordt een groot aantal opties onderzocht ter verlaging van de klimaatimpact van klinker. CE Delft heeft berekend dat veel verbeteropties de klimaatimpact van betongebruik in Nederland maximaal met enkele tot een tiental procenten verlagen, met uitschieters boven de 20%.

Door CEM I waar mogelijk te vervangen door een van deze cementtypen kan aanvullende klimaatwinst worden behaald. Hoe hoog deze winst is hangt af van het type cement.

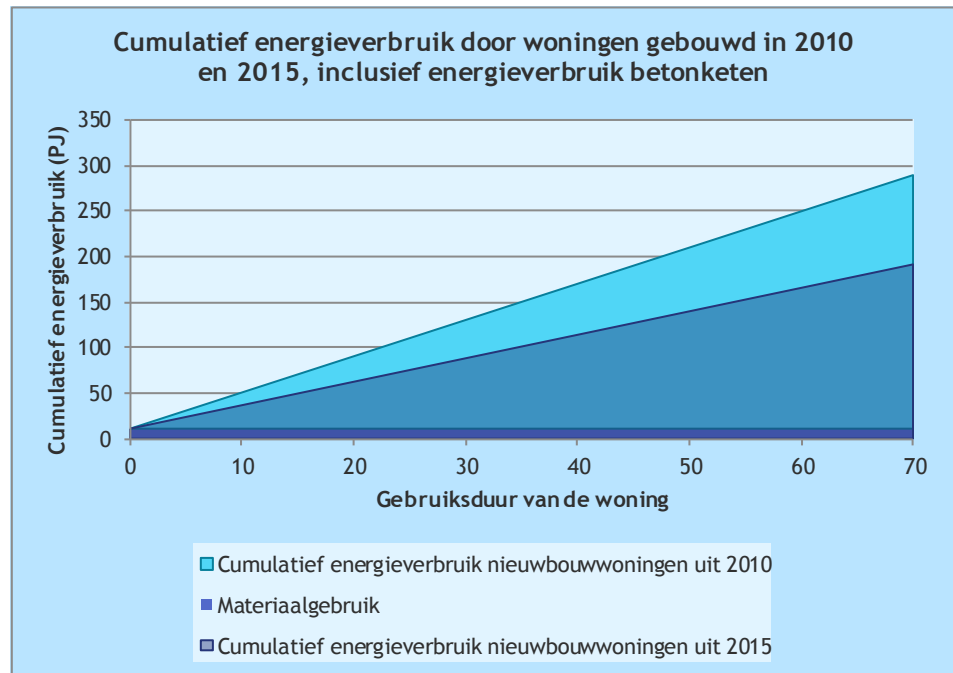
Het vervangen van klinker in cement, door doorgemalen betongranulaat te gebruiken, kan een aanzienlijke verlaging van de klimaatimpact teweegbrengen (ruim 3% daling van de klimaatimpact bij 1% inzet van betongranulaat).

## **Betonkernactivering**

Betonkernactivering is een van de verwarmingssystemen die kunnen worden toegepast in gebouwen met een lage EPC kunnen worden gerealiseerd. Er is berekend wat het energiewinst is die wordt behaald met een lagere EPC (0,4), die mede kan worden bereikt door een systeem zoals betonkernactivering. Per jaar kan een theoretische energiewinst worden gerealiseerd van 1,4 PJ ten opzichte van nieuwbouw uit 2010 (EPC 0,8). Op de gehele levensduur van woningen is de energiewinst aanzienlijk, ook met het betongebruik en de bouw van de woning in ogenschouw nemend. Betonkernactivering is een goede optie voor het realiseren van energiewinst ten opzichte van de huidige situatie.



Figuur 2 Verskil in cumulatief energieverbruik door woningen gebouwd in 2010 (EPC 0,8) en 2015 (EPC 0,4)



Voor utiliteitsbouw is de energiewinst niet bepaald, maar ook hier zal een verlaging van EPC een vermindering van energieverbruik teweegbrengen. De resultaten duiden erop dat de sloop van oude, energie-onzuinige kantoren en woningen gerechtvaardigd is als deze worden vervangen door kantoren en woningen volgens de laagste EPC. Dit verschilt echter per geval en daarom is het niet verstandig op macroniveau uitspraken te doen over levensduur en vervanging.



# 1 Inleiding

## 1.1 Inleiding

Het thema duurzame materialen staat op de innovatieagenda van Rijkswaterstaat. Een nieuw middel om bedrijven te stimuleren om te komen tot duurzame innovaties is de zogenaamde Green Deal. De Green Deal Beton is een verduurzamingsovereenkomst gesloten tussen de overheid en het MVO Netwerk Beton, waarin 21 bedrijven en 6 brancheorganisaties in de betonketen deelnemen. Werkgroepen van het MVO Netwerk Beton werken aan het identificeren van verbeteropties: handelingsperspectieven voor verdere verduurzaming.

De Nederlandse betonindustrie heeft ook voor de Green Deal niet stilgezeten en is al jaren bezig met het verlagen van de milieu-impact van beton (Cement&BetonCentrum, 2012). Voorbeelden zijn de ontwikkeling en gebruik van minder CO<sub>2</sub>-intensieve cementtypen, het toepassen van betongranulaat in nieuw beton ter vervanging van grind, het gebruik van alternatieve toeslagmaterialen zoals bodemmassen, het (op kleine schaal) toepassen van doorgemalen granulaat ter vervanging van cement en het bijstoken van brandbaar afval in cementovens. Dit heeft ertoe geleid dat het Nederlandse beton al een significant lagere milieu-impact heeft dan voorheen.

Om het verduurzamingsprogramma verder te helpen is de behoefte ontstaan voor een overzicht van de milieu-impact van gehele Nederlandse betonketen, van het produceren van beton via het bouwen tot het slopen en breken van het bouw- en sloopafval. Deze nulmeting of status quo geeft inzicht in de totale milieu-impact van de Nederlandse betonketen en vormt het uitgangspunt om verbeteropties en handelingsperspectieven tegen af te kunnen zetten.

CE Delft heeft naar aanleiding van deze vraag een studie uitgevoerd, waarin de volgende aspecten aan bod komen:

- Totaaloverzicht bieden van milieu-impact van de huidige Nederlandse betonketen. Met het oog op beschikbare gegevens wordt als referentie het jaar 2010 aangehouden.
- Het bepalen van de te behalen milieuwinst door kansrijke verbeteropties of handelingsperspectieven.

Deze rapportage omvat uitleg over de gehanteerde aanpak (Hoofdstuk 1), de inventarisatie van gegevens (Hoofdstuk 2), de resultaten van de milieuanalyse en gevoeligheidsanalyse (Hoofdstuk 3), en tot slot de analyse van de te verwachten milieuwinst (verlaging van de klimaatimpact) door toepassing van diverse verbeteropties in de cement- en betonindustrie (Hoofdstuk 4).

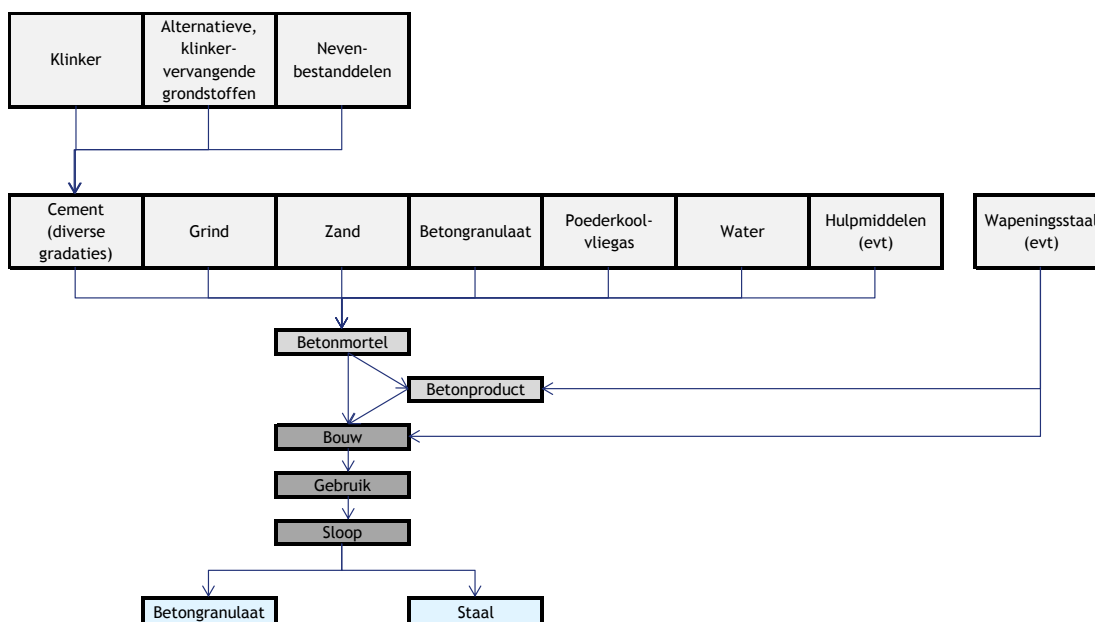
## 1.2 De betonketen

In deze studie wordt de status quo van de milieu-impact van de betonketen in Nederland bepaald. Het gaat hier om de milieu-impact die gepaard gaat met al het betongebruik in Nederland gedurende een jaar. Als richtjaar wordt 2010 aangehouden. Er is gekeken naar de hoeveelheid beton die is gebruikt in 2010 en dus ook is vervoerd en verwerkt in de bouw, maar ook naar de hoeveelheid beton die vrijkwam bij sloop van bouwwerken.



De betonketen is schematisch weergegeven in Figuur 3.

Figuur 3 Schematisch overzicht van ketenfasen voor beton- en wapeningsstaal



Beton wordt samengesteld uit cement, toeslagmaterialen zoals zand en grind, water en eventuele hulpstoffen. Elk heeft een specifieke functie. Cement is het hoofdbestanddeel van beton, het bindende element. De cement- en betonindustrie zijn nauw met elkaar verweven. Traditioneel cement wordt gemaakt uit Portlandklinker (cementtype CEM I), maar er wordt in Nederland ook op grote schaal cementtypen gebruikt waarbij het CO<sub>2</sub>-intensieve Portlandklinker is vervangen door alternatieve grondstoffen (CEM II, IV en V) of het restproduct hoogovenslak (CEM III).

Ook in beton is er variatie in samenstelling. Aan toepassingen zoals vloeren, funderingen of betontegels worden bepaalde eisen gesteld. Afhankelijk van de eisen en mogelijkheden varieert het cementgehalte, het type cement en de hoeveelheid en type toeslagmiddelen.

In de bouw worden zowel betonmortel gebruikt als kant-en-klare betonproducten, waarbij al dan niet wapening wordt toegepast. Betonmortel met betonmixauto's naar de bouwplaats vervoert en ter plekke verwerkt; betonproducten worden in bekisting in een fabriek vervaardigd en vervolgens vervoerd naar de bouwplaats waarna de constructie uit de producten wordt opgebouwd.

Beton wordt gebruikt in vele toepassingen: woningen, kantoren, viaducten, in de tuinbouw en als wegelement zoals tegels, banden en randen. Beton vergt weinig onderhoud in de gebruiksfase en eventueel onderhoud is in deze studie niet meegenomen omdat het naar verwachting een te verwaarlozen impact heeft. De gebruiksfase van een bouwwerk zelf levert wel de nodige emissies op, door gebruik van energie (gebouwen) en verkeer dat gebruik maakt van de bouwwerken in de GWW/civiele bouw.

Wanneer het bouwwerk wordt afgedankt wordt het gesloopt. Na sloop van het bouwwerk en breken van het (gewapend) beton heeft men betongranulaat en gebruikt wapeningsstaal. Beide stromen worden nuttig gebruikt: het wapeningsstaal wordt weer omgesmolten tot staal. Het betongranulaat wordt voor een belangrijk deel als wegfundatie toegepast en in toenemende mate ook ingezet in nieuw beton, waar het ter vervanging van grind wordt ingezet. In een experimenteel stadium is het doormalen van betongranulaat, waarna het voldoende bindcapaciteit heeft om een klein deel van het cement in nieuw beton te kunnen vervangen.

### 1.3 Methode

#### 1.3.1 Functionele eenheid

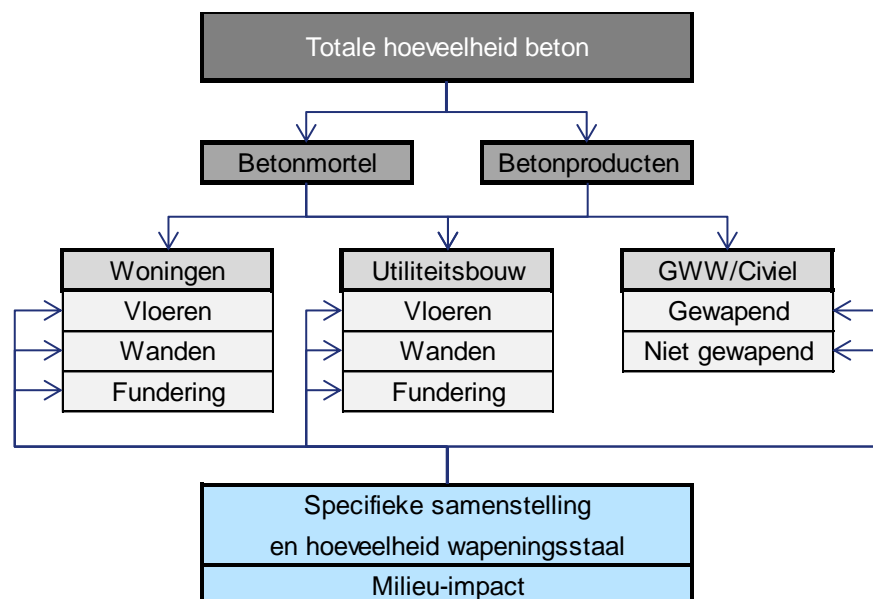
In deze studie wordt berekend wat de milieu-impact is die gepaard gaat met het betongebruik en het vrijkomend materiaal na sloop in Nederland gedurende een jaar. Als richtjaar is 2010 gekozen.

Deze studie is expliciet geen levenscyclusanalyse van een bepaalde betonnen constructie, zoals gebouw of viaduct, gedurende zijn hele levensduur. Het is een macrostudie waarbij voor heel Nederland wordt gekeken wat per jaar de emissies zijn die binnen betonketen worden veroorzaakt.

#### 1.3.2 Materiaalgebruik: aanpak hoeveelheden en specifieke milieu-informatie

Er zijn totaalhoeveelheden van betongebruik in Nederland bekend en er zijn databases beschikbaar met gemiddelde milieu-informatie van beton. Het is voor deze studie echter te beperkt om milieueffecten te berekenen aan de hand van een gemiddelde betonsamenstelling en een inschatting van de totale hoeveelheid wapeningsstaal en op basis van gemiddelde milieu-impact. Er is daarom detailinformatie over betonsamenstelling en wapening verkregen bij de brancheverenigingen voor productie van betonmortel (VOBN) en betonproducten (BFBN). In deze studie wordt detailinformatie over samenstelling van het beton in een specifieke toepassing verenigd met macrogegevens (het totale betongebruik in Nederland in 2010), zie Figuur 4.

Figuur 4 Dataverzameling voor materiaalgebruik en het verenigen van gegevens



### 1.3.3 Milieu-impact: methoden

In deze studie wordt berekend wat de milieu-impact is van de betonketen in Nederland in een jaar. 'De milieu-impact' behoeft nadere invulling, want er zijn vele milieueffecten en milieugerelateerde aspecten die kunnen worden onderzocht. De analyse richt zich op:

- klimaatimpact;
- primaire energiebehoefte (cumulative energy demand);
- fijnstofvorming.

Daarnaast wordt aangegeven wat het grondstofverbruik is (in gewicht) en hoeveel materiaal er na sloop weer wordt teruggewonnen. De milieueffecten worden hieronder toegelicht.

#### Klimaatimpact

Het milieueffect 'klimaatimpact' geeft de emissie van broeikasgassen weer. Broeikasgassen in de atmosfeer zorgen ervoor dat warmte vastgehouden wordt en de gestage toename van de hoeveelheid broeikasgassen in de laatste eeuw leidt tot langzame opwarming van de aarde met allerlei milieugevolgen van dien. Koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) is het bekendste broeikasgas, daarom wordt de klimaatimpact uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-eq): de effecten op het klimaat van andere broeikasgassen zoals methaan (CH<sub>4</sub>), koolmonoxide (CO), stikstofoxide (N<sub>2</sub>O) en CFK's zijn omgerekend naar het effect van CO<sub>2</sub>.

#### Fijnstofvorming

Tot fijnstof worden in de lucht zwevende deeltjes kleiner dan 10 micrometer gerekend. Fijnstof bestaat uit deeltjes van verschillende grootte, herkomst en chemische samenstelling. In deze studie wordt onderscheid gemaakt tussen deeltjes kleiner dan 2,5 micrometer (aangeduid met PM<sub>2,5</sub>) en deeltjes tussen 2,5 en 10 micrometer (aangeduid met PM<sub>10</sub>). Fijnstof is bij inademing schadelijk voor de gezondheid. De normen voor fijnstof worden in Europa op veel plaatsen overschreden, vooral langs drukke wegen.

Respirabel kwarts (< 63 micrometer) door bewerking van beton en sloop van constructies valt buiten de scope van de studie.

#### Primaire energie

De primaire energie geeft aan hoeveel energie er in totaal wordt verbruikt, in megajoules (MJ). Hierbinnen wordt onderscheid gemaakt tussen niet-hernieuwbare energie en hernieuwbare energie (zie Tabel 1). De primaire energie-inhoud van een materiaal omvat zowel de verbrandingswaarde van het materiaal als de toegevoegde energie voor productie. Voor biotische materialen, zoals hout, is ook de calorische waarde inbegrepen.

Tabel 1 Primaire energie, uitgesplitst in zijn componenten

Type	Bron	Omvat
Niet-hernieuwbaar	Fossiel	Energie uit olie, gas, steenkool, bruinkool, etc.
	Nucleair	Kernenergie
	Biomassa	Energie uit biomassa/hout/biotische grondstoffen waarbij primaire bossen worden aangetast, bijvoorbeeld door houtkap of verandering van landgebruik waardoor primair woud verloren gaat.
Hernieuwbaar	Biomassa	Energie uit hernieuwbare biomassa, agrarische en/of voedselketens. Er is geen ontbossing of verandering van landgebruik.
	Wind, zon, geothermisch	Wind-, zonne- en geothermische energie
	Water	Energie uit waterkracht



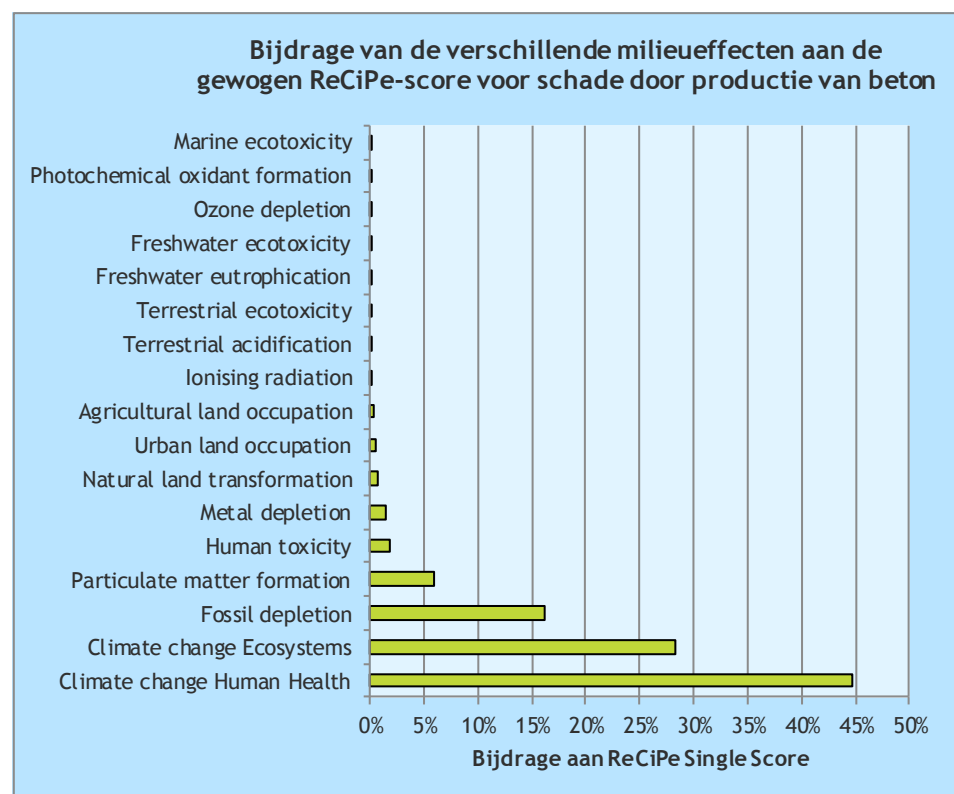


Als men een uitspraak wil doen over hoeveel vervuilende energie bij de productie van een stof betrokken is, dan kan men naar de niet-hernieuwbare energiebronnen kijken.

### Uitleg bij de selectie van de milieueffecten

In een eerste check is bekeken welke milieueffecten relevant zijn voor betonproductie, welke het meest tot schade leiden. Hiertoe is de gewogen milieuscore (de ReCiPe Single Score) berekend van 1 m<sup>3</sup> beton, waarna is bekeken welke milieueffecten het meest aan de score bijdragen. Klimaatimpact scoort in twee schadecategorieën hoog ('climate change ecosystems' en 'climate change human health': schade aan ecosystemen en menselijke gezondheid). Uitputting van fossiele brandstoffen, wat gerelateerd is aan niet-hernieuwbare energie, komt op de tweede plaats en fijnstofvorming (particulate matter formation) op de derde.

Figuur 5 Rangvolgorde milieueffecten op basis van schade-analyse ReCiPe Single Score



In plaats van 'uitputting van fossiele brandstoffen' is gekozen om de primaire energiebehoefte te berekenen, beide een maat voor brandstofverbruik.

Primaire energiebehoefte heeft echter de voorkeur om drie redenen:

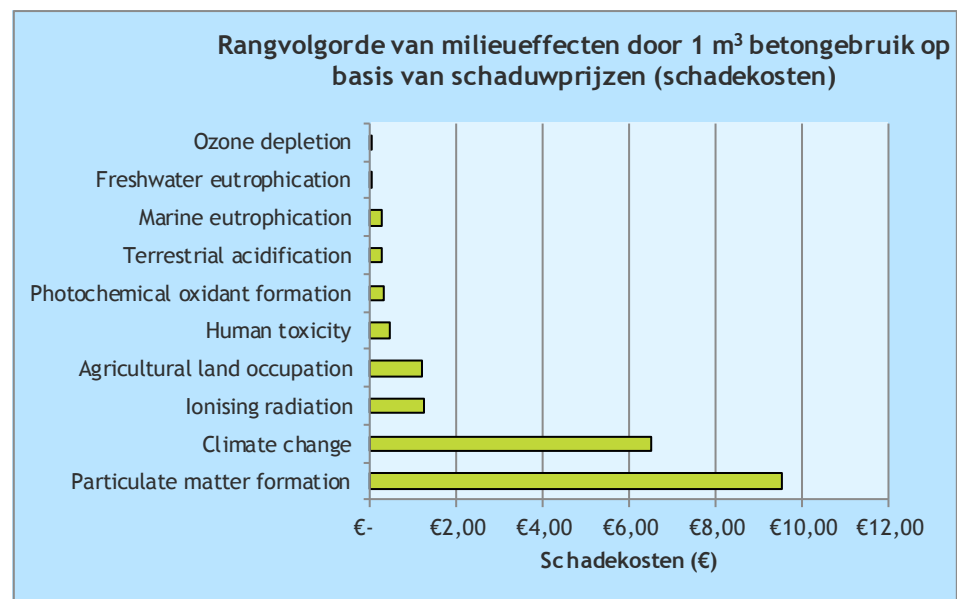
1. Het aandeel hernieuwbare energie wordt met deze methode ook berekend.
2. De beschikbare bronnen voor milieu-informatie van materialen in Nederland tonen de primaire energiebehoefte en niet de uitputting fossiele brandstoffen.
3. De primaire energiebehoefte is handzamer: het wordt uitgedrukt in MJ en kan daardoor vergeleken worden met andere bronnen voor energie-verbruik, zoals CBS-gegevens over aardgasverbruik in Nederland.

Grondstofverbruik is geen milieueffect, maar wel een eigenschap van de betonketen. Het is nuttig om te zien hoeveel materialen en brandstoffen in totaal in de keten omgaan.

Landgebruikseffecten worden in deze studie niet gekwantificeerd. Het is een relevant milieueffect in de fasen grondstofwinning, de bouw en recycling van betonpuin (wat nieuwe grondstofwinning voorkomt).

Een andere manier om de diverse milieueffecten te wegen is met behulp van schaduwrijzen. Voor diverse, maar niet voor alle, milieueffecten zijn de kosten van het herstellen van schade berekend (CE Delft, 2010). Wanneer de milieueffecten van 1m<sup>3</sup> beton wordt gewogen volgens deze methode komt de volgende rangvolgorde naar voren (Figuur 6). Ook hier zijn klimaatimpact en fijnstofvorming de dominante milieueffecten.

Figuur 6 Rangvolgorde milieueffecten op basis van schadekosten



# 2 Inventarisatie

## 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt uitleg gegeven over de methode en de gegevens die tot de resultaten hebben geleid. Per ketenfase wordt besproken:

1. Geïnterpreteerde hoeveelheden.
2. Welke gegevens voor milieu-impact zijn gebruikt.

Waar mogelijk is een onderscheid gemaakt naar GWW, woningbouw en utiliteitsbouw.

## 2.2 (Gewapend) betongebruik in de Nederlandse bouw

### 2.2.1 Hoeveelheden

In de bouw wordt zowel gebruik gemaakt van betonmortel, dat op locatie wordt gestort, en van geprefabriceerde betonproducten. Afhankelijk van de toepassing wordt wapening toegepast. In deze studie is zowel het gebruik van beton als van wapeningsstaal meegenomen.

Tabel 2 toont hoeveel beton (mortel en producten) er in totaal in de Nederlandse bouw werd gebruikt in 2010. Aangezien de betonproducten in agrarische toepassingen bij utiliteitsbouw zijn inbegrepen, wordt in de resultaten ook voor betonmortel agrarisch onder utiliteitsbouw geschaard. Wel is gebruik gemaakt van specifieke informatie over betonmortel-samenstelling in agrarische toepassingen. Injectiemortel is in deze studie niet meegenomen, vanwege de relatief kleine hoeveelheid die jaarlijks wordt gebruikt (minder dan 1% van het totaal aan beton).

Tabel 2 Hoeveelheden beton, toegepast in de Nederlandse bouw, 2010

	Betonmortel	Betonproducten	Totaal	Aandeel
	m <sup>3</sup> x1.000	m <sup>3</sup> x1.000	m <sup>3</sup> x1.000	
Woningbouw	2.975	1.020	3.995	28,5%
Utiliteitsbouw	2.575	1.620	4.195	30%
Civiel/GWW	995	3.360	5.810	41,5%
Agrarisch	905	Inbegrepen bij utiliteitsbouw		
Overig	550	n.v.t.		
TOTAAL	8.000	6.000	14.000	100%
Bron	Cement & Betoncentrum en VOBN (2011)	BFBN		

Met de totale hoeveelheden uitgesplitst naar toepassing (top-down) en detailgegevens van specifieke toepassingen (bottom-up), zie ook Figuur 4, werd het mogelijk om tot milieuresultaten te komen die zijn toegespitst op de Nederlandse situatie. De inventarisatie leidt tot de volgende hoeveelheden beton en wapeningsstaal in kton.



Tabel 3 Berekende hoeveelheden beton en wapeningsstaal, toegepast in de Nederlandse bouw, 2010

Berekende waarden op basis van gegevens van VOBN en BFBN	Totale hoeveelheid	Woningen	Utiliteitsbouw	GWV/Civiel/Agrarisch/Overig
Totaal beton (kton)	32.751	9.216	9.726	13.809
Betonmortel (kton)	18.438	6.789	5.871	5.778
Betonproducten (kton)	14.314	2.428	3.856	8.030
Wapeningsstaal (kton) Hoog*	546	198	229	119
Laag*	470	160	191	119

\* Omdat de hoeveelheid wapeningsstaal binnen toepassingen (vloeren, muren, etc.) kan verschillen is er gewerkt met een range, wat leidt tot een hoge en lage inschatting van de hoeveelheid wapeningsstaal.

Op basis van betontypen die worden gebruikt in de diverse toepassingen (woningen, utiliteitsbouw, GWV (constructief en niet-constructief), agrarisch) is een gemiddelde samenstelling bepaald in kg per m<sup>3</sup> beton. Hierbij is rekening gehouden met de hoeveelheden per toepassing en de specifieke samenstelling per toepassing, zoals aangegeven door brancheverenigingen VOBN (betonmortel) en BFBN (betonproducten). Te zien is dat op dit moment in de gemiddelde betonmorteltoepassing meer CEM III wordt gebruikt dan in betonproducten.

Tabel 4 Gemiddelde samenstelling betonmortel, betonproducten en alle beton in Nederland

Component	Gemiddelde samenstelling (kg/m <sup>3</sup> )		
	Betonmortel	Betonproducten	Beton gemiddeld (gewogen)
Portlandcement CEM I*	59	199	119
Hoogovencement CEM III *	253	114	193
Rivierzand	787	870	823
Riviergrind	1.034	993	1.016
Betongranulaat	40	53	46
Poederkoolvliegias	6	16	10
Kalksteenmeel	0	36	16
Water	167	106	141
Gemiddeld totaal	2.346	2.386	2.363
Waarden berekend op basis Van gegevens van	VOBN	BFBN	

\* In de bouw wordt ook andersoortig cement gebruikt (CEM II, IV en V). De inventarisatie door de betonbrancheverenigingen en is echter op het niveau CEM I en CEM III. Ook de milieu-gegevens die beschikbaar zijn, zijn beperkt tot CEM I en CEM III.

### 2.2.2 Milieu-impact van grondstoffen

Voor de milieu-impact van de grondstoffen, genoemd in Tabel 4, en wapeningsstaal is voor zover mogelijk gebruik gemaakt van informatie toegespitst de Nederlandse situatie. Twee bronnen zijn als leidend beschouwd: de CUR-rekentool en de SBK-database<sup>3</sup>. De gegevens uit de CUR-rekentool zijn gebruikt voor de analyse, maar we hebben geverifieerd dat voor klimaatimpact de CUR-tool en SBK-database dezelfde milieu-informatie leveren voor alle hiergenoemde materialen. Hoogstwaarschijnlijk zijn dezelfde achtergrondgegevens gebruikt in deze twee databases.

<sup>3</sup> Proceskaart: SBK 2010 Steel, Rebar (World Steel data, Glo rebar) Scrap: 70%.



De CUR-rekentool en SBK-database bevatten geen milieu-informatie over fijnstofvorming van materialen. Daarom is de emissie van fijnstof door materialen overgenomen van de Ecoinvent database. Deze database is gericht op de Europese gemiddelde praktijk en het is mogelijk dat daardoor de fijnstofgegevens niet geheel overeenkomen met de Nederlandse praktijk, in het geval dat in Nederland meer emissiebeperkende maatregelen worden getroffen dan in gemiddeld in Europa.

## 2.3 Bouwactiviteiten

Deze fase omvat emissies door activiteiten op de bouwplaats: het gebruik brandstof voor machines en eventuele blijvende schade aan natuur en bodem (denk aan het kappen van bos, of gevolgen van grondverzet). Dit laatste aspect is in deze studie achterwege gelaten omdat op macroschaal - heel Nederland in 2010 - geen gegevens bekend zijn: effecten verschillen sterk per bouwproject en als de effecten op macroschaal al bekend zouden zijn dan is het lastig deze toe te rekenen aan beton. Daarnaast kan men beargumenteren dat in het geval van duidelijke effecten aan bodem of natuur tegenwoordig compensatiemaatregelen worden getroffen.

Ook voor bouwactiviteiten zijn meerdere bronnen beschikbaar: de Dubocalc-rekentool en de SBK-database bieden beiden gegevens over betonverwerking op de bouwplaats. Voor gebruik van machines voor bouw- en sloopactiviteiten gebruikt is van de Dubocalc-rekentool. Deze reken tool is ontwikkeld voor het berekenen van de milieu-impact van bouwprojecten in de GWW. De Dubocalc-rekentool biedt diverse milieuresultaten, waaronder klimaatimpact, voor machinegebruik. Er zijn geen resultaten beschikbaar voor primaire energie-inhoud in Dubocalc, maar met de aanname dat het gaat om emissie door dieselverbruik is de energiebehoefte bepaald<sup>4</sup>.

Tabel 5 Machinegebruik voor het toepassen van beton in de bouwfase zoals gehanteerd in Dubocalc

Bouwfase	Kg CO <sub>2</sub> -eq (Dubocalc)	Van toepassing op	Gebruiksduur
Verdichten van betonmortel met trilnaald	0,097	1 ton mortel	
Betonpomp	6,17	1 m <sup>3</sup> mortel	
Caterpillar graafmachine	52,6	1 uur gebruik	0,04 uur per m <sup>3</sup> beton

Daarnaast biedt de SBK-database gegevens over het gebruik van een kubel en kraan voor het storten van beton: 30,85 MJ diesel per m<sup>3</sup> betonmortel. Deze gegevens zijn toegevoegd aan de data uit Dubocalc. Het dieselgebruik is ook toegepast op betonproducten, hoewel het gebruik van een kubel op de bouwplaats niet van toepassing op is betonproducten; het gebruik van een kraan wel.

<sup>4</sup> De volgende berekening is gehanteerd: "1 MJ Diesel, burned in building machine", zoals beschikbaar in de Ecoinvent database heeft een klimaatimpact van 0,09 kg CO<sub>2</sub> en een primaire energie-inhoud van 1,4 MJ. De omrekenfactor is zodoende 15. Wanneer dus 52,6 kg CO<sub>2</sub> wordt uitgestoten door een apparaat dat diesel gebruikt, staat dit gelijk aan  $52,6/0,09 = 584,44$  MJ aan diesel.



De gebruikte gegevens zijn voor deze macrostudie de best beschikbare gegevens. Als kanttekening plaatsen we dat deze gegevens een indicatie geven van het energieverbruik op de bouwplaats. Er zijn immers vele betonconstructies en niet altijd is de hier genoemde machinerie of gebruiksduur van toepassing. De gebruiksduur van graafmachine, bijvoorbeeld, wordt gezien als een wellicht te hoge gebruiksduur. Het met deze gegevens berekende resultaat representeert de bovengrens.

## 2.4 Gebruiksfase

Beton behoeft vrijwel geen onderhoud tijdens de gebruiksfase, dit aspect wordt verwaarloosbaar geacht op de totale milieu-impact. De gebruiksfase van bouwwerken zelf omvat energieverbruik van gebouwen en emissies door verkeer. Hoewel het gebruik van beton de gebruiksfase van bouwwerken beïnvloedt, zijn de emissies door gebruik van een gebouw of GWW-bouwwerk niet of niet volledig toe te rekenen aan het bouw materiaal. Immers: betonnen wegconstructies hebben geen invloed op de hoeveelheid verkeer die ervan gebruik maakt of op de zuinigheid van de vervoersmiddelen. Evenzo is elektriciteitsgebruik in gebouwen afhankelijk van het type en de hoeveelheid lichtbronnen binnen een gebouw en van het ontwerp van het gebouw (ramen). Energieverbruik voor verwarming is wellicht ten dele toe te rekenen aan het bouw materiaal, maar is daarnaast afhankelijk van andere factoren, zoals isolatie.

### Energieverbruik alle gebouwen

Hoewel het energieverbruik in de gebouwde omgeving dus niet kan worden toegerekend aan betongebruik alleen, is het in deze studie wel van belang om ook de milieueffecten van de gebruiksfase in kaart te brengen. Immers, er zijn verbeteropties waarbij het gebruik van beton invloed heeft op het verlagen van het energieverbruik tijdens gebruik van het bouwwerk. Om te kunnen bepalen wat de invloed is van verbeteropties op het jaarlijkse energieverbruik en om gevoel te krijgen voor de verhouding tussen de milieu-impact van de gebruiksfase van gebouwen en de betonketen wordt de gebruiksfase van gebouwen (verbruik en emissies in 2010) in kaart gebracht.

Het CBS levert de volgende gegevens over aardgas- en elektriciteitsverbruik in gebouwen:

Tabel 6 Energieverbruik gebouwen

Gebruiksaspect gebouwen	Verbruik (bron: CBS)	
Aardgasgebruik in alle woningen	362 PJ	11.439 miljoen m <sup>3</sup>
Aardgasgebruik in utiliteitsbouw	234 PJ	7.394 miljoen m <sup>3</sup>
Elektriciteitsverbruik in alle woningen	89 PJ	24.742 miljoen kWh
Elektriciteitsverbruik in utiliteitsbouw	94 PJ	26.132 miljoen kWh

Voor de berekening van de milieueffecten is uitgegaan van de emissiefactoren getoond in Tabel 7.



Tabel 7 Emissiefactoren aardgas en elektriciteit

	Aardgas	Elektriciteit	Bron
Klimaatimpact	1,78 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	0,603 kg CO <sub>2</sub> /kWh	NEA, 2012
Fijnstof	0,37 g/m <sup>3</sup>	0,41 g/kWh	Ecoinvent: "Natural gas, at long-distance pipeline"; "Electricity, low voltage, at grid/NL"

### Energieverbruik nieuwbouw voor verwarming

Er is een poging gedaan tot het bepalen van het energieverbruik en de klimaatimpact voor verwarming van nieuwbouw uit 2010, aangezien hier direct invloed op kan worden beoefend door anders te bouwen.

Het bleek alleen mogelijk te zijn om voor woningen tot resultaten te komen; voor kantoorpanden en andere utiliteitsbouw is de inventarisatie dermate complex dat dit niet binnen de ruimte van het onderzoek paste.

Van energieverbruik door verwarming van nieuwbouw worden geen statistieken bijgehouden. Om toch tot resultaten voor woningen te komen is de volgende methodiek gehanteerd:

1. Het totale energieverbruik is berekend aan de hand van de EPC van nieuwbouwwoningen in 2010 (zie voor details Paragraaf 4.2).
2. Er is een inschatting<sup>5</sup> gemaakt naar de verdeling van type verwarming: ketel gestookt op aardgas, stadsverwarming en warmtepompen.
3. Op basis van de CO<sub>2</sub>-emissiefactoren<sup>6</sup> is een inschatting gemaakt van de CO<sub>2</sub>-uitstoot door verwarming. Voor stadsverwarming is aangenomen dat dit tot een 50% lagere uitstoot leidt in vergelijking met het gebruik van een HR-ketel.

### Wegen

Wat betreft het gebruik van wegen wordt door het Compendium voor de leefomgeving (2011, Emissies naar lucht door verkeer en vervoer) opgegeven:

- klimaatimpact: 34.200 kton CO<sub>2</sub>;
- fijnstofemissie: 6,5 kton PM<sub>10</sub>.

## 2.5 Slopen en breken

### 2.5.1 Energieverbruik voor sloop en breken

Meerdere bronnen rapporteren energieverbruik voor slopen en breken, of de milieu-impact daarvan of beide. Een aantal bronnen en de beschikbare gegevens zijn weergegeven in Tabel 15.

<sup>5</sup> In 2010 zijn 56.000 nieuwbouwwoningen opgeleverd. Volgens een expert opinion van de sector Energie van CE Delft worden daarvan 9.000 verwarmd door stadsverwarming, 1.700 door warmtepompen en de rest door aardgas.

<sup>6</sup> Aardgas: 31,65 MJ primair per m<sup>3</sup>; 1,78 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>  
Warmtepomp: 9 MJ primair per m<sup>3</sup>; 0,6 kg CO<sub>2</sub>-eq/m<sup>3</sup>



Tabel 8 Milieu-informatie sloop en breken, diverse bronnen

Bron	Gegevens sloop	Gegevens breken
SBK-database	57,7 MJ diesel per ton puin voor sloop; 19 MJ diesel per ton puin voor inladen puinwagen	20,5 kg CO <sub>2</sub> voor breekproces, op basis van gegevens van 3 brekers
Dubocalc	Sloophamer: 0,4 uur/m <sup>3</sup> à 165 kg CO <sub>2</sub> - eq/uur; Graafmachine: 0,46 uur/m <sup>3</sup> à 52,6 kg CO <sub>2</sub> -eq/uur	Niet beschikbaar
Saving Materials	Niet beschikbaar	0,7 kWh/ton

In deze studie is ervoor gekozen om de gegevens van de SBK-database te gebruiken. Als gevoeligheidsanalyse wordt onderzocht wat het milieuresultaat is als voor de andere bronnen wordt gekozen. Ten tijde van het afronding van dit project wordt door Intron gewerkt aan een MRPI-blad voor breek-activiteiten en bijbehorend transport. De conceptresultaten geven aan dat de waarden uit de SBK-database aan de hoge kant zijn. Net als bij bouw-activiteiten zien we de resultaten die zijn berekend op basis van de SBK-gegevens als bovengrens.

Voor fijnstof bij breken is uitgegaan van het (vertrouwelijke) rapport Lime, 2010.

### 2.5.2 Methode berekening milieueffecten recycling

De na sloop vrijgekomen materialen, het betongranulaat en staal, vinden een nuttige toepassing:

- Wapeningsstaal kan volledig worden herwonnen uit gewapend beton. Het schroot wordt verkocht aan staalproducenten zoals Corus, die het schroot smelten en bijmengen met virgin staal tot stalen halfproducten van een bepaalde kwaliteit.
- Betongranulaat wordt voornamelijk ingezet als funderingsmateriaal onder nieuwe wegen. Een deel van het betongranulaat wordt ingezet in nieuw beton.

Het inzetten van gerecyclede materialen in een nuttige toepassing zorgt ervoor dat minder ruwe grondstoffen hoeven te worden geproduceerd. Dit levert in LCA's een milieubonus op; immers, de uitgespaarde grondstof hoeft niet meer geproduceerd te worden en dat dient gewaardeerd te worden. Dit wordt in levenscyclusanalyse vaak 'vermeden productie' genoemd, of 'het uitsparen van (virgin) grondstoffen'.

Het is echter belangrijk dat het dubbeltellen van de bonus van recycling voorkomen wordt. De bonus van het *gebruik* van secundair materiaal in het product (zoals betongranulaat als grindvervanger in beton) is namelijk al toegekend.

Om dubbeltellingen te voorkomen en tegelijkertijd de moeite van het recyclen te belonen wordt de *net scrap*-methode gehanteerd. Deze methode wordt standaard gehanteerd door o.a. de World Steel Association en werkt als volgt: er wordt alleen een recyclingbonus toegekend aan het aandeel gerecycled materiaal dat *extra* in omloop wordt gebracht.



## Staal

Door het recyclen van staal wordt de productie van virgin staal vermeden. Het aandeel secundair staal in wapeningsstaal is 70% (World Steel<sup>7</sup>) en het wordt na sloop volledig gerecycled. Dit betekent dat er door recycling (100% - 70% = ) 30% extra virgin metaal wordt vermeden.

## Betongranulaat

Bij sloop komt een grote hoeveelheid steenachtig materiaal vrij, bestaande uit beton en metselwerk zoals baksteen en cellenbeton. De samenstelling is afhankelijk van het bouwwerk. Indien mogelijk worden de puinreststromen gescheiden gehouden. Zodoende zijn er drie stromen: betonpuin, metselwerkpuin en gemengd puin. Het schone betonpuin kan op meerdere manieren worden ingezet. Volgens BRBS Recycling wordt 2% van het betongranulaat dat vrijkomt na sloop gebruikt in nieuw beton. Echter, in nieuw beton werd al een hoeveelheid betongranulaat ingezet (zie Tabel 2 en Tabel 4). Volgens de net scrap-methode is er dus geen extra granulaat in omloop gebracht. Om dubbel-tellingen te voorkomen mag de winst van inzet van granulaat na sloop in beton, waarmee het grind uitspaart, niet nog eens worden meegerekend en dat wordt dus ook niet gedaan. De overige hoeveelheid beton wordt ingezet als funderingsmateriaal.

Voor het basisscenario hebben we besloten om wel een milieubonus toe te kennen voor het uitsparen van funderingsmateriaal, omdat het granulaat nuttig wordt toegepast. Het is onduidelijk wat het beste referentiemateriaal is. Voor deze studie is als referentiemateriaal is steenslag gekozen. De klimaatimpact van steenslag komt overeen met zand met 1,5% toegevoegd cement (CEM III), wat ook een mogelijk referentiemateriaal is.

Door het nuttig toepassen wordt stort van het materiaal vermeden. De milieueffecten hiervan zijn in deze studie niet toegerekend aan de betonketen, omdat er wordt gekeken naar wat er daadwerkelijk gebeurt, niet ten opzichte van een referentiesituatie<sup>8</sup>. Als kanttekening plaatsen we dat het vermijden van stort van betongranulaat een grote maatschappelijke waarde heeft. Grote hopen puin in het landschap worden voorkomen.

Als verbeteroptie wordt bekeken wat het effect is op de klimaatimpact als een deel van het betongranulaat wordt fijn gemalen en als bindmiddel in beton wordt gebruikt, waarbij het cement uitspaart. Ook wordt daarbij getoond hoe het resultaat verandert als er geen bonus voor grind én fundering wordt toegerekend (maar wel voor eventuele toekomstige uitsparing van cement).

### 2.5.3 Hoeveelheid vrijkomend materiaal

Aangezien deze studie een momentopname betreft van het jaar 2010, zijn de hoeveelheden materiaal aan de inputkant en outputkant niet gelijk: in 2010 is een bepaalde hoeveelheid beton en wapeningsstaal gebruikt voor nieuwe bouwwerken en is er een bepaalde hoeveelheid vrijgekomen door de sloop van bouwwerken.

Volgens cijfers van Agentschap NL kwam in 2009 een totale hoeveelheid steenachtig puin vrij van 22,1 Mton. Over 2010 zijn geen gedetailleerde metingen beschikbaar; 22,1 Mton wordt representatief geacht voor 2010.

<sup>7</sup> De milieu-informatie van wapeningsstaal is gebaseerd op gegevens van World Steel: Rebar (wapeningsstaal). Zie ook Voetnoot 3, Pagina 20.

<sup>8</sup> In Nederland wordt stort zoveel mogelijk voorkomen. Bij een LCA van een product dat wordt verbrand wordt doorgaans ook niet meegenomen wat daarvan de winst is ten opzichte van stort.



Hiervan bestaat 65% uit beton (Intron, 2006); er wordt in deze studie zodoende uitgegaan van 14.365 kton betonpuin.

Zoals eerder genoemd wordt op dit moment ongeveer 2% hiervan ingezet in nieuw beton als grindvervanger. Echter, niet al het betonpuin kan worden ingezet als grindvervanger: het breken van het betongranulaat leidt tot een fijne en een grove fractie en alleen het grove materiaal is geschikt als grindvervanger. Dit is belangrijk om te realiseren bij eventuele toekomstige schaalvergroting van de inzet van betongranulaat als grindvervanger.

Voor wapeningsstaal is uitgegaan van IVAM (2010), waarin wordt aangegeven dat wapeningsstaal 4% van het betonpuin uitmaakt. Met de betonpuingegevens volgens BRBS Recycling en Intron komen we zodoende op 575 kton wapeningsstaal. Dit is hoger dan het berekende wapeningsstaalgebruik in nieuw beton: 546 kton op een totaal aan beton van 32,7 Mton. Dit is opvallend.

Er zijn twee mogelijke verklaringen:

1. Het zou kunnen dat de in 2010 gesloopte oude constructies meer wapeningsstaal per m<sup>3</sup> beton bevatten dan tegenwoordig gangbaar is.
2. De 4%, zoals gehanteerd in IVAM (2010), komt uit bronnen uit 2007 en 2008. Het zou kunnen dat de 4% inmiddels aan de hoge kant is.

Er wordt een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd voor wanneer wordt uitgegaan van de hoeveelheid vrijgekomen puin en wapeningsstaal volgens IVAM (2010). IVAM (2010) rapporteert 25,8 Mton bouw- en sloopafval (al het gemengde BSA, inclusief niet-steenachtige materialen zoals hout, kunststof, etc.). Hiervan is volgens IVAM (2010) 40% betonpuin, inclusief 4% wapeningsstaal. Dit komt neer op 9.907 kton betonpuin en 413 kton wapeningsstaal.

## 2.6 Transport

De transportafstanden en -modaliteiten die in deze studie worden aangehouden staan vermeld in Tabel 9. Twee voornaamste bronnen zijn gebruikt, SGS (2012) en de CUR-rekentool, welke deels overlappen (de CUR-rekentool bevat meer grondstoffen). Deze twee bronnen komen wat betreft afstand overeen, behalve voor zand, waarvoor SGS (2012) als leidend is genomen. In sommige gevallen is door BRBS Recycling en BFBN specifieke transport-afstanden aangeleverd.



Tabel 9 Transportafstanden en modaliteiten

Grondstof	Transportafstand			Bron
	Zee-transport	Binnen- vaartschip	Vrachtwagen	
Zand	38	159	4	SGS Intron
Grind	51	239	10	CUR/SGS Intron
CEM I	0	2	176	CUR/SGS Intron
CEM III	0	1	117	CUR/SGS Intron
Granulaat	0	0	35	BRBS Recycling
Superplastificeerder	0	0	250	CUR
Poederkoolvliegias	0	0	150	CUR/SGS Intron
Kalksteenmeel	0	300	50	CUR
Wapeningsstaal	0	0	150	CUR
Betonmortel naar bouwplaats			18	MRPI betonmortel 2012
Betonproducten naar bouwplaats			60 (GWW), 90 (B&U)	BFBN
Transport na sloop			15	BRBS Recycling

Een aantal transportbewegingen zijn inbegrepen in de materiaalproductie zelf, zoals het transport dat benodigd is voor het produceren van het cement.

### Transporthoeveelheden

Voor de berekening van de hoeveelheid zand, grind, cement, wapeningsstaal, etc., is de gemiddelde hoeveelheid per m<sup>3</sup> betonmortel en betonproduct berekend (op basis van de details die door VOBN en BFBN zijn aangeleverd) en vermenigvuldigd met de totale hoeveelheid betonmortel en betonproduct.

### Milieu-informatie

Voor milieu-informatie van de vervoersmiddelen over water is uitgegaan van de Ecoinvent database:

- zee-transport: 'Transport, transoceanic freight ship';
- binnenvaartschip: 'Transport, barge'.

Voor vrachtwagens is in eerste instantie ook uitgegaan van de Ecoinvent database, maar voor fijnstof blijkt de milieu-informatie niet up-to-date meer (informatie uit 2007). Daarom is gekozen om uit te gaan van de resultaten van het STREAM-onderzoek. Hierbij zijn milieu-indicatoren (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, fijnstof) berekend voor 2009. Het blijkt dat de gegevens van Ecoinvent achterhaald zijn wat betreft fijnstof: de filters zijn tegenwoordig beter, de fijnstofemissie ligt een stuk lager.

Er is uitgegaan van STREAM-gegevens van een truck met ladingscapaciteit >20 ton. Deze heeft een klimaatimpact van 0,154 kg CO<sub>2</sub>/ton km.

De voor het basisscenario gehanteerde gegevens zijn gemiddelden. Het wagenpark is echter divers en daarom is voor klimaatimpact een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. De verandering in klimaatimpact wordt bekeken bij het selecteren van een zuinige en onzuinige vrachtwagen<sup>9</sup>.

<sup>9</sup> Zuinig: Euro 5, zeer groot (>32 ton): 0,107 kg CO<sub>2</sub>/tonkm.  
Onzuinig: Euro 3, gemiddeld (16 tot 32 ton): 0,185 kg CO<sub>2</sub>/tonkm.





# 3 Resultaten

## 3.1 Inleiding

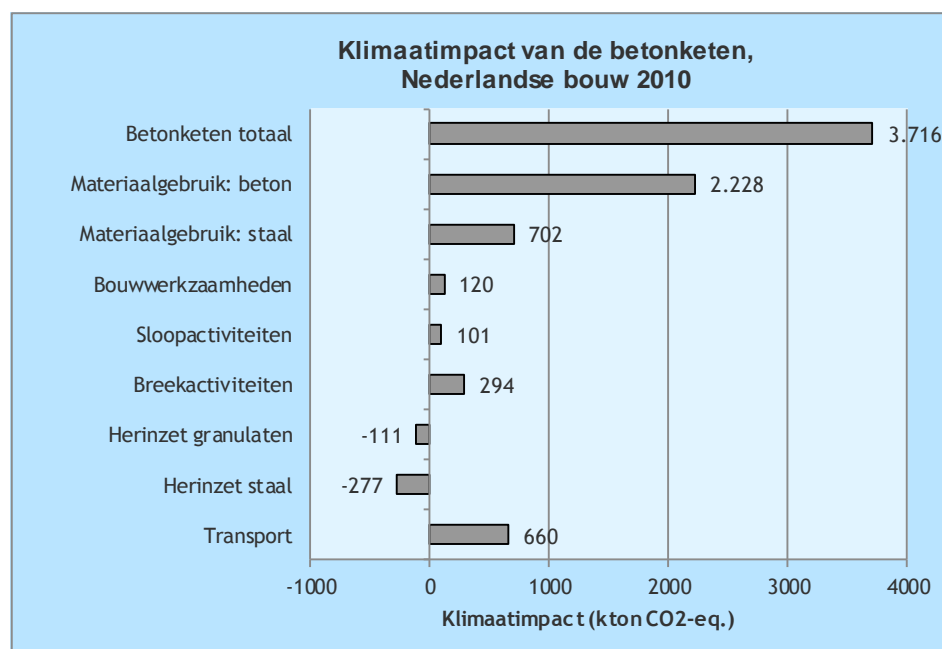
In dit hoofdstuk wordt een totaaloverzicht geboden van de milieu-impact van de Nederlandse betonketen: de status quo over 2010. De resultaten zijn tot stand gekomen volgens de inventarisatie en aanpak zoals besproken in Hoofdstuk 1 en Hoofdstuk 2.

In Paragraaf 3.2 worden de klimaatimpactresultaten gepresenteerd, gevolgd door de gevoeligheidsanalyse op diverse ketenaspecten in Paragraaf 3.3. Het milieueffect fijnstof, het primaire energieverbruik en een overzicht van grondstofverbruik en -terugwinning worden behandeld in Paragraaf 3.4. De resultaten vormen het uitgangspunt om verbeteropties en handelingsperspectieven tegen af te kunnen zetten.

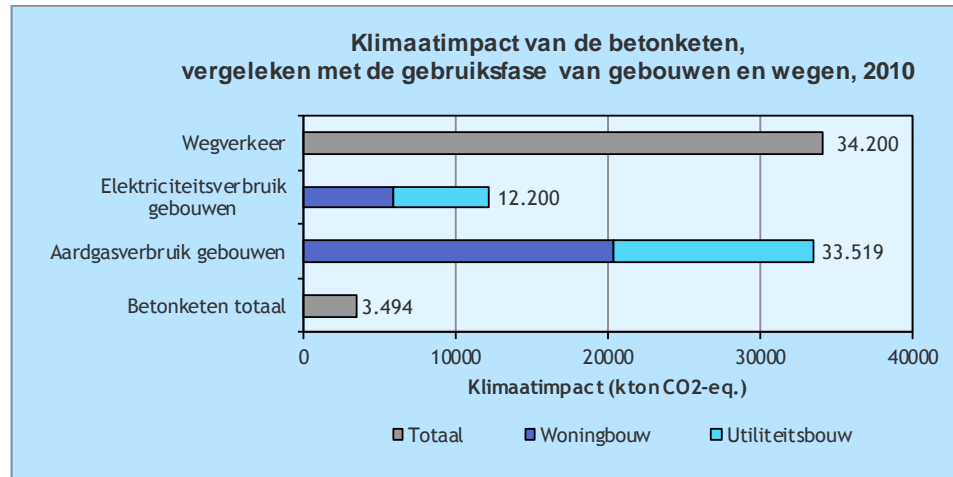
## 3.2 Klimaatimpact

De resultaten van de klimaatimpactanalyse van de betonketen worden weergegeven in Figuur 7, Figuur 8 en Figuur 9. Figuur 7 presenteert de afzonderlijke ketenfasen van de betonketen, met uitzondering van energieverbruik in gebouwen; Figuur 8 toont wel het energieverbruik in de gebruiksfase, zowel voor alle gebouwen als voor nieuwbouwwoningen uit 2010 alleen. In Figuur 9 is de klimaatimpact van betongebruik uitgesplitst naar afzonderlijke grondstoffen van beton.

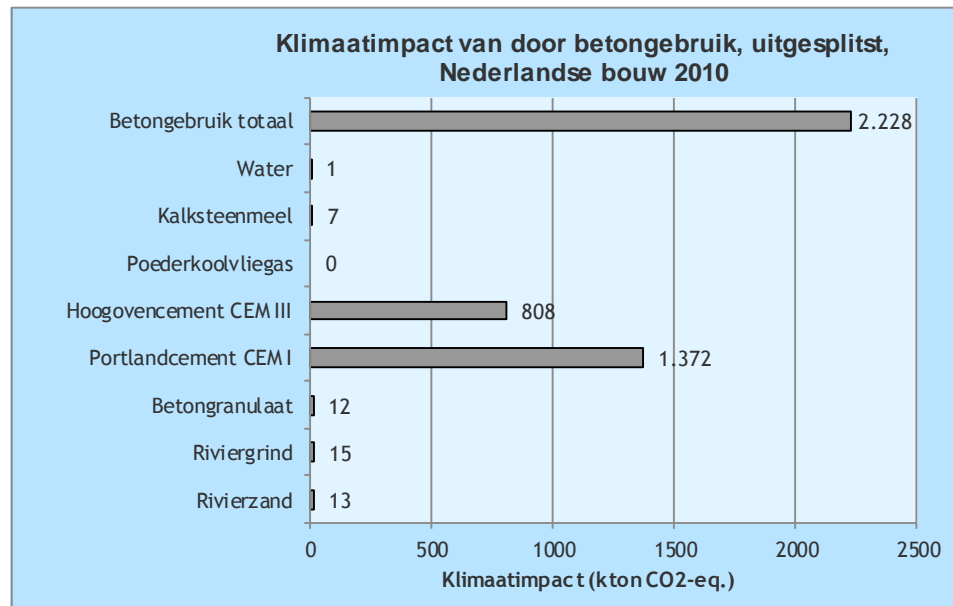
Figuur 7 Klimaatimpact van de betonketen (exclusief gebruik van bouwwerken), totaalgebruik beton in 2010



Figuur 8 Klimaatimpact van de betonketen vergeleken met gebruik van gebouwen en wegen, 2010



Figuur 9 Klimaatimpact betongebruik, Nederland 2010, uitgesplitst naar grondstoffen



De totale klimaatimpact van de betonketen komt uit op ongeveer 3.500 kton CO<sub>2</sub>-eq (Figuur 7), volgens de aanpak zoals beschreven in Hoofdstuk 1 en Hoofdstuk 2. Het betongebruik vormt daarvan de hoofdmoot (65%). Staalgebruik heeft ook een aanzienlijke bijdrage. Doordat het staal weer volledig wordt gerecycled als staal wordt een deel van de impact weer gecompenseerd: de netto klimaatimpact van staal ligt een lager<sup>10</sup>. Wat hier opvalt is dat als staal minder goed recyclebaar zou worden, bijvoorbeeld door toepassing van staalvezels, de klimaatwinst afneemt en dus de impact van de totale betonketen stijgt. In deze studie is ervoor gekozen om gebruik van wapeningsstaal wel mee te nemen en toe te rekenen aangezien de toepassing van beton wapeningsstaal vereist.

<sup>10</sup> De in 2010 gebruikte hoeveelheid materiaal en de hoeveelheid voor recycling vrijgekomen materiaal zijn niet gelijk (zie ook Paragraaf 2.5.3).

Transport heeft ook een aanzienlijke bijdrage. Dit komt doordat het zware beton en cement grotendeels via de weg worden vervoerd.

Bouw- en sloopwerkzaamheden op de bouwplaats zijn samen goed voor ongeveer 10% van de totale emissie in de betonketen. 14% wanneer ook het verder breken van betonpuin wordt meegerekend. Hierbij zit een onzekerheid vanwege de gebruikte bronnen (zie de gevoeligheidsanalyse).

In Figuur 8 is de klimaatimpact van de betonketen getoond in relatie tot het gebruik van gebouwen en uitstoot door wegverkeer. Dit is met opzet in een aparte figuur weergegeven, om twee redenen:

- voor de duidelijkheid van Figuur 7; de klimaatimpact van het gebruik van gebouwen ligt vele malen hoger dan die van de fasen in de betonketen zelf;
- het energieverbruik en emissies van wegverkeer zijn niet of niet volledig toe te rekenen aan de betonketen.

### **Energieverbruik voor verwarmen van nieuwbouwhuizen uit 2010**

Er is een inschatting gedaan van de klimaatimpact van energieverbruik voor verwarmingen van alleen de woningen die gebouwd zijn in 2010. De resultaten zijn indicatief, omdat er enkele aannames moesten worden gedaan. Zie voor de aanpak Paragraaf 2.4. Helaas kon een zelfde berekening niet voor utiliteitsbouw worden bewerkstelligd<sup>11</sup>. De klimaatimpact van het jaarlijks verwarmen van een gemiddelde woning die gebouwd is in 2010, is gering in vergelijking met het betongebruik en de gehele betonketen: 207 kton per jaar.

In Paragraaf 3.2.1 wordt ook een inschatting gemaakt van de klimaat-impact van betonketen die toe te rekenen is aan de woningbouw in 2010 (zie Tabel 10 en bijbehorende uitleg). Er wordt ingeschat dat ongeveer 950 kton CO<sub>2</sub>-eq. aan woningbouw is toe te rekenen.

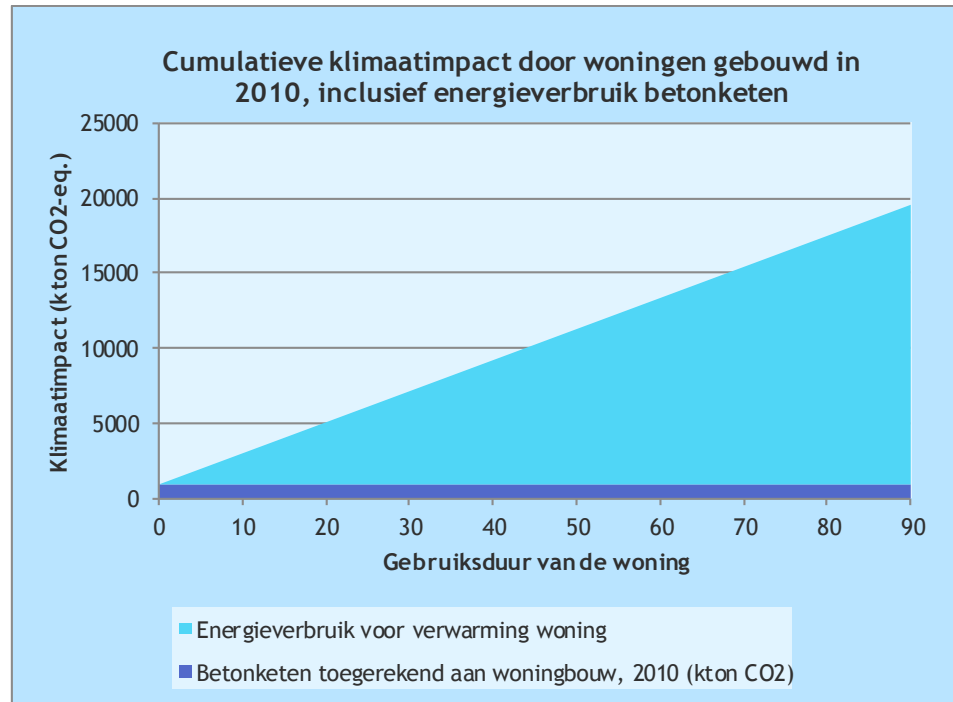
Figuur 10 toont deze klimaatimpact, vergeleken met het energieverbruik van de woningen gebouwd in 2010, gezien over langere periode. Zoals bekend is uit studies naar individuele gebouwen levert het energieverbruik van woningen gedurende zijn gehele gebruiksfase een hogere klimaatimpact dan de materialen. Volgens deze resultaten wordt de klimaatimpact van de betonketen na ongeveer vijf jaar ingehaald door de klimaatimpact door de verbruikte energie voor verwarming (voor de woningen die gebouwd zijn in 2010 (EPC 0,8)).

---

<sup>11</sup> Vanwege de variatie in EPC-waarden tussen verschillende typen utiliteitsbouw en missende data over verdeling naar verwarmingsmethoden in utiliteitsbouw in 2010.



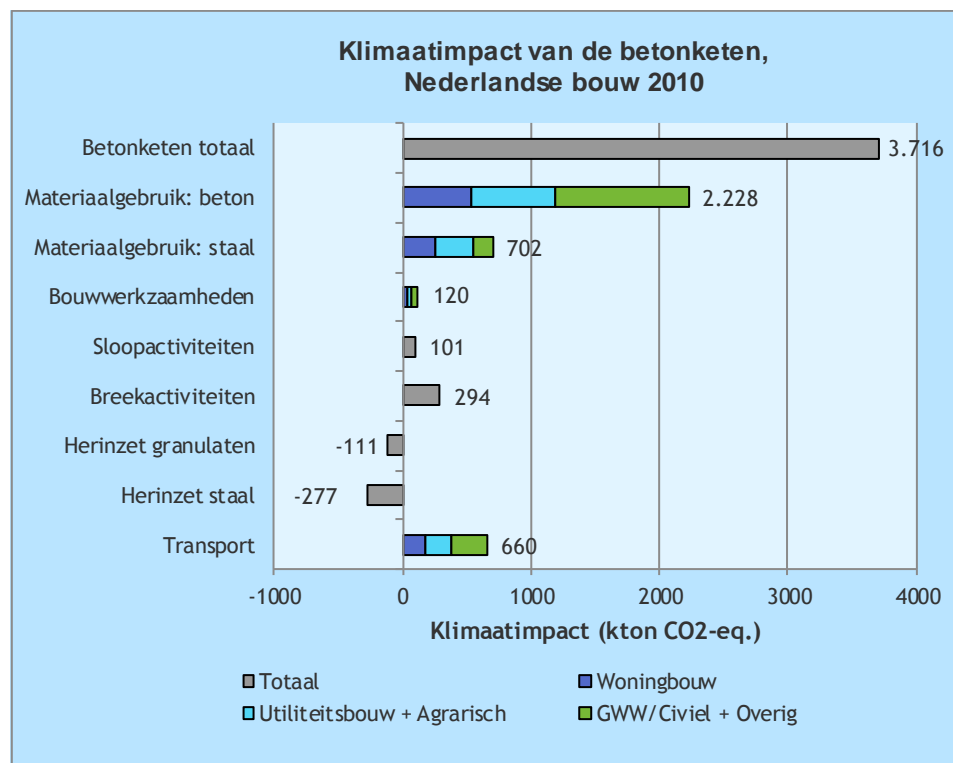
Figuur 10 Cumulatieve klimaatimpact door woningen gebouwd in 2010 (EPC 0,8)



### 3.2.1 Uitsplitsing naar woningen, utiliteitsbouw en GWW/civiele bouw

Figuur 11 toont de uitsplitsing van de klimaatimpact naar woningbouw, utiliteitsbouw en GWW/civiele bouw. Voor sloop en recyclingactiviteiten is deze verdeling niet bekend.

Figuur 11 Klimaatimpact van de betonketen, uitgesplitst naar toepassingsgebied





In Figuur 11 is te zien dat er geen grote verschillen zijn tussen de toepassingsgebieden.

### Betongebruik

Binnen GWW maakt VOBN onderscheid tussen toepassing van betonmortel in de wegenbouw en in civiele bouw. Op basis van de sterkteklassegegevens en gegevens over samenstelling van VOBN over betonmortel blijkt dat de klimaatimpact van het beton toegepast in de woningbouw en utiliteitsbouw iets lager is dan de gemiddelde klimaatimpact van beton voor GWW/civiele bouw:

- woningen, utiliteits- en civiele bouw: range grofweg tussen 90 en 140 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> beton;
- wegenbouw: range grofweg tussen 280 en 300 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> beton.

Voornaamste reden hiervoor is het veelvuldige gebruik van cementtype CEM III in mortel voor woningen, utiliteitsbouw en civiele bouw. Het gemiddelde CEM III-type, waarmee is gerekend in deze analyse, heeft een bijna drie keer lagere klimaatimpact dan CEM I. In deze studie is een 50%-50% verdeling aangehouden tussen wegenbouw en civiele bouw.

In betonproducten wordt veel meer gebruik gemaakt van CEM I, bij alle toepassingsgebieden. De klimaatimpact ligt voor alle producten rond de 250 kg CO<sub>2</sub> per m<sup>3</sup> beton, met uitzondering van niet-constructieve producten in de GWW/civiele bouw, die hebben een impact van zo'n 160 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> beton. Binnen de GWW/civiele bouw zijn de betonproducten voor het grootste deel (85%) niet-constructief.

Echter, ook voor niet-constructieve toepassingen ligt de klimaatimpact van betonproducten dus hoger dan die van betonmortel in woningen, utiliteitsbouw en civiele bouw.

Bovenstaande leidt ertoe dat voor dat het totale betongebruik in de GWW een iets hogere (materiaalgebonden) klimaatimpact heeft dan woningbouw of utiliteitsbouw, zie Figuur 11.

### Wapeningsstaal

De klimaatimpact van staalgebruik in de GWW is lager dan die in andere toepassingsgebieden (Figuur 11), omdat veel beton in de GWW/civiele bouw geprefabriceerd bestratingsmateriaal is en geen wapeningsstaal bevat.

### Verdere uitsplitsing naar toepassingsgebied

Er is geen uitsplitsing gemaakt van de totale score. Dit kan wel benaderd worden: wanneer aangenomen wordt dat 'herinzet' zich verhoudt tot 'materiaalgebruik' en de sloop- en breekactiviteiten evenredig verdeeld worden over de toepassingen, dan komen we uit op de volgende verdeling (Tabel 10).

Tabel 10 Indicatie van de totale klimaatimpact toegerekend aan toepassingsgebieden

Toepassingsgebied	Klimaatimpact toe te rekenen aan toepassingsgebied (kton CO <sub>2</sub> -eq)
Woningbouw	944
Utiliteitsbouw + Agrarisch	1.056
GWW/civiel + overig	1.494
<b>Totaal</b>	<b>3.494</b>



### 3.3 Gevoeligheidsanalyse en variaties klimaatimpact

LCA-resultaten zijn afhankelijk van beschikbare bronnen, de keuze welke informatie uit welke bron wordt gebruikt en van aannames bij de analyse. Met behulp van gevoeligheidsanalyse wordt in kaart gebracht hoe de resultaten worden beïnvloed wanneer andere informatie wordt gebruikt, of andere aannames worden gedaan.

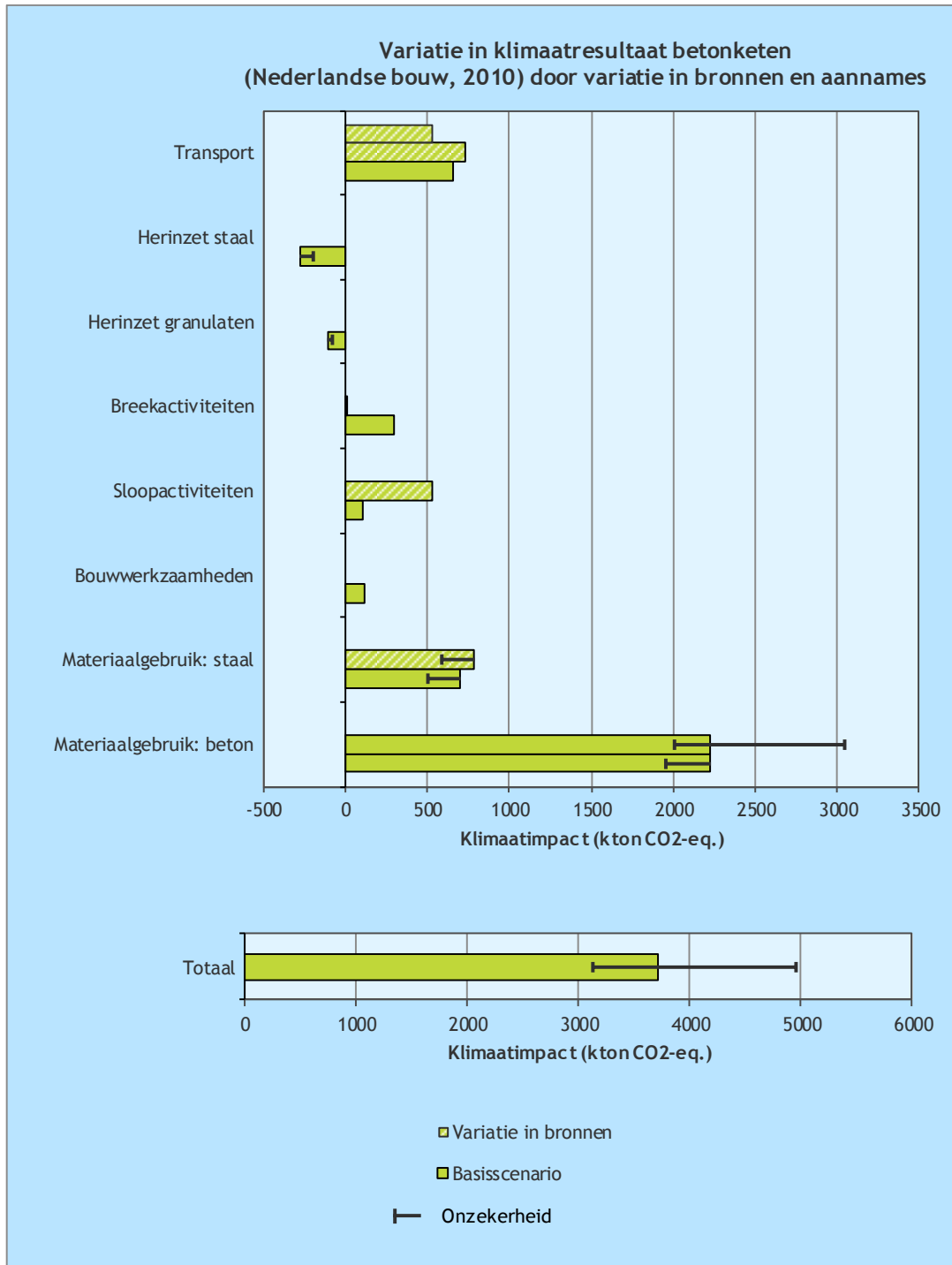
In de gevoeligheidsanalyse van deze studies zijn een aantal variaties onderzocht, zie Tabel 9 voor een overzicht. Er wordt onderscheid gemaakt tussen variatie in bron en variatie in aanname. De resultaten worden weergegeven in Figuur 12 en daaronder wordt in subparagrafen per ketenfase de gevoeligheidsanalyse besproken.

Tabel 11 Gevoeligheidsanalyse: onderzochte variaties

Ketenfase	Variatie	Bespreking in Par.
Materiaalgebruik beton	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Variatie in aanname over het type beton per toepassing. Dit levert een range op: een hoogste en laagste klimaatscore</li><li>2. Variatie in de klimaatimpact van CEM III-beton: de samenstelling van CEM III varieert, en zodoende ook de klimaatimpact</li><li>3. Verschillende bronnen voor milieu-informatie van cement (niet weergegeven in figuur)</li></ol>	3.1.1
Materiaalgebruik staal	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Er is een range in hoeveel staal wordt gebruikt per toepassing (vloeren, fundering, muren, etc.)</li><li>2. Er zijn twee bronnen voor milieu-informatie van wapeningsstaal</li></ol>	3.1.2
Bouwwerkzaamheden	Geen gevoeligheidsanalyse uitgevoerd	
Sloop- en breekactiviteiten	Er zijn meerdere bronnen beschikbaar voor energieverbruik bij sloop en bij het breken.	3.1.3
Herinzet betongranulaten	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Er zijn twee bronnen beschikbaar voor de hoeveelheid beton die vrijkomt na sloop (in 2010)</li><li>2. Variatie in de aanname voor welk materiaal wordt uitgespaard bij nuttige toepassing van betongranulaten</li></ol>	3.1.4
Herinzet staal	Er zijn twee bronnen beschikbaar voor de hoeveelheid staal die vrijkomt na sloop (in 2010)	3.1.5
Transport	Variatie in vrachtwagentype: meer en minder uitstoot per tonkm	3.1.6



Figuur 12 Klimaatimpact van de betonketen, effect van variaties



Door andere bronnen te kiezen en te variëren in aannames verandert de klimaatimpact van de ketenfasen en dus ook de totaalscore. Alle gevoeligheden meegenomen ligt de klimaatimpact tussen de 3.000 en 4.800 kton CO<sub>2</sub>-eq, waarbij dient te worden opgemerkt dat de waarschijnlijkheid afneemt naar de extremen toe.



Daarnaast is deze analyse een momentopname over 2010. Dit jaar staat bekend als een jaar waarin relatief weinig werd gebouwd, dus ook relatief weinig beton werd gebruikt. In jaren waarin meer werd gebouwd ligt ook de milieu-impact van betongebruik, staalgebruik, transport en bouwactiviteiten hoger.

### 3.3.1 Materiaalgebruik beton

Er zijn twee gevoeligheidsanalyses getoond in Figuur 12. Een derde variatie wordt tot slot hier beschreven, maar vormt geen onderdeel van de onzekerheidsmarge.

#### 1. Betonsamenstelling (onderste staaf)

Voor deze studie zijn detailgegevens over betonsamenstelling gebruikt, waarbij soms meerdere typen beton voor eenzelfde toepassing kunnen worden gebruikt, bijvoorbeeld voor funderingen. Voor het basisscenario is gewerkt met de optie met hoogste klimaatimpact; de klimaatimpact daalt met ongeveer 250 kton als gekozen wordt voor de optie met de laagste klimaatimpact.

#### 2. Klimaatimpact van CEM III (bovenste staaf)

Voor de milieu-impact van de cementtypen is in de studie uitgegaan van de informatie beschikbaar CUR-tool en SBK-database. Voor het gemiddelde CEM III gebruik is een klimaatimpactscore gegeven in de CUR-tool: 0,3 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg CEM III.

De klimaatimpact van cement wordt voor het overgrote deel bepaald door het Portlandklinker in het cement<sup>12</sup>. Het klinkergehalte in CEM III-cement varieert echter flink (zie Tabel 12), dus is ook een range aan klimaatimpact te verwachten voor cementtypen CEM III (zie Tabel 13). Gemiddeld heeft het in Nederland gebruikte CEM III een klinkergehalte van ongeveer 35%.

Tussen betonmortel en betonproducten zit echter een verschil in CEM III-samenstelling. Hier is in deze studie geen rekening mee gehouden. Voor detailstudies over betonmortel en betonproducten en ten behoeve van leveranciers van diverse betontypen is het wenselijk dat rekentools de informatievoorziening over milieu-impact van cement uitbreiden met meer cementtypen.

Tabel 12 Enkele cementtypen en hun samenstelling

Klinkergehalte	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%

<sup>12</sup> >99% voor cementtypen met hoog klinkergehalte; >95% voor cementtypen met zeer laag klinkergehalte. Dit komt omdat het andere bestanddeel van cement, het hoogovenslak dat ter vervanging wordt toegevoegd, een verwaarloosbare klimaatimpact heeft (restproduct).



Tabel 13 Variatie in klimaatimpact door verschil in klinkergehalte

	Klinker- gehalte	Klimaatimpact per kg (indicatie op basis van klinkergehalte)
1 kg pure klinker	100%	0,88
CEM I	95%	0,82
CEM III A hoog	65%	0,57
Grens CEM III A/CEM III	35%	0,31
Grens CEM III B/CEM III C	20%	0,18
CEM III C laag	5%	0,04

### 3. Variatie in bron voor milieu-impact

Tot slot is er een derde variatie uitgevoerd: een check hoe de resultaten veranderen als in plaats van de CUR-tool als bron voor de milieu-impact van beton en cement, de Ecoinvent database zou worden gebruikt. De Ecoinvent database biedt milieugegevens voor Portlandcement, voor cement met verlaagd Portlandgehalte (77%) en voor beton op basis van deze cementtypen, dus enige variatie is mogelijk, maar stroken niet met de gemiddelde situatie in Nederland. Ecoinvent biedt echter ook twee standaardproceskaarten aan: 'concrete normal' en 'concrete block', die beiden uitgaan van Portlandcement. Als deze wordt geselecteerd en toegepast op de totale hoeveelheid beton in Nederland, dan komt de klimaatimpact voor betongebruik veel hoger uit dan in deze studie berekend (resultaat in deze studie is ongeveer 2.200 kton CO<sub>2</sub>-eq).

Tabel 14 Resultaten klimaatimpact van de Nederlandse betonketen op basis van Ecoinvent gegevens voor beton

Ecoinvent naam	Impact	Totale hoeveelheid beton	Resultaat
Concrete, normal	121 kg CO <sub>2</sub> /ton	33.072 kton	4.003 kton CO <sub>2</sub>
Concrete block	261 kg CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	14 miljoen m <sup>3</sup>	3.657 kton CO <sub>2</sub>

Het is bij de betonbranche al bekend dat de gemiddelde gegevens in de Ecoinvent database niet stroken met de praktijk in Nederland. Deze 'gevoeligheidsanalyse' is uitgevoerd als check en ter agendering.

De cement- en betonsector stelt veel milieu-informatie openbaar beschikbaar. De informatie bereikt echter lang niet alle LCA-uitvoerders, waardoor vaak de verkeerde milieu-informatie wordt gebruikt voor LCA's en de milieu-impact van beton hoger wordt weergegeven dan die in de praktijk is. De Ecoinvent database staat bekend als de meest uitgebreide database voor productie in West-Europa en wordt veelvuldig gebruikt door LCA-uitvoerders. Ook CE Delft en andere milieuvadvisiebureaus hebben voor overzichtsstudies of studies waar beton als één van de materialen in een product voorkomt, in het verleden gebruik gemaakt van de gegevens van beton in de Ecoinvent database. Ook op ontwerpopleidingen wordt met de Ecoinvent database gewerkt.



### 3.3.2 Materiaalgebruik staal

Er zijn twee gevoeligheidsanalyses getoond in Figuur 12.

#### 1. Hoeveelheid staal (het onzekerheidsbalkje)

Er is een range in hoeveel staal wordt gebruikt in vloeren, fundering, muren, etc. In het basisscenario is uitgegaan van de grootste hoeveelheid per m<sup>3</sup> beton, in de gevoeligheidsanalyse wordt getoond wat de verlaging van de klimaatimpact is als de minste hoeveelheid wordt aangehouden.

#### 2. Variatie: Ecoinvent wapeningsstaal (groengestreepte balk)

De Ecoinvent database biedt ook milieu-informatie over staal en in tegenstelling tot beton en cement is er geen indicatie dat deze informatie niet geldig zou zijn voor de Nederlandse situatie. De resultaten op basis van Ecoinvent wapeningsstaal vallen iets hoger uit.

### 3.3.3 Sloop- en breekactiviteiten

Meerdere bronnen rapporteren energieverbruik voor slopen en breken, of de milieu-impact daarvan of beide. Een aantal bronnen en de beschikbare gegevens zijn weergegeven in Tabel 15.

Tabel 15 Data uit verschillende bronnen voor energie voor sloop en breken

Bron	Gegevens sloop	Gegevens breken
SBK-database	57,7 MJ diesel per ton puin voor sloop; 19 MJ diesel per ton puin voor inladen puinwagen	20,5 kg CO <sub>2</sub> voor breekproces, op basis van gegevens van drie brekers
Dubocalc	Sloophamer: 0,4 uur/m <sup>3</sup> à 165 kg CO <sub>2</sub> -eq/uur; Graafmachine: 0,46 uur/m <sup>3</sup> à 52,6 kg CO <sub>2</sub> -eq/uur	Niet beschikbaar
Saving Materials (Copernicus Institute, 2010)	Niet beschikbaar	0,7 kWh/ton

Het basisscenario sloop gaat uit van de SBK-database. De variatie geeft aan wat het effect is als wordt uitgegaan van Dubocalc.

Het basisscenario breken gaat ook uit van de SBK-database. De variatie geeft aan wat het effect is als uit wordt gegaan van Saving Materials (Copernicus Instituut 2010).

De gevoeligheidsanalyse toont dat Dubocalc tot een stuk hoger resultaat leidt en Saving Materials tot een stuk lager resultaat. Het vermoeden is dat de (inschatting van de) slooptijd per m<sup>3</sup> bij Dubocalc aan de hoge kant is, zeker voor gebouwen. Ten tijde van het uitbrengen van dit rapport werkt Intron aan een MRPI-blad over het breken van puin. Eerste resultaten wijzen erop dat de Dubocalcgegevens inderdaad tot een te hoog resultaat leiden.

### 3.3.4 Herinzet granulaten

De onzekerheidsbalk geeft de resultaten weer als wordt uitgegaan van minder vrijkomend puin bij sloop, zoals berekend volgens IVAM (2010). Zie voor de verschillen in hoeveelheden de inventarisatie, Paragraaf 2.5.



### 3.3.5 Herinzet staal

De onzekerheidsbalk geeft de resultaten weer als wordt uitgegaan van minder vrijkomend staal bij sloop, zoals berekend volgens IVAM (2010). Zie voor de verschillen in hoeveelheden de inventarisatie, Paragraaf 2.5.

### 3.3.6 Transport

De twee staven geven variatie weer wanneer wordt gekozen voor een zuiniger vrachtwagen of minder zuinige vrachtwagen. Het basisscenario gaat uit van een vrachtwagen met laadcapaciteit groter dan 20 ton en met een uitstoot van 0,154 kg CO<sub>2</sub> per tonkm; de onzuinige variant is een Euro 3-vrachtwagen met laadcapaciteit van 16 tot 32 ton met uitstoot 0,185 kg CO<sub>2</sub>/tonkm; de zuinige variant is een Euro 5-vrachtwagen met laadcapaciteit groter dan 32 ton met een uitstoot van en 0,107 kg CO<sub>2</sub> per tonkm.

## 3.4 Andere milieueffecten

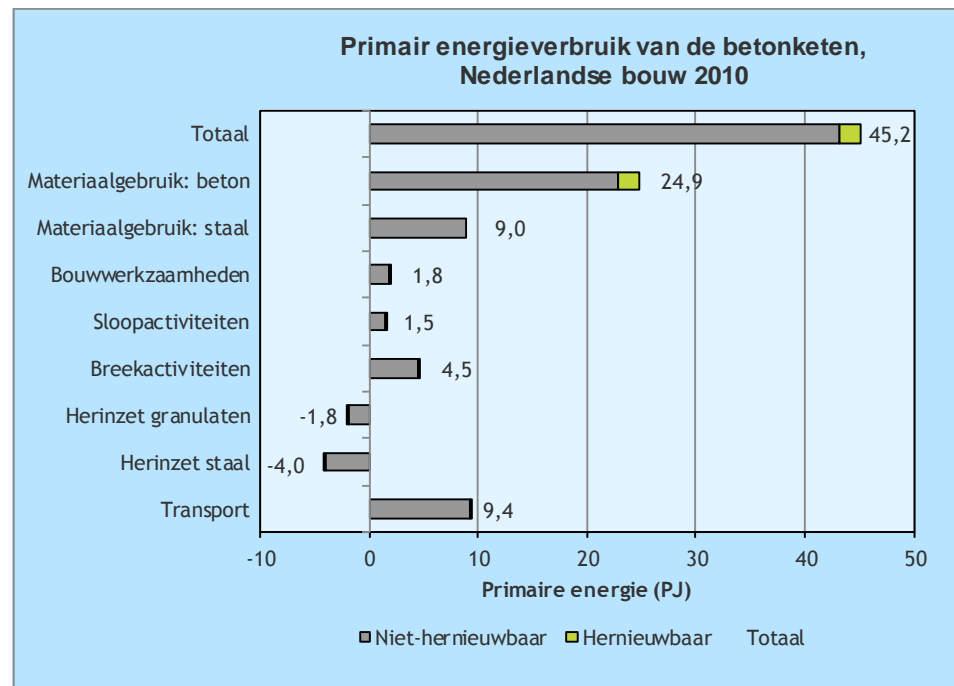
### 3.4.1 Primaire energie

Het primaire energieverbruik van een kilogram materiaal of een kWh energie ligt in de orde van megajoules (MJ). Omdat het in deze studie om zulke grote hoeveelheden materiaal gaat wordt het resultaat van de primaire energie-analyse uitgedrukt in terajoules (PJ), wat gelijk staat aan 10<sup>9</sup> MJ.

Het totale primaire energieverbruik van de betonketen in Nederland (in 2010) is in de orde van 45 PJ (petajoules). Het aandeel hernieuwbare energie op het totale primaire energieverbruik is ongeveer 5% en komt voornamelijk door hernieuwbaar energieverbruik in de betonproductie. De 5% blijkt dus uit de energiegegevens voor beton uit de CUR-rekentool.

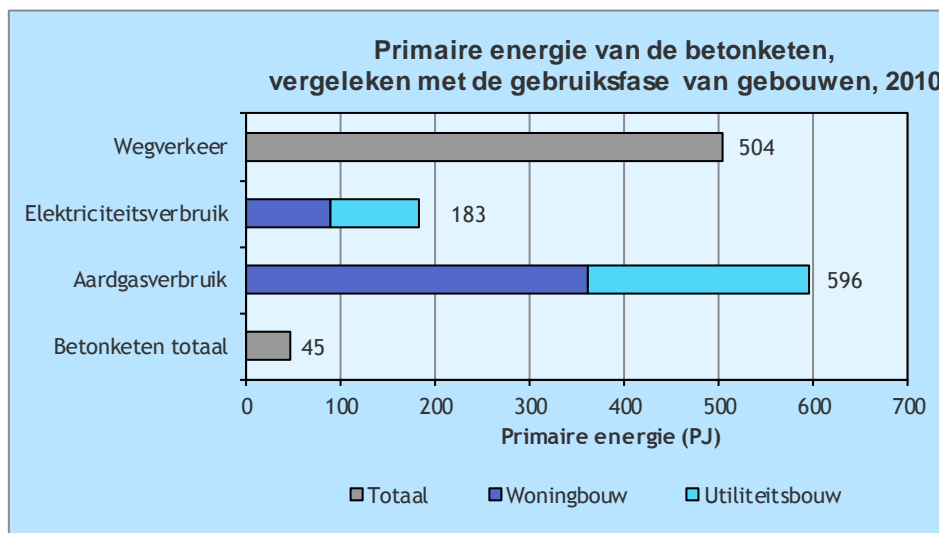
In de bouw-, sloop- en breekactiviteiten en voor transport wordt diesel gebruikt en hebben zeer kleine component duurzaam energieverbruik.

Figuur 13 Primair energieverbruik van de betonketen (exclusief gebruik van bouwwerken), totaalgebruik beton in 2010



De verdeling naar ketenfasen is vergelijkbaar met de verdeling volgens de klimaatimpact. Dit komt voornamelijk door het grote aandeel aan fossiel energieverbruik: dit heeft een directe relatie met de klimaatimpact.

Figuur 14 Primair energieverbruik van de betonketen vergeleken met gebruik van gebouwen en wegen, 2010



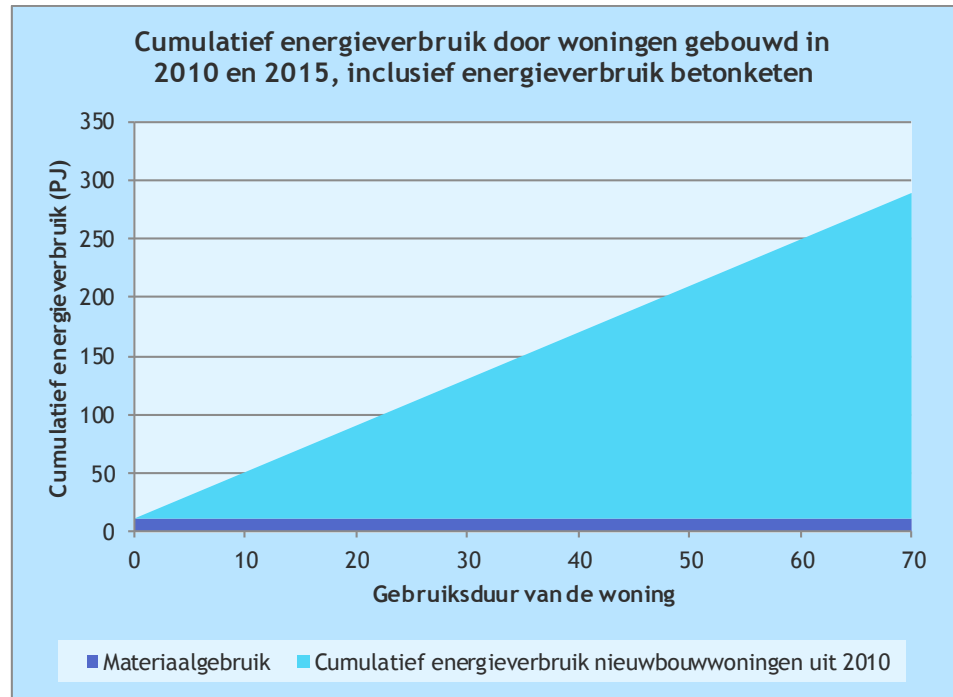
Net als bij klimaatimpact is het resultaat voor energie en wegverkeer een stuk hoger dan voor de totale betonketen.

Naast het totale energieverbruik in de gebouwde omgeving is een indicatie gegeven voor primair energieverbruik voor verwarming van nieuwbouwwoningen uit 2010. Er wordt ingeschat dat per jaar een nieuwbouwwoning uit 2010 4 PJ aan primaire energie verbruikt voor verwarming. Voor kantoren en andere utiliteitsbouw kon zo'n berekening niet worden gedaan. Zie Paragrafen 2.4 en 4.2 voor de aanpak en meer achtergronden.

Er is een inschatting gemaakt welk deel van de betonketen uit 2010 kan worden toegerekend aan de woningbouw (zie Tabel 16): 11 PJ. Het primaire energieverbruik per jaar voor verwarming van nieuwbouwwoningen is ongeveer 1/3<sup>e</sup> hiervan. In Figuur 15 is weergegeven hoe dit primair energieverbruik voor verwarming zich verhoudt tot primair energieverbruik van materiaalgebruik van woningen door de jaren heen. Te zien is dat het energieverbruik voor materialen ongeveer gelijk staat aan drie jaar verwarmen van de huizen (deze resultaten zijn indicatief). Deze verhouding is iets anders dan de klimaatmissieverhouding, omdat de verwarming van woningen vooral met aardgas plaats vindt (relatief lage klimaatmissies per energievraag) en de energievraag voor cement grotendeels met steenkool wordt ingevuld (relatief hoge klimaatmissie per energievraag).

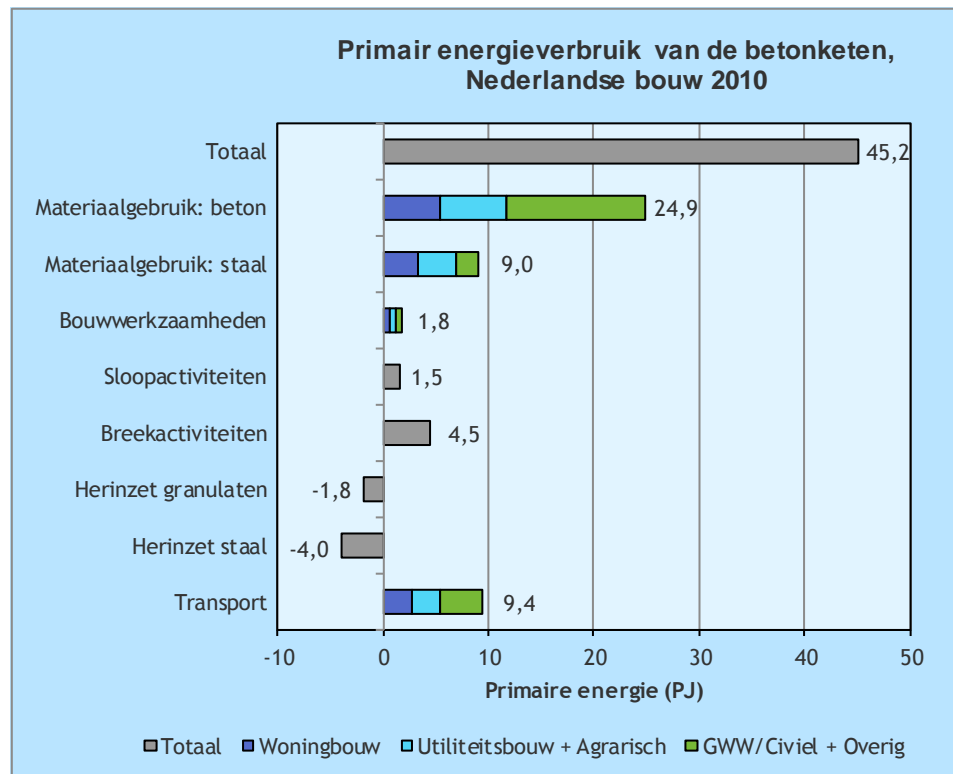


Figuur 15 Cumulatief energieverbruik door woningen gebouwd in 2010 (EPC 0,8)



Figuur 16 toont de uitsplitsing van het primaire energieverbruik per toepassingsgebied: woningbouw, utiliteitsbouw en GWW/civiel/agrarisch.

Figuur 16 Primair energieverbruik van de betonketen, uitgesplitst



Er is geen uitsplitsing gemaakt van de totale score. Dit kan wel benaderd worden wanneer aangenomen wordt dat 'herinzet' zich verhoudt tot 'materiaalgebruik' en de sloop- en breekactiviteiten evenredig verdeeld worden over de toepassingen. Zo komen we grofweg uit op de volgende verdeling (Tabel 16).

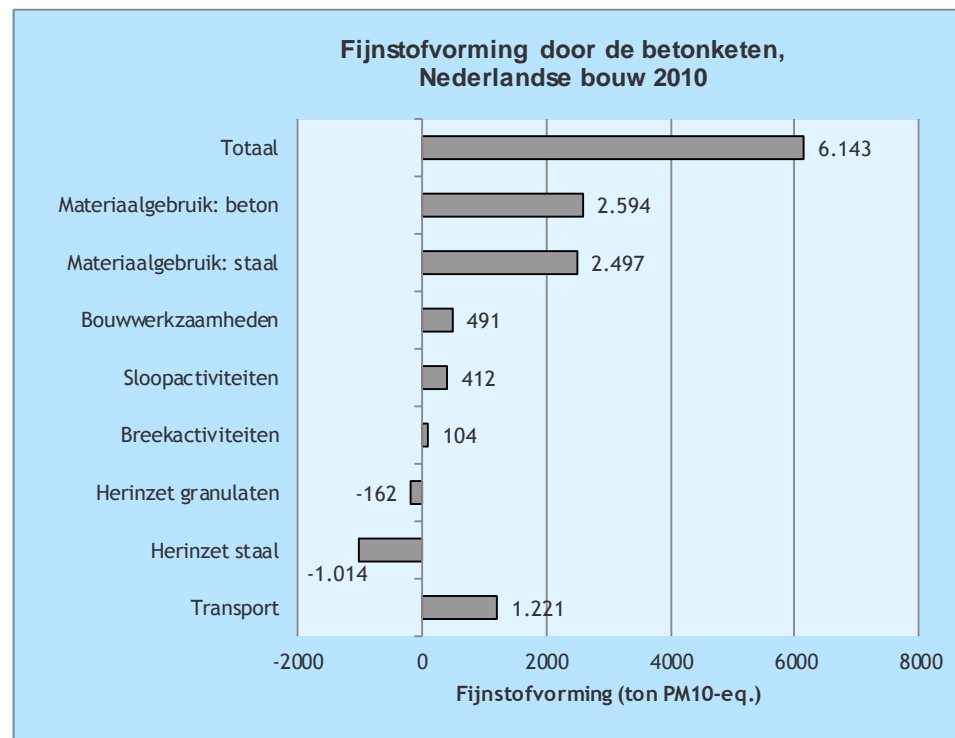
Tabel 16 Indicatie van het primaire energieverbruik, toegerekend aan toepassingsgebieden

Toepassingsgebied	Primaire energie toe te rekenen aan toepassingsgebied (PJ)
Woningbouw	12
Utiliteitsbouw	13
GWW/civiel/agrarisch	20
Totaal	45

### 3.4.2 Fijnstof

Onder fijnstof worden deeltjes tot 10 micrometer verstaan. Respirabel kwarts (< 63 micrometer), dat vrijkomt bij de bewerking van beton, wordt in deze studie niet als aparte categorie behandeld.

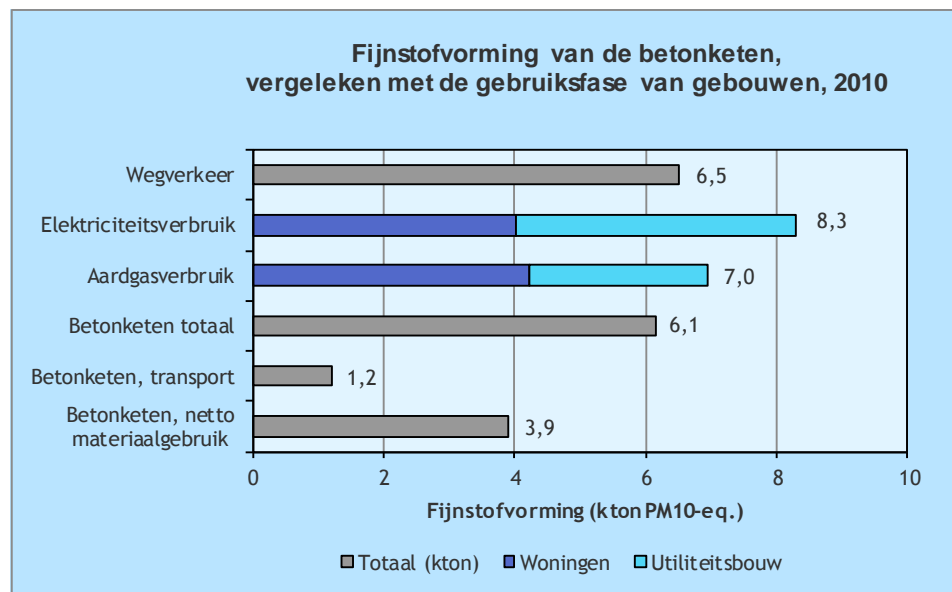
Figuur 17 Fijnstof van de betonketen (exclusief gebruik van bouwwerken), totaalgebruik beton in 2010



Staalproductie is opvallend hoog in vergelijking met beton. Ter vergelijking: er wordt 546 kton staal gebruikt en meer dan 33.000 kton beton. De fijnstof-emissie vindt plaats bij de ijzerertsmining en bij het sinterproces. Ook de cokes die worden gebruikt bij de productie van staal brengen een fijnstofemissie met zich mee. Wel wordt door het volledig recyclen van het staal de productie van primair staal deels vermeden; de netto fijnstofemissie van wapeningsstaal ligt dan ook een stuk lager.

Fijnstofemissie door beton vindt plaats bij klinker- en cementproductie. Anders dan fijnstofemissie door transport vindt de fijnstofemissie van staal niet op Nederlands grondgebied plaats. Fijnstof wordt pas een gezondheidsprobleem wanneer het vrijkomt in bevolkte gebieden. Daarom vormt de emissie van fijnstof door mobiel breken - breken op de plaats van sloop - een speciaal aandachtspunt. Dit is een bekend punt bij de recyclerende partijen en er worden maatregelen getroffen om fijnstofvorming in de hand te houden en er is een convenant van kracht op het gebied van fijnstof die alle betrokken branches (betonproducenten, bouwers, slopers) hebben ondertekend en wordt gehandhaafd door overheid. Daarmee is werken met beton arbeidsveilig mogelijk mits de juiste beschermingsmaatregelen en preventiemaatregelen worden aangehouden.

Figuur 18 Fijnstofvorming van de betonketen vergeleken met gebruik van gebouwen en wegen, 2010

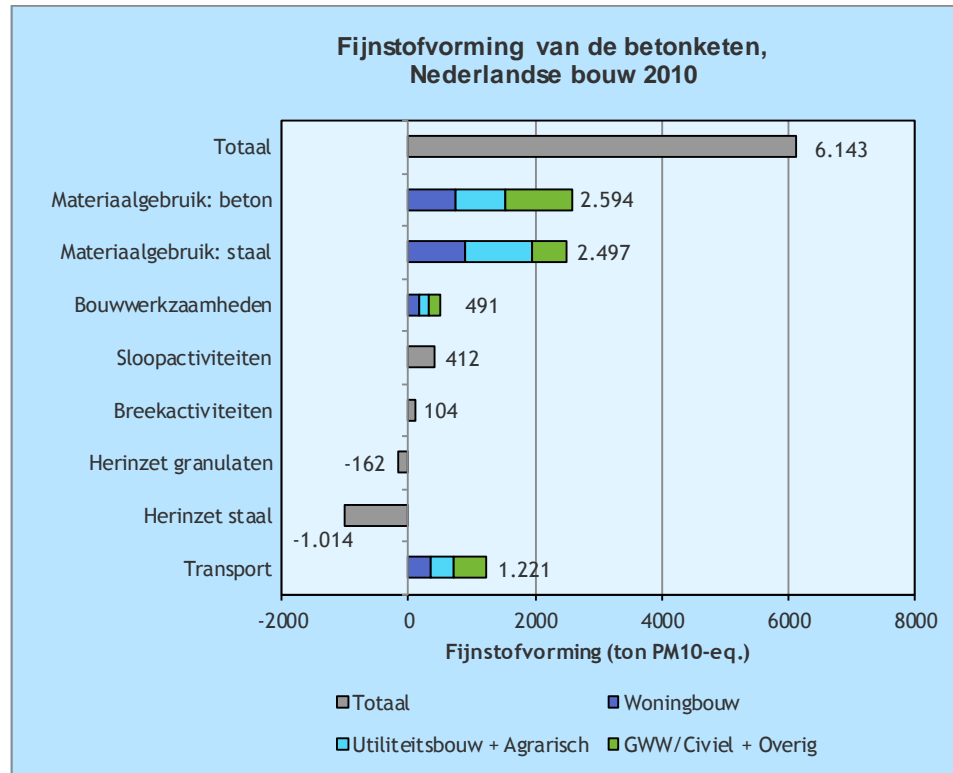


Na het zien van de resultaten klimaatimpact en de primaire energie-inhoud lijkt de fijnstofvorming door de betonketen opvallend hoog in vergelijking met de fijnstofvorming van de gebruiksfase van gebouwen en wegen. Er is geen definitieve verklaring gevonden voor de hoge score door de betonketen.

Een mogelijke verklaring is dat de fijnstofemissie van betongebruik te hoog uitvalt vanwege het gebruik van fijnstofgegevens voor beton uit de Ecoinvent database (de Ecoinvent-waarden zijn van toepassing op de Europese praktijk). De fijnstofbeperkende maatregelen die in Nederland worden getroffen en het convenant zijn aanwijzingen hiervoor.

Te zien is dat de fijnstofemissie van transport in de betonketen op ongeveer 1/6<sup>e</sup> van de emissie van het totale wegverkeer ligt. Dit zou kunnen kloppen, aangezien cement en beton volumineus zijn en worden vaak over de weg vervoerd, in tegenstelling tot grind en zand, welke in Nederland een veel groter volume hebben dan beton (> 120 Mton versus ~34 Mton).

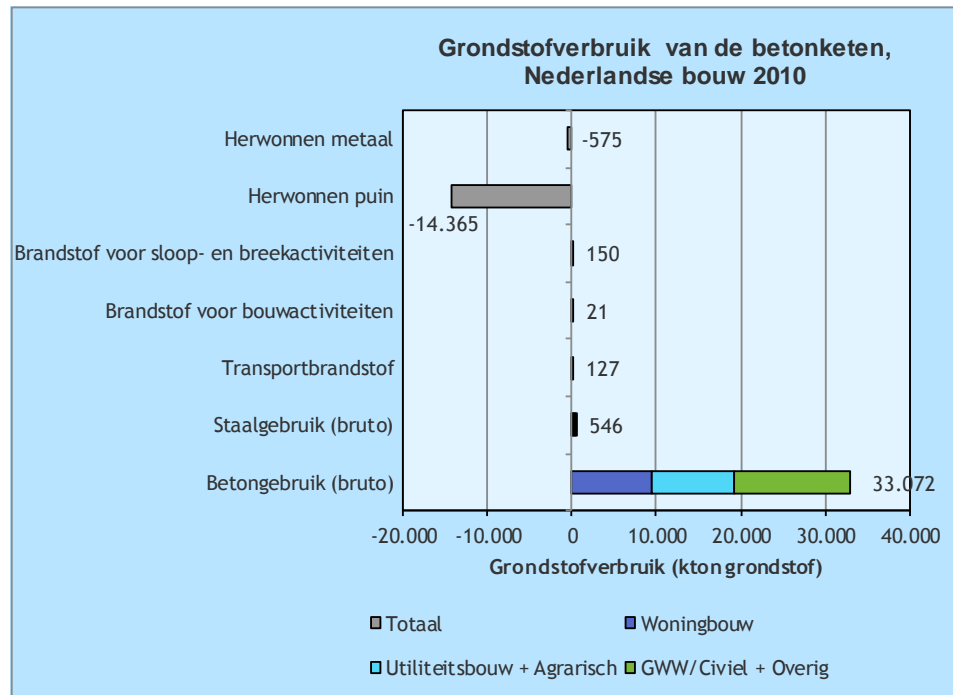
Figuur 19 Fijnstofvorming van de betonketen, uitgesplitst



### 3.4.3 Grondstoffen

Grondstofverbruik wordt gedomineerd door beton, het vertegenwoordigt het meeste gewicht. Zoals ook in de inventarisatie werd weergegeven werd er in 2010 minder gesloopt (herwonnen puin) dan er beton werd gebruikt voor de bouw. Alle andere grondstoffen voor de betonketen - staal, brandstof - worden in kleinere hoeveelheden gebruikt, maar brengen in vergelijking tot beton per gewichtseenheid een grotere milieu-impact met zich mee dan een kg beton.

Figuur 20 Grondstofverbruik van de betonketen (exclusief gebruik van bouwwerken), totaalgebruik beton in 2010, uitgesplitst



### 3.5 Conclusies en aanbevelingen milieu-analyse betonketen

#### 3.5.1 Conclusies uit de resultaten en verbeterrichtingen

Uit de analyse blijkt dat het gebruik van het materiaal beton leidt tot de meeste milieu-impact (klimaatimpact, fijnstofvorming en primair energieverbruik) in vergelijking tot de andere aspecten in de betonketen. Met hergebruik op de huidige manier van betongranulaat wordt slechts een kleine milieuwinst geboekt. Netto komt de bijdrage van het materiaal beton uit op 40 tot 60% van de totale milieu-impactscore van de betonketen (afhankelijk van het berekende milieueffect). Het cementgebruik levert van alle ingrediënten van beton de hoogste bijdrage. De klimaatimpact van beton is in Nederland al verlaagd door het grootschalige gebruik van cementtype CEM III ter vervanging van CEM I.

Gezien de resultaten zijn verdere verbeteropties gericht op het verlagen van de impact van het beton zelf nog steeds zeer relevant. In Hoofdstuk 4 worden enkele van dergelijke verbeteropties besproken.

Staal, waarvan in vergelijking met de hoeveelheid beton relatief weinig wordt gebruikt, brengt ook een aanzienlijke milieu-impact met zich mee. Omdat dit echter weer volledig tot hoogwaardig staal wordt gerecycled valt de netto impact lager uit. De betonsector heeft weinig tot geen invloed op het verlagen van de milieu-impact van het materiaal staal zoals geproduceerd door de betonsector. Het huidige wapeningsstaal bevat een groot aandeel gerecycled materiaal (70%). Verlaging van de milieu-impact van staal door de betonsector zal dus gericht zijn op het verlagen van de hoeveelheid staal, bijvoorbeeld door het voorkomen van overdimensionering en wellicht het gebruik van staalvezels. Het is belangrijk om mogelijkheid van recycling, die nu op 100% ligt, te behouden. Als bijvoorbeeld maar 50% van het staal kan worden teruggewonnen, dan wordt milieuwinst door recycling lager.

Een ander discussiepunt is of het staalgebruik en de winst door recycling kan worden toegerekend aan de betonketen. In deze studie is ervoor gekozen om dit wel te doen omdat de toepassing van het beton wapeningsstaal verlangt. Deze verbeteropties zijn in deze studie verder niet onderzocht. Wel kan de betonbranche met de in deze studie gepresenteerde gegevens en resultaten zelf berekenen wat het effect is op de resultaten wanneer minder staal wordt gebruikt.

Transport valt relatief hoog uit vanwege de grote hoeveelheid die via de weg wordt vervoerd: het draagt voor 18 tot 21% bij aan de milieuresultaten. Een mogelijke verbeteroptie is het vergroten van het aandeel transport van cement, betonproducten en betonmortel via water (binnenvaart) in plaats van de weg. De emissiefactor voor CO<sub>2</sub> en het primaire energieverbruik van binnenvaart is een factor 3 tot 4 lager per tonkm<sup>13</sup> dan van het type vrachtwagen die is geselecteerd voor deze studie. Het loont milieukundig dus om een iets langere transportroute over water te kiezen als daardoor de transportafstand over de weg wordt verminderd. De verlaging geldt niet voor de fijnstofemissie.

Energieverbruik voor bouw-, sloop- en breekactiviteiten dragen samen 14 tot 19% bij aan de totale milieuscores. Wel zit hier een onzekerheid in, omdat er diverse bronnen hierover in omloop zijn. Volgens deze analyse loont het de moeite om verdere verbeteringen door te voeren op de bouwplaats. Echter, voordat eventuele verbeteropties kunnen worden doorgerekend is meer duidelijkheid in bronnen gewenst.

Bij de primaire energieanalyse valt op dat het aandeel hernieuwbare energie beperkt is tot 5%. Vergroting van het aandeel hernieuwbare energie is een verbeteroptie. Hierbij moet wel worden gelet dat het geen nadelige gevolgen heeft voor andere milieueffecten: klimaatimpact uiteraard, maar ook andere effecten, zoals verschuiving in landgebruik, waterschaarste en verlies van biodiversiteit.

De impact door energieverbruik in de gebouwde omgeving is vele malen hoger dan die van de betonketen. De energie dat per jaar in nieuwbouwwoningen uit 2010 wordt verbruikt voor verwarming ligt naar schatting op ongeveer 1/3<sup>e</sup> van de primaire energie van het deel van de betonketen die toe te rekenen is aan woningbouw. Gezien jarenlang gebruik van woningen is hier zeker ook winst te behalen. Dit wordt verder onderzocht in Hoofdstuk 4.

### 3.5.2 Aanbevelingen naar aanleiding van milieuanalyse betonketen

Bij het inventariseren van de achtergrondinformatie voor de studie – informatie over milieu-impact en hoeveelheden betongebruik in Nederland – heeft CE Delft een aantal zaken geconstateerd die voor verbetering vatbaar zijn. Bij verbetering zal de kwaliteit van deze milieuanalyse verbeteren, maar ook de kwaliteit van andere (LCA-)studies over beton in Nederland.

#### Beschikbaarheid van informatie

Er is al heel veel informatie beschikbaar binnen de betonbranche. Er zijn diverse databronnen voor milieu-informatie over cement, beton, bouw- en sloopactiviteiten, specifiek voor Nederland. De voornaamste voorbeelden zijn de CUR-rekentool, de SBK-database, de Dubocalc-rekentool en diverse

---

<sup>13</sup> Tonkm is de eenheid van vervoer. Het staat voor het vervoeren van 1 ton materiaal over 1 km (1ton x 1km).



MRPI-bladen. Voor een deel overlapt de informatie, maar voor een deel ook niet. Dit is in de gevoeligheidsanalyse aan bod gekomen. De Ecoinvent database is de grootste, meest gebruikte database onder LCA-onderzoekers, maar deze bevat gegevens over cement en beton die niet relevant zijn voor de Nederlandse situatie: resultaten vallen veel hoger uit met de Ecoinvent database. Toch wordt deze database op grote schaal gebruikt, bij milieu-adviesbureaus zoals CE Delft, maar ook op universiteiten voor beginnende LCA-uitvoerders. Het is nog te weinig bekend dat specifieke Nederlandse informatie voor beton beschikbaar is via andere bronnen. Daarnaast zou het een waardevolle aanvulling zijn, die ook LCA's over betonproducten in Nederland sterk zou verbeteren, als enkele basisproceskaarten over beton in Nederland zouden worden toegevoegd aan de Ecoinvent database, bijv. CEM I, CEM III en de gemiddelde samenstelling van betonmortel en betonproducten in Nederland.

### **Details in informatie**

Ondanks dat er al veel informatie ligt over betongebruik in Nederland, kan de milieu-informatie en samenstelling van betontypen worden verbeterd. Informatie over samenstelling is bekend op het niveau van CEM I versus CEM III, eventueel uitgesplitst naar CEM IIIA of B. Statistieken over het gebruik van andere CEM-soorten (II, IV en V) zouden kunnen worden toegevoegd. Op dit moment is er geen milieu-informatie beschikbaar is over cementtypen CEM II, CEM IV en CEM V; ook wordt alleen een gemiddelde milieu-informatie gegeven over CEM III, terwijl er een range is aan samenstelling (klinkergehalte) binnen CEM III. Het zou de LCA's over cement en beton ten goede komen als de CUR-rekentool, de SBK-database en liefst ook de Ecoinvent database milieu-informatie over deze cementtypen zouden bevatten.

### **Fijnstof**

De Nederlandse informatiebronnen voor cement, beton en bouwwerkzaamheden (SBK-database, CUR- en Dubocalc-rekentool, MRPI-bladen) rapporteren diverse milieueffecten. Echter geen fijnstofvorming, wat in deze studie als relevant milieueffect wordt aangemerkt. Voor deze studie is daarom teruggegrepen op fijnstofgegevens via de Ecoinvent database, wat wellicht tot te hoge resultaten heeft geleid voor betongebruik. Tegelijkertijd geeft de betonbranche aan al allerlei fijnstofreducerende maatregelen te treffen. Het toevoegen van fijnstofemissie aan de milieu-informatie zou een welkome aanvulling zijn die LCA's zal verbeteren.

### **Kwantificeren andere (milieu)effecten**

Verandering van het land kan ook CO<sub>2</sub>-emissies tot gevolg hebben, wanneer er sprake is van vermindering van de begroeiing, CO<sub>2</sub>-vastlegging in de bodem en/of vermindering van de biodiversiteit. Deze effecten zijn vaak lastig te kwantificeren en het is niet onderzocht in deze studie in hoeverre verschuiving in landgebruik een rol speelt in de betonketen. Dit wordt gezien als een aanvulling die mogelijk invloed heeft op de resultaten: zowel de CO<sub>2</sub>-emissie van materiaalgebruik als de CO<sub>2</sub>-winst door hergebruik van materialen zou hoger kunnen uitvallen.







# 4 Handelingsperspectieven

## 4.1 Inleiding

Binnen de Green Deal Beton, een verduurzamingsovereenkomst gesloten tussen de overheid en MVO Netwerk Beton, wordt door de verschillende werkgroepen van het MVO Netwerk Beton actief gewerkt aan een verduurzamingsprogramma. Binnen dit verduurzamingsprogramma worden verbeteropties in kaart gebracht. Zo worden in het Stutech/Stufib-rapport 16 verbeteropties voor de betonketen gerapporteerd en biedt het European Cement Research Academy (ECRA) een uitgebreid overzicht van mogelijke verbeteringen in de cementproductie.

Om de werkgroepen daarin te assisteren in het bepalen van de milieukundige effectiviteit wordt de te verwachten klimaatwinst van enkele verbeteropties berekend. Deze zijn:

- het toepassen van betonkernactivering in nieuwe gebouwen;
- het verlagen van het klinkergehalte in cement;
- het verlagen van de impact van klinker (op diverse wijzen);
- het inzetten van betongranulaat als cementvervanger.

CE Delft doet hierbij geen uitspraak over technische haalbaarheid en kostenefficiëntie: die kennis is ofwel bij brancheverenigingen en/of andere instituten (ECRA) aanwezig, of bestaat nog niet.

Dit wederom op macroschaal: toegespitst op het betongebruik in een jaar in Nederland (richtjaar 2010). De volgende totaalhoeveelheden zijn van toepassing (zie ook Tabel 2):

- betonmortel: 8 miljoen m<sup>3</sup>;
- betonproducten: 6 miljoen m<sup>3</sup>;
- totaal betongebruik: 14 miljoen m<sup>3</sup>.

Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze hoeveelheden van toepassing zijn op 2010, een jaar waarin relatief weinig werd gebouwd ten opzichte van de jaren ervoor. In jaren waarin meer werd of wordt gebouwd, en dus ook meer beton werd of wordt gebruikt, ligt de totale klimaatimpact hoger. Andersom geldt dit uiteraard ook voor jaren waarin minder beton werd gebruikt. De percentuele klimaatwinst die kan worden behaald met de verbeteropties, zoals berekend in dit hoofdstuk, blijft wel gelijk.

Enkele opties de klimaatimpact van cement en beton terug te dringen die worden gerapporteerd in het Stutech/Stufib-rapport, maar die niet gekwantificeerd zijn in deze studie, zijn:

- verlaging minimum cementgehalte;
- vermindering bouwvolume, bijv. slanker bouwen met ontwerpaanpassingen of innovaties als hogesterktebeton;
- gebruikmaken van sterkteontwikkeling.



## 4.2 Betonkernactivering

Betonkernactivering (BKA) is het gebruik maken van het beton in utiliteitsbouw en woningen voor verwarming en koeling van de ruimte, door watervoerende leidingen mee te storten in het beton. BKA maakt gebruik van de massa van het gebouw en is daardoor:

- gericht op het op temperatuur houden van het gebouw (lange reactie-tijden);
- minder gevoelig voor piekbelasting;
- een comfortabele manier van koelen;
- het efficiëntst als er verschillende lagen boven elkaar gebouwd worden.

Een andere typische eigenschap van BKA is dat met relatieve lage watertemperatuur verwarmd kan worden en met relatief hoge watertemperatuur gekoeld, waardoor het een efficiënt systeem is. Er is aangetoond dat door BKA toe te passen minder energie nodig is ten opzichte van het gebruik van conventionele systemen zoals radiatoren en ventilatoren (Betoncentrum, 2011).

In het kader van de beoordeling van de levenscyclus van beton is CE Delft gevraagd om een inschatting te maken van het effect van betonkernactivering op de energie-efficiëntie van gebouwen en de besparing in CO<sub>2</sub>-emissies die hierdoor op jaarbasis mogelijk is.

### **Manier van vergelijken gebouwen met en zonder betonkernactivering**

Vanuit de LCA-gedachte zou het logisch zijn om identieke gebouwen met en zonder betonkernactivering te vergelijken en daarvan de verschillen te presenteren. In de praktijk wordt de energiezuinigheid van nieuwe gebouwen echter sterk gereguleerd door de overheid, via de energieprestatienorm. Belangrijk onderdeel van deze norm is de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). De praktijk is dat de meeste gebouwen opgeleverd worden met een EPC die overeenkomt met de voorgeschreven EPC op dat moment. Vanuit economische overwegingen is er geen stimulans om vrijwillig (ver) onder de EPC te gaan zitten. Dit betekent dat in de praktijk een zuinige installatie leidt tot minder goede isolatie en vice versa. Een energiezuinige installatie met een lage temperatuurafgiftesysteem (zoals betonkernactivering) leidt daarmee dus eerder tot een minder goed geïsoleerde woning, dan bij een minder zuinig, conventioneel verwarmingssysteem. Het resulterende totale energieverbruik zal in beide situaties echter gelijk zijn (bij gelijke EPC). Hoeveel minder isolatie er toegepast kan worden is afhankelijk van het specifieke gebouwontwerp. Door deze vorm van regulering is een claim van een lagere energiebelasting gekoppeld aan een bepaalde techniek niet mogelijk. Wel is het mogelijk om te verkennen hoeveel betonkernactivering kan bijdragen aan de vereiste lagere EPC.

### **Hoe werkt de EPC?**

De Energieprestatiecoëfficiënt (EPC) is een index die de energetische efficiëntie van nieuwbouw aangeeft, en wordt bepaald door berekeningen vastgelegd in de NEN 7120: Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode (EPG). Het is een theoretische eis die voor aanvang van de bouw van de woning wordt vastgesteld en niet (per definitie) achteraf wordt gecontroleerd. Daarnaast wordt alleen gekeken naar het jaarverbruik, niet naar de piekvraag of gelijktijdigheid.



De EPC is een verhoudingsgetal tussen de energieprestatie van de nieuwbouw-woning en een referentiesituatie. De berekeningsmethodiek is vastgelegd EPG (NEN 7120). Vereenvoudigd komt de berekening neer op:

$$EPC = \frac{\textit{karakteristiek energiegebruik van het gebouw}}{\textit{referentie energiegebruik}} \times EPC_{\textit{nieuwbouw-eis}}$$

De  $EPC_{\text{nieuwbouw-eis}}$  voor woningen is de laatste jaren steeds verder aangescherpt. Tabel 17 geeft hiervan een overzicht. Tevens staan hierin de verwachte aanscherpingen naar 2020 toe. Voor nieuwe utiliteitsgebouwen (gebouwen als kantoren, scholen, fabrieken, kazernes, ziekenhuizen, e.d.) verschillen de grenswaarden per gebouwfunctie.

Tabel 17 Ontwikkeling  $EPC_{\text{nieuwbouw-eis}}$  voor woningen

Jaar van verandering	$EPC_{\text{nieuwbouw-eis}}$
1996	1,4
1998	1,2
2000	1,0
2006	0,8
2011	0,6
2014	0,4
2020	0,0

### Karakteristiek energiegebruik

Het karakteristiek energiegebruik van het gebouw wordt door de bouwer berekend op basis van de gebouwkarakteristieken, zoals onder andere de mate van isolatie van de schil, het verwarmingssysteem of de oriëntatie van het gebouw ten opzichte van de zon.

De installatie voor ruimteverwarming speelt een belangrijke rol bij het bepalen van het karakteristiek energiegebruik. De keuzes tussen een hoge of lage temperatuursysteem, het type opwekker (HR-ketel, warmtepomp, stadsverwarming) of de warmtapwatervoorziening bepalen in sterke mate de uitkomst van het berekende karakteristiek energiegebruik.

Zo kan bijvoorbeeld voor een lage temperatuursverwarmingssysteem met warmte met lage temperatuur als toevoer gewerkt worden. Afhankelijk van het soort bron dat die warmte moet leveren is er een factor om de efficiëntie van die warmte te verwerken (omzettingsrendement). Zo krijgt bijvoorbeeld een lucht/waterwarmtepomp, die de buitenlucht gebruikt als warmtebron en een temperatuur CV-water onder de 30 graden hoeft op te wekken (wat mogelijk is door betonkernactivering), voor de ruimteverwarming een opwekkingsrendement van 3,9 toegekend<sup>14</sup>. Als dezelfde warmtepomp een temperatuur tussen 50 en 55 graden moet opleveren (wat nodig is met conventionele radiatoren en geen betonkernactivering) is het opwekkingsrendement 3,1. *Door betonkernactivering is in deze situatie een emissiewinst van 20% mogelijk. Deze techniek kan daarmee voor een belangrijk deel bijdrage aan de door de overheid vereiste verlaging van 33% tussen 2011 en 2014 (0,4/0,6).*

<sup>14</sup> Dit betekent dat de warmtepomp met 1 MJ elektriciteit 3,9 MJ warmte kan produceren.



## Referentie-energiegebruik

Het referentie-energiegebruik wordt als volgt berekend:

$$\text{Referentiegebruik} = f_g \times (A_g \times \text{EPC}_{\text{nieuwbouw-eis}}) + f_{ls} \times A_{ls} + f_{\text{start}}$$

$A_g$  staat voor het gebruiksoppervlak en  $A_{ls}$  staat voor het verliesoppervlak van het gebouw. Beide parameters zijn gebouweigenschappen. De  $\text{EPC}_{\text{nieuwbouw-eis}}$  varieert zoals aangegeven in Tabel 17.

De f-waarden zijn vastgestelde waarden in de NEN 7120:2011. Volgens deze norm zijn deze f-waarden als volgt:

- $f_g = 500 \text{ MJ/m}^2$ ;
- $f_{ls} = 65 \text{ MJ/m}^2$ ;
- $f_{\text{start}} = 8.000 \text{ MJ}$ .

Het is mogelijk dat deze f-waarden veranderen als de  $\text{EPC}_{\text{nieuwbouw-eis}}$  wordt bijgesteld in 2014. Dat is nu nog niet bekend.

## Verschil in energiegebruik tussen woningen in 2010 en 2015 volgens de EPC

Om een idee te geven van het effect van de EPC op het referentie-energiegebruik berekenen we het toegestane energiegebruik van een tussenwoning met een gebruiksoppervlak van  $125 \text{ m}^2$  ( $A_g$ ) en een verliesoppervlak van  $200 \text{ m}^2$  ( $A_{ls}$ ), zowel bij een  $\text{EPC} = 0,8$  en een  $\text{EPC} = 0,4$ .

$$\text{EPC} = 0,8: \quad 500 \times (125 \times 0,8) + 65 \times 200 + 8.000 = 71.000 \text{ MJ} \quad (568 \text{ MJ/m}^2).$$

$$\text{EPC} = 0,4: \quad 500 \times (125 \times 0,4) + 65 \times 200 + 8.000 = 46.000 \text{ MJ} \quad (368 \text{ MJ/m}^2).$$

Voor deze voorbeeldwoning betekent een energiebesparing van 36% in 2015, ten opzichte van 2010<sup>15</sup>.

In 2010 zijn er 55.999 nieuwbouwhuizen opgeleverd (CBS, 2011). Dit leidt tot volgende primair energieverbruik door nieuwbouwwoningen in 1 jaar:

$$\text{EPC} = 0,8: \quad 71.000 \text{ MJ} \times 55.999 = 4.000 \text{ TJ} \quad (\text{afgerond}).$$

$$\text{EPC} = 0,4: \quad 46.000 \text{ MJ} \times 55.999 = 2.600 \text{ TJ} \quad (\text{afgerond}).$$

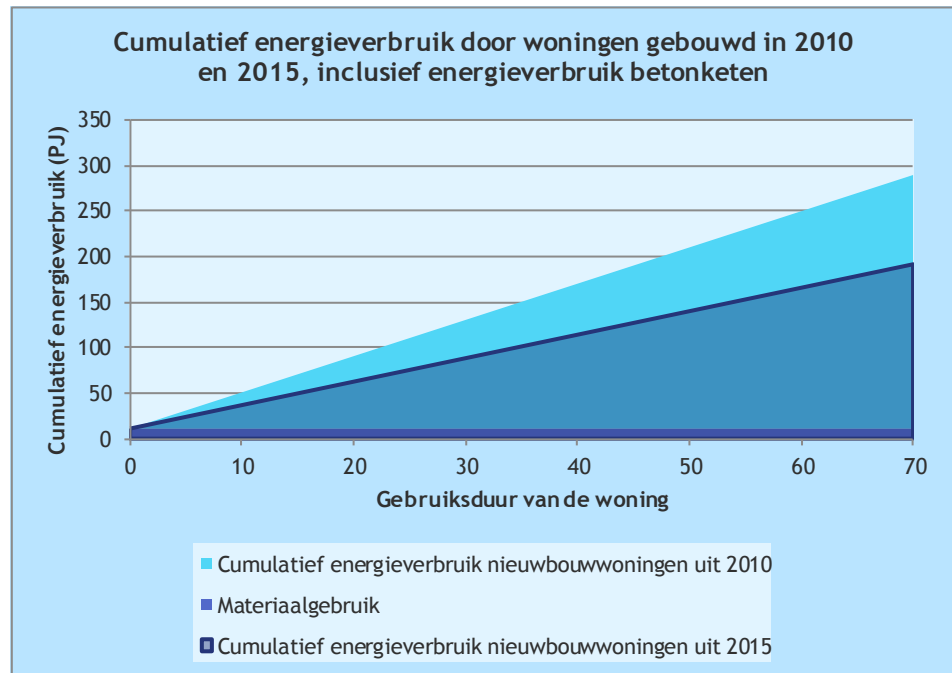
Stel dat er in 2015 evenveel huizen opgeleverd worden en dat deze huizen gemiddeld een vergelijkbare uitstoot hebben met de tussenwoningen uit ons voorbeeld. In dat geval wordt er door de nieuwbouw per jaar *1.400 TJ minder energie verbruikt dan door de nieuwbouw uit 2010*.

Mede door betonkernactivering kan dus een winst van 1.400 TJ behaald worden ten opzichte van de huidige nieuwbouw van woningen. Vergeleken met de primaire energie in de betonketen die kan worden toegerekend aan de woningbouw (Tabel 16) komt 1.400 TJ neer op 25% van de primaire energiebehoefte van de betonketen. Figuur 21 toont hoe dit doorweegt bij jarenlang gebruik van de woningen.

<sup>15</sup> Een halvering van de EPC heeft geen halvering van het energieverbruik tot gevolg aangezien een woning altijd een bepaalde restvraag aan energie heeft. Er is bijvoorbeeld meer ventilatie nodig door betere isolatie en elektriciteitsverbruik door een warmtepomp.



Figuur 21 Verskil in cumulatief energieverbruik door woningen gebouwd in 2010 (EPC 0,8) en 2015 (EPC 0,4)



Te zien is dat een lagere EPC op macroschaal door de jaren heen een behoorlijke daling van het energieverbruik bewerkstelligt (theoretisch). Met een EPC van 0,4 staat het energieverbruik voor materialen ongeveer gelijk aan ruim 2 jaar verwarmen van de huizen. Hoe lager de EPC van een woning, hoe belangrijker materiaalgebruik wordt op de totale levenscyclus van de woning. Zeker als de EPC naar 0 gaat. Naast de focus op het verlagen van het energieverbruik zal ook de focus op het verlagen van de materiaalschade steeds belangrijker worden.

De getoonde winst die behaald wordt door verlaging van de EPC-waarde is een gevolg van een combinatie van verschillende technieken waarmee wordt voldaan aan de EPC-eis: lage temperatuursystemen in combinatie met isolatie. Betonkernactivering kan, maar hoeft daar geen onderdeel van uit te maken, gezien de beschikbaarheid van andere lage temperatuursystemen.

### Klimaatimpact

De verschuiving in klimaatimpact kan niet precies berekend worden, omdat niet bekend is wat de verdeling naar verwarmingssystemen in de toekomst zal worden. Bij het grootschalig implementatie van betonkernactivering en andere verwarmingssystemen die elektriciteit verbruiken, zal de relatieve klimaatwinst lager zijn dan de energiebesparing omdat op dit moment de klimaatemissie van elektriciteit (warmtepomp) nog hoger is dan die van direct van aardgas (HR ketel). Dit komt omdat in de elektriciteit in Nederland mede wordt opgewekt door kolen. Als de hoeveelheid duurzame elektriciteit (wind, zon, biomassa) conform verwachting toeneemt zal het CO<sub>2</sub>-kental van elektriciteit dalen (meer richting het CO<sub>2</sub>-kental voor aardgas).

## **Verschil in energiegebruik in utiliteitsbouw gebouwd in 2010 en 2015 volgens de EPC**

Het toepassen van betonkernactivering is vooral voor utiliteitsbouw een serieuze optie (Betonplatform, 2011), gezien de regelmatige aanwezigheid van personen in het gebouw (wel overdag, niet 's avonds en 's nachts).

Voor utiliteitsbouw (kantoren, scholen, fabrieken, kazernes, ziekenhuizen) verschillen EPC-waarden per gebouwfunctie. Op dit moment is er niet genoeg informatie beschikbaar bij CE Delft om een soortgelijke analyse te kunnen maken voor utiliteitsbouw als gedaan is voor woningen. De benodigde inventarisatie is zodanig uitgebreid dat dit niet meer binnen het huidige project kan vallen.

### **4.3 Cementtype en klinkergehalte**

In Nederland wordt al relatief veel samengestelde cementen gebruikt, waarbij klinker is vervangen door vliegashoudend en/of gegranuleerde hoogovenslak. Dit heeft ertoe geleid dat in Nederland de cementindustrie 1% bijdraagt aan de (man-made) CO<sub>2</sub>-emissie in Nederland, terwijl dit wereldwijd 4 tot 5% is (Cement&BetonCentrum, 2012).

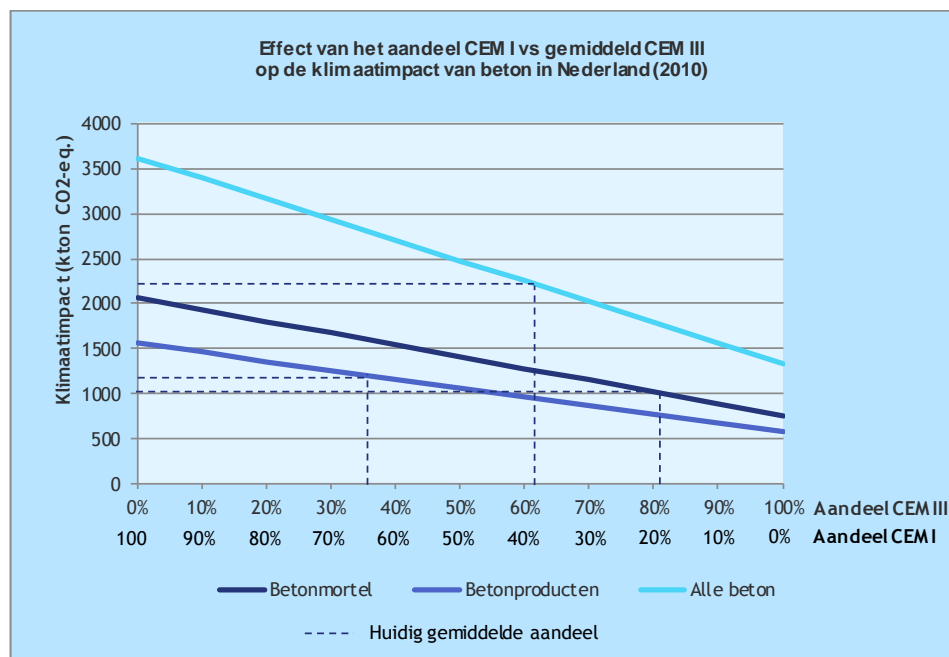
In deze paragraaf wordt onderzocht wat het klimaateffect is van het gebruik van meer cement met laag klinkergehalte versus het gebruik van Portlandcement CEM I. In eerste instantie is dit onderzocht voor de gemiddelde cementmix CEM III, waarmee in deze studie gerekend is. Daarnaast wordt ook gekeken naar het effect van het besparen van CEM I door diverse cementtypen met alternatief klinkergehalte. De resultaten worden gegeven op macroschaal: voor het totaal aan beton dat in Nederland wordt gebruikt, waarbij rekening is gehouden met de samenstelling van beton zoals doorgegeven door de betonmortelbranche VOBN en betonproductbranche BFBN.

#### **4.3.1 Gemiddeld CEM III versus CEM I**

In deze studie is gerekend met de gemiddelde klimaatimpact van CEM III, zoals opgegeven in de CUR-rekentool. Figuur 22 geeft weer hoe de klimaat-impact van betongebruik in Nederland afhangt van het aandeel CEM III dat in Nederland wordt gebruikt. Met deze figuur kan worden berekend hoe de klimaatimpact door betongebruik daalt wanneer er in Nederland meer CEM III in beton wordt toegepast, ten koste van CEM I.



Figuur 22 Klimaatimpact in relatie tot het aandeel CEM I versus het gemiddelde CEM III in Nederland



Figuur 22 geeft ook het huidige aandeel weer van gemiddelde CEM III-gebruik in Nederland voor betonmortel (81%), betonproducten (36%) en het totale betongebruik (62%) (percentages berekend op basis van Tabel 2). Deze percentages zijn berekend aan de hand van de samenstellingen van betontypen en gebruik van verschillende betontypen in diverse toepassingen, zoals aangeleverd door de VOBN en BFBN.

Stel: op landelijk niveau wordt 10% meer CEM III gebruikt dan op dit moment gangbaar is, dan daalt de klimaatimpact met 6%. Dit geldt ook voor de klimaatimpact scores voor betonmortel en betonproducten.

Tabel 18 Verandering in landelijke klimaatimpact van beton bij 10% substitutie van CEM I door gemiddeld CEM III

	Klimaatwinst op landelijk niveau bij 10% meer CEM III	Afname van totale landelijke impact bij 10% meer alternatief cement
Totale hoeveelheid beton	228 kton CO <sub>2</sub> -eq	6%
Betonmortel	130 kton CO <sub>2</sub> -eq	6%
Betonproducten	98 kton CO <sub>2</sub> -eq	6%

#### 4.3.2 Diverse cementtypen versus CEM I

In deze paragraaf wordt dezelfde analyse uitgevoerd als in Paragraaf 4.3.1, maar dan met variabel klinkergehalte in cement.

Zoals ook in de gevoeligheidsanalyse voor betongebruik besproken (Paragraaf 3.3.1) zijn er drie CEM III-typen (A, B en C) die nogal verschillen in klinkergehalte. In Paragraaf 3.3.1 is weergegeven wat de te verwachten range is in klimaatimpact door dit verschil in klinkergehalte in het cement.

Ook in deze paragraaf wordt een analyse uitgevoerd op basis van verschillend klinkergehalte in cement. Allereerst is berekend wat de klimaatimpact van cement is bij verschillende klinkerhaltenes. Dit is als volgt gedaan.

ECRA (2009) rapporteert een klimaatimpact van 0,88 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg Portlandklinker. De impact van de klinker in cement domineert de klimaat-impact van cement: bij Portlandcement (CEM I) is meer dan 99% van de klimaatimpact te wijten aan de klinker. Hoogovenslak heeft een verwaarloosbare klimaatimpact, want een restproduct. Voor cementtypen CEM III is dus de klimaatimpact recht evenredig aan het gehalte Portlandklinker. Dit leidt tot de volgende klimaatimpact voor cement:

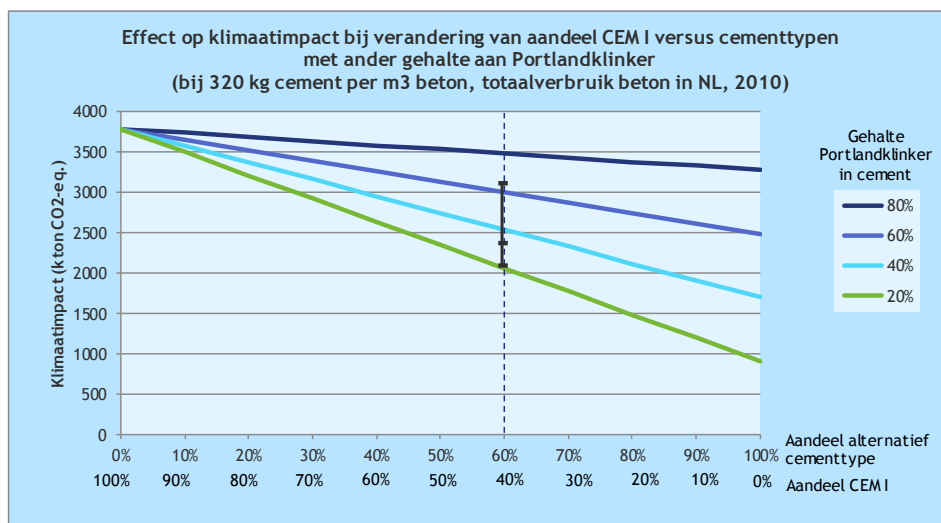
Tabel 19 Enkele cementtypen en de klimaatimpact op basis van klinkergehalte

Cement met klinkergehalte	Klimaatimpact cement (kg CO <sub>2</sub> -eq/kg)
80%	0,70
60%	0,53
40%	0,35
20%	0,18

In deze analyse is geen rekening gehouden met de klimaatimpact van vervangende bestanddelen van cement, anders dan hoogovenslak. Bijvoorbeeld: CEM II-cementtypen, puzzolaancement (CEM IV) en composietcement (CEM V) bevatten andere bestanddelen (cementbouw.nl), die ook een zekere klimaatimpact zullen hebben. De klimaatimpact van alternatieve grondstoffen voor cement is niet inbegrepen in dit onderzoek. Indien de klimaatimpact van alternatieve grondstof beperkt is in vergelijking met Portlandcement, zijn de waarden in Tabel 19 en de resultaten wel ter indicatie te gebruiken voor andere cementtypen. Maar waarschijnlijk ligt de klimaatimpact van die cementtypen iets hoger dan weergegeven in Tabel 19.

Met Figuur 23 kan worden berekend hoe de klimaatimpact door betongebruik daalt wanneer er in Nederland meer CEM III in beton wordt toegepast, ten koste van CEM I.

Figuur 23 Klimaatimpact in relatie tot het aandeel CEM I versus cement met lager klinkergehalte, in Nederland





Uit Figuur 23 valt af te leiden hoe de klimaatimpact van betongebruik in Nederland verandert wanneer wordt gekozen voor een ander cementtype in het beton. Met deze figuur kan worden berekend wat de te verwachten klimaatwinst is op nationaal niveau bij verandering van cementgebruik in beton.

Tabel 20 toont als voorbeeld de verlaging van de landelijke klimaatimpact bij 10% substitutie van CEM I door een ander type cement in beton.

Tabel 20 Verandering in landelijke klimaatimpact van beton bij 10% substitutie van CEM I door cement met lager klinkergehalte

Klinkergehalte in het cement	Klimaatwinst op landelijk niveau bij 10% meer alternatief cement	Afname van totale landelijke impact bij 10% meer alternatief cement
80%	51 kton CO <sub>2</sub> -eq	1%
60%	130 kton CO <sub>2</sub> -eq	3%
40%	209 kton CO <sub>2</sub> -eq	6%
20%	288 kton CO <sub>2</sub> -eq	8%

#### 4.4 De klimaatimpact van klinker

De analyse in Paragraaf 4.3 is gericht op klinker met een klimaatimpact van 0,88 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg klinker. ECRA (2009) rapporteert diverse opties om de klimaatimpact van klinker te reduceren. Omdat het klinkergebruik zo direct doorwerkt op de klimaatimpact van cement, is het relevant om te kijken wat het effect is van een lagere klimaatimpact van klinker op de totale klimaatimpact van betongebruik in Nederland en wat het potentieel is van enkele verbeteropties.

Er is in deze analyse dus uitgegaan van het huidige cementgebruik (huidige verdeling CEM I en gemiddeld CEM III), waarbij alleen de klimaatimpact van het klinker zelf wordt gevarieerd.

Figuur 24 toont het effect van verlaging van de klimaatimpact van klinker op de landelijke klimaatimpact van beton. Gezien het feit dat de CUR-tool een impact van 0,82 kg CO<sub>2</sub> per kg CEM I hanteert, geeft aan dat wellicht de klinker geproduceerd door de ENCI al iets beter scoort dan de 0,88 kg CO<sub>2</sub> per kg die de ECRA aanhoudt.

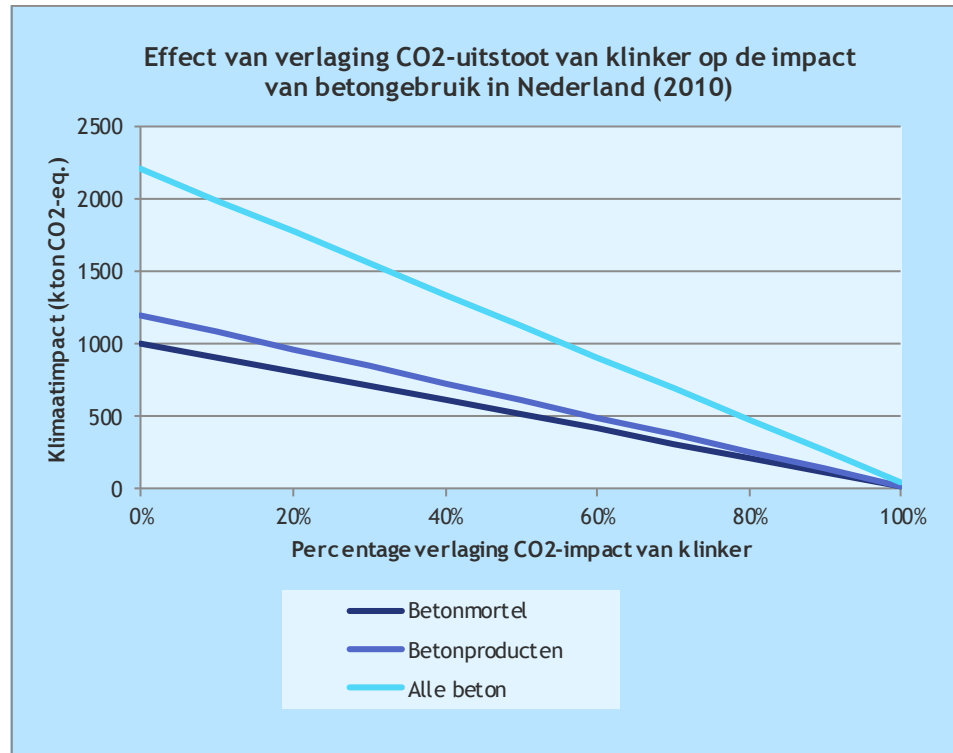
Stel dat de klimaatimpact van alle klinker, die gebruikt wordt in cement in Nederland, wordt verlaagd met 10%, dan daalt de totale klimaatimpact van beton in Nederland met 220 kton CO<sub>2</sub>-eq. Dit komt overeen met een verlaging van 9,4% (geen 10%, omdat beton ook andere bestanddelen dan cement bevat). Daarmee is verlaging van de impact van klinker een zeer effectieve manier om de landelijke impact van beton te verlagen.

Op de totale klimaatimpact van de Nederlandse betonketen (~3.500 kton CO<sub>2</sub>-eq) is de winst geringer: 6% per 10% verlaging van de impact van klinker.

Er is een klein verschil tussen betonmortel en betonproducten omdat de gemiddelde samenstelling van de betontypen iets anders is (aandeel cement, grind, zand, granulaat, etc. (zie Tabel 4)).



Figuur 24 Klimaatimpact in relatie tot verlaging van de CO<sub>2</sub>-emissie van klinker



Het rapport ECRA (2009) is een overzichtsstudie naar verbeteropties in de cementindustrie. Het omvat 33 'technology papers', waarin specifieke maatregelen worden besproken op technische aspecten, verbeterpotentieel (energie en klimaatimpact), kosten en bottlenecks. In een vijftal zogeheten 'state of the art papers' worden de hoofdthema's uitgelicht: de huidige ontwikkelingen en te verwachten ontwikkelingen in de toekomst worden besproken.

In Tabel 21 is een overzicht gegeven van de verbeteropties in ECRA (2009) die tot de grootste CO<sub>2</sub>-reductie leiden. Er zijn daarnaast vele verbeteropties die tot enkele procenten verbetering leiden, deze zijn niet opgenomen in de tabel. Voor bespreking van de verbeteropties en potentie tot implementatie wordt verwezen naar ECRA (2009). Wellicht zijn de kleine verbeteropties op korte termijn beter te realiseren.

De verbeteropties in Tabel 21 staan los van elkaar. Het is mogelijk dat sommige verbeteropties gecombineerd kunnen worden, maar men kan de verbeterpotentiëlen niet zomaar bij elkaar optellen.

Tabel 21 Reductiemaatregelen voor de CO<sub>2</sub>-impact van klinker volgens ECRA, 2009

Maatregelen ter verlaging van impact van 1 ton klinker	Ref. in ECRA, 2009	Mogelijke verlaging kg CO <sub>2</sub> /ton klinker (baseline: 880 kg CO <sub>2</sub> /ton)		Bij volledige implementatie komt dit overeen met een verlaging van	
		Laag	Hoog	Laag	Hoog
Bijstook alternatieve brandstof, waaronder biomassa	Par. 3.10	80	200	9%	23%
Verandering van brandstofmix: olie/petcoke -> olie/gas/biomassa	Par. 3.11	20	50	2%	6%
Verhogen capaciteit oven	Par. 3.12	15	20	2%	2%
Toevoeging van voorverwarmers/roostovens (preheaters/precalciners)	Par. 3.2	80	250	9%	28%
Alternatieve gedecarboniseerde grondstoffen voor klinkerproductie	Par. 3.9		117		13%
Verlaging van lime saturation factor met 10 (normaal: 90 tot 102)	Par. 3.23		40		5%
Laag-carbonaatklinker (belite klinker)	Par. 3.28		60		7%
Diverse technieken met CCS	Par. 3.29 tm 3.33	450	800	51%	91%

Tabel 21 samen met Figuur 24 biedt de werkgroepen binnen de Green Deal Beton een indicatie van de maximale potentiële CO<sub>2</sub>-reductie van verbeteropties op macroschaal (betongebruik in Nederland). Bijvoorbeeld: als alle klinker met een alternatieve brandstofmix wordt geproduceerd kan een maximale reductie van 6% worden bereikt. 6% in Figuur 24 komt overeen met (220x0,6=) 132 kton CO<sub>2</sub>.

De in Tabel 21 genoemde verbeteropties bevinden zich in het gebied tussen 0 en 20%, met twee mogelijke uitschieters naar 23 en 28%, met uitzondering van de opties met CO<sub>2</sub>-afvang en opslag (CCS - carbon capture and storage).

Wel dient men zich te realiseren dat voor het behalen van de verlaging zoals gegeven in Tabel 21 alle klinker in Nederlands cement daaraan moet voldoen. Bijvoorbeeld: als een maatregel 20% verlaging teweeg kan brengen, maar deze is slechts toepasbaar op 5% van alle klinker die gebruikt wordt in cement in Nederland, dan is er in totaal maar 2% verlaging van de klimaatimpact van klinker.

CCS, bijvoorbeeld, is een veelbesproken techniek, waarvoor draagvlak onder de bevolking nodig is wil het succesvol kunnen worden toegepast. De toekomstige ontwikkelingen zijn onzeker. In hoeverre de verbeteropties te realiseren zijn en op welke termijn wordt hier verder niet besproken.



## 4.5 Inzet betongranulaat als cementvervanger

Het betonpuin dat na sloop vrij wordt gehouden van ander steenachtig puin kan op meerdere manieren worden ingezet. Een nieuwe techniek in ontwikkeling, die nog in de experimentele fase is, is het doormalen van het schone betonpuin. Sommige fijne materialen (< 100 µm) afkomstig van beton of andere recycleprocessen zouden bindende eigenschappen bezitten. Van beton is bekend dat de binding van water en cement(korrels) jarenlang doorgaat en de hydratatiegraad met de tijd stijgt. Het onderzoek hiernaar zou kunnen leiden tot een substitutie van een klein deel van het klinkermateriaal bij de productie van cementklinker.

In deze analyse is berekend wat de milieuwinst is wanneer 2% van het betongranulaat wordt doorgemalen. Door de inzet ervan wordt klinker bespaard. De extra benodigde hoeveelheid energie voor het fijnmalen is niet inbegrepen, omdat de benodigde energie niet bekend is. Voor elke MJ die per ton granulaat nodig is vindt een extra CO<sub>2</sub>-emissie plaats van 26,3 kton (bij het doormalen van 2% van het betongranulaat).

Ook is ervan uitgegaan dat nog steeds 2% van het betongranulaat zal worden ingezet in nieuw beton als grindvervanger, maar hiervoor is volgens de net scrap-methode geen extra milieuwinst aan toegekend (zie ook Paragraaf 2.5.2).

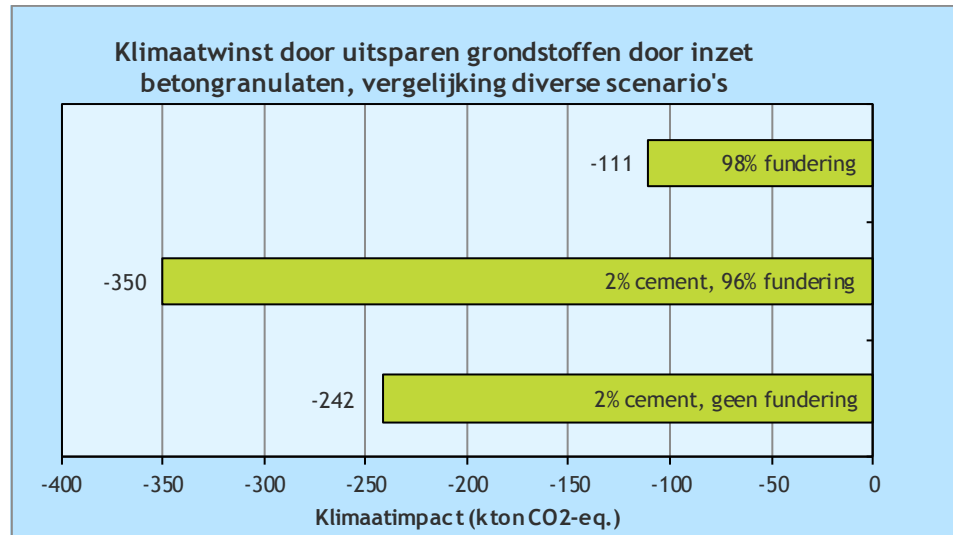
### Resultaat

Aangezien klinker zo'n hoge klimaatimpact heeft, levert besparing van cement door inzet van fijn betongranulaat een aanzienlijke klimaatwinst op ten opzichte van de huidige gangbare inzet van granulaten. Dit wordt getoond in Figuur 25: de klimaatwinst door uitsparing van 2% klinker levert 242 kton CO<sub>2</sub>-winst op, boven de eventueel meegerekende milieuwinst van gebruik van betongranulaat als fundering. Deze varianten zijn zichtbaar gemaakt in de figuur. Ter vergelijking: de totale impact van de betonketen (bij 14 miljoen m<sup>3</sup> betongebruik in 2010) is berekend op bijna 3.500 kg CO<sub>2</sub>-eq; 2% klinkervervanging levert verlaging van 7% van deze score op.

Wel is er energie nodig voor het granuleren, maar het is niet bekend hoeveel en dus niet meegenomen in de getoonde resultaten. Als het granuleren 1 MJ/ton granulaat kost, leidt dit tot een verlaging van de klimaatwinst met 26,3 kton CO<sub>2</sub> op macroschaal.



Figuur 25 Klimaatwinst door inzet van betongranulaat op diverse wijzen



Het doormalen van betongranulaat momenteel nog in experimenteel stadium. Deze analyse toont wat de resultaten zouden zijn als dit werkelijkheid wordt.

#### 4.6 Conclusies verbeteropties voor de betonketen

De hoogste klimaatimpact binnen de betonketen wordt veroorzaakt door het beton zelf. In Hoofdstuk 4 zijn een aantal denkbare verbeteropties doorgerekend die ingaan op het verlagen van de klimaatimpact van beton. De klimaatwinst ten opzichte van de huidige status quo is bepaald, uitgaande van de 14 miljoen m<sup>3</sup> beton die werd gebruikt in de Nederlandse bouw in 2010.

De berekeningen en bijbehorende grafieken als resultaat zijn zodanig opgezet dat de betonbranche er zelf mee aan de slag kan gaan: de betonbranche kan berekenen wat een realistisch potentieel is voor de verbeteropties en vervolgens de bijbehorende klimaatwinst aflezen uit de grafieken. CE Delft gaat in deze studie niet in op het de technische haalbaarheid, de financiële kant van implementatie, tijd en realistisch potentieel.

Aangezien klinker de voornaamste bijdrage levert aan de klimaatimpact van beton zijn verbeteropties gericht op de klinkerproductie zeer relevant: Het verlagen van de impact van klinker heeft direct invloed op de klimaatimpact van beton. Er zijn heel wat verbeteropties denkbaar, zoals ook is gepresenteerd in het rapport van de ECRA in 2009. Veel verbeteropties verlagen de klimaatimpact van betongebruik in Nederland maximaal met enkele tot een tiental procenten, met uitschieters boven de 20%. Sommige, maar niet alle, verbeteropties kunnen naast elkaar worden toegepast. Wanneer ook CO<sub>2</sub>-afvang en opslag wordt toegepast is er een veel hoger maximaal potentieel te behalen. De optie van CO<sub>2</sub> opslag in de ondergrond heeft op dit moment echter een beperkt draagvlak onder de Nederlandse bevolking en de kosten zijn nog vrij hoog (€ 40 tot € 50 euro per ton CO<sub>2</sub>).

Bovenop het verlagen van de klimaatimpact van klinker kan aanvullende klimaatwinst worden behaald door het gebruik van minder cement met hoog klinkergehalte. In Nederland zijn hiermee al grote stappen gezet, maar er is wellicht nog ruimte voor vergroten van het aandeel CEM II, III, IV en V. Door CEM I waar mogelijk te vervangen door een van deze cementtypen kan nog

aanzienlijke klimaatwinst worden behaald. De betonbranche kan met de resultaten zelf bepalen wat haalbaar is en de klimaatwinst aflezen. Bijvoorbeeld: door het vervangen van 10% CEM I door cement met een klinkergehalte van 60%, wordt de klimaatimpact van beton met 3% verlaagd.

### **Betonkernactivering**

Over de gehele levensduur van een gebouw leidt het energieverbruik voor verwarming van het gebouw tot een hogere klimaatimpact dan de bouwmaterialen, transport en bouwprocessen. De bouwconstructie heeft invloed op de energieprestatie van een gebouw, en dus ook het eventuele gebruik van beton. De impact door energieverbruik voor verwarming is echter niet volledig aan de betonketen toe te rekenen: een groot aantal andere factoren spelen ook een rol (isolatie, ontwerp).

Betonkernactivering is een van de verwarmingssystemen waarmee gebouwen met een lage EPC kunnen worden gerealiseerd. Er is berekend wat het energiewinst is die wordt behaald met een lagere EPC, die mede kan worden bereikt door een systeem zoals betonkernactivering. Op de gehele levensduur van een woning blijkt de energiewinst aanzienlijk, ook met het betongebruik en de bouw van de woning in ogenschouw nemend. Betonkernactivering is een goede optie voor het realiseren van energiewinst ten opzichte van de huidige situatie. Deze winst is echter niet volledig toe te rekenen is aan de betonketen omdat ook andere sectoren betrokken zijn bij de implementatie van betonkernactivering.

De klimaatwinst zal niet evenredig met het energieverbruik verminderen, omdat de warmtepompen benodigd voor betonkernactivering op elektriciteit werken, in plaats van aardgas. Dit komt doordat elektriciteit een hogere klimaatimpact per energie-eenheid (MJ) heeft dan aardgas. Hoe lager de EPC van en gebouw wordt, hoe meer men afhankelijk is van elektriciteit.

## **4.7 Aanbevelingen verbeteropties betonketen**

In deze studies zijn slechts een aantal verbeteropties voor betonketen globaal uitgewerkt, waarbij kosteneffectiviteit niet in ogenschouw is genomen. Toch is er aan de hand van de analyse wel een aantal aanbevelingen te doen over verlaging van de milieu-impact van de betonketen en verder onderzoek daarbij.

### *1. Verlaging energiegebruik woningen en kantoren prioriteit*

De klimaatemissie van energiegebruik voor woningen is momenteel veel groter dan de klimaatemissie door de betonketen benodigd om woningen te produceren. Het is de verwachting dat dit ook geldt voor kantoren, hoewel dit in deze studie niet gekwantificeerd is. Het energieverbruik voor verwarming van een woning met lage EPC (0,4) is een stuk lager dan die van een woning met EPC 0,8 (2010). De klimaatwinst kon niet gekwantificeerd worden, maar er is wel een klimaatwinst te verwachten, hoewel niet evenredig met de energiewinst. Ook is geen rekening gehouden met eventuele vermindering of extra gebruik van isolatie.

Het duidt erop dat de sloop van oude, energie-onzuinige kantoren en woningen gerechtvaardigd is als deze worden vervangen door kantoren en woningen volgens de laagste EPC. Dit verschilt echter per geval en daarom is het niet verstandig op macroniveau uitspraken te doen over levensduur en vervanging.

Aanbeveling tot verder onderzoek: het uitwerken van sloop- en nieuwbouwcases waarbij het energiegebruik voor verwarming en de milieu-impact door materiaalgebruik preciezer wordt berekend.



## *2. Verlagen impact van cement en beton*

In de studie is berekend dat effectieve verlaging van de milieu-impact van beton wordt gerealiseerd door duurzame productie van klinker en vermindering van klinkergehalte in cement. Er zijn daarnaast nog meerdere opties tot het verlagen van cement en beton (zoals ook weergegeven in het Stutech/Stufib-rapport).

Aanbevelingen tot verder onderzoek zijn:

- het verder detailleren en segmenteren van verbeteropties voor verlaging van de impact van klinker;
- het doorrekenen van de te verwachte klimaatwinst wanneer voor elke toepassing het minimumcementgehalte wordt bepaald;
- het aanvullen van de opties met kosteninformatie waardoor een afweging te maken is tussen de te verwachten klimaatwinst en te maken kosten.

## *3. Wapening op maat*

Minder wapening in beton verlaagt de klimaatemissie van beton, waarbij rekening dient te worden gehouden met de recyclebaarheid van beton: deze is nu optimaal en als deze achteruit gaat dan stijgt de milieu-impact juist, ondanks dat er misschien minder wapening wordt toegepast.

Aanbevelingen tot verder onderzoek zijn:

- het doorrekenen van de te verwachte klimaatimpact wanneer voor elke toepassing de minimum toelaatbare hoeveelheid wapeningsstaal wordt gebruikt;
- een milieukundige vergelijking van wapeningsstaal versus staalvezel (niet op macroschaal).







# Bronvermelding

## **Betonplatform, 2011**

I. ter Borch, A. Weersink, H. Wapperom  
Thermisch actieve gebouwen - betonkernactivering in vloerconstructie  
BFBN, Cascade, Cement&BetonCentrum, VHB en VOBN, 2011

## **CBS, 2011**

Statistieken woningbouw  
Beschikbaar via: [www.statline.cbs.nl](http://www.statline.cbs.nl)

## **Cement & betoncentrum en VOBN, 2011**

Driejaarlijks onderzoek naar eindverbruik en toepassing Betonmortel en  
Cement in Nederland, 2011

## **Cement&BetonCentrum, 2012**

Roadmap duurzaam cement  
's Hertogenbosch : Cement&BetonCentrum, 2012

## **CE Delft, 2010**

S.M. de Bruyn, M.H. Korteland, A.Z. Markowska, M.D. Davidson, F. de Jong,  
M. Bles, M.N. Sevenster  
Shadow Prices Handbook: Valuation and weighting of emissions and  
environmental impacts  
Delft : CE Delft, 2010

## **CE Delft, 2013**

M.M. Bijleveld, G.C. Bergsma, B.T.J.M. Krutwagen, M.A. Afman, M.E. Head  
Meten is Weten in de Nederlandse Bouw - De milieu-impact van de bouw in  
Nederland en potentiële maatregelen voor verbetering  
Delft : CE Delft, 2013

## **Copernicus Instituut, 2010**

M. Corsten, E. Worrell, A. Van Duin, M. Rouw  
Saving Materials. Een verkenning van de Potentiële Bijdrage van Duurzaam  
Afval en Recyclingbeleid aan Broeikasgasemissiereductie in Nederland  
Utrecht : Copernicus Instituut voor Milieuwetenschappen en Innovatiestudies,  
2010

## **ECRA, 2009**

Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing:  
Trying to Look Ahead  
Düsseldorf : European Cement Research Academy (ECRA), Cement  
Sustainability Initiative (CSI), 2009

## **Intron, 2006**

Scenariostudie BSA-granulaten. Aanbod en afzet van 2005 tot 2025  
Sittard : Intron, 2006

## **Lime, 2010**

Statistische Analyse Fijnstofmetingen  
S.P. Gumaste. A. Di Bucchianico  
Eindhoven : Laboratory for Industrial Mathematics Eindhoven, 2010



**NEA, 2012**

Netherlands fuels and standard CO<sub>2</sub> emission factors, version January 2012  
Nederlandse Emissieautoriteit, 2012

**NEN 7120**

NEN 7120: Energieprestatie van gebouwen - Bepalingsmethode

**SGS Intron, 2012**

LCA van betonmortel  
Sittard : SGS Intron, 2012

**Stutech/Stufib, 2012**

Duurzaamheid als ontwerpcriterium voor beton - toegespitst op CO<sub>2</sub>  
Fase A: state-of-the-art  
Delft : Stutech/Stufib studiecel 61/19 "Duurzaamheid", 2012

**World Steel Association, 2011**

Methodology report. Life cycle inventory study for steel products  
Brussels : World Steel Association, 2011

**Bladen:**

- MRPI-bladen metaal
- MRPI-bladen betonmortel

**Rekentools:**

- CUR-rekentool
- Dubocalc

**Websites:****Cementbouw.nl**

<http://cementbouw.timdm.nl/media/eemsmond/cement.gif>

Geraadpleegd: maart 2013

