

# **Beoordeling duurzaamheid bestratingmateriaal**

**4 mei 2010**



---

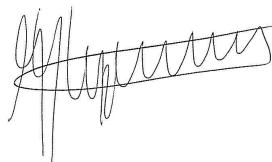
## **Beoordeling duurzaamheid bestratingmateriaal**

**CO<sub>2</sub> balans en grondstofgebruik bij betonstraatsteen en  
gebakken klinker**



## Verantwoording

<b>Titel</b>	Beoordeling duurzaamheid bestratingmateriaal
<b>Opdrachtgever</b>	Gemeente Amsterdam, Dienst Milieu en Bouwtoezicht
<b>Projectleider</b>	ir. Geert Cuperus
<b>Auteur(s)</b>	ing. Ferdi Moes en ir. Geert Cuperus
<b>Projectnummer</b>	4653379
<b>Aantal pagina's</b>	44 (exclusief bijlagen)
<b>Datum</b>	4 mei 2010
<b>Handtekening</b>	



## Colofon

Tauw bv  
afdeling Milieu  
Handelskade 11  
Postbus 133  
7400 AC Deventer  
Telefoon (0570) 69 99 11  
Fax (0570) 69 96 66

Dit document is eigendom van de opdrachtgever en mag door hem worden gebruikt voor het doel waarvoor het is vervaardigd met inachtneming van de rechten die voortvloeien uit de wetgeving op het gebied van het intellectuele eigendom. De auteursrechten van dit document blijven berusten bij Tauw. Kwaliteit en verbetering van product en proces hebben bij Tauw hoge prioriteit. Tauw hanteert daartoe een managementsysteem dat is gecertificeerd dan wel geaccrediteerd volgens:

- NEN-EN-ISO 9001.

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL

---

## Inhoud

<b>Verantwoording en colofon .....</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>9</b>
1.1 Leeswijzer .....	10
<b>2 Aanpak en werkwijze .....</b>	<b>11</b>
2.1 Inleiding .....	11
2.2 Te beoordelen materialen .....	11
2.2.1 Gebakken klinker.....	11
2.2.2 Betonstraatsteen .....	12
2.3 Onderzochte scenario's.....	14
2.3.1 Inleiding .....	14
2.3.2 Scenario 1: buiten Ring A10.....	15
2.3.3 Scenario 2: binnen Ring A10.....	18
2.4 Uitgangspunten voor de berekeningen .....	21
2.4.1 Algemeen .....	21
2.4.2 Winning .....	21
2.4.3 Transport grondstoffen naar productie .....	23
2.4.4 Productie .....	23
2.4.5 Transport van productie naar het werk.....	25
2.4.6 Aanleg en onderhoud .....	26
2.4.7 Verwerking/recycling bestratingmateriaal.....	27
2.4.8 CO <sub>2</sub> kengetallen voor aanleg, onderhoud en verwerking .....	27
<b>3 Resultaten .....</b>	<b>29</b>
3.1 Inleiding .....	29
3.2 Basissituatie .....	31
3.2.1 Scenario 1: binnen Ring A10.....	31
3.3 Scenario buiten Ring A10.....	34
3.4 Invloed van andere uitgangspunten .....	39
3.5 Resultaten in perspectief .....	40
<b>4 Conclusies .....</b>	<b>43</b>
4.1 Conclusies.....	43

**Bijlage(n)**

1. Calculatieprogramma GWWCalc KPD Automatisering
2. Uitgangspunten calculatieprogramma
3. CO<sub>2</sub> kengetallen BAM Infra b.v.

## 1 Inleiding

Amsterdam gaat voor duurzaam inkopen. Uiterlijk in 2010 wil de gemeente bij alle inkoop- en aanbestedingstrajecten duurzaamheidsaspecten meenemen, voor zover dat praktisch mogelijk is. (Milieubeleidsplan 2007 - 2010). Duurzaam inkopen is tevens als speerpunt vastgelegd in de gemeentebrede nota Inkopen en aanbesteden (2009).

Door de stadsdelen en centraal stedelijke diensten wordt de Puccinimethode ontwikkeld. Op 11 mei 2009 hebben de stadsdelen en de centrale stad het Pucciniconvenant ondertekend waarin bestuurlijke afspraken zijn vastgelegd om de (uitvoerings)kwaliteit van de Amsterdamse openbare ruimte te verbeteren. In de materialenlijst van de Puccinimethode wordt voorgesteld om in de rijbanen van 30 km/uur straten en in bepaalde stedenbouwkundige gordels op het trottoir alleen nog uit te gaan van de toepassing van gebakken klinkers. Hoewel dit streven door de meeste betrokkenen vanuit beeldkwaliteit wordt ondersteund bleken er veel vragen te zijn over de duurzaamheid van de gebakken klinker versus de nu nog veel toegepaste betonstraatsteen.

Dit Puccini-uitgangspunt was mede de aanleiding voor het onderzoek om gebakken klinkers en betonstraatstenen op hun milieubelasting te vergelijken. Immers de keuze voor het (standaard) bestratingmateriaal in Amsterdam is een belangrijke inkoopbeslissing en dus essentieel in het kader van duurzaam inkopen.

Door duurzaam in te kopen kan de gemeente tevens een bijdrage leveren aan de realisatie van speerpunten uit het milieubeleid. Eén zo'n speerpunt is het klimaatbeleid. Amsterdam wil in 2025 de CO<sub>2</sub> uitstoot met 40 % verminderd hebben, ten opzichte van 1990. Willen we dit bereiken, dan moeten we bij alles wat we inkopen letten op het energieverbruik, ook bij materialen waarbij het op het eerste gezicht niet zo voor de hand ligt, zoals bestratingmateriaal.

Tauw heeft opdracht gekregen om de materialen op hun milieubelasting en energie-inhoud te vergelijken. In een eerste stap is gekeken naar de bruikbaarheid van de 'Milieuvoorkeurslijst voor materialen in de openbare ruimte' (MOR) die Amsterdam al in 1997 heeft ontwikkeld. In overleg met de gemeente is geconcludeerd dat de MOR-methode nog steeds up-to-date is en een goede vergelijking van materialen mogelijk maakt. Er is echter ook geconstateerd dat de MOR-methode niet volledig is. Dit geldt ook voor andere, soortgelijke methoden.

Een belangrijk punt is dat de vergelijking van materialen geen betrekking heeft op de gehele levensduur en de fase daarna (gebruik en afdanking). Feitelijk worden vooral de effecten die optreden voorafgaande aan het gebruik in beeld gebracht. Om een meer afgewogen vergelijking tussen de genoemde materialen te maken, is besloten een volledige ketenanalyse uit te voeren.

Hierin worden productie, aanleg, onderhoud, sloop, hergebruik/recycling en transport mee genomen.

### **1.1 Leeswijzer**

Hoofdstuk 2 licht de aanpak en werkwijze van het onderzoek toe en beschrijft de scenario's waarop de milieubeoordeling is gebaseerd. Tevens worden de uitgangspunten van de milieubeoordeling weergegeven. Hoofdstuk 3 bevat de resultaten van de analyse. In hoofdstuk 4 staan de conclusies en aanbevelingen.

## 2 Aanpak en werkwijze

### 2.1 Inleiding

Dit hoofdstuk licht de onderzochte materialen toe (paragraaf 2.2) en de onderzochte scenario's (paragraaf 2.3). In paragraaf 2.4 wordt uitgebreid ingegaan op de uitgangspunten voor de berekeningen die in hoofdstuk 3 zijn beschreven. De uitgangspunten betreffen met name kentallen voor CO<sub>2</sub> en praktische kentallen omtrent het gebruik van de materialen door de gemeente. Deze laatste kentallen zijn tot stand gekomen in overleg met de gemeente. Kentallen voor CO<sub>2</sub> zijn geïnventariseerd door uitgebreide literatuurresearch, door inbreng van eigen gegevens binnen Tauw en door leveranciers van de materialen te benaderen. Het bleek bij nader inzien niet eenvoudig om goede kentallen voor CO<sub>2</sub> te bemachtigen. Met name voor de productie van materialen bleek er een aanzienlijke range van getallen te zijn. Om deze reden is in hoofdstuk 3 gerekend met diverse waarden voor de CO<sub>2</sub> kentallen.

### 2.2 Te beoordelen materialen

De te beoordelen materialen zijn de gebakken klinker en de betonstraatsteen. Hier onder worden de beoordeelde materialen kort toegelicht.

#### 2.2.1 Gebakken klinker

De gebakken klinker die centraal staat in deze studie is de Klinker Keiformaat KK Terra Rossa van CRH Clay, hiervan gaan er 48 stuks in 1 m<sup>2</sup> bestrating. De afmeting van de klinkers is een standaard keiformaat 206 bij 102 bij 80 mm en het gewicht is ongeveer 3,5 kg.



---

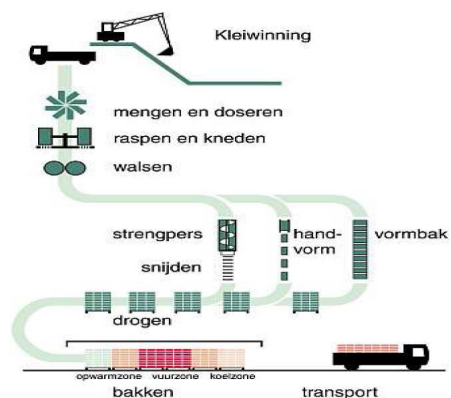
**Figuur 2.1 Klinker Keiformaat KK Terra Rossa van CRH Clay**

---

### Productieproces

Om van klei een gebakken klinker te maken wordt een productieproces doorlopen dat vandaag de dag vergaand is geautomatiseerd. De volgende processtappen worden doorlopen:

- Kleiwinning
- Voorbewerking van de klei
- Vormgeving van het gewenste product
- Drogen
- Bakken



**Figuur 2.2 Flowschema productieproces gebakken klinker**

### 2.2.2 Betonstraatsteen

In Amsterdam worden vooral betonstraatsteen met een natuurlijke grijze deklaag gebruikt. Als uitgangspunt is gekozen voor de Keiformaat straatsteen Amsterdams Rood van Struyk Verwo Infra, met afmetingen 211 x 105 x 80 mm en gewicht welke 4,1 kg per stuk. Hiervan gaan er 45 stuks in 1 m<sup>2</sup>.



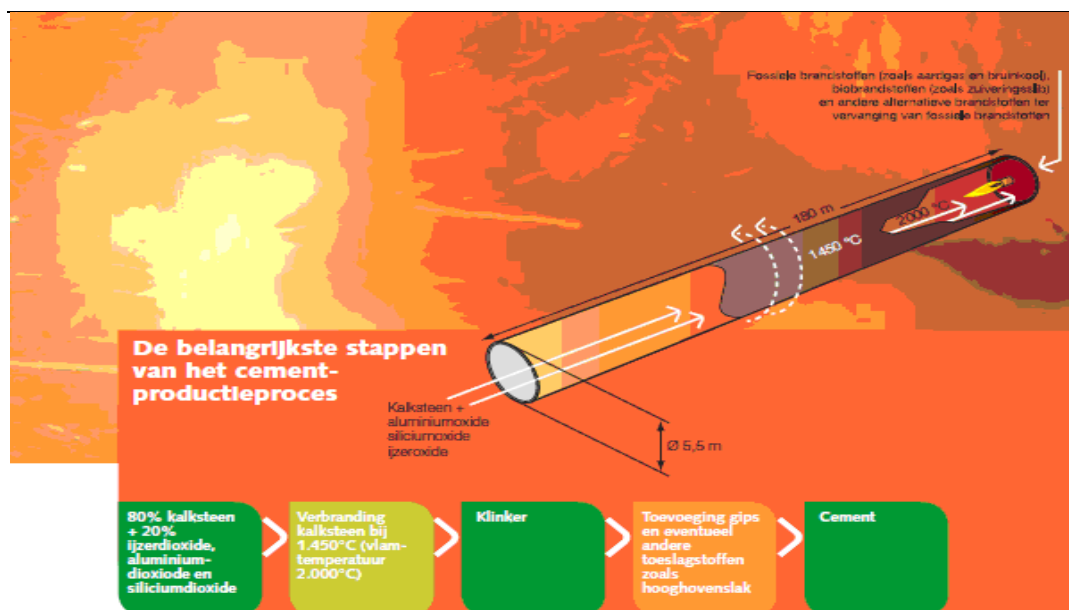
**Figuur 2.3 Keiformaat betonstraatsteen Amsterdams Rood van Struyk Verwo Infra**

### Productieproces

Betonsteen wordt gemaakt van zand, grind, cement en water. Zand, grind en cement worden gewonnen en met water tot betonspecie gemengd. De betonspecie wordt in mallen gegoten en op een trilmaschine verdicht. Vervolgens worden de mallen in een verhardingskamer met gebruik van stoom versneld verhard. Een betonstraatsteen heeft ongeveer de volgende samenstelling van bouwstoffen:

- Zand 60 %
- Grind 25 %
- Cement 15 %

Van deze bouwstoffen is de productie van cement het meest arbeids/energie intensief. Bij de productie van cement wordt kalksteen onder hoge temperatuur verbrand, waarbij klinker ontstaat. Aan deze klinker worden vaak gips en/of andere toeslagstoffen zoals hoogovenslak toegevoegd. Het proces wordt in figuur 2.4 globaal weergegeven.



Figuur 2.4 Productieproces van cement

## 2.3 Onderzochte scenario's

### 2.3.1 Inleiding

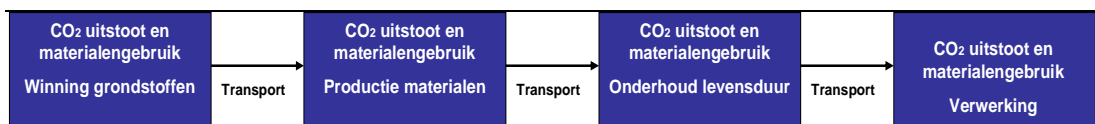
Voor de beoordeling van de CO<sub>2</sub> balans en het materialenverbruik zijn goed gedefinieerde scenario's noodzakelijk. Dit maakt het mogelijk om op inzichtelijke wijze berekeningen uit te voeren. De scenario's hebben betrekking op de wijze waarop stadsdelen in Amsterdam omgaan met klinkers en betonstraatstenen. Een scenario strekt zich uit over een bepaalde tijdsduur. Dit is een periode waarin alle handelingen die zich voordoen met de materialen (aanleg, onderhoud, sloop) zich minimaal één keer voordoen.

De scenario's zijn een zo goed mogelijke beschrijving van de praktijk. Hiervoor is door medewerkers van stadsdelen aangegeven hoe in de praktijk gewerkt wordt. Op basis daarvan is een scenariobeschrijving opgesteld. De scenario's komen nooit één op één overeen met een in de praktijk voorkomende situatie. Daarvoor doen zich in de praktijk te veel situaties voor waardoor net weer even wordt afgeweken van de algemene beschrijving. De scenario's zijn wel een zo representatief mogelijke weergave van de algemene situatie in de gemeente Amsterdam.

De scenario's beslaan een periode van honderd jaar. Hiervoor is gekozen omdat de levensduur van gebakken klinkers geschat is op 100 jaar. Daarna belandt een substantieel deel van de klinkers in de afvalfase. Verondersteld wordt dat zich in een periode van 100 jaar minimaal twee cycli van onderhoud voordoen, waardoor mogelijk hergebruik van materialen deel uit maakt van het scenario. In de verdere analyses zal ook nog met een kortere periode gerekend worden.

Voor de keuze van de scenario's is overwogen dat de situatie binnen de Ring A10 afwijkt van de situatie buiten de Ring A10. In het eerste geval is meestal weinig ruimte om verwijderde klinkers of straatstenen even apart te leggen, ze moeten direct worden afgevoerd naar een centrale plek. Buiten het centrum is dit niet het geval. Daar bestaat meer mogelijkheid om ter plekke of in de buurt even op te slaan om daarna direct elders weer toe te passen.

De onderzochte scenario's worden beoordeeld op CO<sub>2</sub> uitstoot en materialengebruik over een periode van 100 jaar. In onderstaande figuur worden globaal alle aspecten van de milieubeoordeling weergegeven.



**Figuur 2.5** Cyclus en aspecten bij beoordeling materialen

### 2.3.2 Scenario 1: buiten Ring A10

In overleg met medewerkers van stadsdeel Osdorp is geanalyseerd hoe en in welke mate wordt omgegaan met het aanleg, onderhoud, hergebruik en afvoer van de verschillende straatstenen tijdens de gehele levensduur. In figuur 2.6 en 2.7 is dit schematisch weergegeven. De overige stadsdelen buiten de Ring A10 gaan op een vergelijkbare wijze om met onderhoud aan bestrating als beschreven in dit scenario.

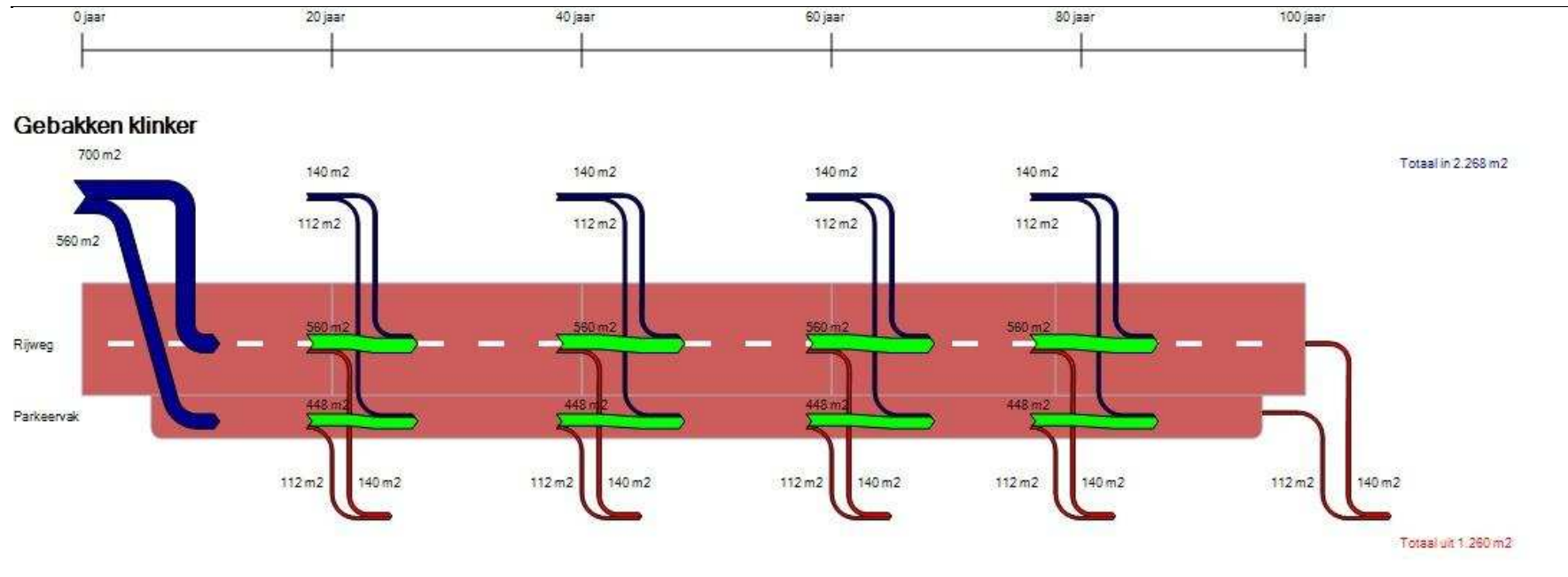
#### *Betonstraatsteen*

Tijdens de eerste onderhoudsperiode, ongeveer 20 jaar na eerste aanleg, wordt de gehele straat opgebroken. De stenen worden lokaal opgeslagen om weer toegepast te worden in hetzelfde werk. Bij dit onderhoud wordt ongeveer 10 % van de stenen als afval afgevoerd. Er wordt dus ook 10 % nieuwe stenen aangevoerd.

Door het optredende kleurverschil is het lastig de 'oude' betonstraatsteen weer toe te passen in eenzelfde werk, deze komen dus diffuus terug in de wegbestrating in de wijk. Het gros van de 'oude' stenen wordt gebruikt voor parkeerhavens of voor ophoging in een wegvak. Na de volgende periode van 20 jaar is de technische levensduur van de betonstraatsteen bereikt en worden de stenen afgevoerd naar een puinbreker. Hiermee komt de levensduur van de betonstraatsteen in scenario 1 neer op ongeveer 40 jaar.

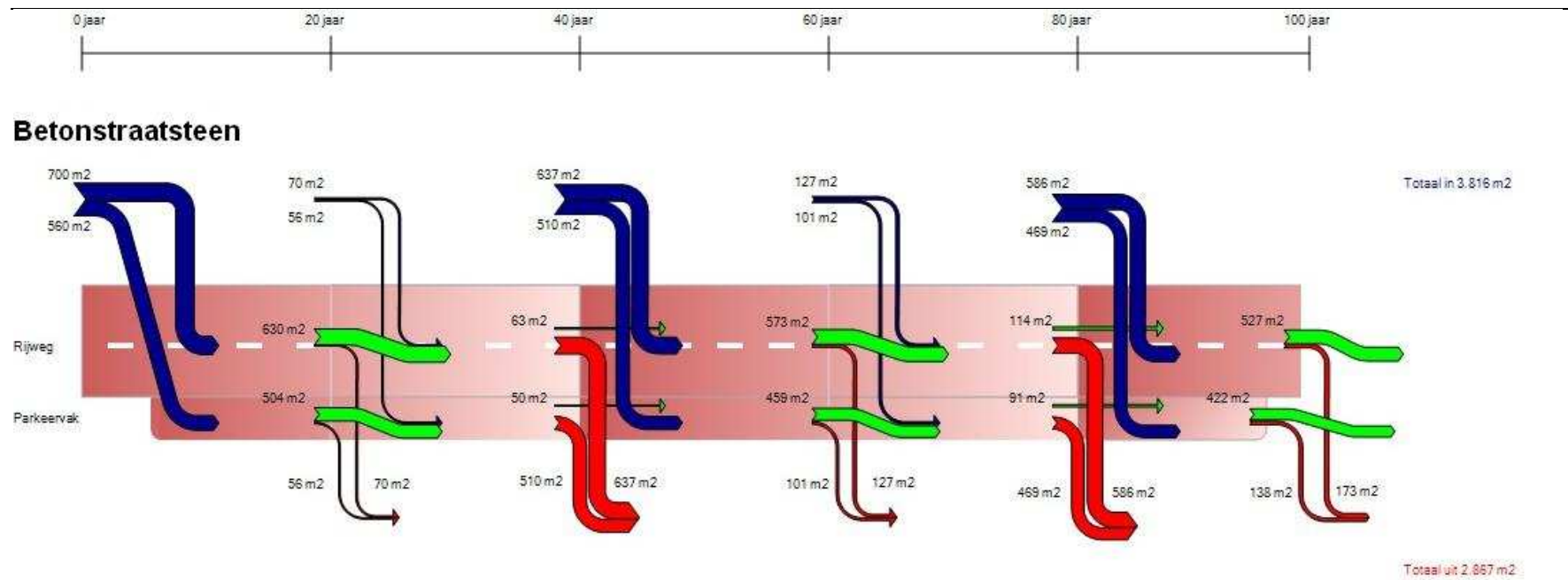
#### *Gebakken klinker*

Ook bij de gebakken klinker vindt het eerst onderhoud plaats na ongeveer 20 jaar. Hierbij worden de stenen ook lokaal opgeslagen om opnieuw toegepast te worden in hetzelfde werk. Bij de gebakken klinker vindt echter ongeveer 10 tot 20 % uitval plaats dat naar een puinbreker wordt afgevoerd. De nieuw aan te voeren stenen worden gewoon gemengd met de 'oude' stenen, hierbij wordt wel gelet op eventueel kleurverschil. De gebakken klinkers blijven op deze manier net zolang in het circuit tot het einde van de technische levensduur, wat rond de 100 jaar ligt.



Figuur 2.6 Flowschema levensloop gebakken klinker scenario 1 buiten de Ring A10

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL



Figuur 2.7 Flowschema levensloop betonstraatsteen scenario 1 buiten de Ring A10

### **2.3.3 Scenario 2: binnen Ring A10**

In overleg met medewerkers van stadsdeel Zuideramstel is bekeken hoe zij omgaan met het onderhoud en afvoer van de verschillende straatstenen tijdens de technische levensduur. In figuur 2.8 en 2.9 is dit schematisch weergegeven. Andere stadsdelen binnen de Ring A10 gaan vergelijkbaar om met onderhoud aan bestrating als beschreven in dit scenario.

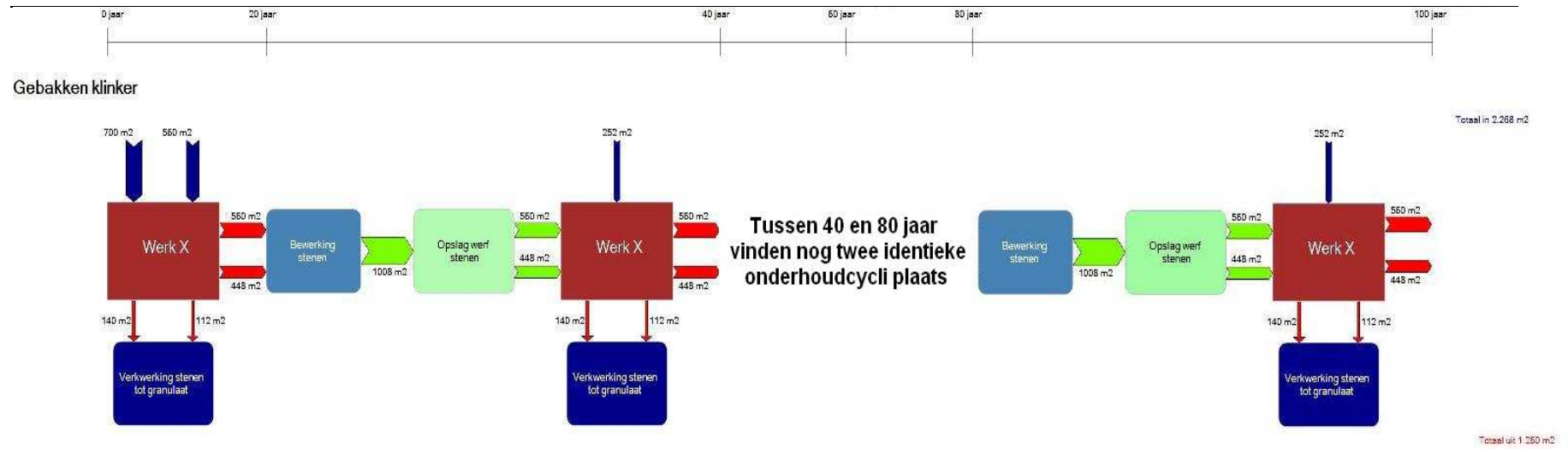
#### *Betonstraatsteen*

In dit scenario vindt regulier onderhoud ook na ongeveer 20 jaar plaats. Door het gebrek aan lokale opslagcapaciteit is het in deze en de vergelijkbare in en rondom het centrum gelegen stadsdelen niet mogelijk de straatstenen bij onderhoud lokaal op te slaan. De betonstraatstenen worden, om kosteneffectieve redenen, vrijwel altijd afgevoerd naar een puinbreker. De stenen worden dus niet opnieuw toegepast als bestrating. Hiermee komt de levensduur van de betonstraatsteen in scenario 2 op ongeveer 20 jaar te liggen.

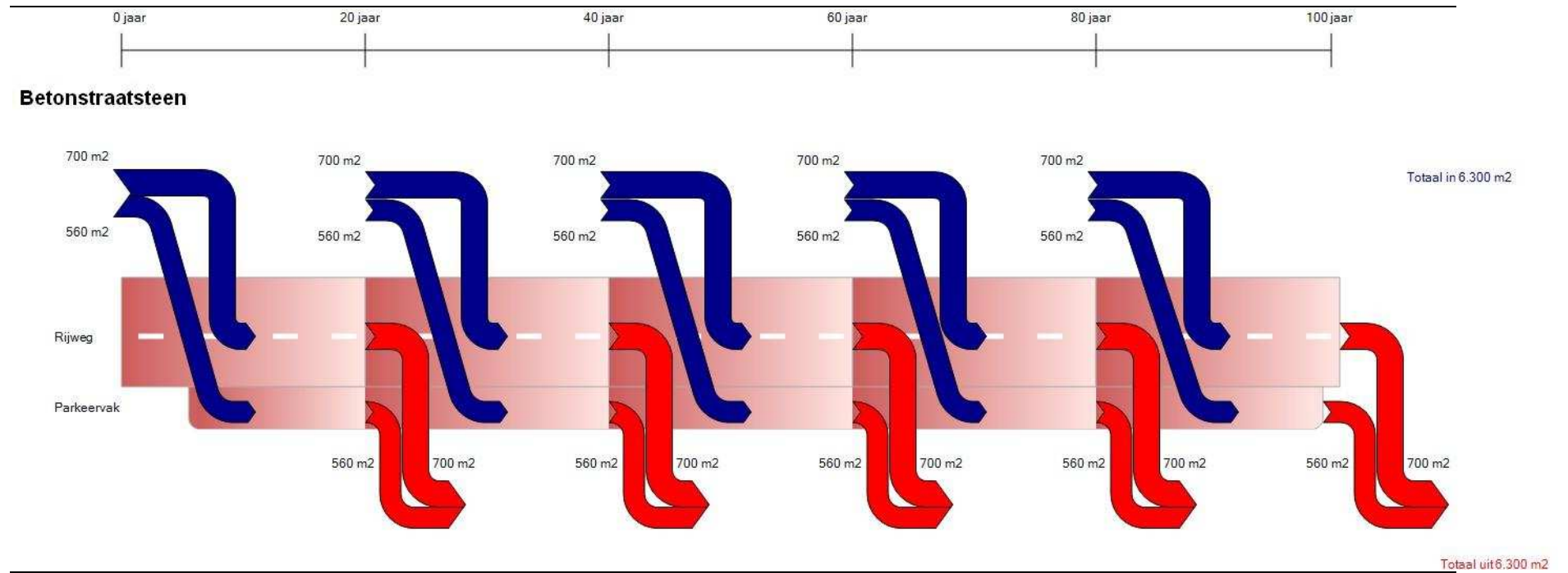
#### *Gebakken klinker*

De gebakken klinkers worden in dit scenario wel opnieuw toegepast. Hier geldt echter ook dat de stenen niet lokaal opgeslagen kunnen worden. De gebakken klinkers worden bij onderhoud vervoerd naar een verwerker, daar worden de stenen gespoeld en opnieuw gepalleteerd om vervolgens opgeslagen te worden op een stadsdeelwerf. De stenen worden dan, naar gelang de behoefte, weer toegepast in eenzelfde of een ander werk. Bij regulier onderhoud vindt ongeveer 10 tot 20 % uitval plaats, dit wordt weer aangevuld met nieuwe stenen.

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL



**Figuur 2.8 Flowschema levensloop gebakken klinker scenario 2 binnen de Ring A10**



Figuur 2.9 Flowschema levensloop betonstraatsteen scenario 2 binnen de Ring A10

## 2.4 Uitgangspunten voor de berekeningen

In deze paragraaf zijn de algemene uitgangspunten voor de uitgevoerde berekeningen toegelicht. Daarna wordt per scenario toegelicht hoe men omgaat met onderhoud en verwerking van straatstenen.

### 2.4.1 Algemeen

De eenheid waarvoor de milieubeoordeling is uitgevoerd is een bepaald wegooppervlak. De volgende uitgangspunten gelden voor beide scenario's:

- 100 meter bestrating, 7 meter breed (700 m<sup>2</sup>)
- Parkeerhavens aan beide zijden van de weg, 100 meter bij 2,8 meter breed (560 m<sup>2</sup>)
- Voor de betonstraatsteen is gekozen voor de keiformaat Amsterdams rood van Struyk Verwo Infra, waarvan er ongeveer 45 stuks van in 1 m<sup>2</sup> gaan, gewicht 4,1 kg/stuk
- Voor de gebakken klinker is gekozen voor keiformaat KK Terra Rossa van CRH Clay, waarvan er ongeveer 48 stuks in 1 m<sup>2</sup> bestrating gaan, gewicht 3,5 kg/stuk

### 2.4.2 Winning

#### *Beton*

Voor betonproductie zijn zand, grind en cement nodig en eventuele toeslagstoffen. Voor de beoordeling is alleen gekeken naar de CO<sub>2</sub> belasting van de genoemde drie grondstoffen en van water dat gebruikt wordt.

De winning van zand heeft een CO<sub>2</sub> belasting van 4 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> <sup>1</sup>. De CO<sub>2</sub> belasting voor de productie van grind bedraagt 14 kg CO<sub>2</sub>/ton <sup>2</sup>. Voor de productie van cement zijn diverse bronnen beschikbaar die een waarde geven voor de CO<sub>2</sub> belasting. In tabel 2.1 is een samenvatting gegeven van deze waarden.

---

<sup>1</sup>. Gallenkemper et al, Müll und Abfall, Ökologischer nutzen des recyclings und der kreislaufwirtschaft im bauwesen, april 2004

<sup>2</sup>. Resource saving and CO<sub>2</sub> reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO<sub>2</sub> reduction target in 2020, Prognos, oktober 2008

**Tabel 2.1 Weergave cijfers CO<sub>2</sub> uitstoot cement**

<b>Bron</b>	<b>Kg CO<sub>2</sub>/ton cement</b>
Dyckerhoff AG ( <i>producent voor Struyk Verwo Infra</i> )	597,0
SimaPro ( <i>LCA rekenmodel van Ecofys</i> )	749,8
Heidelberg Cement Group	800,0
Interbeton	519,0
British Cement Association ( <i>gem. CEM I, II, III, IV</i> )	880,0
Novacem	400,0
Lafarge	297,0
Industrial Energy ( <i>Wereldgemiddelde cijfer</i> )	222,0
Hurks beton	268,3
<b>Gemiddelde</b>	<b>525,9</b>

De bijdrage van cement aan het CO<sub>2</sub> profiel van betonnen producten is aanzienlijk, rond de 90 %. Om de invloed van het CO<sub>2</sub> profiel van cement op de uitkomsten van de twee scenario's na te gaan, is daarom gerekend met meerdere waarden. Als basiswaarde wordt uitgegaan van de opgave van Dyckerhoff AG, de leverancier van Struyk Verwo Infra. Deze gegevens hebben dus direct betrekking op de betonstraatsteen die de gemeente Amsterdam afneemt.

Om vervolgens inzicht te krijgen in de gevoeligheid van de berekeningen is gerekend met een hoge CO<sub>2</sub> waarde en een lage CO<sub>2</sub> waarde. De hoge CO<sub>2</sub> waarde is 880 kg CO<sub>2</sub>/ton cement en de lage CO<sub>2</sub> waarde is 222 kg CO<sub>2</sub> ton cement.

#### *Gebakken klinker*

Voor de winning van gebakken klinker is het enkel nodig om klei te delven. Voor de winning van klei is uitgegaan van het gebruik van een kraan met een uitstoot heeft van 0,41 kg CO<sub>2</sub>/ton gebakken klinker.

### 2.4.3 Transport grondstoffen naar productie

#### *Beton*

De volgende uitgangspunten zijn gehanteerd voor de grondstoffen voor beton.

- Het cement voor productie van betonstenen komt van Dyckerhoff GA te Neuss Duitsland, de vervoersafstand is 235 km. Cement wordt met een vrachtwagen, laadvermogen 30 ton, vervoerd
- Het zand voor productie van betonstenen wordt vervoerd met behulp van een schip, laadvermogen 2.500 ton, vanuit Bergen in Limburg, de vervoersafstand is 166 km
- Het grind voor productie van betonstenen wordt vervoerd met behulp van een schip, laadvermogen 2.500 ton, vanuit Weeze Duitsland, de vervoersafstand is 174 km

#### *Gebakken klinker*

De grondstof klei wordt altijd nabij de productielocatie gewonnen, er vindt geen relevant vervoer plaats.

De gegevens gebruikt voor de berekeningen van CO<sub>2</sub> uitstoot voor het thema transport is de lijst met CO<sub>2</sub> kengetallen van werktuigen van BAM Infra B.V.

### 2.4.4 Productie

#### *Beton*

De productie van beton bestaat uit het mengen van de grondstoffen en uitharden daarvan. Uit opgave van Struyk Verwo Infra blijkt dat de CO<sub>2</sub> belasting 4 kg CO<sub>2</sub>/ton betonstraatsteen bedraagt.

De totale CO<sub>2</sub> belasting voor de productie van betonstraatsteen is opgebouwd uit de CO<sub>2</sub> kentallen voor de winning van grondstoffen (en in het geval van cement ook de CO<sub>2</sub> belasting voor de productie hier van) en het productieproces om hiervan betonnen stenen te maken. In tabel 2.2 is de samengestelde CO<sub>2</sub> belasting voor een ton betonstraatsteen weergegeven.

Tabel 2.2 Weergave CO<sub>2</sub> profiel betonstraatsteen

Grondstof	CO <sub>2</sub> uitstoot product (Kg CO <sub>2</sub> /ton)	Aandeel in beton (%)	CO <sub>2</sub> bijdrage betonstraatsteen (kg CO <sub>2</sub> /ton)
Zand	4,0	65	2,6
Grind	16,0	22	3,5
Water	0,38	1/10 deel totaal	0,0
Cement	597,0	13	77,6
Productie stenen	4,0	-	4,0
<b>Totale CO<sub>2</sub> belasting betonstraatsteen</b>			<b>87,9</b>

Uit tabel 2.2 blijkt dus dat voor de productie van één ton betonstraatsteen 87,9 kg CO<sub>2</sub> wordt verbruikt.

#### Gebakken klinker

De productie van gebakken klinker is een thermisch proces waarbij veel energie wordt gebruikt. Er zijn verschillende waarden aangetroffen voor de CO<sub>2</sub> belasting die daar mee gepaard gaat, deze zijn weergegeven in tabel 2.3.

Tabel 2.3 Weergave cijfers CO<sub>2</sub> uitstoot productie gebakken klinker

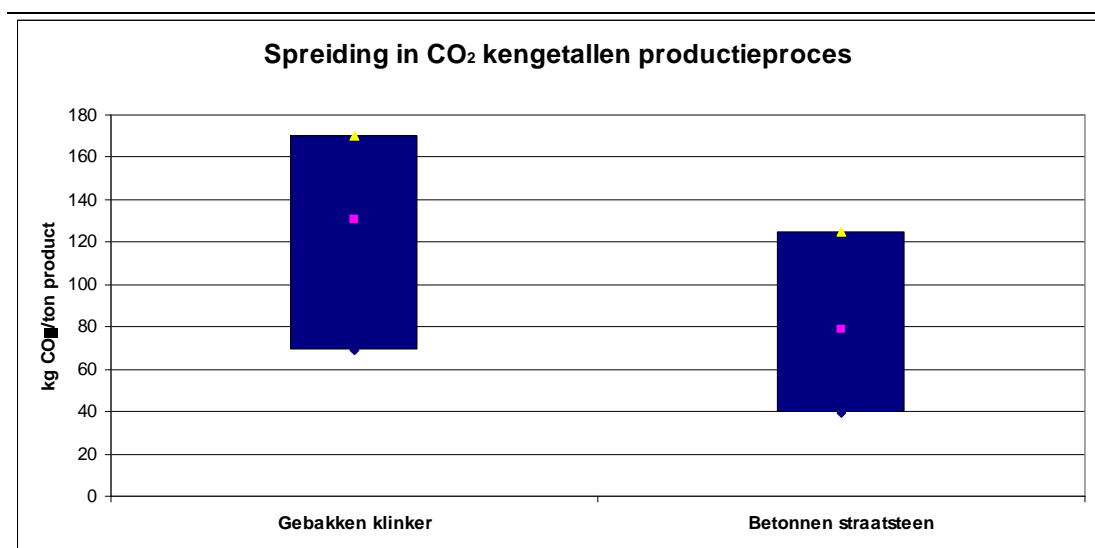
Bron	Kg CO <sub>2</sub> /ton gebakken klinker
CRH Clay Products ( <i>Nederlandse emissie autoriteit</i> )	161,9
VKO ( <i>branchegemiddelde cijfer, nav studie Intron</i> )	170,0
Wienerberger ( <i>Nederlandse Emissie Autoriteit</i> )	143,7
Stay with Clay ( <i>artikel</i> )	153,9
De Rijnswaard baksteen ( <i>website</i> )	68,8
VKO ( <i>artikel</i> )	82,0

De CO<sub>2</sub> belasting voor de productie van gebakken klinkers is de som van de belasting door het delven en het productieproces. In paragraaf 4.2.2 is al aangegeven dat de CO<sub>2</sub> belasting van delven 0,41 kg CO<sub>2</sub>/ton klei bedraagt. Dit is te verwaarlozen ten opzichte van de belasting door de productie.

Uit tabel 2.3 volgt een gemiddelde waarde voor de CO<sub>2</sub> uitstoot van 130,1 kg CO<sub>2</sub>/ton klinker. Dit gemiddelde zal in hoofdstuk 3 worden aangehouden als basis. Daarnaast zal gerekend worden met de hoogste en de laagste waarde uit tabel 2.3.

#### *Spreiding CO<sub>2</sub> kentallen voor productie*

Figuur 2.13 geeft een impressie van de spreiding in de waarden voor de CO<sub>2</sub> belasting betreffende de productie (winning en feitelijke productie) van gebakken klinkers en betonstraatstenen. De range voor betonstraatsteen wordt vooral veroorzaakt door de range aan getallen betreffende cement (tabel 2.1). Deze getallen zijn net zoals in tabel 2.2 met een factor van 0,13 verwerkt om de CO<sub>2</sub> belasting voor beton te bepalen.



**Figuur 2.13 Spreiding in verkregen CO<sub>2</sub> kengetallen met betrekking tot productie**

#### **2.4.5 Transport van productie naar het werk**

##### *Beton*

Aangenomen is dat de vervoersafstand van de productielocatie van straatstenen van Struyk Verwo Infra naar de stadsdelen 10 km bedraagt.

##### *Gebakken klinker*

De vervoersafstand vanuit Tolkamer (productielocatie) naar Amsterdam bedraagt 135 km.

De gegevens gebruikt voor de berekeningen van CO<sub>2</sub> uitstoot voor het thema transport is de lijst met CO<sub>2</sub> kengetallen van werktuigen van BAM Infra B.V.

## 2.4.6 Aanleg en onderhoud

### *Aanleg*

Bij de aanleg van de bestratingen zijn de volgende uitgangspunten gekozen:

- Er is geen verschil tussen bestrating met gebakken klinkers of betonstraatstenen
- Er wordt uitgegaan van machinaal straten
- De ondergrond bestaat bij beide bestratingen uit 25 cm hydrogranulaat
- Hier bovenop wordt bij beide bestratingen 7 cm zand gestort
- Het machinaal straten wordt uitgevoerd met behulp van een kraan
- De ondergrond wordt gestort met behulp van een shovel
- De ondergrond wordt straatklaar gemaakt met behulp van een trilplaat



**Figuur 2.14 Machinaal straten**

---

### *Onderhoud*

Het reguliere onderhoud is tussen de twee materialen niet onderscheidend. Zo is er bijvoorbeeld geen onderscheid in beschadiging tijdens veegwerkzaamheden, onkruidverdelging of gladheidbestrijding.

Gemiddeld om de 20 jaar - bijvoorbeeld tijdens een herstructurering - wordt de gehele bestrating opgebroken en opnieuw gelegd. Dit zijn de vervangingsmomenten bij de scenario's. Bij een herstructurering zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Voor het verwijderen van de bestrating wordt een kipper met kraan gebruikt
- Bij het opnieuw plaatsen van de bestrating wordt een kraan gebruikt
- Voor het opnieuw aanbrengen van de ondergrond wordt gebruik gemaakt van een shovel

De ondergrond wordt straatklaar gemaakt met behulp van een trilplaat.



**Figuur 2.15** Antrillen stenen en opbrengen voegzand

#### **2.4.7 Verwerking/recycling bestratingmateriaal**

Na afdanking wordt het betonnen materiaal afgevoerd naar de firma Steenkorrel bv te Amsterdam. Daar worden de materialen gebroken en in veel gevallen opnieuw toegepast als funderingsmateriaal voor de ondergrond van wegen. Ook een deel van de gebakken klinkers wordt op deze manier verwerkt. Een ander deel vindt na de laatste gebruiksfase haar weg in het particuliere circuit. De verwerking van stenen in een puinbreker gaat gepaard met een CO<sub>2</sub> emissie. Doordat gebroken puin weer hoogwaardig wordt toegepast wordt de winning en productie van primaire grondstoffen vermeden. Volgens bronnen<sup>3</sup> is het CO<sub>2</sub> profiel voor de productie van puingranulaat en het CO<sub>2</sub> profiel voor de productie van grind min of meer gelijk. De CO<sub>2</sub> effecten die horen bij de afvalfase van de twee bestratingmaterialen worden daarom niet mee genomen. Er is enkel rekening gehouden met de afvoer van afval naar de Steenkorrel over 12 km.

#### **2.4.8 CO<sub>2</sub> kengetallen voor aanleg, onderhoud en verwerking**

Om de kengetallen voor aanleg, onderhoud en sloop van de bestratingmaterialen te bepalen is gebruik gemaakt van een calculatieprogramma<sup>4</sup>, welke toegelicht wordt in bijlage 1. Voor een gespecificeerd werk (in dit geval: de aanleg van 100 meter straatlengte van 7 meter breed en 100 meter parkeerhaven van 2,8 meter breed) berekent dit programma de inzet van materieel, mankracht en de tijdsbesteding per activiteit. Deze berekening is weergegeven in bijlage 2. De CO<sub>2</sub> kentallen voor de verschillende werkzaamheden en transportmiddelen zijn verkregen via BAM Infra bv. In bijlage 3 is aangegeven welke CO<sub>2</sub> kentallen voor het materieel gebruikt zijn. Door combinatie van de inzet van materieel en de bijbehorende CO<sub>2</sub> kentallen kan voor de stappen in de levenscycli zoals weergegeven in de figuren 2.6, 2.7, 2.8 en 2.9 de CO<sub>2</sub> uitstoot berekend worden.

<sup>3</sup>. Resource saving and CO<sub>2</sub> reduction potential in waste management in Europe and the possible contribution to the CO<sub>2</sub> reduction target in 2020, Prognos, oktober 2008

<sup>4</sup>. GWWCalc van KPD Automatisering

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL

---

## 3 Resultaten

### 3.1 Inleiding

De berekeningen zijn uitgevoerd met een model dat is opgesteld in Excel. Dit model volgt de levenscycli zoals weergegeven in figuren 2.6, 2.7, 2.8 en 2.9. In het model zijn alle uitgangspunten zoals beschreven in hoofdstuk 2 opgenomen. Alle uitgangspunten zijn gerelateerd aan de aanleg en het onderhoud gedurende 100 jaar van een stuk wegvlak met een parkeervak van 100 meter zoals beschreven in paragraaf 2.4.1.

In paragraaf 3.2 wordt eerst de basissituatie beschreven voor de twee scenario's (binnen en buiten de Ring). In paragraaf 3.3 wordt de invloed van belangrijke uitgangspunten doorgerekend om de gevoeligheid van de analyse na te gaan. In paragraaf 3.4 wordt nagegaan welke besparingen aan CO<sub>2</sub> mogelijk zijn in Amsterdam door de keuze van materialen.

De meeste invloed op de uitkomsten worden verwacht van de CO<sub>2</sub> kentallen voor de productie van betonstraatsteen en gebakken klinker, het vervangingspercentage bij onderhoud en de periode waarover de berekeningen worden uitgevoerd. De variatie in het CO<sub>2</sub> kengetal voor betonstraatsteen heeft feitelijk betrekking op de variatie in gegevens die beschikbaar zijn voor de productie van cement. Voor de genoemde parameters (CO<sub>2</sub> voor productie, vervangingspercentage en periode) worden in dit hoofdstuk verschillende situaties doorgerekend.

Als gemiddelde CO<sub>2</sub> kengetal voor de productie van cement gaan we uit van de waarde die door Dyckerhoff is opgegeven. Daarnaast worden berekeningen uitgevoerd met het hoogste en het laagste CO<sub>2</sub> kengetal dat we voor cement hebben gevonden. Voor gebakken klinkers nemen we het gemiddelde van alle gevonden CO<sub>2</sub> kentallen als basiswaarde. Daarnaast rekenen we met de hoogste en laagste gevonden waarde. Bij de situatie 'lager uitvalpercentage' kijken we alleen naar een lagere uitval voor gebakken klinkers. De waarde in het basisscenario is 20 %, een lagere waarde is 10 %. Voor betonstraatsteen is al uitgegaan van 10 % in de basissituatie.

In dit hoofdstuk beschrijven we zoals gezegd in paragraaf 3.2 eerst de basissituatie. In paragraaf 3.3 worden overige situaties doorgerekend. In alle situaties worden beide scenario's (binnen en buiten de Ring A10) doorgerekend. Alle uitgangspunten zijn reeds doorgenomen in hoofdstuk 2. Daar waar gevarieerd wordt met de meest belangrijke parameters, is dit aangegeven in tabel 3.1. De kentallen voor CO<sub>2</sub> komen uit de figuren 2.11 en 2.12 en hebben betrekking op de productie van één ton van betreffend materiaal. In de berekeningen wordt één en ander uiteraard doorgerekend naar de eenheid voor de berekeningen (zie paragraaf 2.4.1).

Tabel 3.1 Uitgangspunten voor de berekeningen en gevoeligheidsanalyse

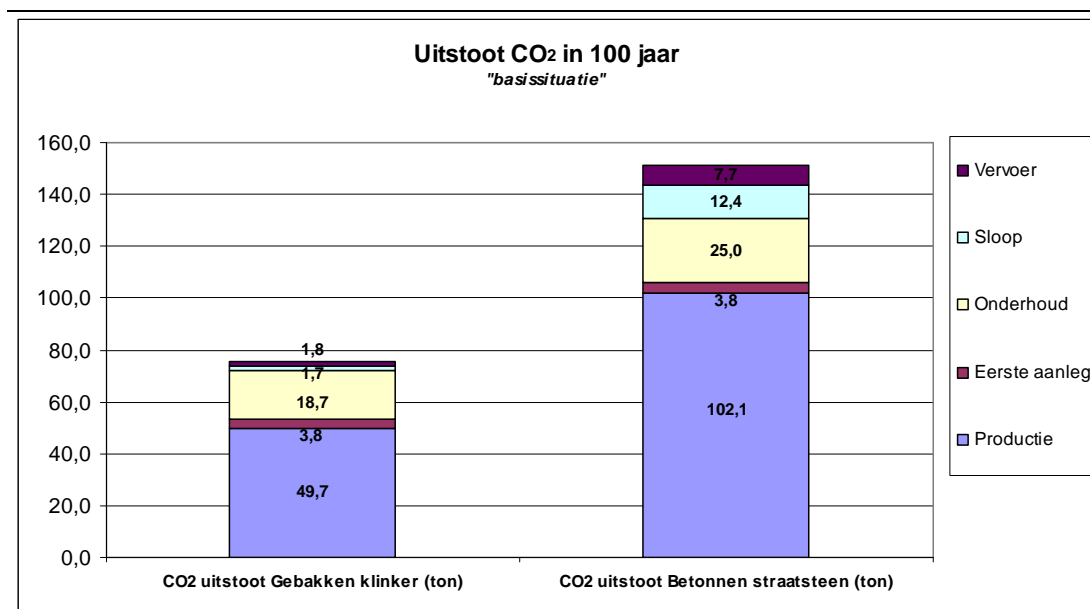
<b>Basissituatie</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	597,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	130,1 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	20 %
Periode	100 jaar
<b>Situatie 'hoog CO<sub>2</sub> kengetal voor productie van materialen'</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	880,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	170,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	20 %
Periode	100 jaar
<b>Situatie 'laag CO<sub>2</sub> kengetal voor productie van materialen'</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	222,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	68,8 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	20 %
Periode	100 jaar
<b>Situatie '10 % uitval gebakken klinker'</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	597,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	130,1 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	10 %
Periode	100 jaar
<b>Situatie 'kortere periode 60 jaar'</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	597,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	130,1 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	20 %
Periode	60 jaar
<b>Situatie 'kortere periode 20 jaar'</b>	
CO <sub>2</sub> voor productie van cement	597,0 kg CO <sub>2</sub> /ton
CO <sub>2</sub> voor productie van gebakken klinker	130,1 kg CO <sub>2</sub> /ton
Vervangingspercentage betonstraatsteen	10 %
Vervangingspercentage gebakken klinker	20 %
Periode	20 jaar

## 3.2 Basissituatie

### 3.2.1 Scenario 1: binnen Ring A10

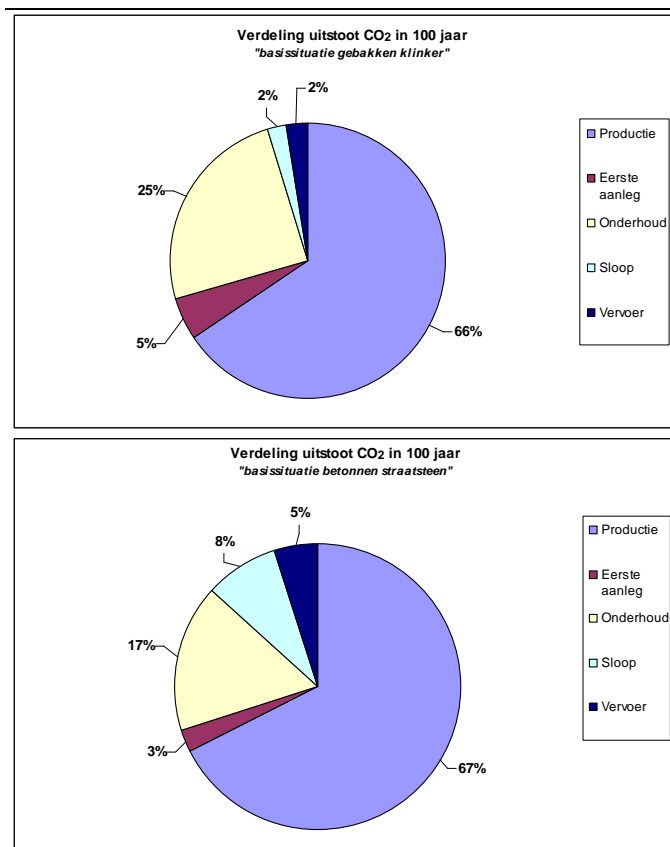
#### CO<sub>2</sub> Balans

In figuur 3.2 zijn de resultaten van de CO<sub>2</sub> balans weergegeven. Alle resultaten in dit hoofdstuk hebben betrekking op de gedefinieerde situatie gedurende de gehele periode. In figuur 3.3 is nader uitgesplitst hoe de bijdrage van de verschillende fasen in de levenscyclus aan de CO<sub>2</sub> balans is.



**Figuur 3.2 CO<sub>2</sub> balans, basissituatie binnen de Ring**

In figuur 3.2 is af te lezen hoeveel CO<sub>2</sub> verbruikt wordt voor de gehele periode van 100 jaar wanneer een wegvlak van 100 meter met parkeervak wordt aangelegd en onderhouden. Wanneer gebakken klinker wordt toegepast bedraagt de uitstoot over de gehele levensduur 75,8 ton CO<sub>2</sub>, in het geval van betonstraatsteen is dit 151,1 ton CO<sub>2</sub>.

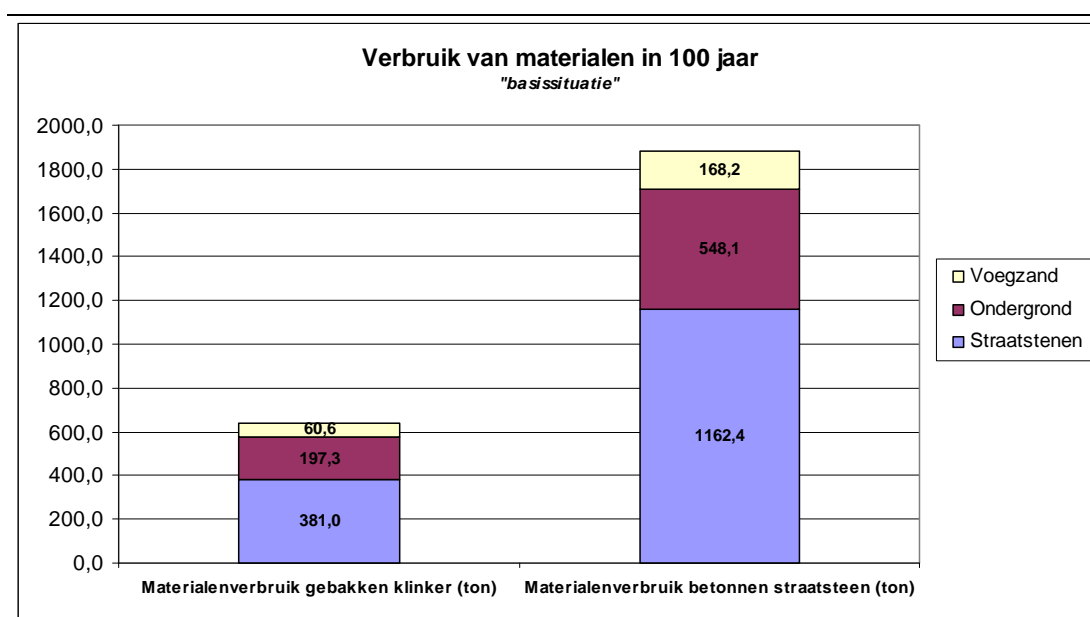


**Figuur 3.3 Bijdrage aan de CO<sub>2</sub> balans per fase van de levenscyclus, basissituatie binnen de Ring**

Het productieproces draagt voor beide materialen het meest bij aan de CO<sub>2</sub> uitstoot. Daarna vindt de meeste CO<sub>2</sub> uitstoot plaats bij het onderhoud. Vervoer en sloop hebben bij de betonstraatsteen een grotere invloed dan bij de gebakken klinker, dit is te verklaren doordat de winning van klei voor gebakken klinker de grondstoffen lokaal worden gewonnen en bij de betonstraatsteen de grondstoffen worden ingevoerd, waardoor de transportafstanden groter zijn. Verder wordt bij de betonstraatsteen meer materiaal afgevoerd in de sloopfase.

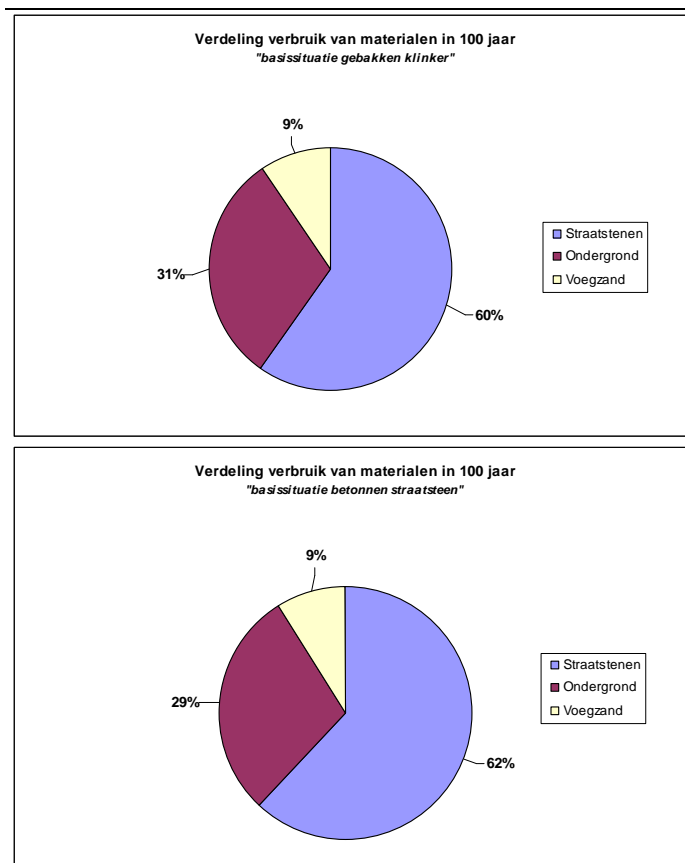
### Materialenverbruik

In figuur 3.4 wordt het materialenverbruik weergegeven over de gehele levenscyclus van de gebakken klinker en de betonstraatsteen. Hierin zijn meegenomen de materialen die gebruikt worden als bestratingmateriaal en het materiaal dat dient als ondergrond en voegmateriaal. In figuur 3.5 is de verdeling van het verbruik over de verschillende materiaal nader uitgesplitst.



**Figuur 3.4 Materialenverbruik in, basissituatie binnen de Ring**

In figuur 3.4 is het verbruik aan materialen gedurende 100 jaar in het wegvlak met parkeervak van 100 meter af te lezen. Over de gehele levenscyclus is het verbruik aan gebakken klinker beduidend lager dan het verbruik aan betonstraatsteen. De gebakken klinker kent over de gehele levenscyclus een materialenverbruik van 638,9 ton, bij de betonstraatsteen is het materialenverbruik 1878,7 ton. Dit verschil wordt veroorzaakt doordat de betonstraatsteen in dit scenario bij onderhoud, om de 20 jaar, geheel wordt afgevoerd, waarbij de gebakken klinker opnieuw wordt ingezet.



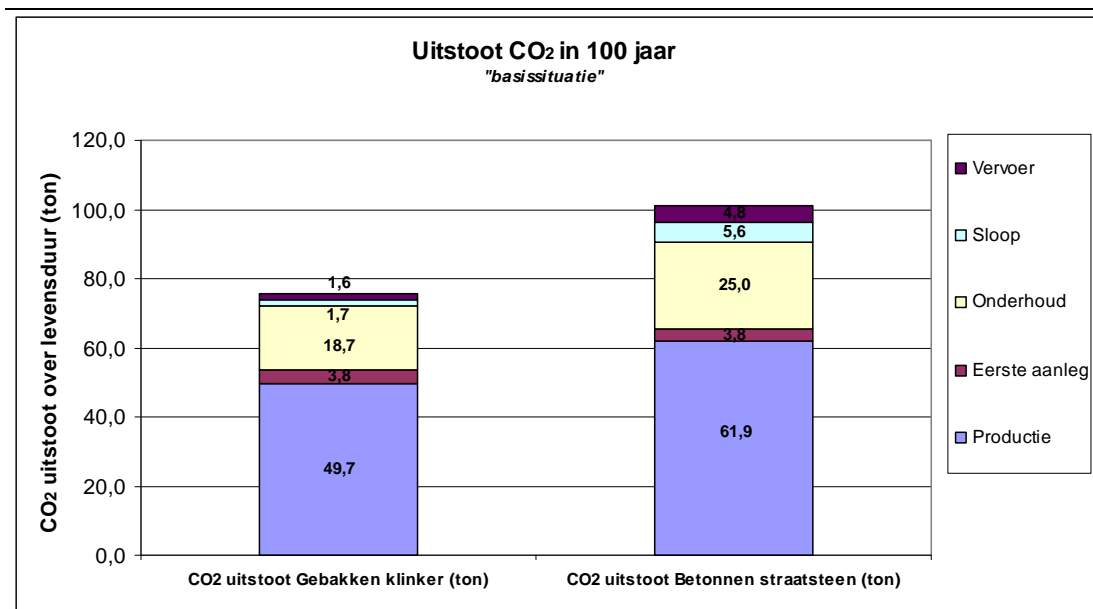
**Figuur 3.5 Materialenverbruik per grondstof, basissituatie binnen de Ring**

Bij de verdeling is te zien dat de straatstenen in beide gevallen het grootste gedeelte van het materiaalengebruik voor hun rekening nemen. De toeslagstoffen voor de aanleg wordt bepaald door de hoeveelheid straatstenen die aangelegd dienen te worden.

### 3.3 Scenario buiten Ring A10

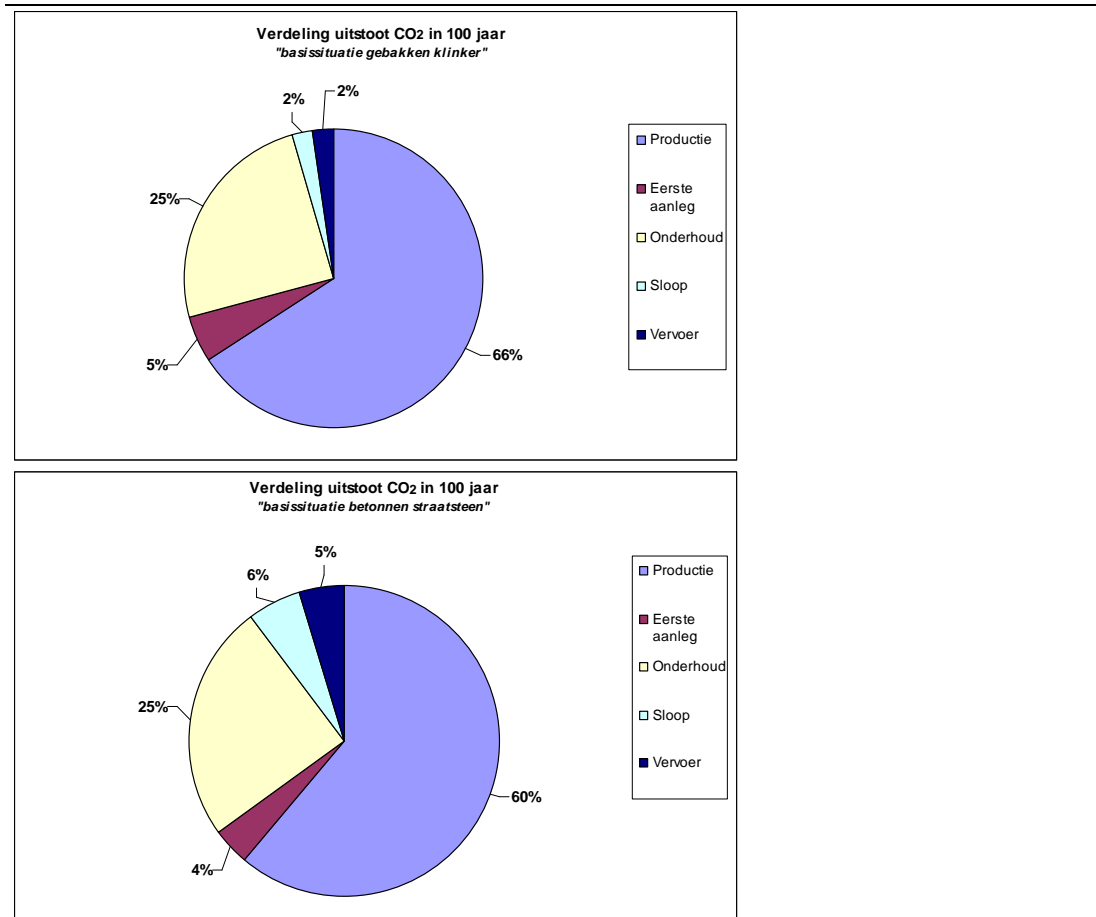
#### *CO<sub>2</sub> balans*

In figuur 3.6 zijn de resultaten van de CO<sub>2</sub> balans weergegeven. In figuur 3.7 is nader uitgesplitst hoe de bijdrage van de verschillende fasen in de levenscyclus aan de CO<sub>2</sub> balans is.



**Figuur 3.6 CO<sub>2</sub> balans, basissituatie buiten de Ring**

Bij gebruik van gebakken klinker resulteert over de gehele levensduur een uitstoot van 75,6 ton CO<sub>2</sub>, bij betonstraatsteen is dit 101,2 ton CO<sub>2</sub>.

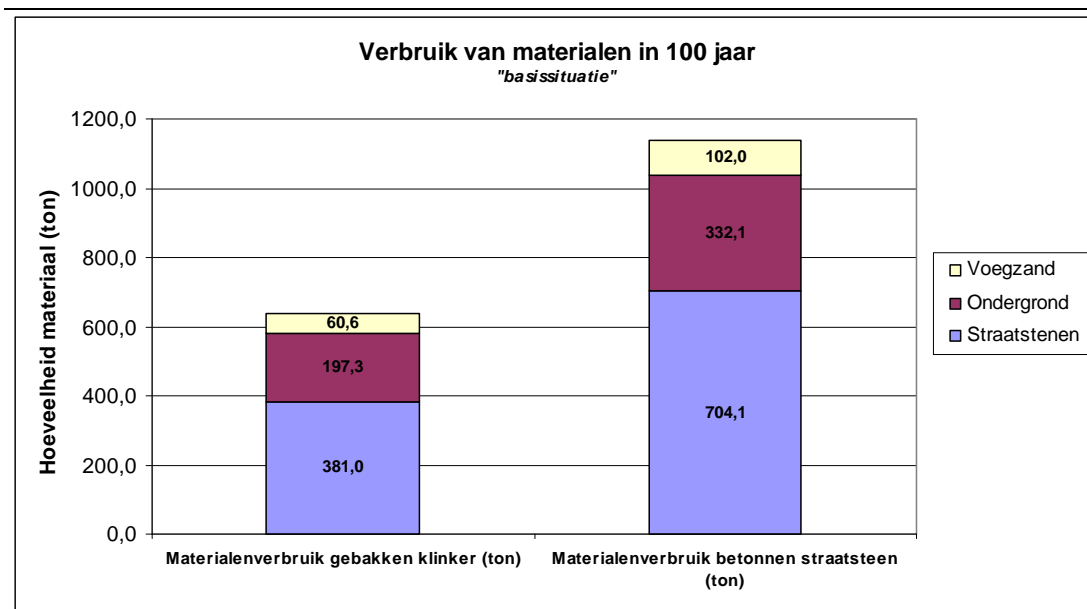


**Figuur 3.7 Bijdrage aan de CO<sub>2</sub> balans per fase van de levenscyclus, basissituatie buiten de Ring A10**

Het productieproces draagt voor beide materialen het meeste bij aan de CO<sub>2</sub> uitstoot. Ook het onderhoud draagt aanzienlijk bij aan de uitstoot. De bijdrage van overige aspecten is relatief gering.

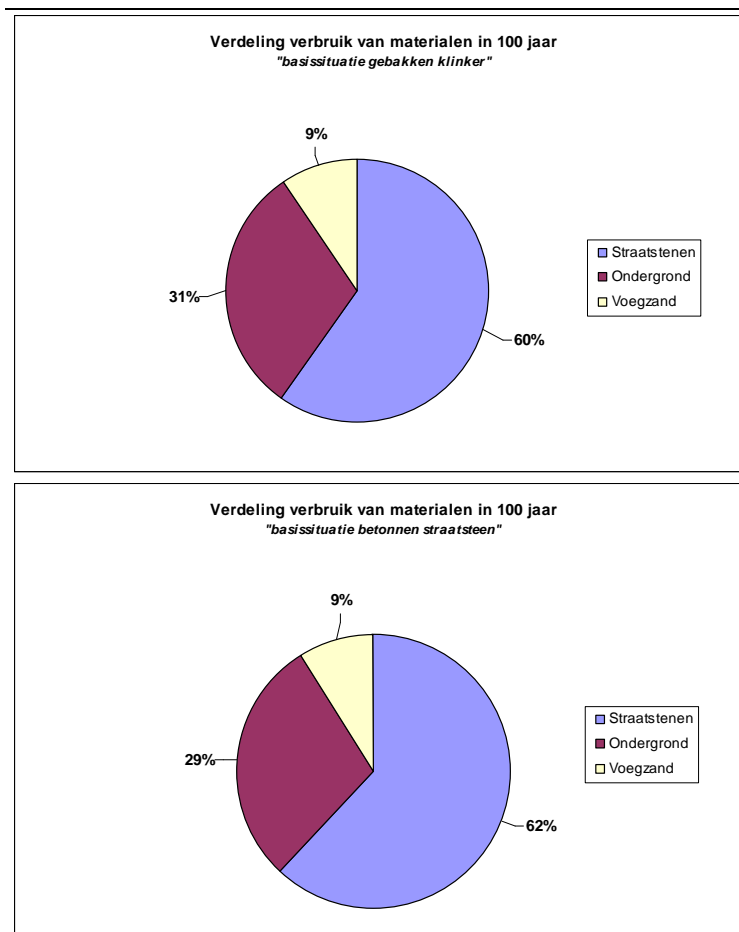
*Materialenverbruik*

In figuur 3.8 wordt het materialenverbruik weergegeven voor de periode van 100 jaar. Hierin zijn meegenomen de materialen die gebruikt worden als bestratingmateriaal en het materiaal dat dient als ondergrond en voegmateriaal. In figuur 3.9 is de verdeling van het verbruik over de verschillende materiaal nader uitgesplitst.



**Figuur 3.8 Materialenverbruik, basissituatie buiten de Ring**

Over de gehele levenscyclus van de bestratingmaterialen geeft de gebakken klinker qua materialenverbruik een veel beter beeld dan de betonstraatsteen. De gebakken klinker kent over de gehele levenscyclus een materialenverbruik van 638,9 ton, bij de betonstraatsteen is materialenverbruik 1138,2 ton. Het verschil in gebruik van straatstenen ligt aan het feit dat betonstraatstenen na een tweede onderhoudsperiode, dus na 40 jaar, niet opnieuw worden toegepast. De gebakken klinkers worden gedurende vier onderhoudsperioden opnieuw toegepast, waardoor de levensduur veel langer is.



**Figuur 3.9 Materialenverbruik per grondstof, basissituatie buiten de Ring**

Bij de verdeling is te zien dat de straatstenen in beide gevallen het grootste gedeelte van het materiaalgebruik voor hun rekening nemen.

### 3.4 Invloed van andere uitgangspunten

In tabel 3.2 zijn de resultaten gegeven van de berekeningen uitgaande van alternatieve hoge en lage waarden conform figuur 3.1. In tabel 3.2 wordt voor de verschillende situaties, voor beide scenario's (binnen/buiten de Ring A10) aangegeven hoeveel de uitstoot bedraagt in de gehele periode die beschouwd wordt voor het in paragraaf 2.4.1. aangegeven wegvlak met parkeerhaven van 100 meter.

**Tabel 3.2 Gevoeligheidsanalyse, uitstoot van CO<sub>2</sub> bij hoge en lage waarde**

<b>Basissituatie</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	101,2 ton CO <sub>2</sub>	151,1 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	75,6 ton CO <sub>2</sub>	75,8 ton CO <sub>2</sub>
<b>Situatie 'hoog CO<sub>2</sub> kengetal voor productie van materialen'</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	127,1 ton CO <sub>2</sub>	193,8 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	90,8 ton CO <sub>2</sub>	91,0 ton CO <sub>2</sub>
<b>Situatie 'laag CO<sub>2</sub> kengetal voor productie van materialen'</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	66,8 ton CO <sub>2</sub>	94,4 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	52,2 ton CO <sub>2</sub>	52,4 ton CO <sub>2</sub>
<b>Situatie '10 % uitval gebakken klinker'</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	101,2 ton CO <sub>2</sub>	151,1 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	60,5 ton CO <sub>2</sub>	60,7 ton CO <sub>2</sub>
<b>Situatie 'kortere periode 60 jaar'</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	63,4 ton CO <sub>2</sub>	89,7 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	54,1 ton CO <sub>2</sub>	54,3 ton CO <sub>2</sub>
<b>Situatie 'kortere periode 20 jaar'</b>		
	<b>Scenario buiten Ring A10</b>	<b>Scenario binnen Ring A10</b>
CO <sub>2</sub> uitstoot betonstraatsteen	32,5 ton CO <sub>2</sub>	34,9 ton CO <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> uitstoot gebakken klinker	37,3 ton CO <sub>2</sub>	37,5 ton CO <sub>2</sub>

In alle berekende situaties is te zien dat bij gebruik van gebakken klinker de uitstoot van CO<sub>2</sub> lager is dan bij gebruik van betonstraatsteen. Doorslaggevend is het gegeven dat er bij de periodieke vervangingen een groter vervangingspercentage van betonstraatstenen is. Hoewel de CO<sub>2</sub> uitstoot bij de productie van een ton betonstraatstenen lager is dan bij de productie van een ton gebakken klinkers, komt de uiteindelijke uitstoot van CO<sub>2</sub> over de gehele periode toch hoger uit.

Ook de materialenbalans valt in de berekende scenario's aanzienlijk in het voordeel van de gebakken klinker uit. Dit wordt veroorzaakt door de omgang met de betonstraatsteen tijdens onderhoud specifiek in Amsterdam, waarbij de betonstraatstenen een kortere levensduur kennen dan de gebakken variant.

In het beschreven scenario waarbij we uitgaan van een levensduur van 20 jaar, valt de CO<sub>2</sub> balans in het voordeel van de betonstraatsteen. Het materiaalgebruik blijft in deze altijd in het voordeel van de gebakken klinker.

### 3.5 Resultaten in perspectief

#### *Hoeveel CO<sub>2</sub> kunnen we besparen?*

Om bovenstaande resultaten in perspectief te kunnen plaatsen kijken we naar wat een gemiddeld huishouden jaarlijks aan CO<sub>2</sub> uitstoot. Een gemiddeld huishouden stoot jaarlijks 9 ton CO<sub>2</sub> uit<sup>5</sup>.

Uit gegevens van de Materiaaldienst blijkt dat de totale oppervlakte aan wegverharding in Amsterdam 26.073.936 m<sup>2</sup> bedraagt. Hiervan is 12.706.911 m<sup>2</sup> bestraat met gebakken klinkers of betonstraatsteen. Het gaat dan vooral om 30 km wegen, trottoirs en parkeerhavens. Ervan uitgaande dat dit oppervlak, 100 jaar lang, in het ene geval met gebakken klinkers bestraat is en in het andere met betonstraatsteen kunnen we nu de totale uitstoot berekenen. In tabel 3.3 is dit gedaan. Hierin staat de uitstoot gedurende 100 jaar over het gehele wegoppervlak in Amsterdam. In de tweede kolom is aangegeven hoeveel huishoudens gedurende dezelfde periode van 100 jaar dezelfde hoeveelheid CO<sub>2</sub> uitstoten. Door te kiezen voor gebakken klinkers wordt dus gedurende 100 jaar de uitstoot van zo'n 26.000 huishoudens uitgespaard.

---

<sup>5</sup> Milieucentraal

**Tabel 3.3 Uitstoot van CO<sub>2</sub> voor heel Amsterdam**

	Uitstoot over 100 jaar (kton)	In perspectief (hoeveelheid huishoudens)
Gebakken klinker	719,1	79.900
Betonstraatsteen	956,4	106.267

*Eindigheid van materialen*

In dit onderzoek is naast CO<sub>2</sub> gekeken naar het verbruik aan materialen. Uiteraard willen we zoveel mogelijk hergebruiken en primaire grondstoffen besparen. In de MOR methodiek wordt overwogen dat de beschikbaarheid en eindigheid van materialen daarbij van belang zijn. Voor grondstoffen die niet volop beschikbaar zijn en dus eerder worden uitgeput, is hergebruik des te belangrijker. Voor zowel gebakken klinkers als voor betonstraatstenen is geen sprake van grondstoffen die snel uitgeput zijn. In het geval van klinkers kunnen we zelfs van een onuitputtelijke voorraad spreken. De klei uit rivieren wordt immers continue weer aangevuld met nieuw sediment dat de rivieren meevoeren.

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL

---

## 4 Conclusies

### 4.1 Conclusies

- Wanneer we de hele levensperiode van een wegconstructie bekijken, dan is zowel de uitstoot van CO<sub>2</sub> als het verbruik aan materialen lager als gebakken klinkers worden toegepast. Bij betonstraatsteen is het vervangingspercentage hoger, er wordt dus meer materiaal verbruikt en de totale uitstoot van CO<sub>2</sub> wordt hierdoor hoger
- In deze beschouwingen is de periode waar over berekeningen worden uitgevoerd van groot belang. Het aanleggen van wegconstructies is een 'eeuwigdurende' activiteit. De keuze om effecten over een periode van 100 jaar te bezien is dan legitiem. Wanneer de periode van beschouwing korter is, dan gaat de CO<sub>2</sub> uitstoot door de productie van materialen zwaarder wegen. Op een gegeven moment wordt de CO<sub>2</sub> balans voor betonstraatsteen gunstiger dan voor gebakken klinkers
- Tussenopslag op een werf van gebakken klinkers die vrijkomen binnen de Ring A10 is in dit verband belangrijk. De klinkers blijven beschikbaar voor een nieuwe toepassing. Buiten de Ring A10 kan meer op locatie worden opgeslagen. Het gebruik van een werf is ook in dit geval denkbaar en interessant. Eventueel extra transport leidt niet tot een slechter CO<sub>2</sub> profiel dan voor betonstraatsteen
- Er is uitgegaan van een uitval aan gebakken klinkers van 20 %. Wanneer de uitval van gebakken klinkers verlaagd kan worden is er nog een aanzienlijke CO<sub>2</sub> winst te boeken
- Een gemiddeld huishouden stoot jaarlijks 9 ton CO<sub>2</sub> uit. Door te kiezen voor gebakken klinkers kan gedurende 100 jaar de uitstoot van zo'n 26.000 huishoudens worden uitgespaard

Kenmerk R001-4653379DFM-kmn-V01-NL

---

# Bijlage

## 1

Calculatieprogramma GWWCalc KPD Automatisering



### *Kengetallen voor aanleg, onderhoud en sloop*

De gegevens die gebruikt zijn als leidraad voor de berekeningen van de CO<sub>2</sub> balans voor aanleg, onderhoud en sloop, zijn onttrokken uit een calculatieprogramma van Tauw. Deze maakt onder andere gebruik van RAW-bestekken.

Om ten behoeve van deze studie naar CO<sub>2</sub>-uitstoot en uitputting natuurlijke grondstoffen (lees materialenverbruik) inzichtelijk te maken, is voor de gebakken klinker en de betonstraatsteen een calculatie uitgevoerd op basis van 700 m<sup>2</sup> bestrating. Hiermee is de inzet van arbeid, materieel en gebruikte materialen inzichtelijk te krijgen en op basis van de verstrekte informatie zijn de bouwkosten van de objecten berekend. Deze calculatie zal als vergelijk dienen tussen deze objecten.

### *Objecten*

De te vergelijken objecten zijn de volgende twee bestratingmaterialen:

- Betonstraatsteen 1.260 m<sup>2</sup>, afmeting 22 x 11 x 10 cm
- Gebakken klinker 1.260 m<sup>2</sup>, keiformaat afmeting 20 x 10 x 8 cm

### *Software*

Om deze calculatie te maken is gebruik gemaakt van GWWCalc van KPD en het Tauw Basisbestand, prijspeil 2009.

### *Prijsinformatie*

Tauw heeft een prijzenbestand (basisbestand) wat specifiek toegespitst is op de meest voorkomende projecten. Het basisbestand is erg handig voor het onderbouwen van de begrotingen. Onderbouwde begrotingen kunnen dan relatief snel, eenduidig en gestructureerd opgesteld worden. Een groot voordeel van goede onderbouwingen is dat het ten allen tijden traceerbaar is hoe eenheidsprijzen tot stand zijn gekomen.

Het Tauw Basisbestand wordt binnen Tauw gebruikt om als basis te dienen voor besteksonderbouwingen. Indien het basisbestand niet toereikend is of de praktijksituatie afwijkend dan worden posten ook nieuw onderbouwd naar inzet van arbeid, materiaal, materieel en onderaanneming.



# Bijlage

## 2

Uitgangspunten calculatieprogramma



## Gebakken klinker

<b>Eerste aanleg</b>	
<b>Aanbrengen straatlaag</b>	V
grondploeg (2 man)	150,00 m2 / uur
zand 100-250m3(0.0%)/	0,06 m3 / m2
shovel 1250 L inkl. bed.+brandstof	150,00 m2 / uur
trilplaat 750 kg	150,00 m2 / uur
<b>Aanbrengen straatklinkers KF rood, incl. lev, incl. invegen en afrillen</b>	V
opperman straatmaker	8,75 m2 / uur
straatmakers-ploeg (2 man)	8,75 m2 / uur
zand 100-250m3(0.0%)/	100,00 m2 / m3
keiformaat A 4/12 gebakk. rood 8cm	0,05 % / m2
shovel 1000 L, incl. bed./brandstof	8,75 m2 / uur
trilplaat 500 kg	100,00 m2 / uur
<b>Onderhoud</b>	
<b>opbreken klinkers, standaard keiformaat; dikte 80,0 mm</b>	V
straatmakers-ploeg (2 man)	15,50 m2 / uur
kipper 4x4 + kraan , incl.	100,00 m2 / uur
schoon beton & steenpuin fijn	0,14 ton / m2
<b>Aanbrengen straatlaag</b>	V
grondploeg (2 man)	150,00 m2 / uur
zand 100-250m3(0.0%)/	0,06 m3 / m2
shovel 1250 L inkl. bed.+brandstof	150,00 m2 / uur
trilplaat 750 kg	150,00 m2 / uur
<b>Aanbrengen straatklinkers KF rood, incl. lev, incl. invegen en afrillen</b>	V
opperman straatmaker	8,75 m2 / uur
straatmakers-ploeg (2 man)	8,75 m2 / uur
zand 100-250m3(0.0%)/	100,00 m2 / m3
keiformaat A 4/12 gebakk. rood 8cm	0,05 % / m2
shovel 1000 L, incl. bed./brandstof	8,75 m2 / uur
trilplaat 500 kg	100,00 m2 / uur
<b>Opbreken en afvoeren einde levensduur</b>	
<b>opbreken klinkers, standaard keiformaat; dikte 80,0 mm</b>	V
straatmaker d	100,00 m2 / uur
shovel 1500 L inkl. bed. + brandstof	100,00 m2 / uur
kipper 6x6,(20ton) incl. bed.+brndst.	100,00 m2 / uur
schoon beton & steenpuin fijn	0,14 ton / m2

## Betonstraatsteen

<b>Eerste aanleg</b>	
<b>Aanbrengen straatlaag</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>grondploeg (2 man)</b>	<b>150,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
functiegroep C	1,00 uur / uur
zand 100-250m3(0.0%)	0,06 m3 / m2
<b>shovel 1250 L inkl. bed.+brandstof</b>	<b>150,00 m2 / uur</b>
machinist d	1,00 uur / uur
shovel 1250 L excl.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	4,80 ltr / uur
trilplaat 750 kg	150,00 m2 / uur
<b>Aanbr. betonstraatstenen, grijs, kf, d=80mm, incl. invegen en afrillen</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>opperman straatmaker</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
<b>straatmakers-ploeg (2 man)</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
functiegroep C	1,00 uur / uur
zand 100-250m3(0.0%)	100,00 m2 / m3
betonklinker 210x105x 80,grijs	0,05 % / m2
<b>shovel 1000 L, incl. bed./brandstof</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
machinist c	1,00 uur / uur
shovel 1000 L excl. bed.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	4,00 ltr / uur
trilplaat 500 kg	100,00 m2 / uur
<b>Onderhoud</b>	
<b>Opbreken betonstraatstenen</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>grondploeg (2 man)</b>	<b>35,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
functiegroep C	1,00 uur / uur
<b>shovel 1500 L inkl. bed. + brandstof</b>	<b>70,00 m2 / uur</b>
machinist d	1,00 uur / uur
shovel 1500 L excl.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	6,00 ltr / uur
<b>kipper 6x6,(20ton) incl. bed.+brmdst.</b>	<b>70,00 m2 / uur</b>
chauffeur c	1,00 uur / uur
kipper 6x6 (20ton)	1,00 uur / uur
gasolie, hoog accijnstarief	18,50 ltr / uur
schoon beton & steenpuin grof	5,00 m2 / ton
<b>Aanbrengen straatlaag</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>grondploeg (2 man)</b>	<b>150,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
functiegroep C	1,00 uur / uur
zand 100-250m3(0.0%)	0,06 m3 / m2
<b>shovel 1250 L inkl. bed.+brandstof</b>	<b>150,00 m2 / uur</b>
machinist d	1,00 uur / uur
shovel 1250 L excl.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	4,80 ltr / uur
trilplaat 750 kg	150,00 m2 / uur
<b>Aanbr. betonstraatstenen, grijs, kf, d=80mm, incl. invegen en afrillen</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>opperman straatmaker</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
<b>straatmakers-ploeg (2 man)</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
grondwerker/vakman B	1,00 uur / uur
functiegroep C	1,00 uur / uur
zand 100-250m3(0.0%)	100,00 m2 / m3
betonklinker 210x105x 80,grijs	0,05 % / m2
<b>shovel 1000 L, incl. bed./brandstof</b>	<b>11,00 m2 / uur</b>
machinist c	1,00 uur / uur
shovel 1000 L excl. bed.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	4,00 ltr / uur
trilplaat 500 kg	100,00 m2 / uur
<b>Opbreken en afvoeren einde levensduur</b>	
<b>Opbreken betonstraatstenen</b>	V
Omschrijving	Prod. Prod.1h
<b>shovel 1500 L inkl. bed. + brandstof</b>	<b>65,00 m2 / uur</b>
machinist d	1,00 uur / uur
shovel 1500 L excl.	1,00 uur / uur
gasolie, laag accijnstarief	6,00 ltr / uur
<b>kipper 6x6,(20ton) incl. bed.+brmdst.</b>	<b>70,00 m2 / uur</b>
chauffeur c	1,00 uur / uur
kipper 6x6 (20ton)	1,00 uur / uur
gasolie, hoog accijnstarief	18,50 ltr / uur
schoon beton & steenpuin grof	0,20 ton / m2

# Bijlage

## 3

CO<sub>2</sub> kengetallen BAM Infra b.v.



## Emissiefactoren bouwplaatsmaterieel

Onderstaand vindt u de lijst met emissiefactoren van bouwplaatsmaterieel.

Categorie	Beschrijving	Emissiefactor (kg CO2)	Verbruik	
Graafmachines	JCB 3CX	17,89	67 kw	
	Rubber duck (small-medium)	17,36	65 kw	
	Rubber duck (Large)	26,70	100 kw	
	Mini <7t	6,68	25 kw	
	Small 7-15t	18,69	70 kw	
	Medium 15-25t	33,38	125 kw	
	Large 25-40t	53,40	200 kw	
	Very large 40t +	80,10	300 kw	
	Laadshovel (1-3t)	26,70	100 kw	
	Verreiker (<3t)	12,02	45 kw	
	Verreiker (>3t)	21,36	80 kw	
	Dumpers (voor transport bulkmateriaal op bouwplaats)	Small 1-3t	6,68	25 kw
		Medium 3-6t	13,35	50 kw
Large 6-10t		20,01	75 kw	
20t Articulated		53,40	200 kw	
30t Articulated		69,42	260 kw	
40t Articulated		80,10	300 kw	
Hijskranen	Warrybok	1,07	4 kw	
	Mobiele kraan 15-25t	46,73	175 kw	
	Mobiele kraan 25-40t	53,40	200 kw	
	Mobiele kraan 40-60t	66,75	250 kw	
	Mobiele kraan 100t	93,45	350 kw	
	Mobiele kraan 200t	106,80	400 kw	
	Mobiele kraan 200t+	12,15	450 kw	
	Crawler 20-40t	29,37	110 kw	
	Crawler 40-60t	33,38	125 kw	
	Crawler 60-80t	46,73	175 kw	
	Crawler 80-100t	60,07	225 kw	
	Crawler (140t)	73,42	275 kw	
	Torenkraan (Electra)	23,22	87 kw	
	Bulldozer	Cat D6	34,71	130 kw
Cat D8		46,73	175 kw	
Tracavator 931		13,88	52 kw	
Tracavator 955		60,08	225 kw	
Walsen / verdichtingsmachines	Triplaat Wackerstamper	0,68	2,5 kw	
	Wals Bomag 75	2,67	10 kw	
	Wals Bomag 120	5,34	20 kw	
	Wals Bomag 151	14,69	55 kw	
	Wals Bomag 200	22,70	85 kw	
Auto's / busjes / vrachtwagens	Escort Van	24,03	90 kw	
	Transit Van	24,03	90 kw	
	RE Car	20,03	75 kw	
	Truck, Heavy uren, vanaf 5t	80,01	300 kw	
	Truck, Light uren, tot 5t	60,00	225 kw	
	Car	0,20		
	Truck, heavy (km), vanaf 5t	0,91		
	Truck, light (km), tot 5t	0,69		
Compressoren	3,5m3 / 120 cfm Compressor	8,01	30 kw	
	4,5m3 / 160 cfm Compressor	12,02	45 kw	
	7m3 / 250 cfm Compressor	14,69	55 kw	
Generatoren	< 5 kVA	1,34	5	
	5-50 kVA	6,68	25	
	50-100 kVA	21,36	80	
	>100 kVA	53,40	200	

Bouwplaatsmaterieel - Emissiefactoren bouwplaatsmaterieel

Diversen	Betonpomp <20m giek	20,03	75 kw
	Betonpomp 20-35m giek	40,05	150 kw
	Betonpomp 35m+ giek	53,40	200 kw
	Bouwlamp	2,00	7,5 kw
	Veegwagen	26,70	100 kw
	3-4" Diesel pomp	7,14	50 kw
	6" Diesel pomp	26,70	100 kw
	Puinbreker / materiaalvermaler	48,86	183 kw
	Mobiele lift	6,68	25 kw
	Cementmixer (100 liter)	0,53	2 kw
	Tractor	13,35	50 kw
	Bronbemalingspomp (elektrisch)	2,10	5 kw
	Materieel Wegenbouw	Asfaltschaafmachine	44,86
FreemACHINE 500mm		21,09	79 kw
FreemACHINE 1000mm		49,40	185 kw
FreemACHINE 2100mm		125,49	470 kw
Asfaltspreidmachine klein		13,88	52 kw
Asfaltspreidmachine medium		37,38	140 kw
Asfaltspreidmachine groot		46,73	175 kw
Shuttle Buggy		59,81	224 kw
Materieel Railbouw	Unimobiel	49,13	184 kw
	Automontgewagen	41,12	154 kw
	Hydraulische graafmachine (Krol)	18,42	69 kw
	Lasbus met railonderstel	29,37	110 kw
	Stoornobiel (hoogwerker)	43,25	162 kw
	Schouwvoertuig (Unimat 203)	84,11	315 kw
	Stopmachine (Unimat)	151,39	567 kw
	Stopmachine (CAT)	80,10	300 kw
	Stopmachine (Minima)	12,55	47 kw
	Ballastafwerkmaschine	106,80	400 kw

## Transport

In de PCC wordt binnen deze categorie gekeken naar het transport dat nodig is om het gebruikte materiaal op de bouwplaats af te leveren. Ook wordt gekeken naar het transport voor aan- en afvoer van de bouwkeet.

Om de CO<sub>2</sub>-emissie van transport om materiaal af te leveren op de bouwplaats te berekenen, zijn de volgende gegevens nodig:

1. De totale hoeveelheid materiaal (in tonnen, t);
2. De gebruikte vrachtwagens voor transport. Hierbij wordt de aanname gemaakt dat het materiaal per 20t vrachtwagens wordt aangeleverd. Voor stenen (1000st) geldt dat wordt gerekend met 10.000 stenen per vracht);
3. Het emissiecijfer van een 20t vrachtwagen. Dit is 0,91 kg CO<sub>2</sub>/km;
4. Het aantal gereden kilometers. Hierbij wordt de aanname gemaakt dat een vrachtwagen gemiddeld 100km retour rijdt om het materiaal aan te leveren.

De formule is dan: (Hoeveelheid materiaal (t) / 20t vrachtwagens) x 0,91 kg CO<sub>2</sub>/km x 100 km.

Voor transport van de bouwkeet is de formule: (Aantal m<sup>2</sup> bouwkeet / 15m<sup>2</sup>) x 0,91 kg CO<sub>2</sub>/km x 100 km.

Het aantal ritten met een vrachtwagen van 20t wordt berekend door het aantal vierkante meters bouwkeet te delen door 15.

Dit komt voort uit de aanname dat er 15 vierkante meter bouwkeet wordt vervoerd per vrachtwagen.