Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw

Vergelijking 1990, 2010 en 2017

CE Delft

Committed to the Environment

Klimaatimpact van betongebruik in de Nederlandse bouw

Vergelijking 1990, 2010 en 2017

Dit rapport is geschreven door:
Marijn Bijleveld en Mart Beeftink

Delft, CE Delft, september 2020

Publicatienummer: 20.190417.125

Klimaatimpact / LCA / Beton / Nederland / Bouw / Cement / Klimaatdoelstelling/ Betonakkoord

Opdrachtgever: Rijkswaterstaat
Uw kenmerk: 4300041730

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Marijn Bijleveld (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft
Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Woord vooraf

Dit rapport is het eindresultaat van een onderzoek naar de klimaatimpact van het beton dat in Nederland is toegepast in de jaren 1990, 2010 en 2017. Klimaatimpact is de naam van het milieueffect dat veroorzaakt wordt door de uitstoot van broeikasgassen bij verbranding van fossiele brandstoffen en chemische processen. Het rapport biedt klimaatimpactresultaten voor het gebruik van beton en wapeningsstaal in Nederland, waarbij we alle stappen in de betonketen hebben beschouwd.

Het betreft een studie op macroniveau, uitgevoerd door CE Delft in opdracht van Rijkswaterstaat en in nauwe samenwerking met Betonhuis, branchevereniging van de cement- en betonindustrie. Het is een vervolg op de studie 'Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw' (CE Delft, 2013). Dat rapport onderzocht de status quo anno 2010. De focus van dit onderzoek ligt op de klimaatimpact (en niet ook op andere milieueffecten) en op effect van veranderingen in betongebruik en samenstelling van beton in de genoemde zichtjaren. De studie is dus expliciet geen levenscyclusanalyse van een bepaalde betonnen constructie, zoals een gebouw, gedurende zijn gehele levensduur.

Naast een vergelijkende analyse voor de jaren 1990, 2010 en 2017 biedt de opzet van het onderzoek de mogelijkheid voor toekomstige uitbreiding met meer zichtjaren. Voorwaarde is wel dat i) monitoring blijft plaatsvinden van hoeveelheden en samenstellingen en ii) grondstofproducenten en/of brancheverenigingen met enige regelmaat de milieukundige gegevens van de grondstoffen actualiseren een publiceren (in de Nationale Milieudatabase).

In dit project is CE Delft terzijde gestaan door Henk Schuur van Betonhuis en Mantijn van Leeuwen van het NIBE. Zij leverden de benodigde voorgrondgegevens over hoeveelheden beton — in de vorm van betonproducten en betonmortel — op de markt en de gemiddelde samenstelling daarvan in 1990, 2010 en 2017. Ook leverden zij een actieve bijdrage aan de discussie over welke milieugegevens te gebruiken voor de analyse. Wij danken jullie beiden hartelijk voor al jullie inbreng.

Op de achtergrond hebben Vereniging Wapeningsstaal Nederland en vele bedrijven uit de cement- en betonmortel- en betonproducten, informatie aangeleverd bij Betonhuis. Alle betrokkenen bij Betonhuis, VWN en bedrijven binnen de industrie danken wij hiervoor hartelijk. Zonder jullie input had dit rapport niet tot stand kunnen komen.

Tot slot een woord van dank naar Eize Drenth, van Rijkwaterstaat, voor alle nuttige inbreng aangaande de opzet van het rapport.

Marijn Bijleveld en Mart Beeftink, CE Delft

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	9
	1.1 Aanleiding en doel	9
	1.2 De betonketen	9
	1.3 Afbakening	11
	1.4 Toelichting op betongebruik in Nederland per zichtjaar	12
	1.5 Toelichting op aanpak berekening klimaatimpact	13
2	Inventarisatie van gegevens	16
	2.1 Toelichting op brongegevens voor betongebruik in Nederland	16
	2.2 Gebruik van beton in Nederland, onderverdeeld naar betonmortel en betonproducten	17
	2.3 Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'	18
	2.4 Onderverdeling naar type cement	19
	2.5 Klimaatimpact van de winning en productie van de grondstoffen (Modules A1 en A3)	21
	2.6 Transportafstanden en klimaatimpact van transport	26
3	Resultaten	29
	3.1 Klimaatimpact per m^3 beton exclusief wapeningsstaal (Modules A1-A3)	30
	3.2 Klimaatimpact per m^3 beton inclusief wapeningsstaal (Modules A1-A4)	32
	3.3 Klimaatimpact betongebruik inclusief wapeningsstaal in Nederland (Modules A1-A4)	35
	3.4 Klimaatimpact in breder perspectief: betongebruik, inclusief wapeningsstaal in Nederland (Modules A, C & D)	38
	3.5 Veranderingen op een rij	40
4	Conclusies en aanbevelingen	42
	Bibliografie	44
A	Secundair brandstofgebruik bij cementproductie	46

Samenvatting

Op 10 juli 2018 tekenden zo'n 50 van de grootste spelers het Betonakkoord, om te werken aan verregaande verduurzaming van de betonketen. Naar aanleiding hiervan is de behoefte ontstaan naar de klimaatimpact van de betonketen ten tijde van het Betonakkoord ten opzichte van 1990, het referentiejaar waarop de nationale klimaatdoelen zijn gebaseerd in het Klimaatakkoord van de Nederlandse regering.

In 2013 voerde CE Delft een studie op macroniveau uit naar de milieu-impact van het Nederlandse beton- en wapeningsstaalgebruik voor het zichtjaar 2010. De huidige studie betreft een actualisatie van de klimaatimpact[1] voor het zichtjaar 2017 en een vergelijking met zichtjaar 2010. Ook zijn gegevens achterhaald over zichtjaar 1990. Deze studie beschouwt dus de klimaatimpact van beton- en wapeningsstaalgebruik in de zichtjaren 2017, 2010 en 1990. De studie dient twee doelen:

1. Het vaststellen van de klimaatimpact van de betonketen in Nederland voor het zichtjaar 2017.
2. Inzichten te bieden over hoe en waardoor de klimaatimpact van de betonketen in Nederland in zichtjaar 2017 is veranderd ten opzichte van de zichtjaren 1990 en 2010.

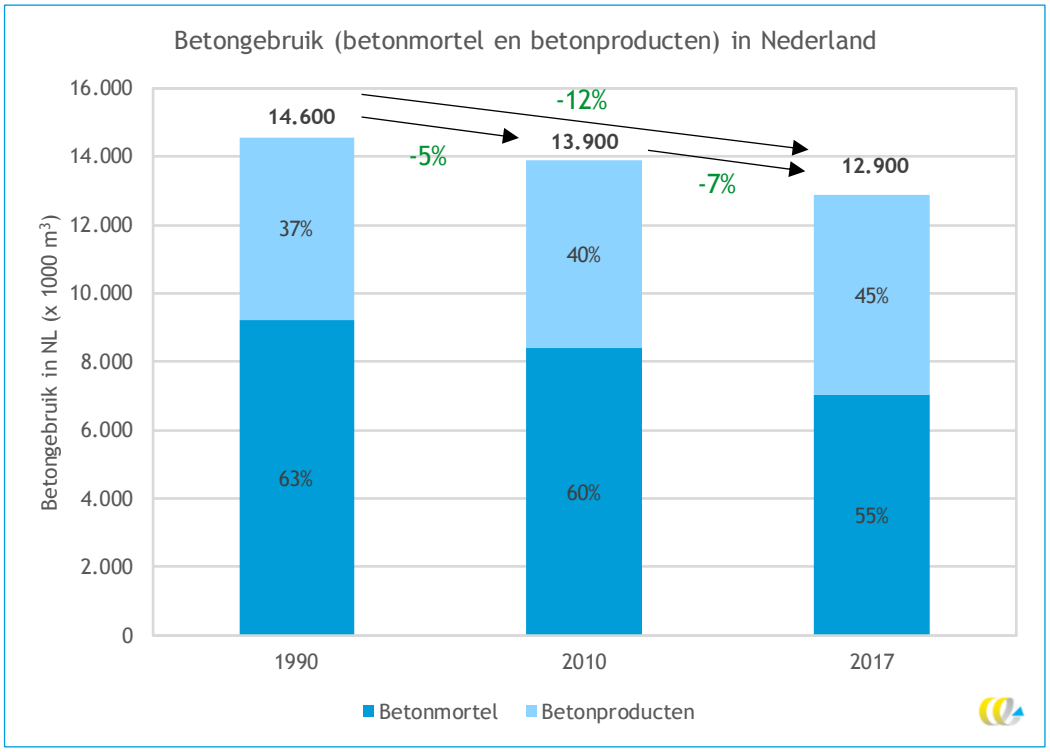
Betonhuis verzamelt jaarlijks gegevens bij haar leden — producenten van cement, betonmortel en betonproducten — over de hoeveelheid geproduceerd beton en cement alsmede de samenstelling van beton. Voor deze studie werd ook de gemiddelde hoeveelheid wapeningsstaal per m^3 betonmortel en betonproducten geïnventariseerd door Betonhuis. Dit heeft Betonhuis aangeleverd aan CE Delft voor analyse voor de zichtjaren 2010 en 2017. De gegevens voor zichtjaar 1990 betreffen een combinatie van beschikbare gegevens en inschattingen door Betonhuis. De belangrijkste door Betonhuis ingewonnen kerngegevens over betongebruik zijn weergegeven in Figuur 1 en Tabel 1.

Het totale betongebruik in Nederland is weergegeven in Figuur 1, opgebouwd door de hoeveelheid betonmortel en betonproducten die zijn gebruikt in de zichtjaren. Het totale betongebruik in 2010 en 2017 ligt lager dan in 1990. Er werd in de drie zichtjaren verhoudingsgewijs iets meer betonmortel dan betonproducten gebruikt, maar het aandeel betonproducten is gegroeid in 2017 ten opzichte van 1990 en 2010.

Tabel 1 bevat de gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'. Het bevat ook de gemiddelde hoeveelheid wapeningsstaal per m^3. 'Beton totaal' betreft het gewogen gemiddelde op basis van betonmortel en betonproducten. Deze samenstellingen zijn fictieve gemiddelde samenstellingen op macroniveau (Nederlands gemiddelde); het representeert niet een daadwerkelijke samenstelling die in de praktijk per m^3 gehanteerd wordt.

[1] Klimaatimpact is de naam van het milieueffect dat veroorzaakt wordt door de uitstoot van broeikasgassen. Koolstofdioxide (CO_2) is het bekendste broeikasgas. Andere broeikasgassen zijn methaan (CH_4), koolmonoxide (CO), stikstofdioxide (N_2O) en CFK's. Het effect van de broeikasgassen wordt uitgedrukt in kg CO_2-equivalenten.

Figuur 1 - Betongebruik (betonmortel en betonproducten) in Nederland (Betonhuis, 2020)



Tabel 1 - Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en beton totaal toepassing in Nederland

	Betonmortel (kg/m³)			Betonproducten (kg/m³)			Beton totaal (kg/m³)		
Grondstof	**1990**	**2010**	**2017**	**1990**	**2010**	**2017**	**1990**	**2010**	**2017**
Zand	--	787	790	--	870	884	820	820	833
Grind/steenslag	--	1.034	1.017	--	993	878	1.056	1.018	954
Betongranulaat	--	40	60	--	53	74	7	45	66
AEC-granulaat	--	0	0	--	0	31	0	0	14
CEM I	--	67	59	--	166	174	117	106	111
CEM II	--	9	12	--	7	37	23	8	24
CEM III/A*	--	0	5	--	80	94	0	32	46
CEM III/B*	--	235	222	--	49	5	185	161	123
CEM V	--	1	12	--	11	0	0	5	7
Poederkoolvliegas	--	6	26	--	16	5	10	10	17
Hoogovenslak*	--	0	15	--	0	3	0	0	9
Kalksteenmeel	--	0	0	--	36	38	0	14	17
Water	--	167	165	--	106	128	143	143	148
Totaal	**--**	**2.346**	**2.384**	**--**	**2.386**	**2.352**	**2.360**	**2.362**	**2.369**
Wapeningsstaal**	--	50	50	--	35	35	44	44	43

* *CEM III/A en III/B bestaan deels uit hoogovenslak. De rij 'hoogovenslak' representeert het additionele hoogovenslak in beton, niet in het cement.*

** *Wapeningsstaal is los van het totaal weergegeven omdat het technisch geen onderdeel van de betonmix zelf is.*

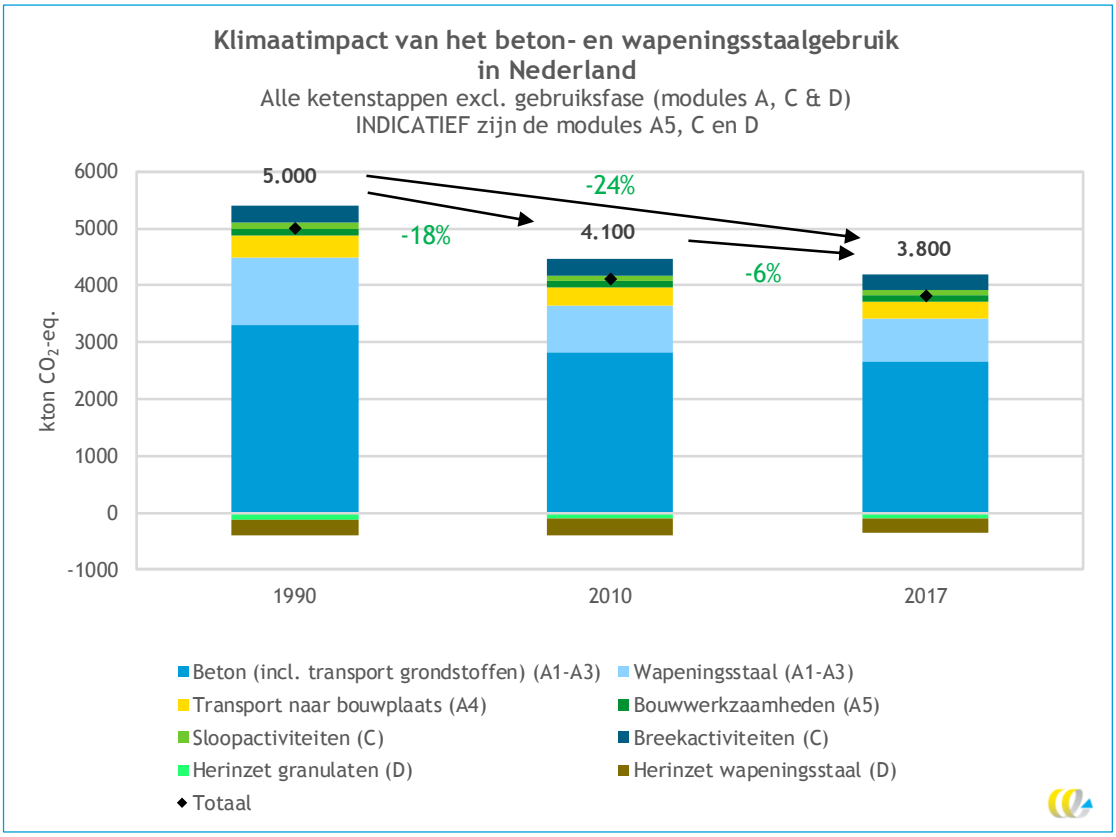
De selectie van milieukundige achtergrondgegevens is zodanig dat de resultaten tussen de verschillende jaren goed vergelijkbaar en verklaarbaar zijn. Binnen een grondstof hanteren we één milieukundige dataset als basis voor de drie zichtjaren (1990, 2010 en 2017). Voor alle cementtypen en wapeningsstaal is vervolgens differentiatie toegepast naar de drie zichtjaren 1990, 2010 en 2017 op basis van bronnen over (de efficiëntie van) productie van klinker (voor cement) en wapeningsstaal. Ook voor transport is differentiatie van de klimaatimpact naar de drie zichtjaren toegepast.

Naast de productie van grondstoffen, beton (-mortel en –producten) en wapeningsstaal is transport van grondstoffen en transport naar de bouwplaats in detail bepaald. De overige levenscyclusfasen — bouwwerkzaamheden, sloopwerkzaamheden, finale afvalverwerking en recycling — zijn indicatief bepaald (zie kader). De gebruiksfase (B) is buiten beschouwing gelaten.

De resultaten voor de ketenstappen bouwwerkzaamheden, sloopwerkzaamheden, finale afvalverwerking zijn tot stand gekomen door de klimaatimpactfactoren van deze ketenstappen, bepaald in een eerdere studie (CE Delft, 2013), toe te passen op de totale hoeveelheid gebruikt beton en wapeningsstaal in de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. Het actualiseren van deze cijfers vormde geen onderdeel van het onderzoek. De resultaten voor de zichtjaren 1990 en 2017 zijn zodoende **indicatief.**

De klimaatimpact van het betongebruik en wapeningsstaal in Nederland is in Figuur 2 weergegeven. Het betongebruik in Nederland is bepaald uit het gewogen gemiddelde voor betonmortel en betonproducten, in dit rapport ‘beton totaal’ genoemd.

Figuur 2 - Klimaatimpact van het beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland; afbakening: alle ketenstappen exclusief gebruiksfase (Modules A, C & D)



De klimaatimpact in zichtjaren 2010 en 2017 ligt lager dan in zichtjaar 1990. De daling voor zichtjaar 2010 is in de orde van 18%; voor zichtjaar 2017 in de orde van 24% ten opzichte van 1990. De daling heeft de volgende oorzaken:

- De klimaatimpact per ton klinker daalde. In 1990 was de klimaatimpact 11% hoger dan in 2017; in 2010 was de klimaatimpact 5% hoger dan in 2017. Oorzaken zijn de toepassing van minder CO_2-intensieve technieken en verhoogd aandeel van biomassa en fossiel afval voor energievoorziening bij de klinkerproductie.
- De klimaatimpact per ton wapeningsstaal daalde. In 1990 lag de klimaatimpact zo'n 33% hoger dan in 2017 (World Steel, 2019).
- Er was in Nederland minder betongebruik in 2010 en 2017 dan in 1990 (resp. 5% en 12% minder dan in 1990);
- De klimaatimpact van transport per vrachtwagen per tonkilometer daalde met 22% in 2010 t.o.v. 1990 en met 25% in 2017 t.o.v. 1990 (CBS, 2020).

Stel dat het betongebruik in Nederland voor het zichtjaar 2017 gelijk zou worden gesteld aan 1990, zie Figuur 1, dan zou de daling in klimaatimpact t.o.v. 1990 ongeveer 13% betreffen[2] in plaats van 24%. Kortom, 11% van de daling (24%-13%) komt dus door minder betongebruik. De daling van 13% komt door de overige oorzaken, genoemd in bovenstaande opsomming.

[2] Zie de getallen in Figuur 1 en Figuur 2: 3.800/12.900*14.600 levert een (fictieve, geschaalde) klimaatimpact van 4.330 kton CO_2-eq. Dit is een afname van 13% t.o.v. 5.000 kton CO_2-eq. in 1990.

De daling in klimaatimpact van 'beton totaal' in 2017 ten opzichte van 2010 is echter minder sterk dan men zou denken op basis van het afgenomen betongebruik, want:

- Er werd relatief meer betonproducten (prefab) gebruikt dan betonmortel. Betonproducten bevatten verhoudingsgewijs meer CEM I dan betonmortel. CEM I heeft van alle cementtypen de hoogste klimaatimpact.
- De klimaatimpact per ton wapeningsstaal nam niet verder af, of preciezer gezegd: er vond geen verdere energie-efficiënte van wapeningsstaalproductie plaats (World Steel, 2019).

De klimaatimpact per m^3 'beton totaal' was nagenoeg gelijk in zichtjaren 2010 en 2017 (niet getoond in een figuur). De klimaatimpact per m^3 mortel en per m^3 betonproduct (gemiddeld in Nederland) daalde elk wel, maar een m^3 betonproduct heeft een hogere klimaatimpact dan een m^3 betonmortel. Het gelijkblijvend resultaat per m^3 beton komt omdat er in 2017 verhoudingsgewijs meer betonproducten werden geproduceerd dan betonmortel in 2010.

Fabrikanten van betonproducten gebruiken relatief veel CEM I omdat het sneller uithardt dan CEM II, III en V. Dit heeft te maken met de doorlooptijd van één dag, waar de fabrieken op zijn afgestemd. Door het gebruik van sneller uithardend cement in betonproducten is de impact per m^3 betonproduct relatief hoog. Dus ondanks de inspanningen van de klinkerproducenten om de klimaatimpact van (klinker in) cement te verlagen, zorgt het verhoogd gebruik van betonproducten ervoor dat de klimaatimpact per m^3 beton (gewogen gemiddelde van betonproducten en betonmortel) niet verder daalde, in 2017 ten opzichte van 2010. Als betonproducenten CEM I vaker zouden vervangen door cement met een lager klinkergehalte, dan zou de klimaatimpact van het jaarlijks betongebruik in Nederland verder kunnen dalen.

De hogere klimaatimpact van een m^3 betonproducten in vergelijking met betonmortel is een aandachtspunt voor de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire economie. Prefab betonproducten zijn eenvoudiger te hergebruiken dan in situ gestort betonmortel. De trend dat betonproducten meer en meer wordt gebruikt ten koste van betonmortel zou daarom kunnen doorzetten. Dit zou verdere verhoging per m^3 beton (gemiddeld) kunnen opleveren, maar het kan ook voordelen opleveren:

- hergebruik van betonproducten levert een hogere klimaatwinst op dan recycling van materialen;
- in sommige toepassingen hebben betonproducten minder beton nodig dan betonmortel, waardoor het totale gebruik van beton in Nederland lager blijft.

Deze studie beoogt niet om betontoepassingen te vergelijken. Bij een vergelijking op productniveau kunnen bovenstaande zaken wel afgewogen worden.

De kwaliteit en compleetheid van gegevens zijn van cruciaal belang voor een onderzoek zoals deze. De gehanteerde aanpak is wat Betonhuis, NIBE en CE Delft betreft de meest robuuste aanpak mogelijk voor de vergelijkende analyse. We raden aan om deze studie in de toekomst uit te breiden met een vierde jaarreeks en deze ter vergelijking naast 1990, 2010 en 2017 te zetten. Hiervoor is benodigd:

- continuering van dataverzameling over hoeveelheden en samenstelling door Betonhuis en Vereniging Wapeningsstaal Nederland (VWN);
- regelmatige updates van de milieukundige datasets van cement, wapeningsstaal en (idealiter) de andere primaire grondstoffen voor beton.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Op 10 juli 2018 tekenden zo'n 50 van de grootste spelers het Betonakkoord onder leiding van MVO Nederland, waarbij wordt gesteld: “Elk jaar komt er in Nederland 15 miljoen m^3 nieuw beton bij, en producenten, opdrachtgevers en aannemers spreken vanaf nu af om vergaand samen te werken aan duurzaamheid, van 100% recycling van materialen tot forse verlaging van de CO_2-uitstoot[3].” Naar aanleiding hiervan is de behoefte ontstaan naar de klimaat-impact van de betonketen ten tijde van het Betonakkoord ten opzichte van 1990, het referentiejaar waarop de nationale klimaatdoelen zijn gebaseerd in het Klimaatakkoord van de Nederlandse regering.

In 2013 voerde CE Delft een studie uit naar de milieu-impact van de Nederlandse beton-keten op macroniveau voor het jaar 2010 (CE Delft 2013). De gegevens en resultaten daarvan werden ook gebruik in het rapport ‘Meten is weten in de Nederlandse Bouw’ (CE Delft, 2014) dat in opdracht van Bouwend Nederland werd uitgevoerd. Aanleiding van de studie naar de betonketen was het afronden van de Green Deal “Verduurzaming betonketen”. In die studie werd onderscheid gemaakt tussen betonmortel (gestort op locatie) en als betonproduct (*prefab*), inclusief toegepast wapeningsstaal.

Bij Rijkswaterstaat is nu dus de behoefte ontstaan aan een actueel inzicht in de klimaat-impact van de betonketen. Als zichtjaar hanteren we 2017 omdat dit het meest recente jaar is waarover statistieken over hoeveelheden, gebruik en samenstelling van betonmortel en betonproducten in Nederland volledig beschikbaar zijn. Rijkswaterstaat heeft CE Delft opdracht gegeven om de actualisatie en vergelijkende analyse uit te voeren.

Deze studie dient twee doelen:
1. Het vaststellen van de klimaatimpact van de betonketen in Nederland voor het jaar 2017.
2. Inzichten te bieden over hoe en waardoor de klimaatimpact van de betonketen in Nederland in 2017 is veranderd ten opzichte van de jaren 1990 en 2010.

De studie is dus geen volledige update van het rapport uit 2013 van CE Delft. De focus ligt nu op klimaatimpact, waar eerder ook fijnstofvorming en primair energieverbruik als indicatoren werden beschouwd. De reden hiervoor is dat klimaatimpact beleidsmatig de dominante milieu-indicator is. Ook de resultaatweergave is anders van opzet, omdat het nu gaat om een vergelijkende studie van verschillende zichtjaren.

1.2 De betonketen

In de bouw worden zowel betonmortel gebruikt als prefab betonproducten. Betonmortel wordt met truckmixers naar de bouwplaats vervoerd en ter plekke verwerkt; beton-producten worden in bekisting in een fabriek vervaardigd en vervolgens vervoerd naar de bouwplaats waarna de constructie uit de producten wordt opgebouwd.

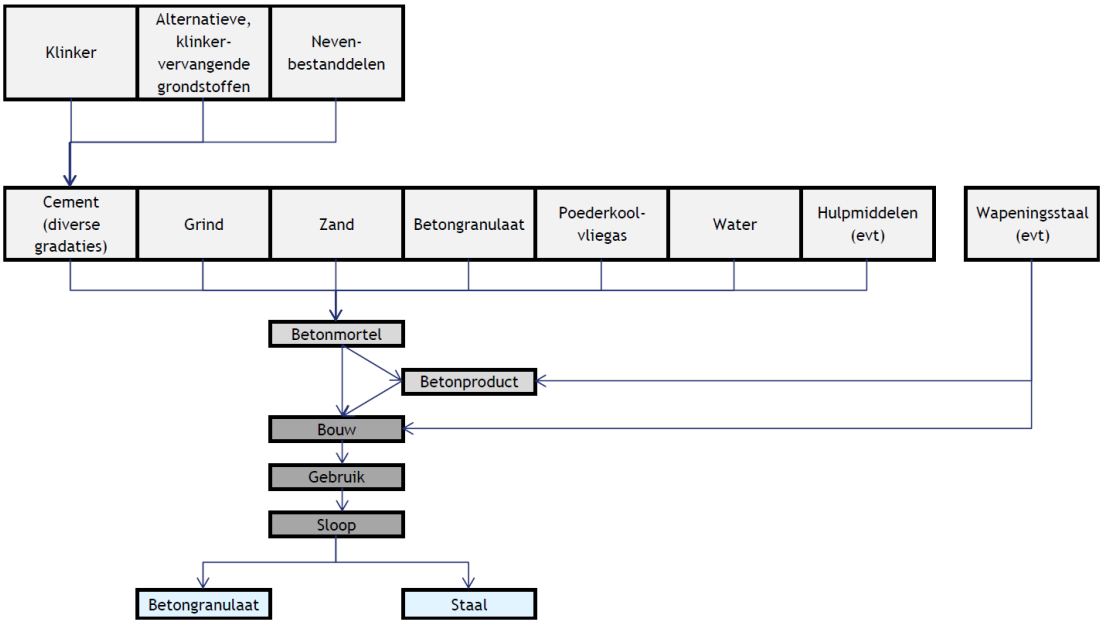
[3] Bron: https://www.mvonederland.nl/bouwsector-kiest-onherroepelijk-voor-de-toekomst-4-ministeries-en-50-bouwbedrijven-tekenen-betonakkoord-o-l-v-mvo-nederland/

Beton, in de vorm van mortel en of producten, wordt gebruikt in vele toepassingen in de grond-, weg- en waterbouw, woningbouw en utiliteitsbouw, agrarische bouw en spoorwegen. De betonsamenstelling wordt toegespitst op de toepassing, waarbij al dan niet wapening wordt toegevoegd. Aan toepassingen zoals vloeren, funderingen of betontegels worden bepaalde eisen gesteld. De keuze van het cementtype is afhankelijk van de gewenste eigenschappen in productie en gebruik. Afhankelijk van de eisen en mogelijkheden varieert het cementgehalte, het type cement, de hoeveelheid en type toeslagmiddelen. In constructieve toepassing wordt wapening toegevoegd.

Beton wordt samengesteld uit cement, toeslagmaterialen zoals zand en grind, water en eventuele vul- en hulpstoffen.

Figuur 3Figuur 3 toont een schematische, vereenvoudigde weergave van de stappen in de betonketen, waarbij betonmortel, betonproducten en wapeningsstaal als bouwmaterialen worden onderscheiden. Tussen de stappen vindt transport plaats (niet weergegeven).

Figuur 3 - Schematische weergave stappen van de betonketen



Cement is het bindende element in beton. De cement- en betonindustrie zijn nauw met elkaar verweven. Volgens Betonhuis wordt het overgrote deel van het in Nederland gebruikte cement wordt verwerkt in beton (Betonhuis 2020). Cement wordt ook gebruikt in metselmortel, vloerspecie en voor zandcement-stabilisatie. Deze toepassingen vormen geen onderdeel van deze studie aangezien deze studie zich alleen richt op betongebruik.

1.3 Afbakening

De SBK Bepalingsmethode (SBK, 2014) onderscheidt de diverse ketenstappen van een levenscyclus in vier modules: A t/m D, zie ook Figuur 4. De focus van de studie ligt met name op de gevolgen voor de klimaatimpact van verandering in hoeveelheid gebruikt beton en de veranderende betonsamenstelling (Modules A1 en A3). Deze veranderingen hebben ook directe invloed op de klimaatimpact van transport van ruwe grondstoffen (Module A2) en transport naar de bouwplaats (Module A4).

Daarnaast doen we een indicatieve beschouwing van de Modules A1 t/m A4 ten opzichte van de overige modules — bouwwerkzaamheden (Module A5), sloop, opwerking en finale afval-verwerking (Module C) en milieubaten door recycling (Module D). Gebruik (Module B) laten we buiten beschouwing omdat onderhoud in de gebruiksfase zeer specifiek is voor de toepassing. Veel toepassingen zullen geen onderhoud kennen en als onderhoud optreedt heeft dit naar verwachting een te verwaarlozen klimaatimpact.

Om alle gevolgen van verandering in samenstelling en hoeveelheid optimaal weer te geven en te kunnen bespreken (in Hoofdstukken 3 en 4) hebben we de analyse in vier stappen opgedeeld, waarbij we het onderwerp en de afbakening steeds iets uitbreiden. Dit is weergegeven in Tabel 2 en in Figuur 4.

Tabel 2 - Opzet studie in vier stappen

Stap	Onderwerp van analyse	Afbakening van de analyse; modules volgens (SBK, 2014)
1	1 m^3 'beton': betonmortel, -producten en beton totaal, exclusief toegepast wapeningsstaal	**Modules A1-A3**: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3).
2	1 m^3 'beton': betonmortel, -producten en beton totaal, inclusief toegepast wapeningsstaal	**Modules A1-A4**: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).
3	De totale hoeveelheid betonmortel, -producten en beton totaal in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal	**Modules A1-A4**: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).
4	De totale hoeveelheid betonmortel, -producten en beton totaal in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal	**Modules A, C & D** (alle ketenstappen met uitzondering van gebruik (B).

Figuur 4 - Niveaus: onderwerp en scope volgens de Modules A-D van (SBK, 2014)

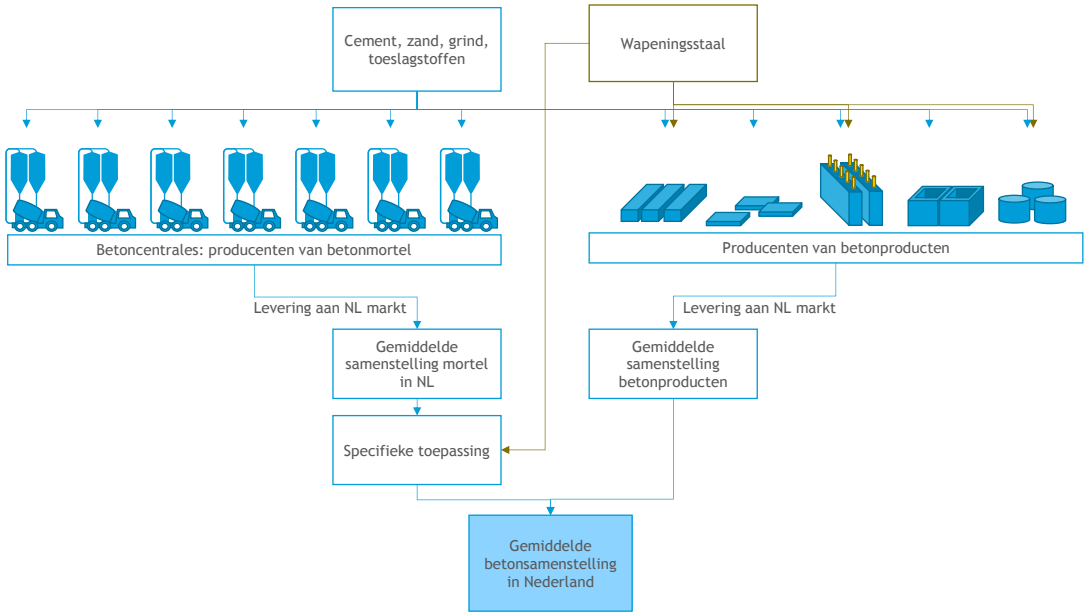
1.4 Toelichting op betongebruik in Nederland per zichtjaar

Betonhuis verzamelt jaarlijks gegevens bij haar leden — producenten van cement, beton-mortel en betonproducten — over de hoeveelheid geproduceerd mortel en betonproducten alsmede de samenstelling van de mortel en de producten. Bij betonproducten is bekend of en hoeveel wapeningsstaal daarin is gebruikt. Betonmortel zelf bevat geen wapeningsstaal; deze vormen tezamen op de bouwplaats een geheel.
De hoeveelheid toegepast betonmortel en betonproducten in m^3 en de samenstelling daarvan werd voor deze studie vastgesteld door Betonhuis, per zichtjaar (1990, 2010 en 2017). Daaruit is het betongebruik in Nederland per zichtjaar berekend.

Het totale betongebruik in Nederland per zichtjaar is de optelsom van het gebruik van betonmortel en -producten in Nederland (Figuur 1). Afhankelijk van de toepassing wordt wapeningsstaal toegevoegd.

Het processchema in Figuur 5 toont de wijze waarop het gebruik van betonmortel en betonproducten in Nederland wordt bepaald. Het betreft gemiddelden van brongegevens van de leden van de sectoren van Betonhuis. In Hoofdstuk 2 gaan we dieper in op de informatieverzameling en bronnen.

Figuur 5 - Schematisch overzicht: vaststellen gemiddelde samenstelling van betonmortel en betonproducten in Nederland



1.5 Toelichting op aanpak berekening klimaatimpact

Klimaatimpact is de naam van het milieueffect dat veroorzaakt wordt door de uitstoot van broeikasgassen. Broeikasgassen komen bij elke stap in de keten vrij bij de verbranding van fossiele brandstoffen (voor transport en voor energieopwekking voor grondstofwinning en productieprocessen). Bij de productie van klinker uit kalksteen komt CO_2 vrij bij de chemische reactie. Koolstofdioxide (CO_2) is het bekendste broeikasgas, daarom wordt de klimaatimpact uitgedrukt in kg CO_2-equivalenten. Andere broeikasgassen zijn methaan (CH_4), koolmonoxide (CO), stikstofdioxide (N_2O) en CFK's. Bij de berekening van de klimaatimpact in CO_2-equivalenten wordt hun bijdrage aan het broeikaseffect gerelateerd aan het broeikasgaseffect van CO_2. Hiervoor hanteren we de internationale impactanalysemethode 'IPCC GWP 2013 100a' (IPCC, 2014).

Om de gegevens van Betonhuis (zie Paragraaf 1.3) voor betonmortel en betonproducten te vertalen naar de klimaatimpact ervan is informatie nodig over de uitstoot van broeikasgassen:

- bij grondstofwinning en productie, voor alle grondstoffen en wapeningsstaal;
- door inzet van vervoersmiddelen;
- bij productie van energiedragers (benodigd voor productie van betonmortel en betonproducten).

Milieukundige informatie waarmee de klimaatimpact kan worden berekend, is beschikbaar in databases, zoals de Nationale Milieudatabase en de Ecoinvent database en via brancheverenigingen.

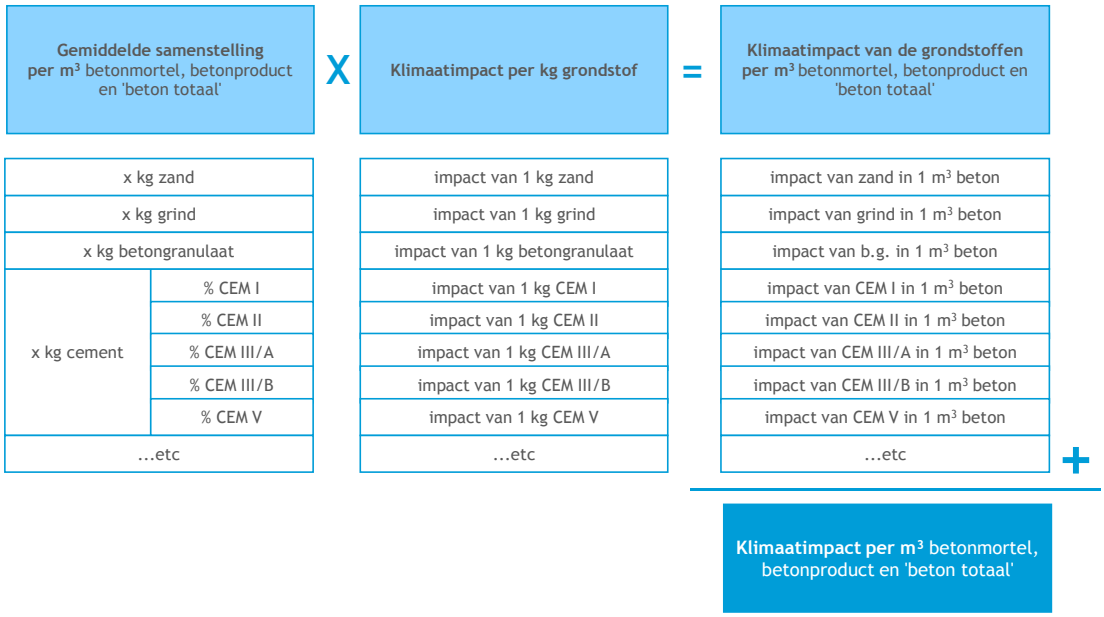
De grote uitdaging van deze studie was om de meest geschikte milieukundige informatie te selecteren, die recht doet aan de vergelijking van de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. Rond 1990 werd zelden een levenscyclusanalyse (LCA) uitgevoerd. En als levenscyclusanalyse werd uitgevoerd, dan vaak met een andere nauwkeurigheid en/of op een ander detailniveau

dan tegenwoordig. Er bestonden nog geen internationale standaarden (ISO, EN15804) of milieudatabases zoals de Nationale Milieudatabase en Ecoinvent database. Daarnaast zijn er lang niet altijd updates beschikbaar van de milieukundige informatie gebruikt in (CE Delft, 2013).

Daar waar het mogelijk bleek hebben we differentiatie toegepast van de milieukundige informatie naar de drie zichtjaren 1990, 2010 en 2017. Het uitgangspunt is daarbij om de vergelijking tussen de jaren zo eerlijk mogelijk te houden.

Om de klimaatimpact te berekenen koppelen we de hoeveelheden grondstoffen, vervoersmiddelen en energiedragers aan hun milieu-informatie. Figuur 6 toont het rekenschema weergegeven voor de berekening van de klimaatimpact per m^3 betonmortel en -producten in Nederland voor een bepaald zichtjaar. 'Beton totaal' per m^3 representeert de uitkomst berekend uit het gewogen gemiddelde per m^3 betonmortel en -producten.

Figuur 6 - Rekenschema voor berekening van de klimaatimpact



Op een soortgelijke manier wordt de klimaatimpact van de hoeveelheid wapeningsstaal berekend per m^3 (betonmortel, betonproducten en 'beton totaal') en de klimaatimpact van de transportbewegingen. Voor wapeningsstaal gaat het om de klimaatimpact per kg staal gekoppeld aan de gemiddelde hoeveelheid wapeningsstaal per m^3. Voor transport gaat het om de impact van een vervoersmiddel uitgedrukt in 'tonkilometers' gekoppeld aan de vervoerde massa (ton) en de transportafstand (kilometers).

In deze studie wordt het gebruik van betonmortel en betonproducten in Nederland bepaald. Het betreft een gemiddelde waarde voor ieder van alle potentieel mogelijke grondstoffen waaruit betonmortel en betonproducten zijn samengesteld. Dit impliceert bijvoorbeeld dat het gemiddelde van betonmortel verschillende typen cement bevat hoewel dit in de praktijk niet voorkomt. De termen betonmortel en betonproducten zijn in deze studie niet te verwisselen met eindproducten maar duiden op gebruikshoeveelheden die in betonmortel of betonproducten kunnen voorkomen.

Deze studie poogt niet om de absoluut ware klimaatimpact te berekenen in ieder jaar, maar wil een eerlijke vergelijking mogelijk maken tussen de zichtjaren 1990, 2010 en 2017.

2 Inventarisatie van gegevens

In dit hoofdstuk wordt uitleg gegeven over de informatie die ten grondslag ligt aan de klimaatimpactberekeningen en de bronnen die aan de informatie ten grondslag liggen. Per stap in de betonketen (zie Figuur 3) wordt besproken:

1. De geïnventariseerde gemiddelde hoeveelheden betonmortel en betonproducten per zichtjaar en samenstellingen daarvan per m^3.
2. De milieukundige achtergrondgegevens die zijn gebruikt voor de berekening van de klimaatimpact.

De opbouw van dit hoofdstuk is als volgt:

- Paragraaf 2.1: algemene toelichting op de brongegevens over betongebruik in Nederland (betonmortel en betonproducten).
- Paragraaf 2.2: het totaalgebruik van beton in Nederland per zichtjaar, uitgesplitst naar betonmortel en betonproducten.
- Paragraaf 2.3: gemiddelde samenstelling per m^3 betonmortel, m^3 betonproducten en het gewogen gemiddelde 'beton totaal'.
- Paragraaf 2.4: details over de onderverdeling naar cementtype.
- Paragraaf 2.5: de milieukundige achtergrondgegevens van grondstoffen.
- Paragraaf 2.6: transportafstanden en milieukundige achtergrondgegevens van transportmiddelen.

2.1 Toelichting op brongegevens voor betongebruik in Nederland

De hoeveelheden toegepaste betonmortel, betonproducten in Nederland en de gemiddelde samenstelling per m^3 betonmortel en betonproducten per zichtjaar (1990, 2010 en 2017) zijn voor deze studie geleverd door Betonhuis, branchevereniging van de cement- en betonindustrie. Bij Betonhuis zijn ruim 100 leden geregistreerd, onderverdeeld in diverse sectoren:

- betonproducenten (BPN) (54);
- constructief prefab (20);
- betonmortel (betoncentrales) (16);
- bestrating (9);
- cement (4);
- stenen en blokken (3);
- riolering (3).

Het betreft hier zowel producenten in Nederland als producenten in het buitenland die hun producten in Nederland leveren.

De sector cement van Betonhuis maakt inschattingen van het totale cementvolume op de Nederlandse markt en onderverdeling naar cementtype op basis van brondata van en voor haar leden. Deze bedrijfsspecifieke data zijn niet openbaar. De cementvolumes van de leden en vormen ongeveer driekwart van het totaal en zijn betrouwbaar. De resultaten worden op de website van Betonhuis gepubliceerd.

De hoeveelheid geproduceerde betonmortel in Nederland en de samenstelling daarvan wordt maandelijks door de sector 'betonmortel' van Betonhuis bijgehouden.

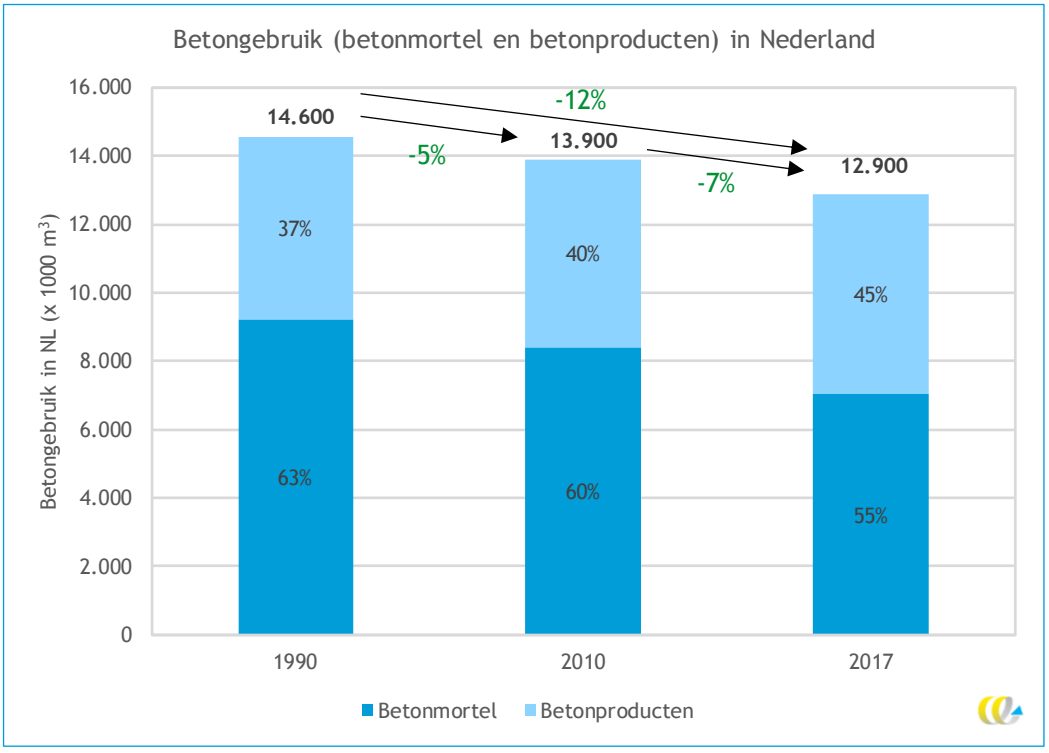
De hoeveelheid geproduceerde betonproducten en samenstelling daarvan in Nederland worden ingewonnen door de sector ‘prefab’ van Betonhuis. De gegevens dekken ongeveer 70% van de leveranciers voor de Nederlandse markt. De overige 30% zijn middels extrapolatie bepaald.

De gegevens afkomstig van het Betonhuis hebben een hoog zekerheidsgehalte, hoewel de extrapolatie een kleine onzekerheid introduceert. De opgave van brongegevens door de leden verloopt deels via een externe accountant maar er vindt geen controle op de aangeleverde gegevens plaats.

2.2 Gebruik van beton in Nederland, onderverdeeld naar betonmortel en betonproducten

Figuur 7 toont de hoeveelheid beton die werd gebruikt in Nederland in 1990, 2010 en 2017. De hoeveelheid is door het optellen van het gebruik aan betonmortel en betonproducten verkregen, exclusief de hoeveelheid wapeningsstaal.

Figuur 7 - Betongebruik op de Nederlandse markt in 1990, 2010 en 2017 (Betonhuis, 2020)



Het totale betongebruik in Nederland is opgebouwd uit de hoeveelheden betonmortel en betonproducten die zijn gebruikt in de zichtjaren. Het totale betongebruik in 2010 en 2017 ligt lager dan in 1990: 5% lager in 2010 en 12% lager in 2017. Er werd in de drie zichtjaren verhoudingsgewijs iets meer betonmortel dan betonproducten gebruikt, maar het aandeel betonproducten is gegroeid in 2017 van 37% in 1990 naar 45% in 2017.

2.3 Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'

Deze paragraaf beschrijft de gemiddelde samenstelling van betonmortel en betonproducten en 'beton totaal' naar zijn grondstoffen[4] in Nederland voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. De door Betonhuis ingewonnen samenstellingen in kg grondstof/m^3 staan in Tabel 3.

Tabel 3 - Gemiddelde samenstelling van betonmortel, betonproducten en 'beton totaal' in Nederland

	Betonmortel (kg/m^3 betonmortel)			Betonproducten (kg/m^3 betonproducten)			Beton totaal (kg/m^3 beton totaal)		
Grondstof	**1990**	**2010**	**2017**	**1990**	**2010**	**2017**	**1990***	**2010**	**2017**
Zand	--	787	790	--	870	884	820	820	833
Grind/steenslag	--	1.034	1.017	--	993	878	1.056	1.018	954
Betongranulaat	--	40	60	--	53	74	7	45	66
AEC-granulaat	--	0	0	--	0	31	0	0	14
Cement	--	312	311	--	312	311	325	312	311
Poederkoolvliegas	--	6	26	--	16	5	10	10	17
Hoogovenslak**	--	0	15	--	0	3	0	0	9
Kalksteenmeel	--	0	0	--	36	38	0	14	17
Water	--	167	165	--	106	128	143	143	148
Totaal	**--**	**2.346**	**2.384**	**--**	**2.386**	**2.352**	**2.360**	**2.362**	**2.369**
Wapeningsstaal**	--	50	50	--	35	35	44	44	43

-- *Geen gegevens beschikbaar.*

* *Gegevens over 1990 zijn gebaseerd op gegevens van Betonhuis van het totale cement- en betongebruik tezamen, dus niet op een gewogen gemiddelde van betonmortel en -producten.*

** *Hoogovenslak representeert het additionele hoogovenslak in beton, niet het hoogovenslak in cement.*

*** *Wapeningsstaal is los van het totaal weergegeven omdat het technisch geen onderdeel van de betonmix zelf is.*

Enkele toelichtingen bij de totstandkoming van de cijfers in de tabel:
Voor 1990 is betrouwbare informatie beschikbaar over het cement- en betonverbruik in Nederland, met onderverdeling naar type cement. Er is voor dat jaar echter geen informatie beschikbaar over de samenstelling van betonmortel of betonproducten. Dit maakt de resultaten voor 1990 (Hoofdstuk 4) onzekerder dan voor 2010 en 2017. Voor 'beton totaal' in 1990 is door Betonhuis de totale hoeveelheid toeslagmateriaal (zand, grind en betongranulaat) en water gelijk voorondersteld aan 2010. Wel is bekend bij Betonhuis dat er in 1990 geen kalksteenmeel werd gebruikt en dat het cementgehalte in 1990 hoger was dan in 2010 en 2017.

De samenstelling van betonmortel en betonproducten in 2010 werd bepaald in het eerdere rapport (CE Delft, 2013), op basis van input van de toenmalige brancheverenigingen voor producenten van betonmortel en betonproducten.

De benodigde hoeveelheid wapeningsstaal is gebaseerd op inschattingen. Voor 2017 (en eerder voor 2010 (CE Delft, 2013)) heeft Vereniging Wapeningsstaal Nederland (VWN) een inschatting gemaakt van de totale hoeveelheid wapeningsstaal dat in Nederland jaarlijks op de Nederlandse markt wordt afgezet. Betonhuis heeft een inschatting gemaakt van de onderverdeling van wapeningsstaalgebruik in de diverse toepassingen van betonmortel en

[4] Betonmortel en betonproducten zijn beide beton en bestaan uit dezelfde grondstoffen.

betonproducten. De inschattingen voor 2010 en 2017 (Betonhuis, 2020) komen vrijwel overeen. De hoeveelheid wapeningsstaal in 'beton totaal' in 1990 is wegens gebrek aan data gelijk verondersteld aan 'beton totaal' in 2010.

Hulpstoffen zoals plastificeermiddelen zijn bewust niet inbegrepen om twee redenen. Het gebruik van hulpstoffen is bij Betonhuis niet goed in beeld in 1990; wel in 2010 en 2017. In 1990 werden zij wel gebruikt, maar hadden een andere samenstelling dan nu. Daarnaast is de invloed van plastificeermiddelen op de totale klimaatimpact van beton gering (Betonhuis, 2020). Het opnemen van de impact van hulpstoffen is een punt van aandacht bij toekomstige opvolging van deze studie.

Uit de cijfers blijkt:
- vergeleken met 1990 is het aandeel cement in 'beton totaal' afgenomen in 2010 en 2017;
- de verhouding zand/grind/betongranulaat verschilt nauwelijks tussen betonmortel en betonproducten voor de drie zichtjaren;
- in betonmortel wordt in 1990 geen kalksteenmeel gebruikt;
- het gebruik van secundaire grondstoffen — betongranulaat, poederkoolvliegas en hoogovenslak — is toegenomen in 2017 ten opzichte van 2010 en 1990.

2.4 Onderverdeling naar type cement

Naast het aandeel cement per m^3 betonmortel en betonproducten, verschilt het type cement dat in betonmortel en betonproducten gemiddeld wordt toegepast. De klimaatimpact van beton (Modules A1-A3) is voor >95% afhankelijk van het type cement dat gebruikt wordt (zie ook Paragraaf 2.5). Daarom maken we in deze studie een uitsplitsing naar type cement op basis van gebruik van betonmortel en -producten in Nederland voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017.

Er worden vijf cementtypen onderscheiden — CEM I t/m CEM V — die verschillen in grondstof, grondstofherkomst en productiewijze. CEM III bevat de subklassen CEM III/A en CEM III/B, die dezelfde grondstoffen bevatten maar verschillen in samenstelling. Traditioneel cement wordt gemaakt uit Portlandklinker (cementtype CEM I), maar er wordt in Nederland ook op grote schaal cementtypen gebruikt waarbij het CO_2-intensieve Portlandklinker is vervangen door alternatieve grondstoffen (CEM II of V) of het restproduct hoogovenslak (CEM III). Zie Tekstkader 1 voor een nadere uitleg van de cementtypen.

De gegevens over de verdeling naar gebruik van cementtypen voor betonmortel, betonproducten en 'beton totaal' in Nederland voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017 is door Betonhuis ingewonnen en in Tabel 4 weergegeven.

Tabel 4 - Verdeling van het cement naar cementtypen in betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'

	Betonmortel (%)			Betonproducten (%)			Beton totaal (%)		
Cementtype	1990	2010	2017	1990	2010	2017	1990*	2010	2017
CEM I	--	21%	19%	--	53%	56%	36%	34%	36%
CEM II	--	2,8%	4,0%	--	2,2%	12%	7,0%	2,6%	7,6%
CEM III/A	--	0%	1,7%	--	26%**	30%	0,0%	10%	15%
CEM III/B	--	75%	71%	--	16%**	1,7%	57%	52%	40%
CEM IV	--	0%	0%	--	0%	0%	0%	0%	0%
CEM V	--	0,4%	4,0%	--	3,6%	0,0%	0,0%	1,7%	2,2%

	Betonmortel (%)			Betonproducten (%)			Beton totaal (%)		
Cementtype	1990	2010	2017	1990	2010	2017	1990*	2010	2017
Totaal cement	--	100%	100%	--	100%	100%	100%	100%	100%

-- *Geen gegevens beschikbaar.*

* *Gegevens over 1990 zijn gebaseerd op een inschatting van Betonhuis, uit een gewogen gemiddelde van betonmortel en -producten.*

** *De verhouding tussen CEM III/A en CEM III/B in betonproducten 2010 betreft een inschatting door Betonhuis. Vermoedelijk lag het aandeel CEM III/B lager, meer in de richting van de berekende verhouding over 2017. De bekende data van 2017 zijn betrouwbaarder en geven een realistische huidige verdeling. Deze onzekerheid levert een kleine onzekerheid in de resultaten op (ca. 1%).*

Totalen voor 'Totaal cement' tellen niet op tot 100% vanwege afronding.

Enkele toelichtingen bij de totstandkoming van de gegevens in Tabel 4:
- Voor zichtjaar 1990 is geen uitgesplitste informatie bekend naar betonmortel en betonproducten, wel is een inschatting van 'beton totaal' gegeven (Betonhuis, 2020).
- In 1990 bestond de huidige naamgeving 'CEM' nog niet. Portlandcement werd toegepast en er bestonden andere varianten van cement die vergelijkbaar zijn met het huidige CEM II en CEM III/B.
- CEM IV wordt in Nederland niet toegepast.

De volgende aspecten uit Tabel 4 vallen op:
- het cement in betonmortel bestaat voor het grootste deel uit CEM III/B;
- het aandeel CEM I, CEM II en CEM III/A is hoger in betonproducten dan in betonmortel;
- het aandeel CEM I en CEM II in betonproducten is gestegen in 2017 ten opzichte van 2010;
- in 1990 was het aandeel CEM III in 'beton totaal' al hoog (57%)[5].

Tekstkader 1 - De verschillende cementtypen

Cement wordt onder ander gemaakt van klinker. Klinker is een halffabricaat: steenachtige brokken die voortkomen uit sintering van kalksteen, klei en schalie (Wikipedia, 2013).

- CEM I – Zogeheten 'Portlandcement', op basis van Portlandklinker, met maximaal 5% andere stoffen. Portland is een overgebleven aanduiding voor kalksteen, dat oorspronkelijk werd gewonnen op het Isle of Portland.
- CEM II - Allerlei mengvormen met portlandcement en bijvoorbeeld leisteen. Minimaal 65% portlandcement.
- CEM III – Mengsel van portlandcement en hoogovenslak. CEM III/A bevat tot 34-65% hoogovenslak; CEM III/B bevat tot 66-80% hoogovenslak.
- CEM IV - Puzzolaancementsoorten. Puzzolanen zijn silica- en aluminarijke materialen die, in fijne vorm, chemisch reageren met calciumhydroxide en water tot verbindingen met bindende eigenschappen.
- CEM V – Composietcementen. Met mengsels van portlandcement, hoogovenslak en puzzolanen.

Bronnen: (Wikipedia, 2020); (CE Delft, 2013).

[5] In 1990 bestonden de type aanduiding CEM III/A en CEM III/B nog niet, maar er werd wel een type cement gebruikt dat vergelijkbaar is met CEM III/B. Dat type cement is dus onder CEM III/B geschaard.

2.5 Klimaatimpact van de winning en productie van de grondstoffen (Modules A1 en A3)

Zoals toegelicht in Paragraaf 1.5 is de selectie van milieukundige achtergrondinformatie van grondstofproductie doorslaggevend belang voor de analyse. In deze paragraaf lichten we toe welke datasets uit welke milieukundige database we hebben geselecteerd.

Op hoofdlijnen volgen we de volgende aanpak bij de selectie van milieukundige achtergrondinformatie:

- Voor een grondstof hanteren we één dataset voor alle drie de jaartallen (1990, 2010 en 2017), tenzij er datasets beschikbaar zijn die duidelijk aansluiten op een van de jaartallen. Een vereiste is dan wel dat de datasets vergelijkbaar zijn in kwaliteit en afbakening[6]: ze mogen geen hiaten bevatten ten opzichte van elkaar. Immers, het is belangrijk dat de resultaten tussen de verschillende jaren vergelijkbaar en goed verklaarbaar zijn. We willen voorkomen dat er schijnverschillen ontstaan in de resultaten, door het gebruik van verschillende datasets voor milieu-informatie waarvan de verschillen niet kunnen worden verklaard.
- Differentiatie naar een zichtjaar hebben we kunnen doen voor cementtypen en wapeningsstaal. De overige grondstoffen zijn elk op basis van één dataset voor het zichtjaar 2017: de vigerende dataset uit de Nationale Milieudatabase. Voor sommige materialen verwijst de Nationale Milieudatabase naar de Ecoinvent database. Als dit het geval is hanteren wij als bron de Ecoinvent database (v.3.5).
- Secundaire grondstoffen, van gerecyclede oorsprong, zijn 'vrij van milieulast' omdat deze grondstoffen worden gezien als rest-/afvalstromen. Dit is conform de SBK Bepalingsmethode (SBK, 2014) die wordt toegepast voor milieuanalyses in de bouw.
- Als een dataset transport bevatte van producent naar bouwplaats, dan hebben we het transport uit de dataset gehaald en niet meegenomen in de berekening van de klimaatimpact van grondstofwinning en productie (Modules A1 en A3). We passen immers transportafstanden specifiek voor Nederland toe in Module A2 (zie daarvoor Paragraaf 2.6).

Tabel 5 biedt een overzicht van de klimaatimpact van de winning en productie (Modules A1 en A3) per kg grondstof voor betonmortel en -producten voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017.

Tabel 5 - Klimaatimpact van de winning en productie (Modules A1 + A3) per kg grondstof

Grondstof	Klimaatimpact per kg grondstof (kg CO_2-eq.)			Bron + naam van de dataset
	1990	2010	2017	
Zand	0,004	0,004	0,004	Ecoinvent v.3.5: "Sand {GLO}| market for". Excl. transport
Grind/steenslag	0,004	0,004	0,004	Ecoinvent v.3.5: "Gravel, round {RoW}| market for". Excl. transport
Betongranulaat	0	0	0	Vrij van milieulast, conform de SBK Bepalingsmethode
AEC-granulaat	0,001	0,001	0,001	Nationale Milieudatabase v.3.1: Op basis van 1 granulaatproducent (categorie 1): Granova AEC-granulaat
CEM I	0,954	0,899	0,858	Nationale Milieudatabase v.3.1.

[6] Bij vergelijkingen van LCA-studies zien we bijvoorbeeld wel eens verschillen in geografische scope (productie in verschillende landen of regio's), op basis van 1 of juist meerdere producenten en verschillen in aanpak omtrent afvalverwerking van productieafval (wel of niet in de scope).

Grondstof	Klimaatimpact per kg grondstof ($kg\ CO_2$-eq.) 1990	2010	2017	Bron + naam van de dataset
CEM II	0,715	0,673	0,643	Nadere toelichting in Paragraaf 2.5.1
CEM III/A	0,523	0,492	0,470	
CEM III/B	0,302	0,284	0,272	
CEM V	0,571	0,537	0,513	
Poederkoolvliegas	0	0	0	Vrij van milieulast, conform de SBK Bepalingsmethode
Hoogovenslak	0	0	0	Vrij van milieulast, conform de SBK Bepalingsmethode
Kalksteenmeel	0,003	0,003	0,003	Ecoinvent v.3.5: “Limestone, crushed, washed {RoW}| market for”. Excl. transport
Water	0,000	0,000	0,000	Ecoinvent v.3.5: “Tap water {RER}| market group for”
Wapeningsstaal	1,83	1,37	1,37	Nationale Milieudatabase v.3.1. Nadere toelichting in Paragraaf 2.5.1

2.5.1 Toelichting: klimaatimpact van cement

Er zijn geen LCA-datasets beschikbaar voor cementproductie in 1990. Voor zichtjaar 2010 was slechts milieu-informatie beschikbaar voor CEM I en CEM III (datasets zoals gehanteerd in (CE Delft, 2013)). Er was destijds nog geen milieu-informatie beschikbaar voor beton-typen CEM II en CEM V; CEM IV wordt in Nederland niet geproduceerd en toegepast. Ook was CEM III nog niet uitgesplitst in CEM III/A en CEM III/B.

Voor de typen CEM II, CEM III en CEM V hebben we voor deze studie voor het zichtjaar 2010 aanvullende bronnen nodig voor het berekenen van de klimaatimpact. Deze bleken voorhanden in (NMD, 2020) en (WBCSD, 2016).

Voor CEM I in 2010 zouden we de bron kunnen aanhouden zoals gebruikt in (CE Delft, 2013), afkomstig van de ‘CUR-tool’, een rekentool voor de klimaatimpact van beton op basis van zijn grondstoffen die toen in gebruik was bij de betonbranche. Hier zijn we echter vanaf gestapt, omdat Betonhuis, NIBE en CE Delft vermoeden dat de datasets van cement in de CUR-tool minder volledig waren dan de huidige bronnen. De reden is dat de CUR-tool tot opvallend lage milieuresultaten kwam; zodanig laag dat we vermoeden dat er hiaten in de modellering van die dataset zaten.

De nu gehanteerde aanpak luidt als volgt:
- Stap 1: Per cementtype zijn recente datasets (NMD, 2020) met klimaatimpactgegevens geselecteerd. Deze achten wij van toepassing op zichtjaar 2017.
- Stap 2: Differentiatie per cementtype naar de zichtjaren 1990 en 2010 wordt gedaan op basis aanvullende informatie over klinkerproductie (WBCSD, 2016).

Deze stappen worden hieronder nader toegelicht:

Stap 1: Klimaatimpact per kg cement, per type voor recente datasets

De nationale milieudatabase (NMD, 2020) bevat datasets voor cement met daarin de klimaatimpact afkomstig van specifieke cementproducenten ENCI, HOLCIM en Dyckerhoff. Het verbranden van secundaire brandstoffen bij cementproductie is inbegrepen in deze datasets (mrpi.nl, 2019); zie een uitgebreide toelichting in Bijlage A. Per cementtype is de gemiddelde[7] klimaatimpact genomen van de beschikbare datasets. Tabel 6 toont het aantal beschikbare datasets per cementtype waaruit het gemiddelde is bepaald.

Tabel 6 – Aantal producenten en productielocaties van cement waarvoor milieukundige datasets beschikbaar zijn in de nationale milieudatabase (NMD, 2020)

Cementtype	Aantal producenten en productielocaties. Bron: (NMD, 2020)
CEM I	3 producenten, 4 locaties: Dyckerhoff (2 locaties), ENCI en HOLCIM.
CEM II	2 cementproducenten: Dyckerhoff, ENCI (2 producten)
CEM III/A	2 cementproducenten: ENCI, HOLCIM
CEM III/B	2 cementproducenten: ENCI, HOLCIM
CEM IV	0 (wordt niet geproduceerd en gebruikt in Nederland, daarom n.v.t. in deze analyse)
CEM V	1 cementproducenten: ENCI

Stap 2: Differentiatie van de klimaatimpact per kg cement, per type, voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017

De klimaatimpact van een type cement wordt bijna volledig bepaald door de klimaatimpact van de klinker. Het gemiddelde klinkergehalte in cement voor het zichtjaar 2017 is bekend, zie de middelste kolom in Tabel 7. De rechterkolom in Tabel 7 toont de klimaatimpact per cementtype zoals bepaald in Stap 1.

Tabel 7 – Gemiddeld klinkergehalte per cementtype en klimaatimpact per cementtype voor zichtjaar 2017

Cementtype	Gemiddeld klinkergehalte (Betonhuis, 2020)	Klimaatimpact per cementtype voor zichtjaar 2017 (o.b.v. (NMD, 2020)) (kg CO_2-eq./kg cement)
CEM I	95%	0,858
CEM II	70%	0,643
CEM III/A	45%	0,470
CEM III/B	25%	0,272
CEM V	50%	0,513

De brancheorganisatie *Global Cement and Concrete Association* (GCCA) publiceert, onder andere, jaarlijks de klimaatimpact van klinkerproductie (GCCA, 2020). Aan de basis hiervan ligt een grootschalig project naar energieverbruik en CO_2-emissies van cementproducenten

[7] Het betreft het ongewogen gemiddelde. Iedere producent heeft een gelijk aandeel. Als er meerdere locaties zijn per producent is eerst voor die producent het ongewogen gemiddelde bepaald. Voorbeeld: CEM I: eerst is het gemiddelde bepaald van Dyckerhoff's twee locaties; vervolgens tellen de drie producenten ieder voor 1/3 mee bij het bepalen van de gemiddelde klimaatimpact per kg cement.

wereldwijd (WBCSD, 2016). De klimaatimpact van klinkerproductie is gedaald 2010 en 2017 ten opzichte van 1990. Dit heeft drie oorzaken:

- Ten opzichte van 1990 wordt vrijwel geen klinker meer geproduceerd middels natte verwerking van de ruwe grondstoffen, wat een CO_2-intensievere methode is dan (semi-) droge technieken.
- In 1990 werd geen biomassa bijgestookt. In 2017 was 16% van de energievoorziening afkomstig van biomassa.
- In 1990 was 2% van de energievoorziening afkomstig van bijgestookt fossiel afval; in 2017 was dit 30%.

In Appendix A is nadere informatie opgenomen over de in dit project gebruikte statistieken van GCCA/WBCSD .

We bepalen het percentuele verschil in klinkerproductie in 1990 en 2010 ten opzichte van 2017. In (GCCA, 2020a) zien we dat klimaatimpact van klinkerproductie in Europa in 1990 zo'n 11% hoger lag dan in 2017. In 2010 was de klimaatimpact zo'n 5% hoger ten opzichte van 2017. Die percentuele verschillen passen we vervolgens toe op de klimaatimpact per cementtype in 2017 (rechterkolom in Tabel 7). Omdat de klimaatimpact per cementtype bijna volledig wordt bepaald wordt door de klimaatimpact van de klinker[8] mogen we ervan uitgaan dat de klimaatimpact per cementtype in 1990 en 2010 ook 11% en 5% hoger ten opzichte van 2017 was (de cijfers in de rechterkolom van Tabel 7). Zo hebben we de klimaatimpact per cementtype voor zichtjaar 2017 gedifferentieerd naar 2010 en 1990.

Reflectie op deze aanpak

De beschreven berekeningen zijn wat Betonhuis, NIBE en CE Delft betreft de meest robuuste aanpak mogelijk voor de vergelijkende analyse.

Deze aanpak maakt monitoring in de toekomst mogelijk: de klimaatimpactgegevens van de cementtypen zijn immers afkomstig van de daadwerkelijk in Nederland opererende cementproducenten. Als zij een update uitbrengen, liefst allen in hetzelfde jaar, kan deze analyse eenvoudig geactualiseerd worden.

Zoals gezegd hanteerden we in (CE Delft, 2013) een andere bron voor CEM I, omdat het vermoeden van Betonhuis, NIBE en CE Delft is die bron minder volledig is dan de huidige bron. In vergelijking met de bovenstaande berekende klimaatimpact voor CEM I in 2010, komt die 'oude' bron wat lager uit: 0,818 in plaats van 0,899 kg CO_2-eq./kg CEM I. Verder merken we op dat dit ook lager is dan de recente waarde op basis van de Nederlandse producenten (0,858 kg CO_2-eq./kg CEM I) (NMD, 2020). Dit kan helaas niet meer worden nagegaan: er is geen goed rapport beschikbaar van de toenmalige bron. De levenscyclus-analyses van de huidige bronnen (NMD, 2020) zijn wel volledig gedocumenteerd en getoetst conform de SBK Bepalingsmethode.

Bijkomende statistiek

Een aardige bijkomstigheid is dat we nu het gemiddelde klinkergehalte van cement in 'beton totaal' in Nederland kunnen bepalen voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017, op basis van het gemiddelde klinkergehalte per cementtype (Tabel 7) en de verdeling van het

[8] Zo is bijvoorbeeld het klinkergehalte van CEM III/B 68% lager dan die van CEM I en valt ook de klimaatimpact bijna 68% lager uit. Berekening: $(1 - \frac{0{,}272}{0{,}858}) * 100\% = 68\%$.

cement (gemiddelde verhouding CEM I-V, uitgezonderd CEM IV (Tabel 4)). Het resultaat is weergegeven in Tabel 8.

Tabel 8 - Het gemiddelde klinkergehalte in cement in 'beton totaal' in Nederland

	1990	2010	2017
Gemiddeld klinkergehalte van cement in 'beton totaal' in Nederland	53%	52%	57%

Ten opzichte van 1990 is het gemiddeld klinkergehalte in 2017 met 4%-punt gestegen. Deze stijging komt doordat het aandeel betonproducten is gestegen, waarin verhoudingsgewijs meer CEM I, CEM II en CEM III/A wordt gebruikt dat (vooral) uit Portlandklinker is samengesteld.

2.5.2 Klimaatimpact van wapeningsstaal (Modules A1 en A3)

Voor de klimaatimpact van wapeningsstaal maken we gebruik van een LCA-dataset van de Vereniging Wapeningsstaal Nederland uit 2015 (VWN, 2015). Dit is de best beschikbare informatie, momenteel, over wapeningsstaal in Nederland. Er is nog geen recente update beschikbaar die we zouden kunnen toepassen op 2017. Voor 1990 is geen milieu-informatie over wapeningsstaal beschikbaar. Differentiatie naar de drie zichtjaren kan toch worden gedaan, op basis van het energieverbruik per ton staal.

Volgens (World Steel, 2019) is de energievraag bij staalproductie zo goed als gelijk gebleven tussen 2010 en 2017. Volgens diezelfde bron was in 1990 ten opzichte van 2010 ongeveer 33% meer energie nodig. We nemen voor deze studie aan dat dit vrijwel volledig fossiele energie betreft: staal wordt grotendeels geproduceerd met (warmte van) steenkool cokes. We nemen ook aan dat de klimaatimpact van staal rechtevenredig is met de energievraag tijdens de productie.
De klimaatimpact van staalproductie neemt zodoende in gelijke mate met de energievraag toe. Ten opzichte van 1990 bedraagt de reductie in klimaatimpact van wapeningsstaal in 2010 zodoende 25%.

Elk stalen product bevat een deel secundair staal (gerecycled staal). De hoeveelheid secundair staal is bepalend voor de klimaatimpact van het staal[9]. Volgens (VWN, 2015) bestaat het wapeningsstaal dat gebruikt wordt in de Nederlandse bouw voor 70% uit secundair staal (gerecycled staal). Dit is consistent met gegevens van World Steel Association voor wapeningsstaal (World Steel Association, 2017).

Er zijn geen gegevens beschikbaar over het aandeel secundair staal in wapeningsstaal dat in 1990 werd gebruikt. Daarom gaan wij in onze berekeningen uit van 70% secundair staal in wapeningsstaal in 1990. Dit is een conservatieve aanname, in de zin dat dit de klimaatimpact van staal in 1990 waarschijnlijk wordt onderschat. De beschouwing van de reductie in klimaatimpact van staal voor het zichtjaar 2017 ten opzichte van 1990 valt hierdoor eerder te laag uit dan te hoog.

Tot slot merken we op dat recentelijk een nieuwe Europese richtlijn is uitgebracht voor de berekening van LCA's van metaalplaten (Eurometaux, 2019). Onze verwachting is dat

[9] Bijvoorbeeld: de oudere Ecoinvent dataset "Reinforcing steel {GLO}| market" geeft een klimaatimpact van 2,11 kg CO_2-eq./kg staal op basis van 16% secundair (gerecycled) staal. Terwijl de klimaatimpact van wapeningsstaal volgens VWN maar 1,37 kg CO_2-eq./kg staal is.

binnen enkele jaren daarbij aansluitende datasets voor plaatstaal en aanverwante staalproducten zullen worden ontwikkeld, ook voor wapeningsstaal.

2.6 Transportafstanden en klimaatimpact van transport

Transport vindt plaats van op drie momenten in de keten:
- van de locatie van grondstofwinning naar de locatie van betonproductie (bij een betoncentrale of bedrijf dat betonproducten maakt);
- van de locatie van betonproductie naar de bouwplaats;
- van sloop naar de locatie van verwerking (finale afvalverwerking of recycling).

In Figuur 4 (Paragraaf 1.3) zijn dit de Ketenstappen A2, A4 en C2.

In deze paragraaf bieden we een overzicht van de transportafstanden die we in deze studie hanteren (Paragraaf 2.6.1) en de klimaatimpact van de verschillende transportmiddelen (Paragraaf 2.6.2).

2.6.1 Transportafstanden

Elke grondstof wordt vervoerd van productielocatie naar de locatie waar het betonmortel of betonproduct wordt geproduceerd. Zand en grindwinning geschiedt vaak op zee of op land in de buurt van rivieren en wordt daardoor grotendeels per schip vervoerd naar de beton-productielocatie. Kalksteen(meel) komt ofwel van groeven die aan een rivier liggen of uit het binnenland. Cement en de secundaire grondstoffen (betongranulaat, poederkoolvliegas, hoogovenslak) worden per vrachtwagen vervoerd.

NIBE heeft recentelijk onderzoek gedaan naar de transportafstanden voor de grondstoffen van beton (NIBE, 2018).

Tabel 9 geeft een overzicht van transportafstanden per vervoerd product (grondstof, betonmortel, betonproduct of gesloopt beton), gebaseerd op (NIBE, 2018) en (CE Delft, 2013). Een nulwaarde in de tabel geeft aan dat geen vervoer plaatsvindt met het betreffende transportmiddel voor het betreffende product. Transportafstanden konden niet worden gedifferentieerd naar jaar (1990, 2010 en 2017) omdat er geen (historisch) onderzoek beschikbaar is naar transportafstanden voor bouwgrondstoffen. Een voordeel van de studie van (NIBE, 2018) is de nauwkeurigheid van de gegevens voor alle grondstoffen. Vaak worden in studies inschattingen van de transportafstanden of generieke waarden voor alle grondstoffen gegeven.

Tabel 9 - Transportafstanden en transportmiddelen

Vervoerd product	Zeetransport (km)	Binnenvaartschip (km)	Vrachtwagen (km)	Bron/toelichting
Transport van locatie van grondstofwinning of -productie naar locatie van betonproductie (A2)				
Zand	38	159	4	(NIBE, 2018)
Grind/steenslag	51	239	10	
Betongranulaat	0	0	30	
AEC-granulaat	0	0	75	Aanname: zelfde transportafstand als 'betonproducten naar bouwplaats'
CEM I	0	0	186	(NIBE, 2018)
CEM II	0	0	186	

Vervoerd product	Zeetransport (km)	Binnenvaartschip (km)	Vrachtwagen (km)	Bron/toelichting
CEM III/A	0	0	186	
CEM III/B	0	0	186	
CEM V	0	0	186	
Poederkoolvliegas	0	0	150	
Hoogovenslak	0	0	150	
Kalksteenmeel	0	150	50	
Water	0	0	0	
Wapeningsstaal	0	0	150	(CE Delft, 2013)
Transport van locatie betonproductie naar bouwplaats (A4)				
Betonmortel van betonproducent naar bouwplaats	0	0	25	(NIBE, 2018)
Betonproducten van betonproducent naar bouwplaats	0	0	75	(NIBE, 2018)
Transport van bouwplaats naar verwerking (C2)				
Transport van beton na sloop naar de verwerker	0	0	15	(CE Delft, 2013)

2.6.2 Klimaatimpact van transportmiddelen

De klimaatimpact van transportmiddelen wordt uitgedrukt in kg CO_2-equivalent per tonkilometers (kg CO_2-eq./tonkm). Dit geeft de uitstoot van broeikasgassen weer per ton vervoerd product over 1 kilometer. Voor de uitstoot van broeikasgassen door transportmiddelen zijn we afhankelijk van beschikbare informatie uit bestaande studies. Een uitgebreide studie 'Study of transport emissions of all modalities' (STREAM) (CE Delft, 2016).

We hebben de mogelijkheid onderzocht om de klimaatimpact per tonkm per transportmiddel te differentiëren voor 1990, 2010 en 2017. Daarbij is vergelijkbaarheid belangrijk: verschillen tussen jaren moeten het verschil in efficiëntie uitdrukken; verschillen mogen niet voortkomen uit een verschil in onderzoeksopzet (scope) of aannames. Om vergelijkbaarheid te waarborgen gebruiken we de STREAM-studie (CE Delft, 2016) als basis voor de drie zichtjaren. Voor vervoer per vrachtwagen kunnen we differentiëren naar zichtjaar, op basis van de parameter veranderende motorefficiëntie (CBS, 2020). Zeetransport en binnenvaartschepen was geen differentiatie mogelijk. Zie Tekstkader 2 voor nadere toelichting.

Tabel 10 toont de klimaatimpact van transportmiddelen die we hanteren in deze studie[10].

Tabel 10 - Klimaatimpact per transportmiddel (*well-to-wheel*) op basis van (CE Delft, 2016) en (CBS, 2020)

Transportmiddel	1990 (kg CO_2-eq./tonkm)	2010 (kg CO_2-eq./tonkm)	2017 (kg CO_2-eq./tonkm)
Zeetransport	0,011	0,011	0,011
Binnenvaartschip	0,038	0,038	0,038
Vrachtwagen	0,255	0,200	0,192

[10] De volgende modaliteiten uit STREAM (CE Delft, 2016) werden geselecteerd: zeetransport: 'Bulk carrier (handysize)' (STREAM, Tabel 25, pagina 33); binnenvaartschip: 'R.H.K. (Rijn-Herne-Kanaal) schip - Waal' (STREAM, Tabel 19, pagina 30); vrachtwagen: 'Vrachtwagen groot >20 ton' (STREAM, Tabel 7, pagina 24.

Uit Tabel 10 blijkt dat per tonkm vervoer per vrachtwagen een 5 tot 17 keer hogere klimaatimpact heeft dan vervoer per schip. De klimaatimpact voor vervoer per vrachtwagen is in 2010 t.o.v. 1990 met 22% afgenomen, in 2017 t.o.v. 1990 met 25%.

Tekstkader 2 - Toelichting op differentiatie van de klimaatimpact naar jaar

De klimaatimpact van transport verandert als motoren efficiënter worden, waardoor zij minder brandstof per tonkm gebruiken. De ontwikkelingen voor scheepvaart en vrachtwagens is besproken met de experts op het gebied van transport binnen CE Delft.

Voor de scheepvaart ('zeetransport' en 'binnenvaartschip') kan men volgens de experts niet of nauwelijks spreken van vermindering van de klimaatimpact tussen 1990 en 2017. Dit komt mede omdat er geen bronnen zijn over de klimaatimpact toentertijd en efficiëntieverbetering sindsdien. We hebben daarom besloten om de klimaatimpact van de scheepsvaart voor alle jaartallen gelijk te stellen. Dit levert mogelijk een onderschatting op van klimaatimpact van 'zeetransport' en 'binnenvaartschip' voor 1990. De verandering ten opzichte van zichtjaar 2010 zou dan lager uitvallen.

Voor vrachtwagens dragen de experts een bron aan: (CBS, 2020) meldt dat in 1990 de klimaatimpact van een gemiddelde vrachtwagen 32% hoger lag dan in 2014. In 2010 was de uitstoot 4% hoger dan in 2014. In 2017 is de uitstoot 0,4% gedaald t.o.v. 2014. Met deze percentuele verandering hebben wij de klimaatimpact van vrachtwagens voor de verschillende jaren berekenen zoals weergegeven in Tabel 10.

3 Resultaten

Dit hoofdstuk toont de resultaten van de studie, zoals methodisch toegelicht in Hoofdstuk 1 en uitgevoerd met de gegevens uit Hoofdstuk 2. De resultaten hebben tot doel om inzichten te bieden in:

- de klimaatimpact van betongebruik in Nederland in 2017;
- hoe en waardoor de klimaatimpact van de betonketen in Nederland in 2017 is veranderd ten opzichte van de 1990 en 2010.

De uitwerking van de gegevens uit deze studie is in vier stappen onderverdeeld, met steeds uitbreidende scope, zoals ook werd toegelicht in Paragraaf 1.3. Zo bespreken we stap voor stap relevante details. Tabel 11 toont voor elke stap het onderwerp van de analyse en de afbakening, met aanduiding van de modules conform de SBK Bepalingsmethode (SBK, 2014).

Tabel 11 - Opzet van de studie in vier stappen

Stap	Resultaten in paragraaf	Onderwerp van analyse	Afbakening van de analyse (modules volgens de SBK Bepalingsmethode)
1	3.1	1 m^3 beton: betonmortel, -producten en 'beton totaal', exclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A3: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3).
2	3.2	1 m^3 beton: betonmortel, -producten en 'beton totaal', inclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A4: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).
3	3.3	De totale hoeveelheid betonmortel, -producten en beton totaal in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A4: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).
4	3.4	De totale hoeveelheid betonmortel, -producten en beton totaal in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal	A1-A5, C & D (alle ketenstappen met uitzondering van gebruik (B)).

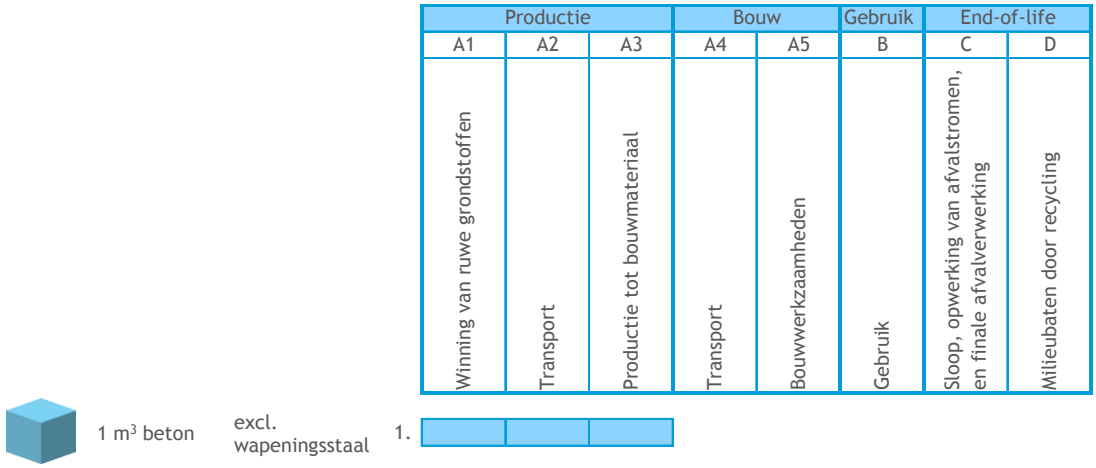
De vierde stap, met volledige scope (Modules A t/m D), is bedoeld om de resultaten van betonproductie in breder perspectief te plaatsen. Die resultaten zijn **indicatief**, want voor de Modules A5, C en D is geen nieuwe informatie geïnventariseerd: dit is op basis van gegevens uit de eerdere studie (CE Delft, 2013). Er heeft geen actualisatie of differentiatie naar zichtjaar plaatsgevonden van het energieverbruik voor bouw- en sloop-activiteiten en de recycle- en verwerk processen van betonpuin. Daar is dan ook geen informatie over opgenomen in Hoofdstuk 2: voor informatie over de brongegevens zie (CE Delft, 2013).

3.1 Klimaatimpact per m³ beton exclusief wapeningsstaal (Modules A1-A3)

In deze paragraaf, Stap 1 van Tabel 11, beschouwen we de klimaatimpactresultaten per m³ beton: betonmortel, betonproducten en 'beton totaal' voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. De focus ligt op de productiefase (Module A) van de levenscyclus ervan: grondstofwinning (Module A1), transport van grondstoffen naar de productielocatie van beton (Module A2) en productieprocessen (Module A3). Zie de visualisatie in Figuur 8.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 12 en grafisch in Figuur 9. Naast het totaalresultaat tonen zij ook de bijdrage aan het totaalresultaat van de cementtypen, de overige grondstoffen (zoals genoemd in Tabel 3 in Hoofdstuk 2) en transport van alle grondstoffen.

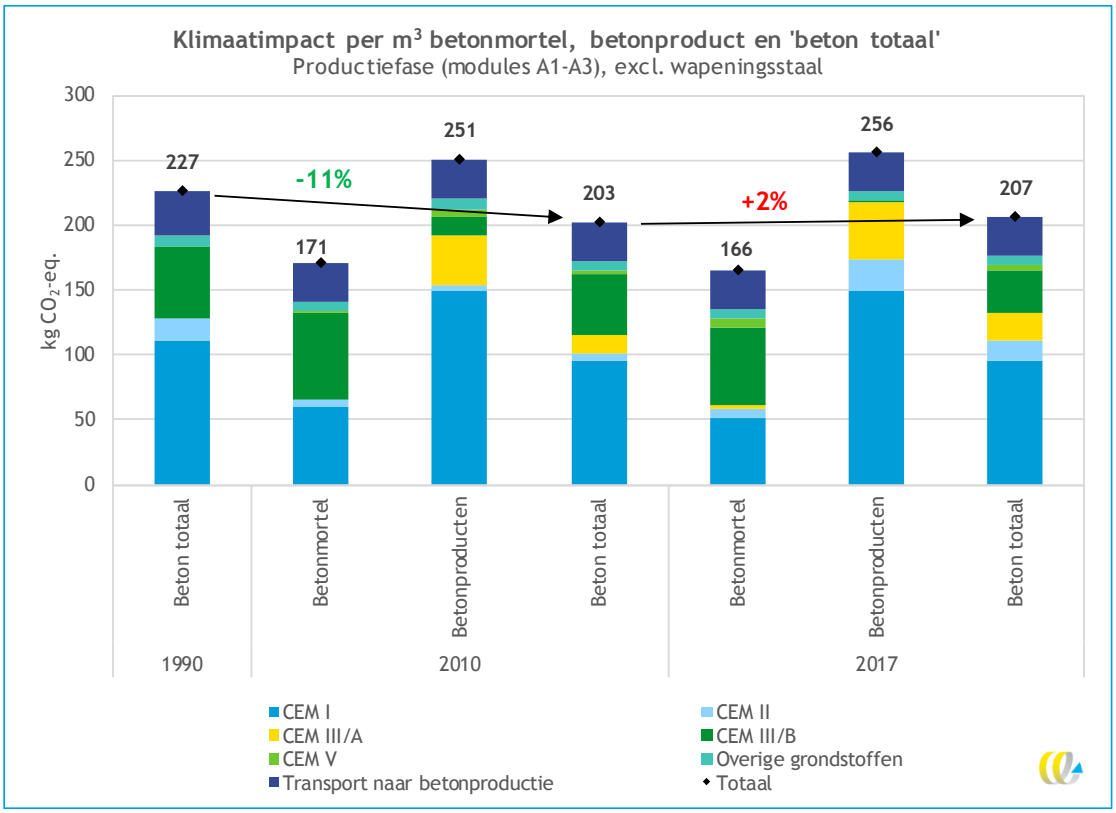
Figuur 8 - Afbakening van de analyse zoals gehanteerd in Paragraaf 3.1; modules conform (SBK, 2014)



Tabel 12 - Klimaatimpact per m³ betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'; afbakening: productiefase (module) A1-A3, excl. wapeningsstaal

	1990	2010			2017		
	Beton totaal	Beton-mortel	Beton-producten	Beton totaal	Beton-mortel	Beton-producten	Beton totaal
Klimaatimpact totaal (kg CO_2-eq./m³)	**227**	**171**	**251**	**203**	**166**	**256**	**207**
Bijdrage aan het totaal per grondstof en van transport van grondstofwinning naar betonproductie:							
CEM I	112	60	149	95	51	150	96
CEM II	16	5,9	4,6	5,4	8,0	24	15
CEM III/A	0	0	39	16	2,5	44	22
CEM III/B	56	67	14	46	60	1,4	34
CEM V	0	0,7	6,0	2,8	6,4	0	3,5
Overige grondstoffen	7,9	7,6	7,9	7,7	7,6	7,5	7,6
Transport van grondstoffen	35	30	31	30	30	29	30

Figuur 9 - Klimaatimpact per m³ betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'; afbakening: productiefase (Modules A1-A3), excl. wapeningsstaal



Belangrijkste bevindingen

De klimaatimpact per m³ ongewapend 'beton totaal' (i.e. gewogen gemiddelde samenstelling per m³ op basis van betonmortel en betonproducten) daalt met 11% in 2010 ten opzichte van 1990. Dit komt voornamelijk doordat er iets minder cement werd toegepast in 'beton totaal' en ook omdat er verhoudingsgewijs meer cementtypen werden toegepast met een lagere klimaatimpact (meer CEM III/B en CEM III/A, minder CEM I en CEM II).

De daling zet in 2017 echter niet door. Dit heeft twee oorzaken:
- De klimaatimpact van betonproducten in 2017 ligt hoger dan in 2010 omdat meer CEM I en CEM II werd gebruikt. Deze typen cement hebben een relatief hoog klinkergehalte waardoor de klimaatimpact hoger is. Cementtypen met relatief hoog klinkergehalte hebben een kortere uithardtijd en worden om die reden gebruikt door betonproductproducenten.
- Het aandeel betonproducten ten opzichte van betonmortel is gestegen in 2017 ten opzichte van 2010.

Betonmortel heeft een aanzienlijke lagere klimaatimpact dan betonproducten[11]: ruim 30% lager. Dit komt voornamelijk omdat:
- het aandeel CEM I en CEM II in betonproducten hoger is dan in betonmortel;
- betonmortel bestaat voor het grootste deel uit CEM III/B, die de laagste klimaatimpact heeft van alle typen cement.

[11] De klimaatimpact van de *gemiddelde samenstelling* van betonmortel en betonproducten in Nederland.

Ten opzichte van 1990 is de klimaatimpact van transport van grondstoffen naar de productielocatie gedaald met ongeveer 15% in 2010 en 2017. Dit komt doordat de efficiëntie van vrachtwagenmotoren verbeterde (met 25%). De verandering per m^3 beton is lager dan 25% omdat de efficiëntie van zeetransport en binnenvaart, waarmee zand en grind vervoerd worden die een relatief hoog gewichtsaandeel hebben in beton, niet verbeterde (zie Paragraaf 2.6.2).

Ook werd er meer betongranulaat toegepast in plaats van grind; dit levert echter geen significante bijdrage aan de daling vanwege de lage klimaatimpact per kg grind.

Beoordeling van de robuustheid van deze resultaten

Zoals in Hoofdstuk 2 besproken is, hebben we ervoor gekozen om uit te gaan van actuele klimaatimpactgegevens voor cementtypen voor het zichtjaar 2017 en deze te differentiëren naar de zichtjaren 2010 en 1990 met historische informatie van de klimaatimpact van klinkerproductie. Dit is in onze ogen de meest robuuste aanpak mogelijk, momenteel, voor de vergelijkende analyse.

Er is een kleine onzekerheid tussen de zichtjaren: we weten immers niet zeker wat de klimaatimpact voor de andere grondstoffen (anders dan cementtypen) in 1990 was. We nemen aan dat de wijze van en energieverbruik van winning van zand, grind ed. niet is veranderd. De bijdrage ervan aan de klimaatimpact van betonmortel en -producten is echter gering. De onzekerheid die deze aanname introduceert in de klimaatimpact is dus laag.

De absolute waarden (zwarte cijfers in de figuur) hebben ook een kleine onzekerheid, want de klimaatimpactgegevens uit de Ecoinvent database — voor zand, grind en kalksteenmeel — zijn niet recent[12]. De 'overige grondstoffen', waar zand, grind en kalksteenmeel onder vallen, leveren echter een kleine bijdrage (<5%) aan het totale resultaat, dus de onzekerheid die dit introduceert is klein. 'Overige grondstoffen' omvat naast zand, grind en kalksteenmeel enkele secundaire grondstoffen die vrij van milieulast zijn. De datasets die leiden tot de grootste bijdragen aan het absolute resultaat (cement en transport) zijn recent en goed onderbouwd.

Wij stellen:
- de daling van de klimaatimpact in 2010 ten opzichte van 1990 is significant genoeg om te stellen dat er een daling heeft plaatsgevonden;
- de stijging van de klimaatimpact in 2017 ten opzichte van 2010 is gering en kan gezien de onzekerheid ook geduid worden als onveranderd.

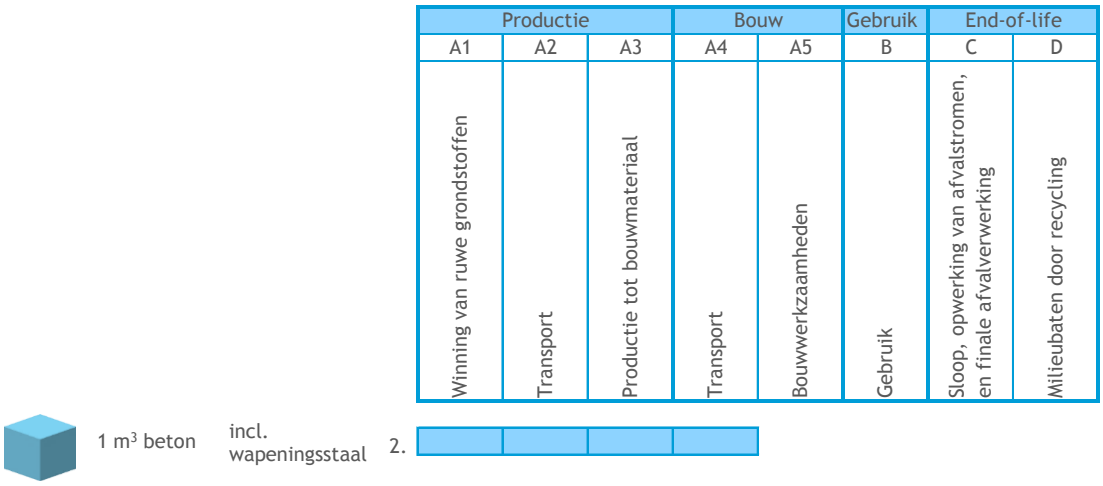
3.2 Klimaatimpact per m^3 beton inclusief wapeningsstaal (Modules A1-A4)

In deze paragraaf, Stap 2 van Tabel 11, beschouwen we de klimaatimpactresultaten per m^3 betonmortel, betonproducten en 'beton totaal' voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017, inclusief toegepast wapeningsstaal. De focus ligt op ketenstappen grondstofwinning (Module A1), transport van grondstoffen naar de productielocatie van beton (Module A2), productieprocessen (Module A3) en transport naar de bouwplaats (Module A4). Zie de visualisatie in Figuur 10.

[12] De datasets voor zand- en grindwinning werden opgesteld in 2004; kalksteenmeel in 2011. De elektriciteitsmix is wel geactualiseerd in de datasets, maar de hoeveelheid benodigde elektriciteit en andere energiedragers zoals diesel niet.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 13 en grafisch in Figuur 11. Naast het totaal-resultaat tonen zij ook de bijdrage aan het totaalresultaat van de productiefase van betonmortel en -producten (Modules A1-A3) en van wapeningsstaal (Modules A1-A3) en het transport van de productielocatie naar de bouwplaats (Module A4).

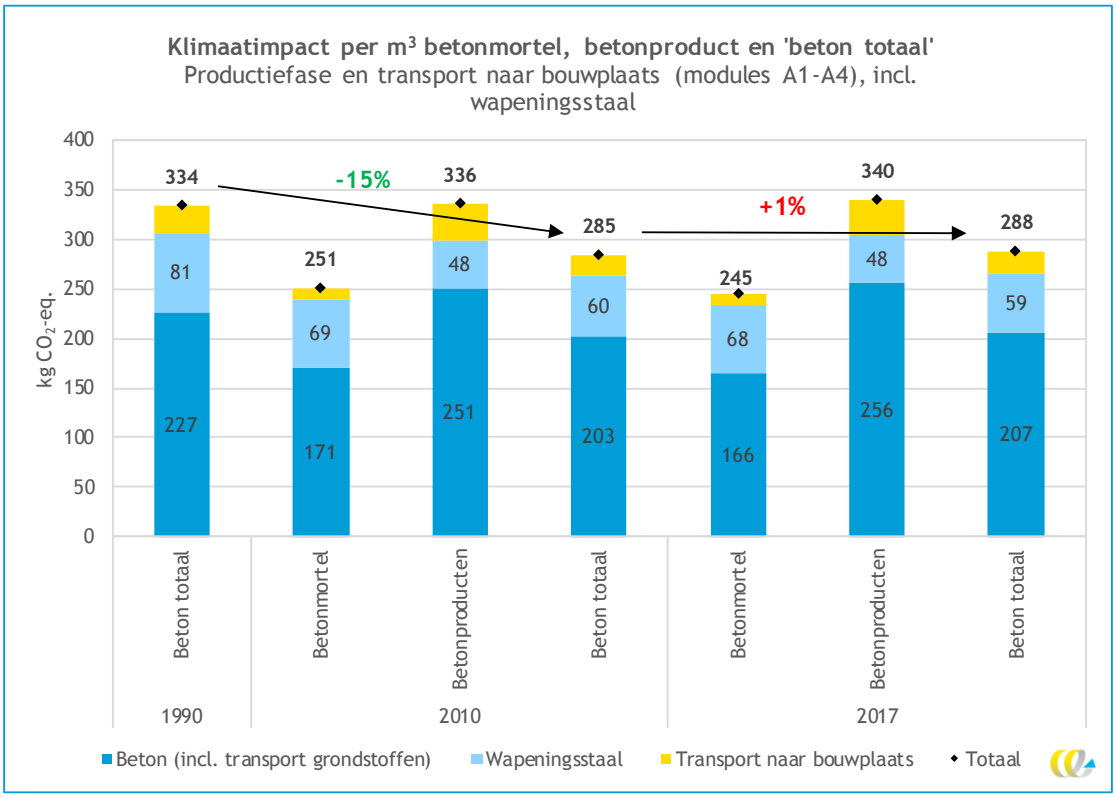
Figuur 10 – Afbakening van de analyse zoals gehanteerd in Paragraaf 3.2; modules conform (SBK, 2014)



Tabel 13 - Klimaatimpact per m³ betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'; afbakening: productiefase en transport naar de bouwplaats (Modules A1-A4), inclusief wapeningsstaal

	1990	2010			2017		
Ketenstap (module)	**Beton totaal**	**Beton-mortel**	**Beton-producten**	**Beton totaal**	**Beton-mortel**	**Beton-producten**	**Beton totaal**
Totaal (kg CO_2-eq./m³)	**334**	**251**	**336**	**285**	**245**	**340**	**288**
Beton (A1-A3)	227	171	251	203	166	256	207
Wapeningsstaal (A1-A3)	81	69	48	60	68	48	59
Transport naar bouwplaats (A4)	27	12	36	22	12	36	23

Figuur 11 - Klimaatimpact per m³ betonmortel, betonproducten en 'beton totaal'; afbakening: productiefase en transport naar de bouwplaats (Modules A1-A4), inclusief wapeningsstaal



Belangrijkste bevindingen

Toegepast wapeningsstaal levert een significante bijdrage aan de klimaatimpact per m³ betonmortel en betonproducten: 15% tot 30%. De klimaatimpact van transport van betonmortel en betonproducten en wapeningsstaal naar de bouwplaats levert een iets bescheidener bijdrage: 5% tot 11% van de klimaatimpact per m³ betonmortel en betonproducten.

Net als de resultaten in Paragraaf 3.1 zien we een daling tussen 1990 en 2010.
De daling tussen 1990 en 2010 is wat sterker dan in Paragraaf 3.1: 15% in plaats van 11%. Dat komt omdat, naast de daling in impact van klinkerproductie, ook de klimaatimpact van wapeningsstaal is sinds 1990 gedaald door efficiëntere productie (World Steel, 2019). Zoals in Paragraaf 2.5.2 is toegelicht, is de klimaatimpact van wapeningsstaal in 2010 t.o.v. 1990 gereduceerd met 25%.

Ten opzichte van 2010 is de klimaatimpact per m³ betonmortel en betonproducten, inclusief toegepast wapeningsstaal en transport, nagenoeg gelijk gebleven (1% stijging). Volgens (World Steel, 2019) is de energievraag bij staalproductie zo goed als gelijk gebleven tussen 2010 en 2017, dus de daling van de klimaatimpact van wapeningsstaal zet niet verder door. De overige redenen voor het gelijkblijvende resultaat zijn besproken in Paragraaf 3.1.

De transportafstand van betonproducten naar de bouwplaats is hoger dan die van betonmortel, 75 versus 25 km. Doordat er verhoudingsgewijs meer betonproducten worden gebruikt in 2017 ten opzichte van 2010, is de gemiddelde transportafstand voor 'beton

totaal' naar de bouwlocatie dus gestegen. De klimaatimpact van vervoer per vrachtwagen is per tonkilometer door de jaren heen lager geworden vanwege verbeterde motorefficiëntie. Maar omdat er in 2017 meer betonproducten werden gebruikt dan in 2010 is er per m^3 'beton totaal' geen daling in klimaatimpact door transport te zien.

Beoordeling van de robuustheid van deze resultaten

De klimaatimpactresultaten van wapeningsstaal zijn onzekerder dan van de betongrondstoffen. De dataset voor wapeningsstaal van VWN komt namelijk uit 2015 maar is gebaseerd op eerdere jaren (VWN, 2015); een update zou welkom zijn. Voor wapeningsstaal konden we niet differentiëren tussen de zichtjaren 2010 en 2017. Hoewel de resultaten voor wapeningsstaal niet erg robuust zijn, kunnen de conclusies — dat er tussen 1990 en 2010 een daling plaatsvindt, en geen verdere daling na 2010 — overeind blijven omdat zij grotendeels voortkomen uit betrouwbare informatie over klimaatimpact van de andere grondstoffen.

Transport kent ook een onzekerheid: het is onbekend of en hoe de klimaatimpact van scheepvaart (voor aanlevering van zand en grind) is veranderd in de loop der jaren.
De overige informatie, ook de milieu-informatie, is zeker. De resultaten voor transport naar de bouwplaats (Module A4) beschouwen we als robuust.

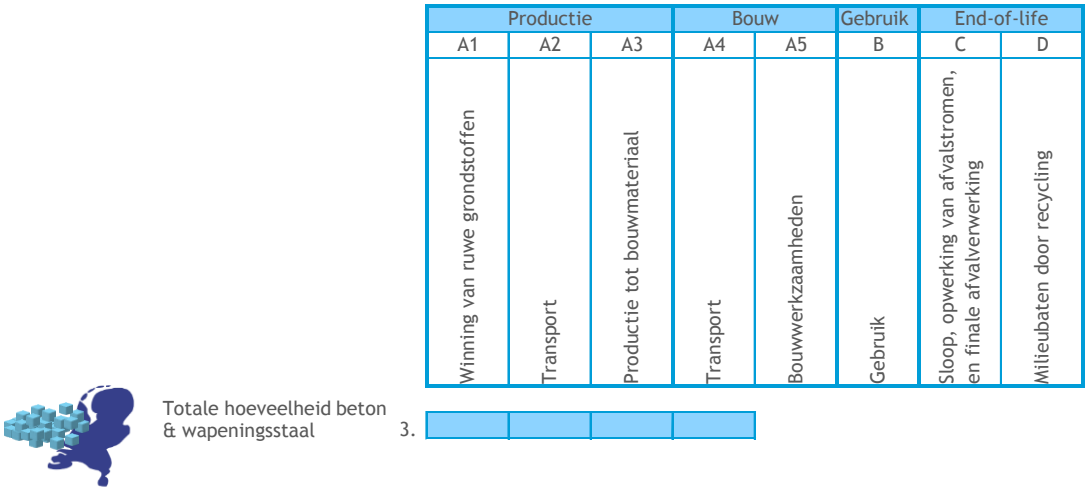
3.3 Klimaatimpact betongebruik inclusief wapeningsstaal in Nederland (Modules A1-A4)

In deze paragraaf, Stap 3 van Tabel 11, beschouwen we klimaatimpactresultaten van het totale gebruik van betonmortel en -producten, inclusief wapeningsstaal, voor de Nederlandse markt voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. De scope is van grondstofwinning tot aan de bouwplaats (Modules A1-A4), inclusief wapeningsstaal. Zie de visualisatie in Figuur 12.

De klimaatimpact van het gebruik van betonmortel en -producten in Nederland berekenen we door de klimaatimpact per m^3 betonmortel (kg CO_2-eq./m^3 betonmortel) en per m^3 betonproducten (kg CO_2-eq./m^3 betonproducten) te vermenigvuldigen met ieder het gebruik voor betonmortel (m^3) en betonproducten (m^3) in Nederland voor een zichtjaar. Het betongebruik in Nederland representeert de som van het gebruikte betonmortel en betonproducten.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 14 en grafisch in Figuur 13. Naast het totaalresultaat tonen zij ook de bijdrage aan het totaalresultaat van de productiefase van betonmortel en betonproducten (Modules A1-A3) en van wapeningsstaal (Modules A1-A3), en het transport van de productielocatie naar de bouwplaats (Module A4).

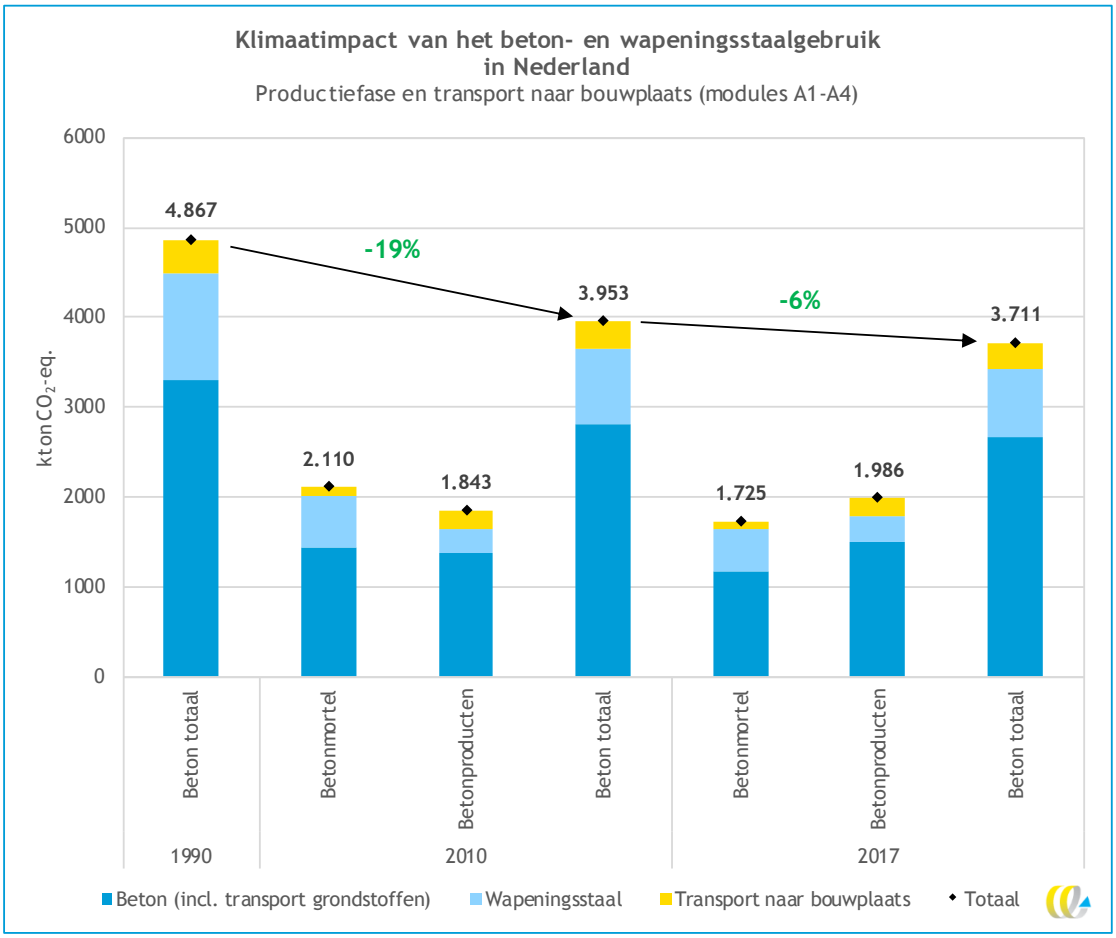
Figuur 12 - Afbakening van de analyse zoals gehanteerd in Paragraaf 3.3; modules conform (SBK, 2014)



Tabel 14 - Klimaatimpact van het totale beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland, uitgesplitst in betonmortel en betonproducten; afbakening: productiefase en transport naar de bouwplaats (Modules A1-A4)

	1990	2010			2017		
Ketenstap (module)	**Totaal beton-gebruik**	**Beton-mortel**	**Beton-producten**	**Totaal beton-gebruik**	**Beton-mortel**	**Beton-producten**	**Totaal beton-gebruik**
Beton, incl. transport grondstoffen (A1-A3)	3.303	1.434	1.380	2.815	1.163	1.496	2.659
Wapeningsstaal (A1-A3)	1.175	575	263	838	480	281	760
Transport naar bouwplaats (A4)	388	101	200	300	82	209	291
Totaal (kton CO_2-eq.)	**4.867**	**2.110**	**1.843**	**3.953**	**1.725**	**1.986**	**3.711**

Figuur 13 - Klimaatimpact van het beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland; afbakening: productiefase en transport naar de bouwplaats (Modules A1-A4)



Belangrijkste bevindingen

De klimaatimpact van betonproducten en betonmortel, inclusief wapeningsstaal en transport naar de bouwplaats (Modules A1-A4) daalt met 19% voor zichtjaar 2010 ten opzichte van 1990. In tegenstelling tot de resultaten per m^3 beton zet de daling van de klimaatimpact door in 2017 met 6% ten opzichte van 2010. De daling is sterker dan we zagen per m^3 beton (betonmortel en betonproducten) in Paragrafen 3.1 en 3.2 omdat het betongebruik is afgenomen: in 2010 werd 5% minder beton gebruikt dan in 1990; in 2017 werd 12% minder beton gebruikt dan in 1990.

Ondanks dat er 12% minder beton werd gebruikt 2017 dan in 1990 zet de daling in klimaat-impact niet dusdanig sterk door. Dat komt omdat er in 2017 minder betonmortel werd toegepast en meer betonproducten dan in 2010, en betonproducten hebben een hogere gemiddelde impact per m^3 vanwege een hoger gehalte aan CEM I, CEM II en CEM III/A dan betonmortel. Ook speelt een rol dat de impact van wapeningsstaal is gereduceerd in 2010 t.o.v. 1990 (met 25%).

3.4 Klimaatimpact in breder perspectief: betongebruik, inclusief wapeningsstaal in Nederland (Modules A, C & D)

In deze paragraaf, Stap 4 van Tabel 11, beschouwen we klimaatimpactresultaten van het totale gebruik van betonmortel en -producten inclusief toegepast wapeningsstaal voor de Nederlandse markt voor de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. De scope betreft alle keten-stappen, met uitzondering van de gebruiksfase (Module B). Naast de bouwfase (Modules A1-A3) en transport (Module A4) zijn in deze paragraaf ook de overige ketenstappen (Modules A5, C en D) opgenomen. Zie de visualisatie in Figuur 14.

Deze analyse is indicatief
De resultaten in deze paragraaf zijn tot stand gekomen door de klimaatimpactfactoren van de Modules A5, C en D, bepaald in (CE Delft, 2013), toe te passen op de hoeveelheid gebruikt beton en wapeningsstaal in Nederland in de zichtjaren 1990, 2010 en 2017. Het actualiseren van de cijfers voor de Modules A5, C en D — zijnde het energieverbruik voor bouw, sloop en afvalverwerking, en het type en aandeel gerecycled materiaal in Module D — vormde geen onderdeel van het onderzoek. De resultaten voor de zichtjaren 1990 en 2017 zijn daarmee meer onzeker en zodoende indicatief. De resultaten dienen om een globaal inzicht te geven van de klimaatimpact van beton in het bredere perspectief.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 15 en Figuur 15. Naast het totaalresultaat tonen zij ook de bijdrage aan het totaalresultaat van de voorgenoemde ketenstappen.

Figuur 14 - Afbakening van de analyse zoals gehanteerd in Paragraaf 3.4; modules conform (SBK, 2014)

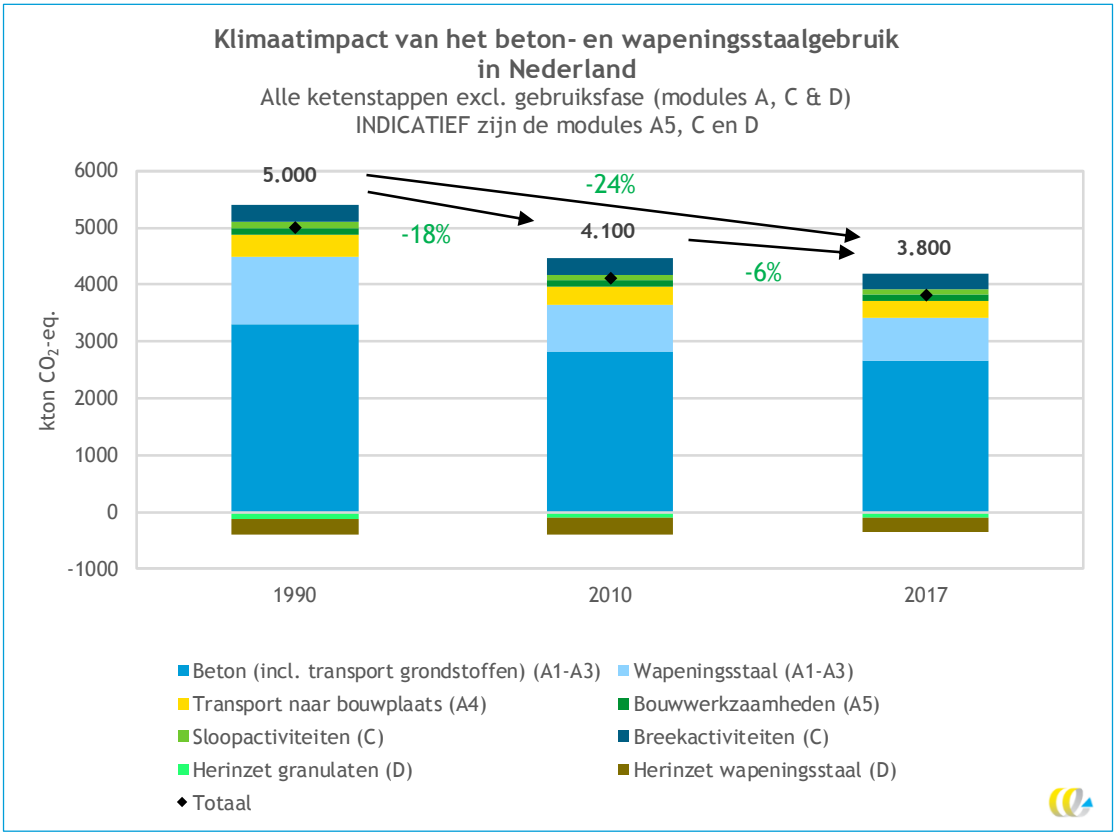
		Productie			Bouw		Gebruik	End-of-life	
		A1	A2	A3	A4	A5	B	C	D
		Winning van ruwe grondstoffen	Transport	Productie tot bouwmateriaal	Transport	Bouwwerkzaamheden	Gebruik	Sloop, opwerking van afvalstromen, en finale afvalverwerking	Milieubaten door recycling
Totale hoeveelheid beton & wapeningsstaal	4.					i		i	i

(i = indicatief)

Tabel 15 - INDICATIEF: Klimaatimpact van het beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland; afbakening: alle ketenstappen exclusief gebruiksfase (Modules A, C & D)

	INDICATIEF: Klimaatimpact van het totale beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland; alle ketenstappen excl. gebruiksfase (Module A, C & D) (kton CO_2-eq.)		
Ketenstap (module)	**1990**	**2010**	**2017**
Beton (incl. transport grondstoffen) (A1-A3)	3.303	2.815	2.659
Wapeningsstaal (A1-A3)	1.175	838	760
Transport naar bouwplaats (A4)	388	300	291
Bouwwerkzaamheden (A5)	125	120	110
Sloopactiviteiten (C)	105	101	93
Breekactiviteiten (C)	306	294	270
Herinzet betongranulaten (D)	-116	-111	-102
Herinzet wapeningsstaal (D)	-288	-277	-255
Totaal (kton CO_2-eq.)	**4.999**	**4.080**	**3.827**

Figuur 15 - INDICATIEF: Klimaatimpact van het beton- en wapeningsstaalgebruik in Nederland; afbakening: alle ketenstappen exclusief gebruiksfase (Modules A, C & D)



Te zien is dat de productiefase (Modules A1-A3) van grondstoffen en wapeningsstaal dominant is op de totale klimaatimpact voor betonmortel en betonproducten. De bouwfase (Modules A4-A5) en sloop- en breekactiviteiten (Module C) leveren een bescheiden bijdrage aan de totale klimaatimpact. Recycling van wapeningsstaal en betongranulaat (Module D) levert een klimaatwinst op: een verlaging van het totaalresultaat.

De 'extra levenscyclusfasen' tezamen bewerkstelligen een kleine verhoging van het nettoresultaat. De constatering uit Paragraaf 3.3 verandert echter niet:

De daling voor zichtjaar 2010 is in de orde van 18%; voor zichtjaar 2017 in de orde van 24% ten opzichte van 1990. Tussen 2010 en 2017 komt de daling in klimaatimpact door een lagere totale hoeveelheid betonmortel en betonproducten toegepast op de Nederlandse markt.

Als de hoeveelheid betonmortel en betonproducten samen gelijk zou zijn gebleven in 2017 ten opzichte van 1990, dan zou er een daling in klimaatimpact van 13% zijn[13].

Robuustheid van de resultaten

De klimaatwinst die wordt behaald door recycling van wapeningsstaal is de grootste onzekere factor die extra geïntroduceerd is in deze analyse (Modules A5, C en D).
De winst die mag worden toegerekend hangt af van de verhouding secundair/primair staal in wapeningsstaal (Module A1). De dataset van VWN gaat uit van 70% secundair staal in wapeningsstaal. Het is niet bekend wat deze verhouding was in 1990.

3.5 Veranderingen op een rij

Ter overzicht bevat Tabel 16 de verandering in klimaatimpact voor 2010 t.o.v. 1990 en voor 2017 t.o.v. 2010, voor de vier gehanteerde afbakeningen.

Tabel 16 - Overzicht van de verandering in klimaatimpact, voor de vier afbakeningen

Stap	Resultaten in paragraaf	Onderwerp van analyse	Afbakening van de analyse(modules volgens de SBK Bepalingsmethode)	Verandering 2010 t.a.v. 1990	Verandering 2017 t.o.v. 2010
1	3.1	1 m^3 beton: betonmortel, -producten en beton totaal, exclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A3: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3).	-11%	+2%
2	3.2	1 m^3 beton: betonmortel, -producten en beton totaal, inclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A4: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).	-15%	+1%

[13] Dit is berekend op basis van de hoeveelheden in Figuur 7 en resultaten in Figuur 15: 3.800/12.900*14.600 levert een (fictieve, geschaalde) klimaatimpact van 4.330 kton CO_2-eq. Dit is een afname van 13% t.o.v. 5.000 kton CO_2-eq. in 1990.

Stap	Resultaten in paragraaf	Onderwerp van analyse	Afbakening van de analyse(modules volgens de SBK Bepalingsmethode)	Verandering 2010 t.a.v. 1990	Verandering 2017 t.o.v. 2010
3	3.3	De totale hoeveelheid betonmortel en -producten in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A4: grondstofwinning (A1), transport naar productielocatie (A2) en productie van bouwmateriaal (A3) en transport naar gebruikslocatie (A4).	-19%	-6%
4	3.4	De totale hoeveelheid betonmortel en -producten in Nederland, inclusief toegepast wapeningsstaal.	A1-A5, C & D (alle ketenstappen met uitzondering van gebruik (B), modules A5, C en D indicatief).	-18%	-6%

4 Conclusies en aanbevelingen

Conclusies van de analyse

De klimaatimpact in zichtjaren 2010 en 2017 ligt lager dan in zichtjaar 1990. De daling voor zichtjaar 2010 is in de orde van 18%; voor zichtjaar 2017 in de orde van 24% ten opzichte van 1990. De daling heeft de volgende oorzaken:

- De klimaatimpact per ton klinker daalde. In 1990 was de klimaatimpact 11% hoger dan in 2017; in 2010 was de klimaatimpact 5% hoger dan in 2017. Oorzaken zijn de toepassing van minder CO_2-intensieve technieken en verhoogd aandeel van biomassa en fossiel afval voor energievoorziening bij de klinkerproductie.
- De klimaatimpact per ton wapeningsstaal daalde. In 1990 lag de klimaatimpact zo'n 33% hoger dan in 2017 (World Steel, 2019).
- Er was in Nederland minder betongebruik in 2010 en 2017 dan in 1990 (resp. 5% en 12% minder dan in 1990);
- De klimaatimpact van transport per vrachtwagen per tonkilometer daalde met 22% in 2010 t.o.v. 1990 en met 25% in 2017 t.o.v. 1990 (CBS, 2020).

De daling in klimaatimpact voor 2017 ten opzichte van 2010 (-6%) is echter minder sterk dan men zou verwachten op basis van de afgenomen hoeveelheid beton.

- Vergeleken met 2010 werd er in 2017 relatief meer betonproducten (prefab) gebruikt dan betonmortel. Betonproducten bevatten verhoudingsgewijs meer CEM I dan betonmortel. CEM I heeft van alle cementtypen de hoogste klimaatimpact.
- De klimaatimpact per ton wapeningsstaal nam niet verder af, of preciezer gezegd: er vond geen verdere energie-efficiënte van wapeningsstaalproductie plaats (World Steel, 2019).

Als de hoeveelheid beton gelijk zou worden gesteld aan 1990, dan zou de daling in klimaatimpact tussen 2017 en 1990 ongeveer 13% betreffen, in plaats van 24% (afbakening: Modules A, C & D).

De klimaatimpact per m^3 'beton totaal' (het gewogen gemiddelde van betonmortel en betonproducten) was nagenoeg gelijk in zichtjaren 2010 en 2017. Ook hier zien we de invloed dat er in 2017 meer betonproducten worden geproduceerd dan betonmortel in Nederland dan in 2010.

Uit de analyse en diverse gesprekken met de betonbranche tijdens het project merken we op:

- Ondanks de inspanningen van de klinkerproducenten om de klimaatimpact van (klinker in) cement te verlagen, heeft de voorkeur voor betonproducten ten koste van betonmortel gezorgd voor een verhoging van de gewogen gemiddelde klimaatimpact per m^3 beton.
- Als betonproducenten CEM I vaker zouden vervangen door CEM II, III of V, dan zal de klimaatimpact van betonproducten sterker dalen en zodoende zal ook de klimaatimpact van het jaarlijks betongebruik in Nederland dalen. Dit is wel afhankelijk van beschikbaarheid van hoogovenslak in de toekomst.
- Deze cementtypen hebben echter een langere uithardtijd. En een langere uithardtijd betekent dat er minder kan worden geproduceerd op dezelfde oppervlakte van de fabriekshal.

De hogere klimaatimpact van een m^3 beton in betonproducten in vergelijking met betonmortel is een aandachtspunt voor de transitie naar een klimaatneutrale en circulaire economie. Prefab-betonproducten zijn eenvoudiger te hergebruiken dan in situ gestorte betonmortel. De trend dat betonproducten meer en meer wordt gebruikt ten koste van betonmortel zou daarom wel eens kunnen doorzetten. Dit zou verdere verhoging per m^3 beton (gemiddeld) kunnen opleveren, maar het kan ook voordelen opleveren:

- hergebruik van betonproducten levert een hogere klimaatwinst op dan recycling van materialen;
- in sommige toepassingen hebben betonproducten wellicht minder beton nodig dan betonmortel, waardoor het totaalverbruik van beton lager blijft.

Deze studie beoogt niet om betontoepassingen te vergelijken. Bij een vergelijking op productniveau kunnen bovenstaande zaken wel afgewogen worden.

Aanbeveling voor toekomstige analyses: de noodzaak van goede gegevens

De kwaliteit en compleetheid van gegevens zijn van cruciaal belang voor een onderzoek zoals deze. Daarbij gaat het zowel om beschikbaarheid van gegevens over hoeveelheden en samenstellingen (voorgrondgegevens van de branche) als om milieukundige achtergrondgegevens: bestaande levenscyclusanalyses (LCA's) beschikbaar in milieudatabases. Zeker terugkijkend naar 1990 zijn we afhankelijk van eerder uitgevoerde metingen en analyses. Historische gegevens over betonsamenstelling zijn beschikbaar gebleken. Voor de milieukundige achtergrond van de klimaatimpact per grondstof hebben we voor eerdere jaren (1990 en 2010) recente milieugegevens als basis genomen en waar mogelijk naar de eerdere jaren aangepast op basis van langjarige trends[14].

Deze studie poogt dan ook niet om de absoluut ware klimaatimpact te berekenen in ieder jaar, maar wil een eerlijke vergelijking mogelijk maken tussen de jaren.

Deze aanpak is wat Betonhuis, NIBE en CE Delft betreft de meest robuuste aanpak mogelijk voor de vergelijkende analyse. We raden aan om deze studie in de toekomst uit te breiden met een vierde jaarreeks en deze ter vergelijking naast 1990, 2010 en 2017 te zetten.
Zo kan men toekomstige maatregelen ter verduurzaming blijven monitoren. Hiervoor is benodigd:

- Continuering van dataverzameling over hoeveelheden en samenstelling door Betonhuis en VWN
- Regelmatige updates van de milieukundige datasets van cement, wapeningsstaal en (idealiter) de andere primaire grondstoffen voor beton. Idealiter vindt elke vijf jaar een update plaats. Het jaar van update is idealiter gelijk; dit is iets dat de brancheverenigingen zouden kunnen afstemmen.

[14] Van de klimaatimpact van klinkerproductie en van de energie-efficiënte van productie van wapeningsstaal.

Bibliografie

Betonhuis, 2020. *Informatie aangeleverd door Henk Schuur, Adviseur KAM en Regelgeving bij Betonhuis,* Woerden: Betonhuis.

CBS, 2020. *Statline, Emissies naar lucht op Nederlands grondgebied; wegverkeer.* [Online]
Available at: https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/7063/table?dl=36163
[Geopend 25 2 2020].

CE Delft, 2013. *Milieu-impact van betongebruik in de Nederlandse bouw,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Meten is weten in de Nederlandse bouw,* Delft: CE Delft.

CE Delft, 2016. *STREAM Goederenvervoer 2016,* Delft: CE Delft.

Eurometaux, 2019. *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) for Metal Sheets for Various Applications,* Brussels: EC.

GCCA, 2020a. *GNR Project Reporting CO2 - Gross CO2 emissions per ton of grey clinker.* [Online]
Available at: https://gccassociation.org/gnr/EU28/GNR-Indicator_59cAG-EU28.html
[Geopend 06 2020].

GCCA, 2020b. *GNR Project Reporting CO2 - Total thermal energy consumption.* [Online]
Available at: https://gccassociation.org/gnr/EU28/GNR-Indicator_25aTGW-EU28.html
[Geopend 10 2020].

GCCA, 2020c. *GNR Project Reporting CO2 - Total production volumes of clinker by kiln type.* [Online]

Available at: https://gccassociation.org/gnr/EU28/GNR-Indicator_8TGK-EU28.html
[Geopend 10 2020].

GCCA, 2020d. *GNR Project Reporting CO2.* [Online]
Available at: https://gccassociation.org/gnr/EU28/GNR-Indicator_59cAGK-EU28.html
[Geopend 10 2020].

GCCA, 2020. *GNR Project Reporting CO2.* [Online]
Available at: https://gccassociation.org/gnr/
[Geopend 06 2020].

Hofstra, U., 2020. *telefonisch* [Interview] (22 september 2020).

IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)].* Geneva, Switzerland: sn

mrpi.nl, 2019. *MRPI-certificaten cementproductie.* [Online]
Available at: http://www.mrpi.nl/epd-certificaten
[Geopend 16 9 2020].

NIBE, 2018. *Advies voor MKI plafondwaarden voor betonmortel en betonproducten - Bijlage B,* Bussum: NIBE.

NMD, 2020. *Nationale Milieudatabase versie 3.1,* Rijswijk: Nationale Milieudatabase.

SBK, 2014. *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken,* Rijswijk: Stichting Bouwkwaliteit.

VWN, 2015. *LCA Wapeningsstaal,* Apeldoorn: Vereniging Wapeningsstaal Nederland.

VWN, 2020. *Persoonlijke communicatie tussen Betonhuis en VWN,* sl: Vereniging Wapeningsstaal Nederland.

WBCSD, 2016. *Cement Industry Energy and CO2 Performance,* sl: WBCSD, Cement Sustainability Initiative (CSI).

Wernet, G. et al., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I). *International Journal of Life Cycle Assessment,* Volume 21(9), p. 1218–1230.

Wikipedia, 2013. *Klinker.* [Online]
Available at: https://nl.wikipedia.org/wiki/Klinker_(halffabricaat)
[Geopend mei 2020].

Wikipedia, 2020. *Cement.* [Online]
Available at: https://nl.wikipedia.org/wiki/Cement_(bouwmateriaal)
[Geopend mei 2020].

World Steel Association, 2017. *LCI data rebar: cradle to gate for 1 kg steel,* Brussels: World Steel Association.

World Steel, 2019. *Factsheet - Energy use in the steel industry, Figuur 1,* Brussel, België: World Steel Association.

A Secundair brandstofgebruik bij cementproductie

In deze studie maken we gebruik van bestaande LCA's van cementproductie. Deze zijn opgesteld door SGS Intron (mrpi.nl, 2019) en opgenomen in de Nationale Milieudatabase (NMD, 2020). Bij productie van klinker voor cement is energie (warmte) nodig. Cementproducenten gebruiken hiervoor steenkool en hoogcalorische brandbare afvalstromen zoals *rejects* van kunststof- en papierrecycling.

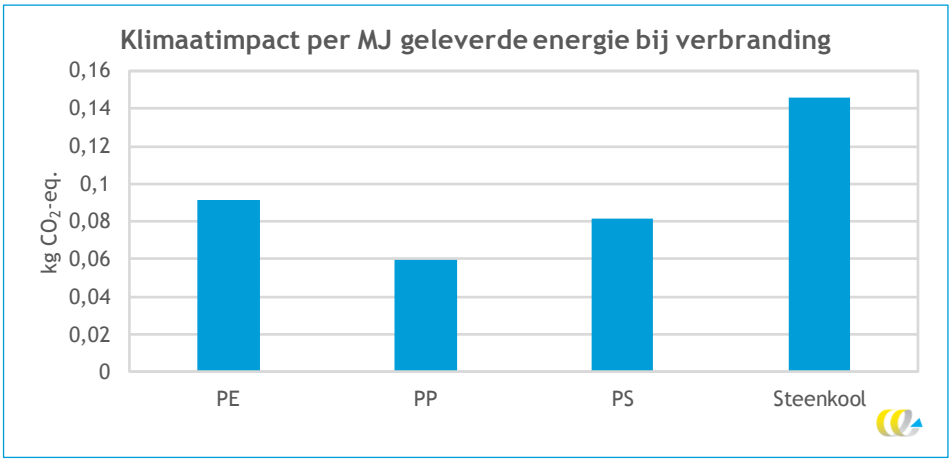
De emissies van deze bijstook van zogeheten secundaire brandstoffen zijn inbegrepen in de LCA's van cementproductie. SGS Intron (Hofstra, 2020) geeft aan dat hiervoor gekozen is om twee redenen:

- cement wordt zo niet te gunstig beoordeeld ten opzichte van secundaire bindmiddelen, zoals hoogovenslak en poederkoolvliegas;
- deze aanpak past bij de emissieregistratie van de cementproducenten: die omvat de emissie van broeikasgassen en andere schadelijke luchtemissies voortkomend uit secundaire brandstoffen.

De SBK Bepalingsmethode, die richtlijnen biedt voor afbakening van LCA's van bouwmaterialen, is niet eenduidig of emissies van secundaire brandstoffen wel of niet moeten worden bij de productie van grondstoffen. De onderbouwing en keuze van SGS vinden wij logisch. De SBK Bepalingsmethode is wel stellig over de impact van de secundaire brandstoffen zelf: de brandstoffen zelf zijn vrij van milieulast. Dit wil zeggen dat de productie van het materiaal zelf niet is inbegrepen; immers, deze impact behoort toe aan het oorspronkelijke product. Vergeleken met het primaire steenkool, waarvan de impact productie wel is inbegrepen, levert heeft bijstook van impactvrije *rejects* dus een milieuvoordeel op.

Het verbranden van 1 MJ kunststof heeft daarnaast een lagere klimaatimpact dan het verbranden van 1 MJ steenkool. Zie Figuur 16; op basis van verbrandingsgegevens uit de Ecoinvent database (v.3.6, 2020). Het bijstoken van kunststof *rejects* in plaats van steenkool heeft dus een gunstig effect op de impact van klinker en cement. Biobased *rejects* zijn CO_2-neutraal omdat zij binnen de spanne van een mensenleven weer aangroeien, en hebben dus een nog veel gunstiger effect.

Figuur 16 - Klimaatimpact per MJ geleverde energie bij verbranding van kunststof (PP, PE en PS) en steenkool (Ecoinvent v.3.6, 2020)



In Paragraaf 2.5 wordt toegelicht dat we de klimaatimpact van cement uit zichtjaar 2017 als basis nemen voor deze studie (NMD, 2020). De klimaatimpact van cement voor zichtjaren 1990 en 2010 benaderen we vervolgens met jaarlijkse gegevens over de impact van klinkerproductie (GCCA, 2020a). Deze jaarreeksen representeren Europese klinker- en cementproducenten (EU28), niet alleen de cementproducenten die op de Nederlandse markt actief zijn. De statistieken omvatten bijgestookte secundaire brandstof en de bijstook van biomassa.

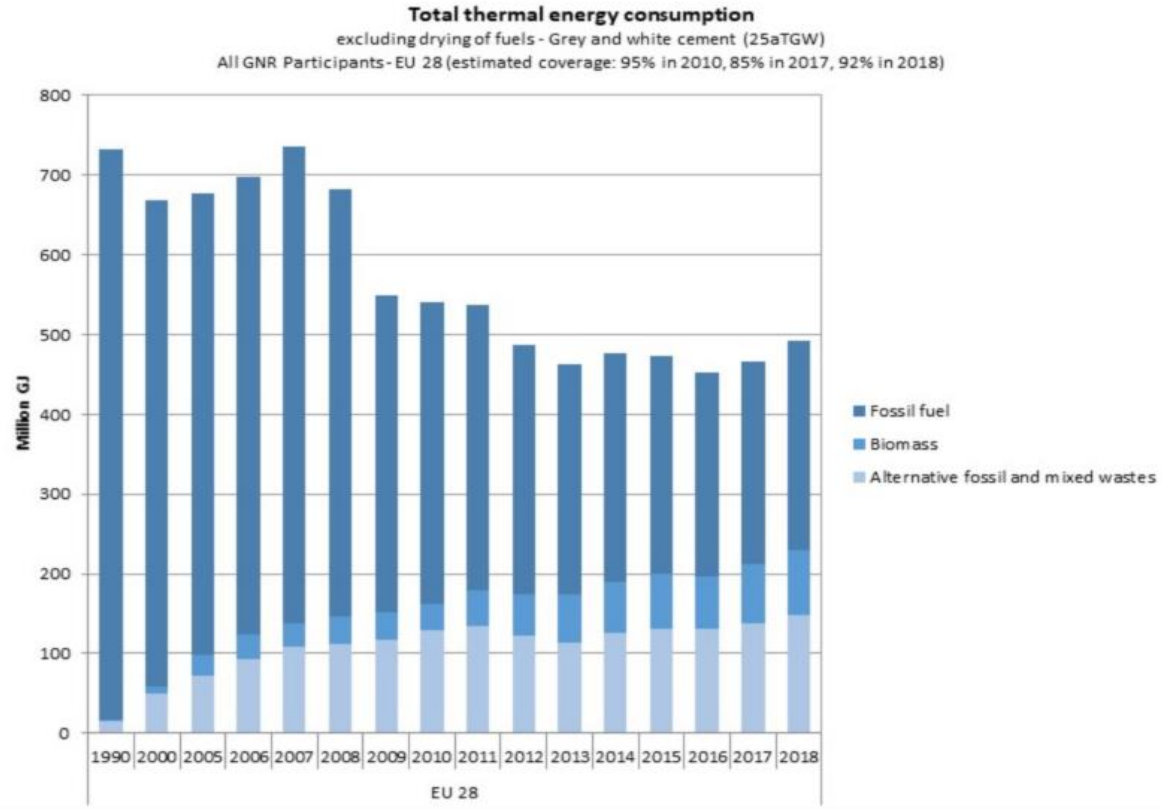
In Figuur 17 is te zien dat bijstook van secundaire brandstof en biomassa is toegenomen in de loop der jaren (GCCA, 2020b). Uit de begeleidende cijfers in de bron is op te maken dat in 2017 biomassa 16% van de thermische energievoorziening verzorgde en bijstook van fossiel afval 30%.

In Figuur 18 is te zien dat in 1990 een hoger aandeel klinker werd geproduceerd via natte productie (‘*wet/shaft kiln*’) dan in 2017. Uit de begeleidende cijfers in de bron is op te maken dat het gaat om 10,6% in 1990 en 1,4% in 2017.

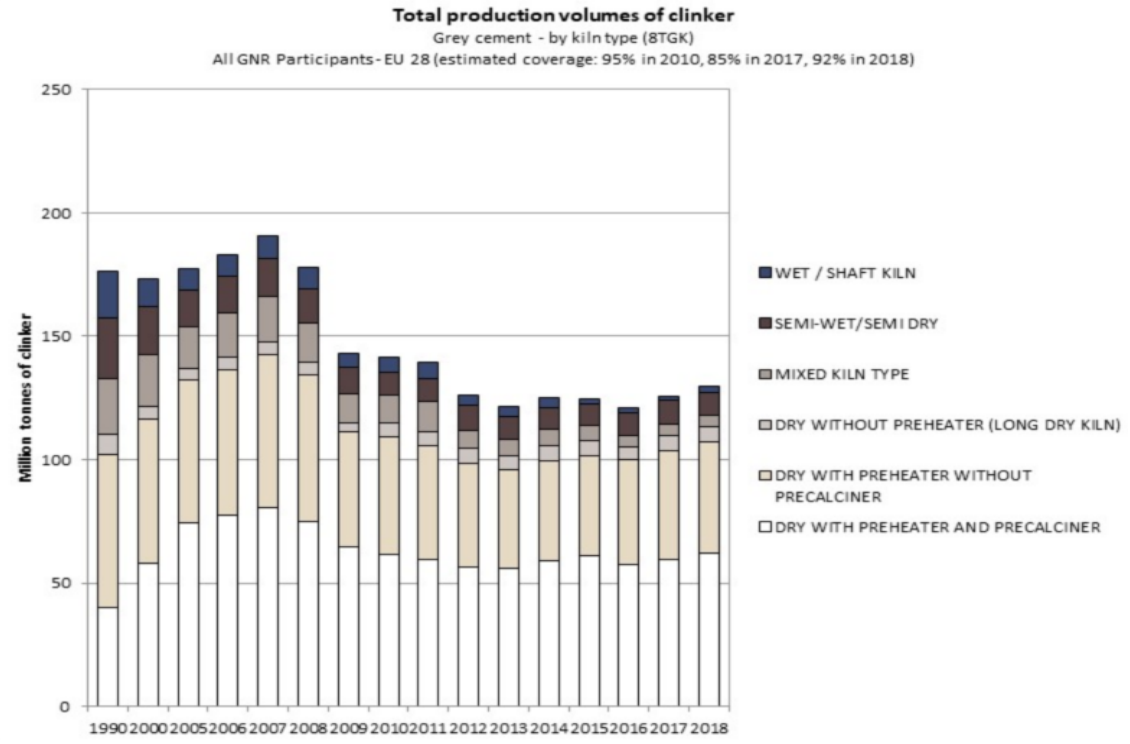
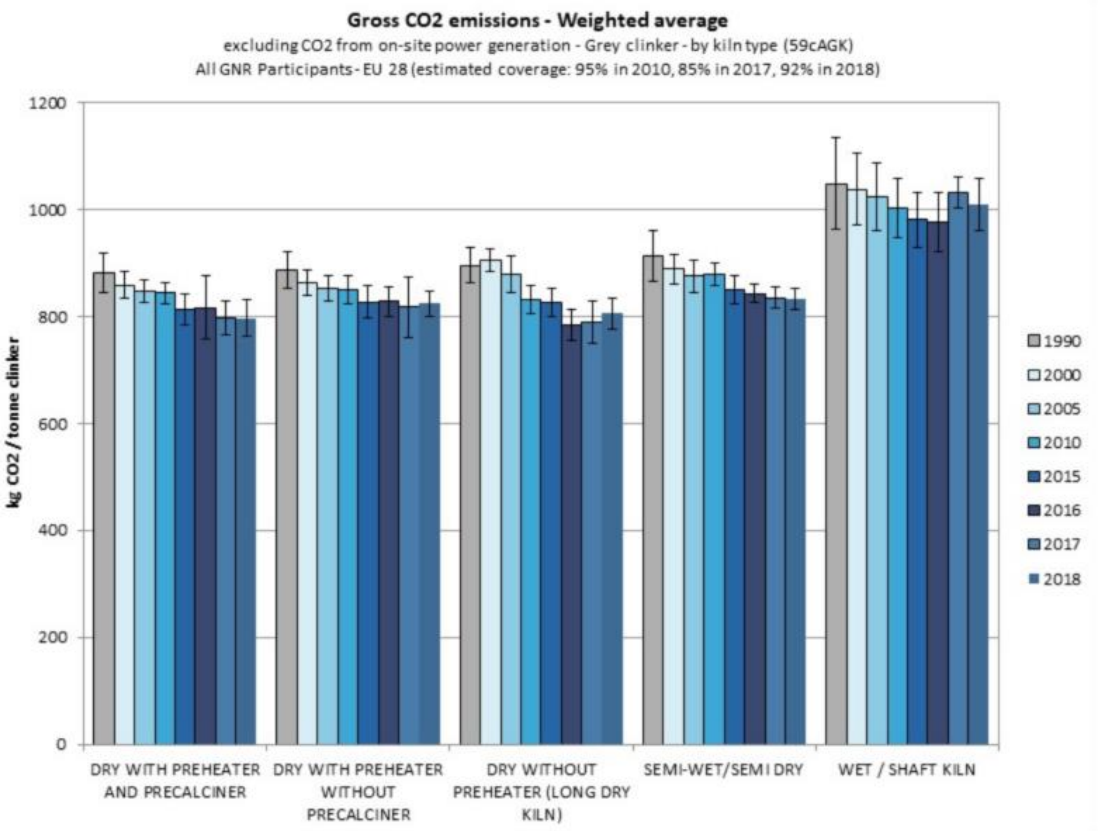
In Figuur 19 is te zien dat de CO_2-emissie van (semi-)droge productietechnieken lager is dan natte productie: 13 tot 16% volgens de begeleidende cijfers in de bron.

De drie genoemde oorzaken — verschuiving in productietechnieken, bijstook van biomassa en bijstook van afval — leiden zodoende tot een verlaging van CO_2-uitstoot per kg klinker in 2010 en 2017 t.o.v. 1990.

Figuur 17 – Figuur zoals letterlijk beschikbaar op webpagina (GCCA, 2020b)



Figuur 18 - Figuur zoals letterlijk beschikbaar op webpagina (GCCA, 2020c)



Figuur 19 - Figuur zoals letterlijk beschikbaar op webpagina (GCCA, 2020d)