

Tabel 1. Emissie- of conversiefactoren.

milieueffect	afkorting	eenheid	elektriciteit			
			groen			grijs
			hydro	wind	pv	
			1 kWh			
klimaatsverandering	GWP	kg CO <sub>2</sub> eq	6,99·10 <sup>-03</sup>	7,67·10 <sup>-03</sup>	5,03·10 <sup>-02</sup>	2,13·10 <sup>-01</sup>
aantasting ozonlaag	ODP	kg CFC-11eq	4,00·10 <sup>-14</sup>	5,00·10 <sup>-13</sup>	1,29·10 <sup>-11</sup>	1,03·10 <sup>-09</sup>
verzuring bodem	AP	kg SO <sub>2</sub> eq	5,96·10 <sup>-06</sup>	2,16·10 <sup>-05</sup>	2,31·10 <sup>-04</sup>	4,22·10 <sup>-04</sup>
vermesting water	EP	kg (PO <sub>3</sub> ) <sup>3-</sup> eq	7,87·10 <sup>-07</sup>	2,45·10 <sup>-06</sup>	1,86·10 <sup>-05</sup>	6,08·10 <sup>-05</sup>
fotocemische oxidantvorming	POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2,64·10 <sup>-07</sup>	1,82·10 <sup>-06</sup>	3,20·10 <sup>-05</sup>	5,95·10 <sup>-05</sup>
uitputting mineralen	ADP_e	kg SBeq	1,27·10 <sup>-07</sup>	5,77·10 <sup>-08</sup>	3,44·10 <sup>-06</sup>	5,77·10 <sup>-08</sup>
uitputting fossiele brandstoffen	ADP_f	kg SBeq <sup>(1)</sup>	7,65·10 <sup>-06</sup>	4,31·10 <sup>-05</sup>	3,11·10 <sup>-01</sup>	1,39·10 <sup>-03</sup>
humane toxiciteit	HTP	kg 1,4-DBeq	-2,07·10 <sup>-04</sup>	3,26·10 <sup>-04</sup>	7,61·10 <sup>-02</sup>	1,16·10 <sup>-02</sup>
terrestrische ecotoxiciteit	TETP	kg 1,4-DBeq	1,93·10 <sup>-06</sup>	2,24·10 <sup>-05</sup>	2,91·10 <sup>-04</sup>	2,42·10 <sup>-04</sup>
zoetwater aquatische ecotoxiciteit	FAETP	kg 1,4-DBeq	9,37·10 <sup>-06</sup>	3,57·10 <sup>-05</sup>	5,35·10 <sup>-04</sup>	1,07·10 <sup>-03</sup>
mariene aquatische ecotoxiciteit	MAETP	kg 1,4-DBeq	1,32·10 <sup>-01</sup>	8,94·10 <sup>-01</sup>	3,31·10 <sup>-01</sup>	3,76·10 <sup>-01</sup>

1. Normaal gerekend in energie (MJ). Omrekenfactor: 481·10<sup>-6</sup> kgSBeq voor 1 MJ.
2. Komt overeen met een verbruik van 64 l per 100 km voor een vrachtwagen van 27 ton netto laadvermogen. Omrekenfactor: 3,22 kg CO<sub>2</sub>eq/l.
3. Komt overeen met een verbruik van 5,5 l per 100 km voor een personenwagen. Omrekenfactor: 2,69 kg CO<sub>2</sub>eq/l.
4. Komt overeen met een verbruik van 7,5 l per 100 km voor een personenwagen. Omrekenfactor: 2,33 kg CO<sub>2</sub>eq/l.
5. Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, Stichting Bouwkwaliiteit, Rijswijk 2011.

# Beter zicht in een (voorheen) grijs gebied

**Het broeikas effect van een staalconstructie wordt in belangrijke mate bepaald door het aantal handelingen en bewerkingen, met name laswerkzaamheden, en omvang en gewicht van de constructiedelen zoals deze de werkplaats verlaten. Recent en gedetailleerd onderzoek naar nog tien andere milieueffecten van het staalconstructieproces geeft een dusdanig goed beeld, dat overheden en opdrachtgevers al zouden kunnen overgaan tot het opnemen van minimale milieuprestaties in gunningcriteria.**

prof.ir. W. Hoeckman

Wim Hoeckman is CEO bij Victor Buyck Steel Construction in Eeklo (B) en doceert staal- en bruggenbouw aan de Vrije Universiteit van Brussel.

De staalconstructie-industrie is zich steeds meer bewust van het belang van duurzaamheid, waarbij de milieueffecten zoals CO<sub>2</sub>-emissies een belangrijk onderdeel vormen. Een milieueffect kan ingebouwd zijn (*embodied* of *imbedded*) of van operationele aard. Ingebouwd betekent dat het effect tijdens de constructie- en bouwfase optreedt. Operationele milieueffecten treden op tijdens het gebruik van de (volledige levensduur van de) constructie.

Operationele emissies worden teruggebracht via allerlei nationale of internationale (overheids)maatregelen. Daarbij komen ook de ingebouwde emissies meer en meer in beeld. Aan de producenten van bouwproducten is de pertinente vraag en verplichting gesteld om de ingebouwde milieueffecten te meten en inzichtelijk te maken, op een zo eenvoudige mogelijke manier en met een zo hoog

mogelijke betrouwbaarheid. Hoewel van de milieueffecten van de staalproductie inmiddels een goed beeld bestaat, blijft de impact van het constructieproces (fabricage en montage) nog een grijs gebied. Over een eerste vingeroefening in die richting is in *Bouwen met Staal 227* gerapporteerd<sup>[1]</sup>, waarna in samenwerking met de Vrije Universiteit Brussel verder onderzoek is verricht om tot een meer betrouwbaar beeld te komen. Verschillende industrieën hebben al stappen ondernomen om hun ecologische voetafdruk te verminderen via innovatie en nieuwe processen. Om in deze ontwikkeling de boot niet te missen, is het van belang dat ook staalbouwers deze nieuwe regels beheersen. In Nederland is al een aantal belangrijke staalbouwers gecertificeerd volgens de CO<sub>2</sub>-prestatieladder. Het ligt niet voor de hand dat niet-Nederlandse staalbouwers zich hier-

	aardgas	diesel	transport					schaduwprijs	
			vrachtwagen	auto		scheepvaart		SKB-methode <sup>(5)</sup>	
				diesel	diesel	benzine	binnenvaart	zeevaart	€/eenheid
1 kWh	1 l	1 t,km	1 km	1 km	1 km	1 t,km	1 t,km		
	2,21·10 <sup>-01</sup>	3,22	5,15·10 <sup>-02</sup> (2)	1,47·10 <sup>-01</sup> (3)	1,75·10 <sup>-01</sup> (4)	1,97·10 <sup>-02</sup>	3,93·10 <sup>-02</sup>	0,05	
	1,61·10 <sup>-12</sup>	-	-	-	-	8,09·10 <sup>-14</sup>	-	30	
	1,27·10 <sup>-04</sup>	1,25·10 <sup>-02</sup>	2,00·10 <sup>-04</sup>	3,38·10 <sup>-04</sup>	1,11·10 <sup>-04</sup>	1,38·10 <sup>-04</sup>	3,69·10 <sup>-04</sup>	4	
	2,58·10 <sup>-05</sup>	3,28·10 <sup>-03</sup>	5,24·10 <sup>-05</sup>	8,93·10 <sup>-05</sup>	2,61·10 <sup>-05</sup>	3,50·10 <sup>-05</sup>	9,23·10 <sup>-05</sup>	9	
	2,26·10 <sup>-05</sup>	5,71·10 <sup>-03</sup>	9,14·10 <sup>-05</sup>	-1,02·10 <sup>-04</sup>	1,75·10 <sup>-07</sup>	2,05·10 <sup>-05</sup>	3,44·10 <sup>-05</sup>	2	
	2,82·10 <sup>-09</sup>	-	-	-	-	7,70·10 <sup>-10</sup>	-	0,16	
	1,84·10 <sup>-03</sup>	-	--	-	-	1,30·10 <sup>-04</sup>	-	0,16	
	2,11·10 <sup>-03</sup>	9,63·10 <sup>-03</sup>	1,54·10 <sup>-04</sup>	6,19·10 <sup>-04</sup>	2,22·10 <sup>-03</sup>	9,38·10 <sup>-04</sup>	8,73·10 <sup>-04</sup>	0,09	
	1,57·10 <sup>-05</sup>	8,89·10 <sup>-07</sup>	1,42·10 <sup>-08</sup>	5,18·10 <sup>-08</sup>	4,64·10 <sup>-08</sup>	1,46·10 <sup>-04</sup>	1,77·10 <sup>-07</sup>	0,06	
	5,54·10 <sup>-05</sup>	7,77·10 <sup>-06</sup>	1,24·10 <sup>-07</sup>	4,55·10 <sup>-07</sup>	4,07·10 <sup>-07</sup>	1,38·10 <sup>-04</sup>	1,55·10 <sup>-06</sup>	0,03	
	3,33·10 <sup>-01</sup>	1,55·10 <sup>-06</sup>	2,49·10 <sup>-08</sup>	9,07·10 <sup>-08</sup>	8,41·10 <sup>-08</sup>	2,70·10 <sup>-01</sup>	3,08·10 <sup>-07</sup>	0,0001	

Tabel 2. Typische waarden voor de belastingsfactor en effectiviteit.

	belastingsfactor $\lambda$	effectiviteit $\phi$
kranen (werkplaats)	10%	65%
compressor (werkplaats)	30%	100%
ventilatie (werkplaats)	100%	100%
plaatsnijmachine (werkplaats)	40%	50%
boren, ponsen, zagen (werkplaats)	90%	70%
lassen in werkhuis halfautomaat	68%	35%
lassen in werkhuis volautomaat	35%	70%

voor laten certificeren. Victor Buyck Steel Construction (gevestigd in Eeklo, België en Seremban, Maleisië) is één van de eerste niet-Nederlandse staalbouwers die het CO2-bewustcertificaat niveau 5 heeft behaald. Hiervoor is deelgenomen aan het vermelde onderzoek naar de milieueffecten door de fabricage en montage van staalconstructies. Veel van de voor het onderzoek noodzakelijke informatie is immers uitsluitend bij de staalbouwers voorhanden. Zo'n

onderzoek staat of valt dan ook met het al dan niet ter beschikking stellen van die informatie.

### Onderzoeksbenadering

Het onderzoek focust op scope 1 (directe emissies) en scope 2 (indirecte emissies gedurende het staalconstructieproces) volgens het GHG-Protocol. Scope 3-emissies (indirecte emissies upstream en downstream) zijn niet in rekening gebracht,

behalve emissies door transportbewegingen. Dit alles overeenkomstig figuur 5.1 van het *Handboek CO2-prestatieladder*<sup>(2)</sup>. Het is niet altijd duidelijk tot welke van de in EN 15804<sup>(3)</sup> gedefinieerde modules A2 tot en met A5 sommige emissies behoren. Dit is eigen aan het productieproces van staalconstructies. Volgens sommigen, zoals het Britse BCSA en SCI, behoort het constructieproces in de fabriek tot module A3 Product stage – Manufacturing<sup>(4)</sup>, net als de staalproductie bij de staalproducent zelf. Volgens anderen behoort dit tot module A4/A5 Construction Process Stage, omdat modules A1 tot en met A3 louter betrekking hebben op het omvormen van grondstoffen tot bouwmaterialen, platen en balken in dit geval.

Het volledige fabricage- en montageproces wordt in vier groepen van (in totaal 80) activiteiten en (ongeveer 180) individuele factoren ingedeeld.

1. Fabricage, inclusief voorstralen, voorbereiding (snijden van platen, zagen van profielen, boren, ponsen, samenstellen, lassen,

Tabel 3. Emissies van het staalconstructieproces, uitgedrukt per ton staal.

milieueffect	afkorting	eenheid	tijdelijke brug	vakwerkbrug	hoogbrug
			Pont Adolphe	Junglinster	Rapilly
			Luxemburg	Luxemburg	Hauconcourt (F)
			1415 t	2548 t	1705 t
klimaatsverandering	GWP	kg CO <sub>2</sub> eq	163	110	194
aantasting ozonlaag	ODP	kg CFC-11eq	vk (*)	vk	vk
verzuring bodem	AP	kg SO <sub>2</sub> eq	0,405	0,320	0,620
vermesting water	EP	kg (PO <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> eq	0,103	0,082	0,160
fotochemische oxidantvorming	POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,116	0,101	0,226
uitputting mineralen	ADP_e	kg SBeq	vk	vk	vk
uitputting fossiele brandstoffen	ADP_f	kg SBeq	0,484	0,279	0,291
humane toxiciteit	HTP	kg 1,4-DCBeq	1,12	0,935	1,15
terrestrische ecotoxiciteit	TETP	kg 1,4-DCBeq	0,051	0,064	0,048
zoetwater aquatische ecotoxiciteit	FAETP	kg 1,4-DCBeq	0,081	0,082	0,072
mariene aquatische ecotoxiciteit	MAETP	kg 1,4-DCBeq	1.600	1.140	1.300

vk = verwaarloosbaar klein

Tabel 4. Samenvatting en schaduwkost, uitgedrukt per ton staal.

milieueffect	afkorting	eenheid	schaduwprijs	kleinste milieueffect			
			SKB-methode (1)	gebouw		brug	
				(VAC)		(Junglinster)	
			€/eenheid	emissie/t	€/t	emissie/t	€/t
klimaatsverandering	GWP	kg CO <sub>2</sub> eq	0,05	96,4	4,8	110	5,5
aantasting ozonlaag	ODP	kg CFC-11eq	30	vk	0,0	vk	0,0
verzuring bodem	AP	kg SO <sub>2</sub> eq	4	0,209	0,8	0,320	1,3
vermesting water	EP	kg (PO <sub>3</sub> ) <sup>3</sup> eq	9	0,051	0,5	0,082	0,7
fotochemische oxidantvorming	POCP	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	2	0,059	0,1	0,101	0,2
uitputting mineralen	ADP_e	kg SBeq	0,16	vk	0,0	vk	0,0
uitputting fossiele brandstoffen	ADP_f	kg Sbeq	0,16	0,344	0,1	0,279	0,0
humane toxiciteit	HTP	kg 1,4-DCBeq	0,09	0,866	0,1	0,935	0,1
terrestrische ecotoxiciteit	TETP	kg 1,4-DCBeq	0,06	0,027	0,0	0,064	0,0
zoetwater aquatische ecotoxiciteit	FAETP	kg 1,4-DCBeq	0,03	0,064	0,0	0,082	0,0
mariene aquatische ecotoxiciteit	MAETP	kg 1,4-DCBeq	0,0001	1.990	0,2	1.140	0,1
					<b>6,6</b>		<b>8,0</b>

vk = verwaarloosbaar klein

1. Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken, Stichting Bouwkwiteit, Rijswijk 2011.

2. MRPI voor 'Heavy construction products (beams, columns)', 2013.

manipuleren, enzovoort).

2. Transport, zowel het externe transport (vanuit de staalwalerijen en naar de bouwplaatsen) als het interne transport.
3. Montage, inclusief lassen op de bouwplaats, gas- en olieverbruik, kranen, enzovoort.
4. Overhead, wat hoofdzakelijk het energieverbruik in de kantoren (elektriciteit, verwarming) en de werkplaatsen (verwarming, ventilatie, verlichting) inhoudt.

Conservering wordt (voorlopig) niet meer onderzocht wegens de grote diversiteit van coatingsystemen enerzijds en de grote afwezigheid van beschikbare milieudata ander-

zijds. Waar het eerste onderzoek<sup>(1)</sup> zich toespitste op het energieverbruik (uitgedrukt in MJ) en het broeikas-effect (uitgedrukt in kg CO<sub>2</sub>-equivalent), is het recent uitgevoerde onderzoek breder, dieper en omvattender. Dieper, omdat niet langer uitsluitend wordt gepeild naar het energieverbruik en de CO<sub>2</sub>-emissies, maar tevens naar alle andere door CEN vermelde milieu-impactindicatoren (tabel 1). Breder, omdat het onderzoek niet langer beperkt is tot vijf (brug)constructies van één staalbouwer; in totaal zijn al 24 staalconstructies gedetailleerd geanalyseerd, waarvan 17 gerealiseerd door Victor Buyck (Eeklo, B) en 7 door C.S.M. (Hamont-Achel, B).

En omvattender, omdat voor elke constructie de totale milieu-impact is bepaald in de vorm van de milieu-schaduwkosten. Inderdaad, om de hanteerbaarheid van de diverse milieueffecten te verbeteren, worden ze gewogen en gesommeerd tot één getal. Om de ongelijksoortige effecten onderling te kunnen wegen, worden ze alle vertaald naar een schaduwprijs en daarna opgeteld tot een totale schaduwkost. Dit is de theoretische schatting van de kosten die de overheid ervoor over heeft om de milieuschade te voorkomen of te verhelpen. Dit betekent dat hoe belangrijker de politiek een effect vindt, hoe hoger de kosten en dus hoe groter de

	brug	kantoorgebouw	kantoorgebouw	industriegebouw	fietsbrug	gebouw	kantoorgebouw	industriegebouw
	Kempische NZ	JTI	VAC	Black Diamond	Kennedylaan	Luchthaven	BIM-IBGE	Aldi
	Westerlo (B)	Genève (CH)	Gent (B)	Antwerpen (B)	Gent (B)	Eindhoven (NL)	Brussel (B)	Cuincy (F)
	1631 t	3033 t	1302 t	1140 t	403 t	481 t	859 t	498 t
	154	140	96,4	223	173	177	91,1	122
	vk	vk	vk	vk	vk	vk	vk	vk
	0,399	0,423	0,209	0,632	0,361	0,422	0,211	0,291
	0,100	0,106	0,051	0,161	0,084	0,103	0,051	0,071
	0,113	0,139	0,059	0,26	0,107	0,157	0,068	0,088
	vk	vk	vk	vk	vk	vk	vk	vk
	0,493	0,414	0,344	0,589	0,781	0,673	0,352	0,420
	1,44	1,56	0,866	1,36	2,24	1,71	1,06	1,20
	0,095	0,114	0,027	0,037	0,084	0,060	0,039	0,041
	0,13	0,149	0,064	0,089	0,194	0,139	0,089	0,095
	2.130	2.360	1.990	2.670	6.310	4.410	2.880	3.040

	grootste milieueffect				staalproductie			
	gebouw		brug		MRPI-zwaar <sup>(2)</sup>			
	(BASF)		(Rapilly)		productie		einde levensduur	
	emissie/t	€/t	emissie/t	€/t	emissie/t	€/t	emissie/t	EUR/t
	223	11,2	194	9,7	908	45,4	-512	-25,6
	vk	0,0	vk	0,0	vk	0,0	vk	0,0
	0,632	2,5	0,620	2,5	3,38	13,5	-1,51	-6,0
	0,161	1,4	0,160	1,4	0,374	3,4	-0,153	-1,4
	0,26	0,5	0,226	0,5	0,330	0,7	-0,184	-0,4
	vk	0,0	vk	0,0	vk	0,0	vk	0,0
	0,589	0,1	0,291	0,0	5,21	0,8	-2,72	-0,4
	1,36	0,1	1,15	0,1	33,30	3,0	-8,85	-0,8
	0,037	0,0	0,048	0,0	0,468	0,0	-0,14	0,0
	0,089	0,0	0,072	0,0	3,02	0,1	-1,87	-0,1
	2.670	0,3	1.300	0,1	6.340	0,6	-1.780	-0,2
		<b>16,1</b>		<b>14,4</b>		<b>67,5</b>		<b>-34,9</b>

weegfactor. In Nederland is vanaf 1 januari 2013 voor bepaalde categorieën gebouwen een dergelijke milieuprestatieberekening MPG verplicht. Ten slotte houdt het huidige onderzoek ook rekening met de uit het eerste onderzoek afgeleide maatregelen ter reductie van de milieueffecten.

### Conversiefactoren

Bij de belangrijkste conversiefactoren vermeld in *tabel 1* dienen volgende opmerkingen geplaatst.

- De CO<sub>2</sub>-prestatieladder vermeldt uitsluitend de conversiefactoren die betrekking hebben op de CO<sub>2</sub>-emissies. In het *Hand-*

*boek CO<sub>2</sub>-prestatieladder* (v. 3.0)<sup>[2]</sup> en op [co2emissiefactoren.nl](http://co2emissiefactoren.nl) zijn geen waarden te vinden voor de andere milieueffecten. De in het huidige onderzoek gebruikte en hier vermelde waarden voor alle elf conversiefactoren zijn ontleend aan de *GABI-software* van 1 december 2015, met uitzondering van propaan en acetyleen, waarvoor in de literatuur momenteel geen betrouwbare gegevens beschikbaar zijn.

- Voor de conversiefactoren voor grijze stroom, moet het grote verschil tussen GABI en de CO<sub>2</sub>-prestatieladder (0,213 kg CO<sub>2</sub>eq tegenover 0,526 kg CO<sub>2</sub>eq per kWh) worden toegeschreven aan het feit dat in België grij-

ze stroom voornamelijk wordt opgewekt door kerncentrales terwijl dit in Nederland grotendeels gas en steenkool is. De CO<sub>2</sub>-prestatieladder stelt dat de vermelde emissiefactoren verplicht moeten worden gehanteerd. Dit leidt dus niet (altijd) tot een correct resultaat. Volledigheidshalve moet worden opgemerkt dat GABI een waarde van 0,490 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh vermeldt voor Nederlandse grijze stroom. Aan de andere kant is, volgens GABI, de productie van elektriciteit via fotovoltaïsche zonnepanelen (PV) nog goed voor 0,050 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh aan broeikas effect, terwijl de CO<sub>2</sub>-prestatieladder dit op nul waardeert.



Tijdelijk brug Adolphe Luxemburg-Stad.



Vakwerkbrug, Junglinster (L).

- Voor zeetransport bestaan aanzienlijke verschillen in de conversiefactoren, afhankelijk van de tonnenmaat van het schip en of vooral langs de kust wordt gevaren of op volle zee. In dit onderzoek is gekozen voor *coastal* en voor relatief lage tonnenmaten (< 5.000 ton), omdat dit de realiteit het dichtst benadert.
- Voor de door elektriciteit aangedreven machines (in de werkplaats) is de totale verbruikte energie  $E$  gegeven in (1):

$$E = n\varphi\lambda P \text{ (kWh)} \quad (1)$$

Hierin is:

$P$  het nominale (piek)vermogen van de machine, opgegeven door de fabrikant (kW);  
 $n$  het totaal aantal gepresteerde werkuren, gerapporteerd door de machinebedienaar (h);

$\lambda$  de belastingsfactor, gelijk aan het percentage van het piekvermogen dat in werkelijkheid is gebruikt (%);

$\varphi$  de effectiviteit, gelijk aan de effectieve werktijd van de machine gedeeld door de gerapporteerde werktijd van de machinebedienaar (%).

Meer gedetailleerd onderzoek heeft geleid tot de in *tabel 2* vermelde, ten opzichte van het vorig onderzoek verifiërende, typische

waarden voor  $\lambda$  en  $\varphi$ .

- Voor de rest gelden dezelfde aannames als in het eerste onderzoek, meer specifiek voor wat betreft de verwerking van de energiegegevens die betrekking hebben op de verwarming van kantoren en werkplaatsen, elektriciteit voor ventilatie, verlichting en kantoren, en brandstof voor algemene transporten.

*Tabel 1* vermeldt eveneens de schaduwrijzen per milieueffect op basis van de *SBK-Bepalingsmethode*<sup>[5]</sup>.

### De projecten

De milieueffecten zijn bepaald voor dertien brugprojecten en tien gebouwen, alle in 2012 tot 2015 opgeleverd. Naast de projecten die in *Bouwen met Staal 227* aan bod kwamen, zijn de volgende projecten de belangrijkste en tevens goed typerend.

1. Tijdelijke brug Adolphe, Luxemburg-stad.
2. Vakwerkbrug, Junglinster (L).
3. Pont Rapilly over de Moezel, Hauconcourt (F).
4. Brug Kempische Noord-Zuidverbinding over het Albertkanaal, Westerlo (B).
5. Kantoorgebouw hoofdzetel JTI, Genève (CH).
6. Kantoorgebouw Vlaams Administratief Centrum (VAC), Gent (B).
7. Industriegebouw 'Black Diamond' BASF, Antwerpen (B).

8. Fietsbrug over de Kennedylaan, Gent (B).
9. Uitbreiding luchthavengebouw, Eindhoven (NL).
10. Kantoorgebouw Brussels Instituut voor Milieubeheer, Brussel (B).
11. Industriegebouw Aldi, Cuincy (F).

De waarden van de bepaalde milieueffecten zijn gedeeld door het staalverbruik zodat een vergelijking onderling mogelijk is. De resultaten zijn samengevat in *tabel 3*.

In *tabel 4* staan, voor enerzijds gebouwen en anderzijds bruggen, telkens de projecten vermeld die overeenkomen met een minimale en maximale milieupact. Ook is steeds de schaduwkost berekend. Die tabel is aangevuld met de milieupact (en de schaduwkost) voor de productie van staal volgens het MRPI-informatieblad. De *afbeelding* rechts op p. 53 toont grafisch de verdeling van de milieupact voor elk van de onderdelen van het staalconstructieproces (fabricage, overhead, transport en montage), gebaseerd op de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

### Onderzoekresultaten

Vergeleken met de milieueffecten van de staalproductie (modules A1 tot en met A3 van EN 15804) zijn de bijkomende milieueffecten van het staalconstructieproces relatief klein. Op basis van de EPD van Bauforum-



Pont Rapilly over de Moezel, Hauconcourt (F).



Brug Kempische Noord-Zuidverbinding over het Albertkanaal, Westerlo (B).

stahl<sup>6]</sup> is de productie van elke ton constructiestaal (platen en balken) verantwoordelijk voor 776 kg CO<sub>2</sub>eq (GWP) en 2,20 kg SO<sub>2</sub>eq (AP), mits ook rekening wordt gehouden met de opbrengst van recycling (module D van EN 15804). Deze EPD verklaart echter geen waarde voor HTP, hoewel deze, samen met de twee voorgaande milieueffecten, goed is voor de belangrijkste bijdrage in de totale schaduwkost. Volgens het MRPI-informatieblad<sup>7]</sup> voor *heavy construction products* (beams, columns) bedragen de milieueffecten 496 kg CO<sub>2</sub>eq/t (GWP), 1,87 kg SO<sub>2</sub>eq (AP) en 24,45 kg 1,4-DCBeq (HTP), steeds indien rekening wordt gehouden met recycling. De aanzienlijke verschillen hebben onder meer te maken met de wezenlijk andere aandelen op gebied van *recycling* en *reuse*. Bauforumstahl hanteert hiervoor respectievelijk 88% en 11%, het MRPI-informatieblad 51% en 49%.

In het algemeen kan worden gesteld dat het staalconstructieproces, vanaf de levering (vanuit de diverse staalleveranciers) tot en met de montage op de bouwplaats, een broeikas effect heeft van (afgerond) 100 à 200 kg CO<sub>2</sub>eq/t voor stalen bruggen en gebouwen. De laagste waarde treedt op voor constructies met minder tot geen laswerk en wanneer de vanuit de werkplaats aangeleverde onderdelen groter zijn. Beide effecten

gaan hand in hand. Belangrijk is ook of de onderdelen eerder van lichte of zwaardere aard zijn, kleine gemiddelde plaatdikte of grotere gemiddelde plaatdikte. Het aandeel fabricage (inclusief het overhead-element) bedraagt hierin (afgerond) 40 à 80 kg CO<sub>2</sub>eq/t, het aandeel transport (afgerond) 15 à 60 kg CO<sub>2</sub>eq/t en het aandeel montage 20 à 100 kg CO<sub>2</sub>eq/t (uitzonderlijke gevallen 130). Opvallend is dat in het aandeel fabricage en overhead het grootste aandeel door overhead wordt veroorzaakt, gemiddeld 75%. Dit aandeel wordt in grote mate bepaald door de totale doorlooptijd van het project in de werkplaats. Wat het aandeel montage betreft, is dit sterk gelinkt aan het gemiddelde aan de bouwplaats aangeleverde stuksgewicht: hoe kleiner, hoe groter dit aandeel. Lange montagedoorlooptijden van hoge constructies, opgebouwd uit vele maar lichte elementen, zorgen voor de grootste milieueffecten (bijvoorbeeld het project Black Diamond). Het aandeel transport staat in directe relatie tot de afstand van de bouwplaats tot de fabriek en het gebruikte transportmiddel (vrachtwagen, schip). Uitgedrukt per gepresteerd werkuur komen de cijfers voor fabricage (inclusief overhead) overeen met (afgerond) 3 à 4 kg CO<sub>2</sub>eq/h, voor montage is dat 5 à 12 kg CO<sub>2</sub>eq/h. Deze waarden zijn flink lager dan in het eerste

onderzoek, dat nog een vingeroefening was. De redenen voor die daling zijn van diverse aard en kunnen in drie groepen worden onderverdeeld. Een eerste deel komt door een betere monitoring (= energiemetingen aan ± 50 machines), wat aanleiding gaf tot een aanpassing van een aantal belastingsfactoren en effectiviteit (tabel 2). Dit deel verklaart zo'n 40% van de daling. Een tweede deel komt door echte energie- en uitstootreducties (ca. 10%). Van tientallen gerealiseerde reducties worden de volgende als voorbeeld vermeld: vervanging van diesel door aardgas voor verwarming (aardgas heeft per energie-eenheid een CO<sub>2</sub>-uitstoot die 40% lager is dan diesel), verlichting met aanwezigheidsdetectie, vervanging van traditionele verlichting door tl- en ledverlichting, installeren van condenserende gasketels, buitenzonnewering in plaats van airconditioning, aankoop van uitstootvriendelijke wagens, warmterecuperatie bij afzuiging en vermindering van allerhande sluipverbruik (zo werd het energieverbruik door lekken in persluchtleidingen met de helft teruggedrongen). Het derde deel reductie is een gevolg van enerzijds de overschakeling van 100% grijze stroom op 50% groene stroom en 50% grijze stroom (ca. 15% besparing) en het in aanmerking nemen van de correcte waarde voor (de in België vanuit een kerncentrale



Kantoorgebouw hoofdzetel JTI, Genève (CH).



Industriegebouw BASF, Antwerpen (B).



Kantoorgebouw VAC, Gent (B).

opgewekte) grijze stroom (213 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh in plaats van de in de eerste versie van de CO<sub>2</sub>-prestatieladderhandleiding gebruikte vroegere waarde 615 kg CO<sub>2</sub>eq/kWh) (ca. 25% besparing). Indien (in de toekomst) ook voor de andere helft wordt overgeschakeld op groene stroom, dan is op de genoemde cijfers nog eens een CO<sub>2</sub>-uitstootvermindering van 10 à 40 kg CO<sub>2</sub>eq/t mogelijk, goed voor 10 à 20%.

### Broeikaseffect

BCSA heeft recent de volgende waarden voor het broeikaseffect van het staalconstructieproces gerapporteerd<sup>[4]</sup>: 130 kg CO<sub>2</sub>eq/t voor scope 1 en 2. Voor de hiermee vergelijkbare aandelen fabricage, overhead en transport van dit onderzoek werd 65 à 100 kg CO<sub>2</sub>eq/t vastgesteld (maximaal 140), wat in orde van grootte overeenkomt met de Engelse (gemiddelde) waarde, maar toch gemiddeld 20% tot 50% lager ligt, wellicht door reeds doorgevoerde reductiemaatregelen. De totale schaduwkost bedraagt (afgerond) 7 tot 16 EUR/t, en, indien omgerekend per kg CO<sub>2</sub>eq, eigenlijk steeds 0,07 EUR/kg CO<sub>2</sub>eq. Daarvan is 0,05 EUR (of 70%) een direct gevolg van de CO<sub>2</sub>-uitstoot zelf, de andere 30% van de andere tien factoren, waarvan vooral verzuring (AP), vermesting (EP) en fotochemische oxidantvorming (POCP) de

belangrijkste zijn. Dit bevestigt dat het broeikaseffect steeds opnieuw als het belangrijkste milieueffect wordt vernoemd. Opgemerkt wordt dat deze relatieve cijfers goed in lijn zijn met de effecten van de staalproductie zelf. Deze laatste heeft echter ook een belangrijk effect op de humane toxiciteit (HTP).

Wanneer de gevolgen van de productie van (zwaar) staal, namelijk 908 kg CO<sub>2</sub>eq/t broeikaseffect en 67,5 EUR/t schaduwkost, wordt vergeleken met die van het volledige staalconstructieproces, namelijk 100 à 200 kg CO<sub>2</sub>eq/t en 7 à 16 EUR/t, dan betekent het staalconstructieproces een toevoeging van ± 10% tot 20% bovenop de productie, dus slechts een kleine fractie. Benadrukt wordt dat de hier vermelde cijfers niet universeel gelden. De uiteindelijke milieueffecten zijn sterk afhankelijk van volgende factoren.

1. De productieprocessen van de staalbouwer en zijn keuze op gebied van energiebron (welke soort brandstof en welke soort stroom). Aangezien vele staalconstructiebedrijven reeds vele tientallen jaren bestaan, zal een en ander ook sterk afhangen van het innovatievermogen van de staalbouwer.
2. Er bestaat een duidelijke relatie met de hoeveelheid lassen: eenvoudige, geboude constructies met weinig lassen veroorzaken

aanzienlijk minder milieueffecten dan meer complexe (= uren vretende), gelaste constructies.

3. De vermelde cijfers hebben betrekking op projecten die worden gerealiseerd in een straal van maximum 1.200 km rond de fabriek. Het spreekt vanzelf dat grotere afstanden leiden tot grotere milieueffecten. Vanaf een afstand van ± 3.000 km worden ze zelf (sterk) bepalend en vanaf zo'n 5.000 km worden ze overheersend. Inderdaad, bij een redelijk lage waarde van 50 g CO<sub>2</sub>eq/t,km bedraagt het broeikaseffect voor 5.000 km (enkele reis) reeds 250 kg CO<sub>2</sub>eq/t,km.

### Statement

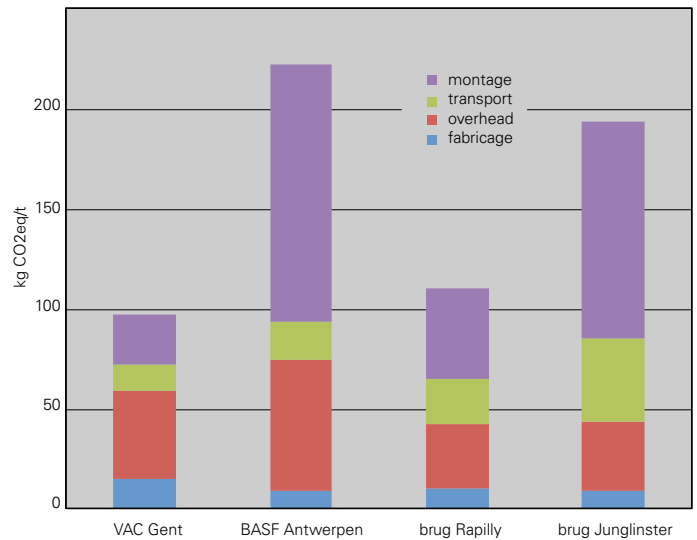
Wetende dat het normale staalconstructieproces geen groter broeikaseffect hoeft te hebben dan ± 150 kg CO<sub>2</sub>eq/t, is het, in het kader van de dringende maatregelen voor de reductie van CO<sub>2</sub>-uitstoot, aanbevolen en aangewezen dat (zeker) nationale overheden, verantwoordelijk voor infrastructuurprojecten, en (ook) private opdrachtgevers, dringend werk maken van het opnemen in de gunningscriteria van minimale milieuprestaties (lees: maximale broeikas- en andere effecten) voor de realisatie van bouwwerken in het algemeen en van staalconstructies in het bijzonder. Dit kan door, in bestekken, maximale milieueffecten dwingend en aan-

## Literatuur

1. W. Hoekman en O. Nelis, 'Milieueffect van de staalbouwer', *Bouwen met Staal* 227 (2012), p. 44-49.
2. *Handboek CO2-prestatieladder*, Stichting Klimaatvriendelijk Aanbesteden & Ondernemen (SKAO), Utrecht 2015 (versie 3.0).
3. EN 15804 (Duurzaamheid van bouwwerken – Milieuverklaringen van producten – Basisregels voor de productgroep bouwproducten), 2012 + A1, 2013.
4. 'Calculating the fabrication footprint', *NSC (New Steel Construction)* 23-2 (2015), p. 19.
5. *Bepalingsmethode Milieuprestatie Gebouwen en GWW-werken*, Stichting Bouwkwaliiteit, Rijswijk 2011, p. 15-16.
6. *Environmental Product Declaration as per ISO 14025 and EN 15804 - Structural Steel: Sections and Plates*, Bauforumstahl, Düsseldorf 2013.
7. *MRPI No. 9.2.00011.004 for heavy construction products (beams, columns)*, Stichting MRPI, Nieuwegein 2013.
8. R. Hischier, B. Weidema (red.), *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods – Data 2.2 (2010)*, ecoinvent report No. 3, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, St. Gallen 2010.



Kantoorgebouw Brussels Instituut voor Milieubeheer, Brussel (B).



Verdeling milieupact van de onderdelen bij het staalconstructieproces.

toonbaar op te leggen en door, soortgelijk aan de CO<sub>2</sub>-prestatieladder, fictief prijsvoordeel te geven aan staalbouwers die aantoonbaar lagere milieueffecten veroorzaken. In deze bijdrage zijn daartoe haalbare cijfers gegeven.

Onder meer door het verwaarlozen van de milieueffecten in het verleden zijn reeds een aantal belangrijke industriële activiteiten uit Europa verdwenen, ook in de staalbouw, bijvoorbeeld grote stalen onderdelen van gietstaal. Jammer genoeg is het voor de milieueffecten die teweeggebracht worden door het transport vanuit China of Zuid-Korea van dergelijke producten (ca. 20.000 km zee-transport, goed voor ca. 1.000 kg CO<sub>2</sub>eq/t aan broeikas effect enkele reis) reeds te laat: er bestaat vandaag immers geen alternatief meer. Voor de standaard staalconstructies (lees: geen gietstaal) is een bijkomende CO<sub>2</sub>-uitstoot voor transport vanuit het Verre Oosten van liefst zeven maal een normale uitstoot vandaag niet langer aanvaardbaar, en al helemaal niet door overheden die het (goede) voorbeeld dienen te geven. Alle goede voornemens van onze overheden, geuit in Kyoto 2000 en Parijs 2015, kunnen niet serieus worden genomen als deze overheden niet onmiddellijk paal en perk stellen aan deze onnodige en vermijdbare milieueffecten. Het is vanaf nu zonneklaar dat elke

andere handelwijze slechts het financiële eigenbelang van overheden of opdrachtgevers dient, waarmee ze dan aangeven dat ze de huidige opwarmingsproblematiek van de aarde helemaal niet serieus (wensen te) nemen.

## Verschillen

Dit onderzoek, nog steeds een eerste in zijn soort, is vooral bedoeld om de problematiek van de milieueffecten verder onder de aandacht te brengen. Aangetoond is dat, op basis van geregistreerde informatie, beschikbaar bij de staalbouwer, wel degelijk een goede gedetailleerde analyse kan worden gemaakt van het energieverbruik, de CO<sub>2</sub>-uitstoot en de andere milieueffecten, en dit per project. Dit sluit perfect aan bij wat EN 15804 eigenlijk als doel voor ogen houdt.

Vastgesteld is dat werk dient te worden gemaakt van geharmoniseerde emissie (conversie)factoren. Voor het broeikas effect is dit reeds grotendeels het geval. Voor de andere tien vermelde milieueffecten is dit vandaag jammer genoeg niet het geval. Er bestaan grote tot zeer grote verschillen tussen de verschillende informatiebronnen en databanken. Als voorbeeld kan de ecotoxiciteit (ETP) worden vermeld, waarvoor verschillen van een factor 1.000 en meer zijn vastgesteld.

De reden hiervoor is dat er verschillende meningen bestaan over wat hieronder dient te worden begrepen. Zie bijvoorbeeld [8]. Het uitgevoerde onderzoek heeft als groot voordeel dat ze de grote emissies blootlegt, waardoor zeer snel reducerende maatregelen kunnen worden overwogen en ingevoerd. Het is jammer dat de CO<sub>2</sub>-prestatieladder (momenteel) niet toelaat om emissiefactoren te gebruiken die afwijken van de in het handboek of op de website vermelde waarden, tenzij de bedrijven afwijkingen met redenen onderbouwen en ter toetsing aan de Ladder voorleggen. Dat is meestal een ingewikkeld en moeizaam proces, dus energie-vretend en kostbaar. Op die manier dienen soms waarden te worden gebruikt die niet waarheidsgetrouw en minder milieuvriendelijk zijn. In veel gevallen wordt op die manier de totale ecologische voetafdruk van een organisatie ten onrechte overschat. Het is aangewezen om hierin enige soepelheid aan te brengen. Zonder daarmee een uitspraak te doen over de maatschappelijke relevantie ervan, laat de CO<sub>2</sub>-prestatieladder (momenteel) ook niet toe om CO<sub>2</sub>-compensatiemaatregelen in rekening te brengen. Dit vormt een belemmering voor reductie- en/of compensatiemaatregelen. •