

20.6.2016



AFSTUDEERONDERZOEK

Duurzaamheidsaspecten van verwerkingsmethoden voor puin en snoeihout

Een theoretische vergelijking van de duurzaamheid van het
verondiepen met puin en snoeihout ten opzichte van reguliere
afvalverwerkingsmethoden van deze materialen | D. J. H. Hofstee

Duurzaamheidsaspecten van verwerkingsmethoden voor puin en snoeihout

Een theoretische vergelijking van de duurzaamheid van het
verondiepen met puin en snoeihout ten opzichte van reguliere
afvalverwerkingsmethoden van deze materialen

Leeuwarden 20 juni 2016

Auteur **Derk-Jan H. Hofstee**
150115745801
Milieukunde, VHL Hogeschool

Opdrachtgever **Richard van den Berg**
Dekker

Begeleiders **Jos Theunissen**
VHL Hogeschool

Leo Bentvelzen
VHL Hogeschool



**van hall
larenstein**
university of applied sciences



Dekker

grondstof
voor
ontwikkeling

VOORWOORD

In combinatie met techniek of kapitaal delft natuur nog steeds te veel het onderspit. Met een wereld die steeds kleiner wordt kunnen we ons dat niet veroorloven. Natuur is immers de basis zonder welke wij mensen niet kunnen floreren. De mogelijkheid om natuur en techniek in dit onderzoek over afvalverwerkings- en verondiepingsmethoden te kunnen combineren sprak mij erg aan. Voor u ligt dan ook het verslag van dit onderzoek ter afronding van de bachelorstudie Milieukunde aan de Hogeschool Van Hall Larenstein te Leeuwarden. Het idee en de mogelijkheid voor dit onderwerp heb ik te danken aan Dekker.

Daarnaast keek ik ernaar uit de kennis die ik tijdens mijn stage bij de provincie Gelderland heb opgedaan op het gebied van zandwinning en natuurherstelling toe te passen en uit te breiden. Uitgangspunt van dit onderzoek is duurzaamheid. Het wordt nog steeds vaak gezien als middel om de problemen die door ons mensen zijn veroorzaakt te mitigeren. Veelmeer zou duurzaamheid een weg, een manier van denken en doen moeten zijn, die bestaande problemen oplost in plaats van alleen negatieve effecten te verminderen. Hiervoor is het soms nodig nieuwe wegen in te slaan, zo ook hier. Er worden nieuwe manieren van puin en snoeihout verwerkingsmethoden geïntroduceerd en op duurzaamheidsaspecten getoetst en vergeleken met de status quo. Voordat u hier meer over leest, wil ik eerst iedereen bedanken.

Mijn dank gaat aan iedereen van Dekker die bijgedragen heeft aan een prettig verblijf en prettige samenwerking aldaar. Dank aan Stefan Sengers voor de discussie over verondieping en betonrecycling. In het bijzonder wil ik de heren Koen van Aanholt, Jan van der Bent, Richard van den Berg en Simon Schimmel bedanken voor de prettige samenwerking en alle geleverde bijstand. Vanuit Hogeschool VHL wil ik Jeroen Huisman bedanken voor zijn inzichten in de biodiversiteit van zandwinputten. Last but not least: Grote dank aan mijn begeleiders Leo Bentvelzen en Jos Theunissen voor alle steun en advies in welke vorm dan ook. Buitengewoon veel dank ben ik verschuldigd aan alle geduld en hulp van Anne Carl, zonder wier hulp, inzicht en geduld met de schrijver in kwestie, dit document niet in deze staat verschenen zou zijn.

ABSTRACT

Sustainability has become a key concept in our society. In line with this concept the Dutch government has focused on a circular economy for the future, this in turn causes every bit of waste to be used in a suitable fashion. However, is this fashion the most suitable way of dealing with this waste?

Questions raised by Dekker, on the sustainability of waste disposal methods for rubble and wastewood are cause for this report. They would like to know whether or not the current state of affairs concerning the processing of rubble and wastewood is being done in the most sustainable fashion. As an alternative, they suggested several new methods for processing these waste flows. This report hopes to provide some clarity on the sustainability of current waste management and said alternatives.

In order to discern the most sustainable method of waste processing, a Life Cycle Analysis (LCA) approach was used. First of all three scenarios were developed, which display the steps taken by rubble and wastewood to become new products. These new products could be anything, ranging from new construction materials to energy. The scenarios are as follows: Rubble broken into mixed rubble, or menggranulaat, Rubble broken in to concrete rubble, or betongranulaat, and woodwaste as a byproduct from public green maintenance. Each scenario shows the inputs, like diesel fuel, and outputs, like carbon dioxide gas, within each step of the cycle, that each specific waste group has to pass through in order to become a new product. After this, each step was quantified on emissions hazardous to the environment with the help of existing LCA data and collected data in an extensive database, followed by calculating the sum and analysis of the hazardous emissions per scenario. At last they can be compared to one another.

The alternatives in each scenario are the following. For menggranulaat the alternative is filling old sand mining lakes with menggranulaat, causing them to become much shallower. This is the same for betongranulaat, however there's also a new recycling method called slim breken included in the comparison. That leaves snoeihout which will also be used as a material to fill up the sand mining lakes.

The results for menggranulaat show that under the conditions set for this report, the current method of rubble management is the least damaging to the environment, this is however very dependent on the transporting distance.

The main result for betongranulaat is the enormous negative environmental impact caused by cement on newly made concrete; it also shows a smaller impact in the case of the alternatives.

In the case of woodwaste the main result shows the alternative having a reducing effect where carbon dioxide emissions are concerned, opposed to a stabilising effect by the current approach.

For menggranulaat in the case of a building getting demolished, the total transport distance, will be the deciding factor. It will decide which method of rubble processing will be the least damaging to the environment. Further research into these alternatives is desirable.

In the case of betongranulaat further research into alternative rubble processing methods as well as alternatives for cement is highly recommended in order to reduce the environmentally hazardous emissions.

Further research into the alternative for wood seems necessary. It's recommended to start an experiment with duration of at least 3 years, to study the effects of this alternative in practise. It's also recommended to study the effects of storing carbon dioxide in this manner.

SAMENVATTING

Duurzaamheid is zo langzamerhand een begrip geworden in onze maatschappij. Binnen dit kader legt Nederland de focus voor de toekomst op een circulaire economie en hierdoor wordt voor iedere afval stroom een nuttige toepassing bedacht. Maar is die nuttige toepassing van een product wel echt een nuttige toepassing?

Aanleiding voor dit onderzoek zijn vragen gesteld door Dekker, over de duurzaamheid van afvalverwerkingsmethoden van puin en hout. Ze wilden weten of de huidige stand van zaken met betrekking tot puin en hout verwerking wel de meest duurzame oplossingen voor deze afvalstromen zijn. Als alternatief heeft Dekker drie voorstellen van alternatieve verwerking gedaan. Dit onderzoek is uitgevoerd om helderheid te verschaffen over de duurzaamheid van verschillende huidige en alternatieve afvalverwerkingsmethoden voor puin en hout.

Om te kunnen achterhalen welke verwerkingsmethode het meest duurzaam is, is gebruik gemaakt van een Levens Cyclus Analyse (LCA) aanpak. Allereerst zijn drie scenario's opgesteld, die de stappen laat zien die puin en hout doorlopen van afvalproduct tot nieuw product. Deze nieuwe producten kunnen van alles zijn, bijvoorbeeld bouwmaterialen, maar ook energie is een mogelijkheid. Het betreft de volgende scenario's: Puin gebroken tot menggranulaat, Puin gebroken tot betongranulaat en houtafval afkomstig van groenonderhoud. Elk scenario geeft de input, bijvoorbeeld diesel, en de output, bijvoorbeeld koolstofdioxide, van verschillende stappen in de cyclus weer. Deze stappen zijn vervolgens op milieuschadende emissies gekwantificeerd met behulp van bestaande LCA gegevens en eigen gegevens in een uitgebreide database. Vervolgens is de totale som aan milieuschadende emissies per scenario en verwerkingsmethode geanalyseerd en vergeleken.

Het alternatief voor de inzet van menggranulaat betreft het verondiepen van een zandwininput met deze materialen. Dit is ook een alternatief in het geval van betongranulaat, er wordt echter ook gekeken naar slim breken, een nieuwe recycle methode. Ook voor snoeihout is het alternatief het verondiepen van een zandwininput met dit materiaal.

Voor menggranulaat is het belangrijkste resultaat dat onder de voorwaarden van dit onderzoek, de huidige manier van verwerken de kleinste milieu-impact heeft, maar dat dit echter sterk afhankelijk is van de transportafstand.

Voor betongranulaat is het belangrijkste resultaat de grote impact van cement op nieuw te maken beton, echter ook dat de alternatieven voor de huidige verwerkingsmethoden een kleinere milieu-impact ten gevolge hebben.

Voor hout is het belangrijkste resultaat dat het alternatief een reducerend effect heeft op koolstofdioxide emissies in vergelijking tot een stabiliseren van koolstofdioxide emissies van de huidige manier van verwerken.

Voor menggranulaat betekent dit dat bij de sloop van een gebouw, de totale transportafstand, de afhankelijke factor gaat zijn die bepaald welke verwerkingsmethode in aanmerking komt. Verder onderzoek naar alternatieve verwerkingsmethoden is wenselijk.

Voor betongranulaat betekend dit dat verder onderzoek naar alternatieve verwerkingsmethoden noodzakelijk is om milieuschadende emissies te reduceren. De impact van het cement is dermate hoog dat ook naar alternatieven voor cement gezocht moet worden.

Voor hout betekend dit dat verder onderzoek naar het alternatief noodzakelijk is. Tevens is het belangrijk dat verder onderzoek gedaan wordt naar de opslag van koolstofdioxide op deze manier. Een aanbeveling in deze is het opstarten van een experiment, met een duur van ten minste 3 jaar, om de effecten van het alternatief op schaal te onderzoeken.

INHOUD

1	INLEIDING	1
1.1	PROBLEEMSTELLING	2
1.2	DOELSTELLING	2
1.3	LEESWIJZER	3
1.4	DE SCOPE	3
1.5	VRAAGSTELLING	15
1.6	DUURZAAMHEID	16
2	METHODIEK	19
2.1	KETENANALYSE	20
2.2	VORM GEVEN AAN ALTERNATIEVEN	21
2.3	BEREKENINGEN EN AANNAMEN	22
3	RESULTATEN	27
3.1	GRANULAAT A	27
3.2	GRANULAAT B	28
3.3	HOUT	29
3.4	EXPERT OPINION	29
4	ANALYSE	33
4.1	ANALYSE GRANULAAT A	33
4.2	ANALYSE GRANULAAT B	34
4.3	ANALYSE HOUT	38
4.4	GEVOELIGHEIDSANALYSE	40
5	CONCLUSIE	43
6	AANBEVELINGEN	44
7	BIBLIOGRAFIE	45
8	AFBEELDINGEN	50
BIJLAGEN		
BIJLAGE I GRANULAAT A DATA		I
BIJLAGE II GRANULAAT B DATA		III
BIJLAGE III HOUT DATA		V
BIJLAGE IV GEVOELIGHEIDSANALYSE GRANULAAT A		VII
BIJLAGE V GEVOELIGHEIDSANALYSE GRANULAAT B		XI
BIJLAGE VI GEVOELIGHEIDSANALYSE HOUT		XVII

1 INLEIDING

Het begint met duurzaamheid. Duurzaamheid is zo langzamerhand een begrip geworden in onze maatschappij. Elektriciteit moet 'duurzaam' opgewekt middels zonnepanelen op het dak, er wordt in „duurzame“ hybride auto's gereden, producten moeten “duurzaam” worden ingekocht en een gebouw dient op een “duurzame” wijze te worden gebouwd met “duurzame” materialen.

Nederland legt de focus voor de toekomst op een circulaire economie en hierdoor wordt voor iedere afvalstroom een nuttige toepassing bedacht. Maar is die nuttige toepassing van een product wel echt een nuttige toepassing? Is het niet een verplaatsing van het probleem of een laagwaardige manier van hergebruik? Of kunnen deze zaken ook beter georganiseerd worden?

In Nederland wordt al jaren al het groen afval ingezameld en verwerkt tot het geen afval meer is, ditzelfde geldt voor puin. Aangezien we in Nederland niet veel ruimte hebben om materialen te storten, wordt dit al snel een niet wenselijke manier van verwerken. Hierdoor is de noodzaak ontstaan om voor puin een nuttige toepassing te bedenken. Bij organisch materiaal is het van oudsher al gebruikelijk om dit nuttig toe te passen. In de regel wordt organisch materiaal gecomposteerd, maar er zijn andere mogelijkheden voorhanden. De huidige manieren van verwerking van puin en snoeihout roept vragen op bij Dekker.

Dekker is een leverancier van bouwgrondstoffen met een jaaromzet van circa 100 miljoen euro en ruim 250 medewerkers. Naast de productie van vooral zand en grind voor de betonindustrie zijn handel en logistiek pijlers van de onderneming. De onderneming is ook zelf actief in de productie van betonwaren. Ze zijn actief in Nederland, België en delen van Duitsland en Frankrijk. Het betreft van oorsprong, en nog steeds, een familiebedrijf dat al bijna 100 jaar bestaat. Duurzaamheid is voor de Dekker groep een belangrijk begrip. Zelf stelt de onderneming:

“Het draait om de drie P's van People Planet en Profit. Dat is duidelijk. Maar onze conclusie is ook dat duurzaamheid geen eindpunt is maar een proces. Een proces waarbij je alle beslissingen die je neemt over die drie pijlers afweegt. Een beslissing is duurzaam op het moment dat er sprake is van balans.” (Cobouw, 2014)

Het is een vooruitstrevende onderneming met een kritische blik op haar eigen manier van werken, maar het bedrijf houdt de blik niet alleen naar binnen gericht. Het bedrijf vraagt zich af of het verondiepen van zandwinputten met puin of hout niet een beter gebruik is van puin en hout ten opzichte van reguliere verwerkingsmethoden.

Dekker laat deze vragen niet zomaar uit de lucht vallen. Het bedrijf heeft enkele alternatieven voor ogen die mogelijk verder onderzocht kunnen worden als deze in theorie duurzamer zouden blijken te zijn dan de huidige gangbare methoden.

Voor puin geldt dat er in Nederland drie mogelijke hoofdstromen van verwerking zijn. Storten, breken tot menggranulaat (A) met als toepassing funderingsmateriaal voor de wegenbouw en breken tot betongranulaat (B) met als toepassing grindvervanger in nieuw beton. Er vinden momenteel diverse onderzoeken plaats naar technieken die op verschillende manieren puin terug brengen tot de oorspronkelijke ingrediënten. Dit zijn: smart- of slowcrushing, Advanced Dry Recovery en elektrisch

fragmenteren. Storten is verboden volgens besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen, § 1 artikel 1.29 a en b. Regulier storten wordt in die zin dan ook niet onderzocht.

Voor granulaat A ziet Dekker de mogelijkheid om het gemengde puin te gebruiken als verondiepingsmateriaal van zandwinputten met mogelijke ecologische voordelen. Voor de wegebouw zou dan nieuw te winnen ophoogzand de funderingsvervanger zijn.

Ook voor granulaat B ziet Dekker de mogelijkheid om het betonpuin te gebruiken als verondiepingsmateriaal van zandwinputten met mogelijke ecologische voordelen. Voor het beton zou nieuw te winnen zand en grind dan de plaats van het granulaat innemen.

Snoeihout kent in zijn algemeenheid vier hoofdstromen van verwerking: storten, composteren, biostook als biomassa in een energie centrale of reguliere afvalverbranding. Hout wordt in Nederland niet gestort, want dit is verboden volgens besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen, § 1 artikel 1.18 a, b en c. Het regulier verbranden van hout puur ter vernietiging, wat niet op grote schaal wordt gedaan, wordt niet in dit onderzoek meegenomen. Composteren wordt wel op grote schaal gedaan en daarnaast is biostook als biomassa voor energie en/of warmte nog een alternatieve verwerkmethode.

Het idee van Dekker in deze is dat door het toepassen van snoeihout als verondiepingsmateriaal in een zandwinput een mogelijke verbetering van de ecologische situatie zal ontstaan en het heeft ook een zeer grote potentie als CO₂ opslag.

1.1 PROBLEEMSTELLING

Er is geen duidelijke, direct beschikbare informatie om de duurzaamheid van het recyclen van puin en het verwerken van snoei- en kaphout te kunnen vergelijken met en te toetsen aan drie nieuwe alternatieven. Er is gebrek aan kennis over de totale impact van de voorgestelde alternatieven en de gangbare technieken. Er is tot op heden nog geen grote openbare vergelijking van deze methoden gedaan.

1.2 DOELSTELLING

Het doel is vaststellen of het door Dekker voorgestelde alternatief het “afzinken van puin ten behoeve van de ecologie” duurzamer is ten opzichte van reguliere verwerkmethode. Daarnaast is het tweede doel vaststellen of het door Dekker voorgestelde alternatief “afzinken van houtig organisch materiaal als CO₂ opslag” duurzamer is ten opzichte van reguliere houtige biomassa verwerking. Samengevat in een overkoepelende hoofdvraag komt het neer op: Zijn de door Dekker voorgestelde alternatieven duurzamer dan de reguliere verwerkmethode?

1.3 LEESWIJZER

Vanuit de intro is de aanleiding en het doel bekend geworden. Nu wordt in hoofdstuk 1.4 de afbakening voor het onderzoek gelegd en dit wordt opgevolgd door de vraagstelling. Hoofdstuk 2 behandelt de methodiek en in hoofdstuk 3 worden de resultaten per scenario gepresenteerd. Hoofdstuk 4 omhelst de bespreking van de resultaten per scenario, gevolgd door de conclusies, hoofdstuk 5, en aanbevelingen, hoofdstuk 6. Hierna komen de bronnenlijsten en bijlagen.

1.4 DE SCOPE

Om de verschillende onderdelen goed te kunnen vergelijken is gekozen voor een LCA-aanpak (Levens Cyclus Analyse) waarover meer volgt in hoofdstuk 2. De eerste stap van een LCA is het belangrijkste onderdeel en tevens het leeuwendeel van de inleiding. Dit behelst het definiëren van de goal and scope (doel en reikwijdte).

1.4.1 DE TE VERWERKEN MATERIALEN

Voor een goed onderzoek naar de verwerking van puin en de verwerking van organisch materiaal is het van belang vast te stellen wat er precies met deze materialen wordt bedoeld. Daarnaast wordt ook beschreven waarom juist voor deze materialen is gekozen.

PUIN

Puin is een breed begrip en vele materialen worden dan ook onder dit begrip geschaard. In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen schoon puin en restpuin. Schoon puin is datgene wat nader onderzocht wordt. Hiermee worden alleen de steenachtige resten bedoeld die overblijven na de sloop van een gebouw, zoals: baksteen, dakpan, tegels, cement, (gewapend) beton en natuursteen (zie afbeelding 1). Deze resten mogen conform de eisen voor Euralcode 17 01 07 (Rijksoverheid (1), 2015) geen gevaarlijke stoffen bevatten. Dit onderscheid wordt gemaakt vanwege het feit dat ook afvalbedrijven (CSM b.v., puincontainer.nl en Schijf) een onderscheid maken tussen 'schoon' puin en 'rest' of 'vuil' puin. Dit is ten dele te wijten aan het feit dat schoon puin nog vele nuttige toepassingen met zich meebrengt en overig puin eerst gesaneerd zou moeten worden of überhaupt niet onder de zelfde noemer inzetbaar is. Wat niet wordt verstaan onder puin zijn de volgende resten: Gipsbeton, puin met roet of asbest resten, gasbeton, asfaltbeton, glas, en overige niet steenachtige materialen als plastic en hout.

Puin is op het moment zeer interessant vanwege het Deltaplan. Nederland heeft hierdoor een dreigend overschot aan grondstoffen voor beton en betongranulaten. Vanwege het Deltaplan



AFBEELDING 1 GEMENGD PUIN
(DOOR: WWW.WOUDENBERGBV.NL)

moeten tot 2020 grote hoeveelheden zand en grind gewonnen worden. Dit terwijl tegelijkertijd de gemiddelde stroom van puin, ongeveer 20 miljoen ton per jaar, waarvan voor het grootste deel granulaten gemaakt worden, niet afneemt (van Belzen, 2015). Dit probleem wordt alleen maar groter vanwege de noodzaak het gebruik van granulaten in nieuw beton uit te breiden, terwijl er in vergelijking met de jaren voor de crisis relatief weinig nieuwbouw plaatsvindt. Daarnaast moet meer betongranulaat de betonsector in omdat de wegenbouw afneemt, waar het leeuwendeel van granulaat, geschat op 96%, naar toe gaat) (Kok, 2015) (van Uffelen, 2015).

ORGANISCH MATERIAAL

Organisch materiaal, ook wel organische reststromen of biomassa, worden door de branchevereniging voor organische reststromen direct onderverdeeld in groenafval en gft-afval. Groenafval is het organisch materiaal dat vrijkomt bij de aanleg en onderhoud van openbaar groen, bos- en natuurterreinen en al het afval dat hiermee te vergelijken is, zoals grof tuinafval, berm- en slootmaaisel, afval van hoveniersbedrijven, agrarisch afval en afval dat vrijkomt bij de aanleg en onderhoud van terreinen van bedrijven en instellingen. Gft-afval ofwel groente-, fruit- en tuinafval, is al het ingezamelde organische afval van huishoudens en daaraan gelijk te stellen bedrijfsafval, ook wel analoog gft genoemd (BVOR). Dit onderzoek richt zich uitsluitend op het aandeel houtig materiaal afkomstig uit het groenafval, onder meer snoeihout (afbeelding 2), boomstobben en hout afkomstig van omvormingen van terreinen zoals het ruimen van bomen in de uiterwaarden ten behoeve van de doorstroming van een rivier. Dit wordt verder 'hout' genoemd.

Op dit moment wordt mondiaal 13% van de totale hoeveelheid energie door duurzame bronnen geleverd, waarbij Biomassa driekwart van deze 13% verzorgt. Daarvan is weer bijna 90% houtige biomassa (CE Delft , 2010). Daarnaast zijn de complicaties die optreden bij andere organische materialen als deze zouden moeten worden afgezonken, zoals methaanopbouw, stankoverlast en het organisch afval stortverbod (Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer , 1997), van invloed op de keuze voor snoeihout als verondiepingsmateriaal. Een recente publicatie van het KNAW schets dat biomassa überhaupt niet gebruikt zou moeten worden als energiebron maar veeleer als grondstof om de bodems van landerijen weer op niveau te brengen alsook ingezet moet worden in de biochemie voor eiwit productie en dergelijke. Het KNAW (2015) is van mening dat alle biomassa-gebruik voor energieproductie afgebouwd moet worden. Als laatste argument heeft de opdrachtgever ook in gesprekken laten weten dat ze vooral geïnteresseerd is in deze houtige stroom.



AFBEELDING 2 SNOEIHOUD (DOOR: IMG.RTVOOST.NL)

1.4.2 DE VERWERKINGSMETHODEN VOOR PUIN

In de volgende stappen wordt toegelicht welke puinverwerkingsmethoden worden vergeleken, hoe deze methoden in hun werk gaan en of deze methoden wel geschikt zijn als vergelijkingsmateriaal.

GRANULAAT ALGEMEEN

Puin dat gerecycled gaat worden, wordt vaak gebroken tot zogeheten granulaten. Dit gebeurt nadat met sloopscharen (afbeelding 3) en kranen of misschien wel explosieven (afbeelding 4) een gebouw neer gehaald wordt. Vervolgens gaat dit grove puin, in het algemeen nadat de wapening verwijderd is, naar een breker (afbeelding 5) die het grove puin breekt tot granulaten. Aan granulaat dat gebruikt gaat worden voor nieuw beton (granulaat B) worden andere eisen gesteld dan aan het menggranulaat dat toegepast wordt in de wegenbouw (granulaat A).

Het is van belang dat het onderscheid tussen granulaat A & B goed in het oog gehouden wordt. De eerste verwerkingsstap, de sloop van gebouwen, is dan wel gelijk. De vervolg stap is meteen anders. Vanwege het verschil aan eisen voor de varianten A en B granulaat moet het puin gescheiden worden. Deze scheiding brengt alleen al vanwege de massaverschillen per volume-eenheid ook verschillen in draag- en transportlast met zich mee en zou hierdoor onderling in bijvoorbeeld CO₂ uitstoot kunnen verschillen. Vandaar dat in dit onderzoek deze verschillende granulaattoepassingen als twee verschillende groepen behandeld worden.



AFBEELDING 3 SLOOPSCHAAR
(DOOR: WWW.ATLASCOPCO.COM)



AFBEELDING 4 EXPLOSIVEN
(DOOR: WWW.HOONDELT.NL)



AFBEELDING 5 PUIN BREKER
(DOOR: WWW.VANDERSPEK.NL)

1.4.3 BREKEN TOT GRANULAAT VOOR DE WEGENBOUW (GRANULAAT A)

Puin wordt gebroken tot menggranulaat (zie afbeelding 6) dat vervolgens gebruikt wordt ter fundering van het wegdek. In Nederland wordt gebruik gemaakt van een eenvoudige opbouw van de wegconstructie. Op een ophoging of aanvulling, die meestal worden gemaakt met de lokale grondslag en toegevoegd zand, wordt een funderingslaag gelegd die als basis voor de top laag van asfalt of beton wordt gebruikt. Deze fundering wordt aangelegd om de lokale draagkracht te verbeteren, om vochtproblemen in de wegconstructie te vermijden en als besparing op de dikte van de top laag (BRBS Recycling). Menggranulaat bestaat ten minste uit 45 % betonpuin en 50 % overige steenmaterialen met een dichtheid groter dan 1.600 kg/m³ en dan nog een deel niet nader gedefinieerde nevenbestanddelen (Rijksoverheid (2), 2015). Het puin wordt op deze manier grootschalig ingezet als fundering bij de wegenbouw.

Voor granulaat A (afbeelding 6) is de totale som aan processtappen afgebeeld in figuur 1 (p. 7). Voor het onderdeel wegenbouw zijn de stappen ruwweg als volgt:

1. primaire productie, het slopen van een gebouw tot brokken puin met al dan niet het verwijderen van het wapeningsstaal door sloopkranen of explosieven;
2. transport van het grove puin naar een brekerinstallatie, in de regel gebeurt dit per as;
3. breken van het puin tot menggranulaat met een puinbreker;
4. transport van het menggranulaat naar een wegenbouw locatie;
5. het walsen/ in fundering brengen van het menggranulaat;



AFBEELDING 6 MENGGRANULAAT (GRANULAAT A)
(DOOR: WWW.REGIOCONTAINER.NL)

HET ALTERNATIEF VOOR GRANULAAT A: PUIN AFZINKEN IN EEN ZANDWINPUT

Het gaat om een nog niet eerder onderzochte optie om puin onder water op te bergen. Hierbij is het van groot belang dat het puin inderdaad schoon is zodat er geen schadelijke stoffen kunnen uitloggen naar de omgeving. Het is de bedoeling om grote stukken puin, hoe minder bewerkt hoe veel meer energie er uitgespaard wordt, af te zinken tot een gewenste ondiepte. Waarbij grote open structuren ontstaan, riffen, die mogelijk een positieve invloed kunnen hebben op de zoetwater flora en fauna, zeker ten opzichte van de zeer diepe waterpartij die de put op zich is. Dit wordt ook in de literatuur ondersteund met onderzoeken naar zoetwaterriffen die stellen dat er sprake is van een toename van soorten en aantallen bij kunstmatige riffen (Raeini, Negarestan, & Khoee, 2007) (Santos, Garcia-Berthou, Agostinho, & Latini, 2011). Deze studies zijn echter uitgevoerd in warme wateren. Over de zoetwater effecten in onze wat koudere wateren is maar weinig bekend.

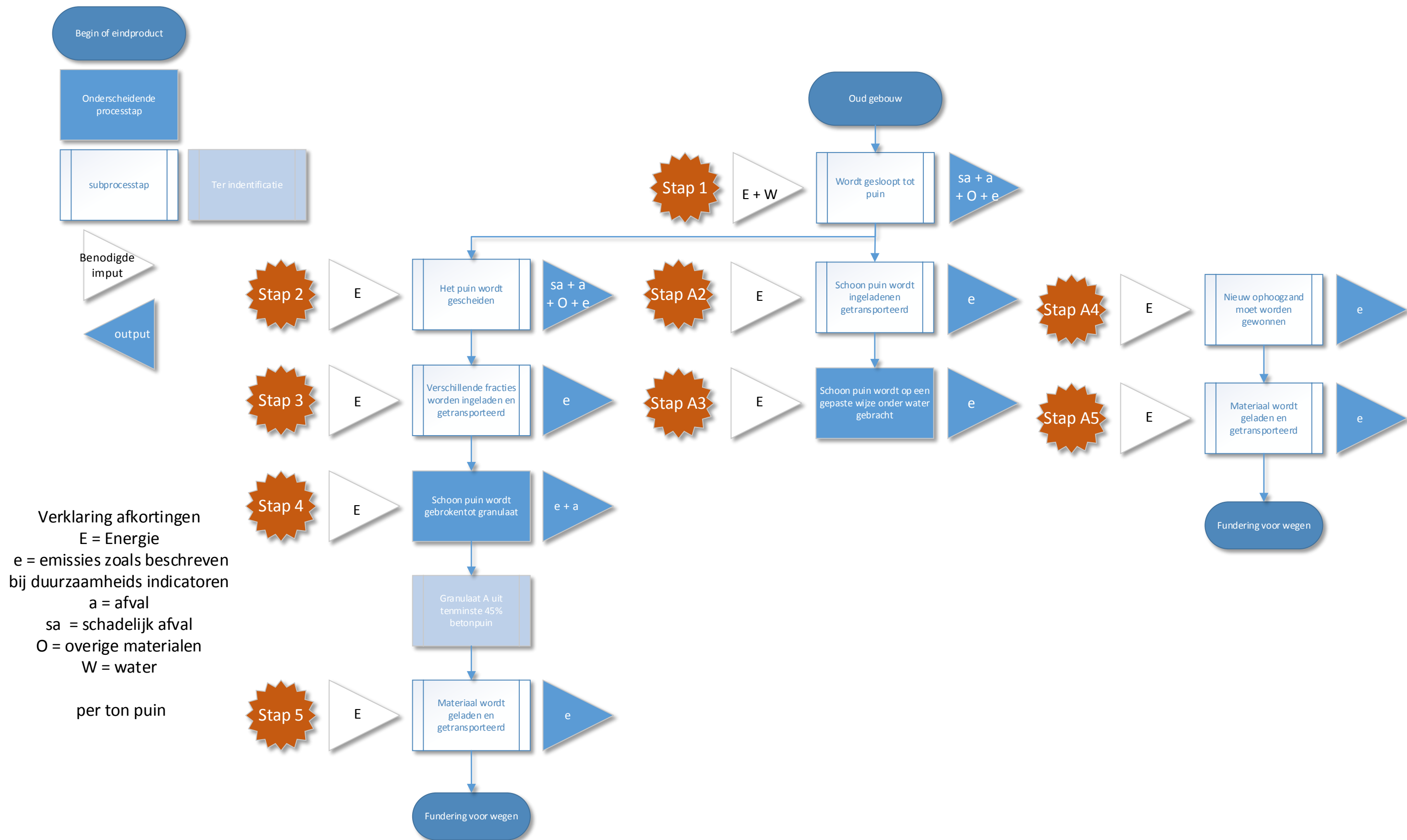
Omdat de bovengenoemde materialen bestemd waren voor de wegenbouw is een alternatief noodzakelijk geworden voor het puin. Het voorstel is om maagdelijke, te winnen, materialen als fundering te gebruiken. De combinatie van afzinken en nieuwe materialen winnen is dan het totaalplaatje van het alternatief.

Voor granulaat A is de totale som aan processtappen afgebeeld in figuur 1 voor het onderdeel verondiepen zijn de stappen ruwweg als volgt:

1. primaire productie, het slopen van een gebouw tot brokken puin met al dan niet het verwijderen van het wapeningsstaal door sloopkranen of explosieven. Hierbij geldt echter dat er groter puinbrokken aangehouden kunnen worden dus minder energie in het slopen hoeft te gaan. Er wordt echter een variant meeberekend waarbij het puin eerst ook voorgebroken wordt, dit ten behoeve van schoner en beter verdeelbaar materiaal;
2. transport van het grove puin naar een (oude) zandwinlocatie;
3. het onderwater brengen van het puin op een verantwoorde wijze;

Zonder wegenbouw is de vergelijking incompleet en daardoor zijn de volgende stappen ook nog van toepassing:

1. het winnen van ophoogzand ten behoeve van de fundering in de wegenbouw;
2. het transporteren van het ophoogzand;
3. het in fundering brengen van het ophoogzand;



FIGUUR 1 STROOMSCHEMA PUIN: DIT ZIJN ALLE GEIDENTIFICEERDE STROMEN VAN ENERGIE EN MATERIAAL BINNEN DE TE ONDERZOEKEN REGULIERE METHODEN EN ALTERNATIEVEN VOOR MENGGRANULAAT A

1.4.4 BREKEN TOT GRANULAAT VOOR NIEUW BETON (GRANULAAT B)

Puin wordt ook gescheiden gebroken tot granulaten om er weer nieuw beton van te maken. Dit kan alleen met schoon betonpuin vandaar de scheiding. De granulaten worden na het breken, wassen en zeven bij deze manier ingezet als grindvervangers. Dit product heet dan betongranulaat.

Betongranulaat moet uit minstens 80% betonpuin, 10% overig gebroken steen en steenachtig materiaal en 10% gebroken metselwerkpuin en overig gebroken steen en steenachtig materiaal bestaan en een dichtheid hebben van 2000-2300 kg/m³ (Rijksoverheid (3), 2015). Het GIW (Garantie Instituut Woningbouw) accepteert een betonsamenstelling waarin niet meer dan 20% betongranulaat verwerkt zit (VOBN (1), 2013). Het feit dat het een geaccepteerd product is van enige omvang, het is de meest toegepaste wijze van puin hergebruik na menggranulaat, maakt het van belang voor dit onderzoek.

Voor granulaat B is de totale som aan processtappen is afgebeeld in figuur 2 voor het onderdeel beton recycling zijn de stappen ruwweg als volgt:

1. primaire productie, het gescheiden slopen van een gebouw tot brokken betonpuin met al dan niet het verwijderen van het wapeningsstaal door sloopkranen of explosieven. Het gemengde materiaal moet dan alsnog apart afgevoerd worden;
2. transport van het grove betonpuin naar een breker installatie;
3. breken van het grove puin tot betongranulaat met een puinbreker. Mogelijk nog een staal verwijderingsstap. Daarna moet het granulaat gezeefd en gewassen worden om geschikt gemaakt te worden voor gebruik in nieuw beton;
4. transport van het beton granulaat naar een beton fabriekslocatie;
5. het in productie brengen van het betongranulaat in de vorm van het produceren van nieuw beton;



**AFBEELDING 7 BETONGRANULAAT
(GRANULAAT B)
(DOOR: WWW.GRUNO-RECYCLING.NL)**

SLIM BREKEN

Slim breken is een nieuwe techniek waarbij betonpuin eerst tot 150 mm wordt voorgebroken en vervolgens gebroken en gemalen om de originele fracties, inclusief bijkomend sloopafval zoals in het beton verzonken hout en pvc, terug te winnen. De focus van het breken en malen ligt bij het cementsteen. Daar alle drie fracties onder een andere druk bezwijken, waarbij cementsteen het eerste bezwijkt, is het mogelijk dat bij slim breken het betongranulaat in zijn bestandsdelen uiteenvalt. De reden dat dit bij reguliere betonbrekers niet gebeurt, is de veel hogere druk die daar toegepast wordt die alle fracties tegelijk kapotmaakt (Brouwers & Florea, 2013).

Omdat de focus bij slim breken ligt op het breken van het cementsteen is de benodigde druk maximaal 20 bar. Dit is 10% van de druk die een reguliere breker nodig heeft om beton tot een vaste afmeting te breken. Hierdoor is de benodigde hoeveelheid energie lager dan bij een reguliere breker

en worden andere sloopafvalfracties zoals hout en plastic niet verder verkleind, wat de scheiding van de betonfracties vergemakkelijkt. Door de druk die uitgeoefend wordt in een breker en een slimbreker, loopt de temperatuur van het betonpuin op waardoor het betonpuin droog is na het breken (CE Delft, 2015). Aangezien er al een werkend model gebouwd is voor het vroegere VAR B.V. (nu Attero) en het bedrijf Smartcrusher B.V. haar techniek al op de markt heeft gezet, wordt deze techniek wel mee genomen in dit onderzoek.

Voor granulaat B is de totale som aan processtappen afgebeeld in figuur 2 voor het onderdeel slim breken zijn de stappen ruwweg als volgt:

1. primaire productie, het gescheiden slopen van een gebouw tot brokken puin met al dan niet het verwijderen van het wapeningsstaal door sloopkranen of explosieven. Het gemengde materiaal moet dan alsnog apart afgevoerd worden;
2. transport van het grove betonpuin naar een breker installatie;
3. breken van het grove puin tot grondstoffen met een puinbreker van smartcrushing. Mogelijk nog een staalverwijderingsstap. Daarna moet het materiaal eerst gemalen en vervolgens gezeefd en gewassen worden om geschikt gemaakt te worden voor gebruik in nieuw beton;
4. transport van de losse bestandsdelen zand, grind en cement naar een betonfabriekslocatie;
5. het in productie brengen van de losse materialen in de vorm van het produceren van nieuw beton;

ELEKTRISCH FRAGMENTEREN

Elektrische fragmentatie bestaat erin een elektrische ontlading met een heel hoog, exacte cijfers zijn niet vrijgegeven, voltage te creëren in een bad waarin het betonpuin ligt. Door de verschillen in geleiding tussen de verschillende materialen, ontstaan er scheuren op de grenzen tussen materialen, waardoor de materialen gescheiden worden. Aan deze techniek wordt momenteel in Frankrijk gewerkt (BRGM), maar ook door het Fraunhofer Instituut in Duitsland. Het principe bestaat erin ultrakorte (< 500 nanoseconden) onderwaterpulsen te geven aan beton dat in het water ligt. Deze puls lading loopt door de raakvlakken van de componenten in het beton, zand-cement, granulaat-cement enzovoort, en zorgt voor een hele grote druk (1 GPa), waardoor het materiaal in zijn componenten uiteen valt (Competentiecentrum duurzaam bouwen). Omdat deze techniek nog in de onderzoeksfase is en niet gepubliceerd is, wordt deze techniek in dit onderzoek niet verder onderzocht.

ADVANCED DRY RECOVERY (ADR)

Doormiddel van sensoren en lasers worden de juiste betonpuinfracties geselecteerd en doormiddel van Advanced Dry Recovery (ADR, gepatenteerd door de TU Delft) voorgesorteerd en behandeld waardoor beton ook in zijn originele fracties kan worden teruggewonnen. Wat dan overblijft zijn zand, grind en een cement pasta, die ingezet kunnen worden voor het maken van nieuw beton (innovation seeds). ADR wordt reeds gebruikt voor bodemassen, en de techniek bestaat erin een stroom materiaal te scheiden op korrelgrootte en volumieke massa via kinetische energie. Door de deeltjes een snelheid en richting te geven, komen deze in functie van hun gewicht en vorm op

andere plaatsen terecht, vergelijkbaar met het afschieten van voorwerpen van verschillende massa en vorm (Competentiecentrum duurzaam bouwen). Omdat deze techniek nog in de onderzoeksfase en voor beton ongepubliceerd is, maar ook het feit dat de techniek nog niet beschikbaar is op de markt, wordt deze techniek in dit onderzoek niet verder uitgezocht.

HET ALTERNATIEF VOOR GRANULAAT B: PUIN AFZINKEN IN EEN ZANDWINPUT

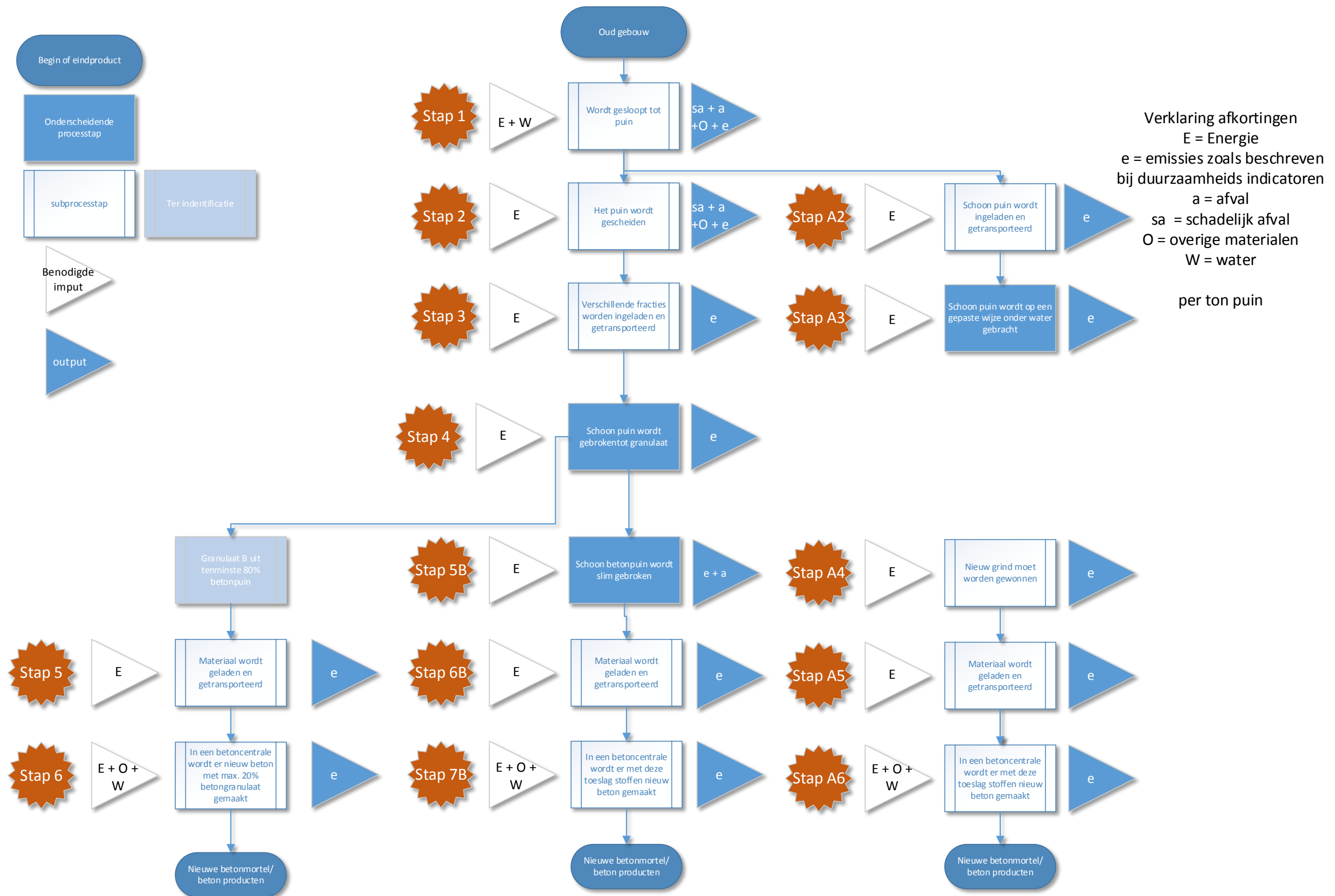
Het alternatief voor granulaat B is hetzelfde als voor granulaat A, met het verschil dat hierbij geen zand, maar grind gewonnen moet worden voor de productie van nieuw beton. De combinatie van afzinken en nieuwe materialen winnen is dan het totaalplaatje van het alternatief.

Voor granulaat B is de totale som aan processtappen is afgebeeld in figuur 2 voor het onderdeel verondiepen zijn de stappen ruwweg als volgt:

1. primaire productie, het slopen van een gebouw tot brokken puin met al dan niet het verwijderen van het wapeningsstaal door sloopkranen of explosieven. Hierbij geldt echter dat er grotere dimensies aangehouden kunnen worden, dus minder energie in het slopen, met als mogelijke uitzondering een extra stap voor de verwijdering van het wapeningstaal. Er wordt echter een variant meeberekend waarbij het puin eerst ook voorgebroken wordt, dit ten behoeve van schoner en beter verdeelbaar materiaal;
2. transport van het grove puin naar een (oude) zandwinlocatie;
3. het onder water brengen van het puin op een verantwoorde wijze;

Dan volgt voor regulier beton de keten:

1. het winnen van industriezand en grind ten behoeve van de betonproductie;
2. het transporteren van het zand en grind;
3. het in productie brengen van deze toeslagstoffen;



FIGUUR 2 STROOMSCHEMA PUIN: DIT ZIJN ALLE GEIDENTIFICEERDE STROMEN VAN ENERGIE EN MATERIAAL BINNEN DE TE ONDERZOEKEN REGULIERE METHODEN EN ALTERNATIEVEN VOOR BETONGRANULAAT B

1.4.5 DE VERWERKINGSMETHODEN VOOR HOUTIG MATERIAAL

In de volgende stappen wordt toegelicht welke hout verwerkingsmethoden worden vergeleken en hoe deze methoden in hun werk gaan.

BIOMASSAVERBRANDING IN EEN ENERGIECENTRALE

Om te kunnen voorzien in de vraag naar groene stroom en restwarmte, wordt biomassa in energiecentrales verbrand. Dit gebeurt voornamelijk als bijstook in kolencentrales, bij de verbranding van de reguliere brandstoffen in kolencentrales wordt een deel biomassa toegevoegd wat een aandeel groene stroom oplevert. Hierbij moet wel gezegd worden dat deze biomassa in veel gevallen wel voorbewerkt moet worden. Bij snoeihout (zie afbeelding 8) moet het materiaal meestal eerst worden gedroogd en versnipperd (zie afbeelding 9), of tot pellets geperst (zie afbeelding 10) voor bijstook in kolencentrales, al gebeurt dit niet in alle gevallen (Pattyn, 2009). Deze pellets worden echter grotendeels geïmporteerd en zijn vaak niet gemaakt uit het snoeihout waar het begrip hout in dit rapport op doelt. Wat wel gebeurt met dit afvalhout is het verbranden in kleine lokale biomassa gestookte energiecentrales waarbij niet alleen elektriciteit wordt opgewekt maar vaak ook de restwarmte wordt benut.

Voor dit onderzoek geldt dat alleen gekeken wordt naar de biomassa die wordt gebruikt als brandstof in een biomassa centrale.

De stappen voor de houtige biomassa verbranding in een biomassacentrale zijn afgebeeld in figuur 3 en hiervoor gelden de volgende processtappen

1. het versnipperen van het hout voor het verzamelen;
2. verwerking van de houtresten, wat vermalen, persen en drogen met zich mee kan brengen;
3. transport van de houtsnippers, pellets of houtresten naar een biomassa centrale;
4. het verbranden van biomassa in de energiecentrale ten behoeve van energie en warmte;



AFBEELDING 8 SNOEIHOUT
(DOOR: IO.WP.COM)



AFBEELDING 9 HOUTSNIPPERS
(DOOR: WWW.HEEREN-ZANDGRIND.NL)



AFBEELDING 10 HOUTPELLETS
(DOOR: WWW.HEVA.NL)

ORGANISCH MATERIAAL COMPOSTEREN

Composteren is het afbreken van organisch materiaal met behulp van micro-organismen en zuurstof tot humus of compost. Organisch materiaal wordt zo goed mogelijk verkleind zodat het een zo groot mogelijk soortelijk oppervlak heeft waarna het gestort wordt op hopen waarin micro-organismen met behulp van zuurstof deze resten omzetten tot humus. De houtige fractie hierin is nodig als structuur materiaal en moet ongeveer 30% van het totaal zijn (BVOR, 2013). Zonder deze houtige fractie zou het materiaal veel minder snel en efficiënt composteren. Na compostering worden de ruwe delen, voornamelijk houtige resten, uit het compost gefilterd waarna deze ingezet kunnen worden in een volgende batch.

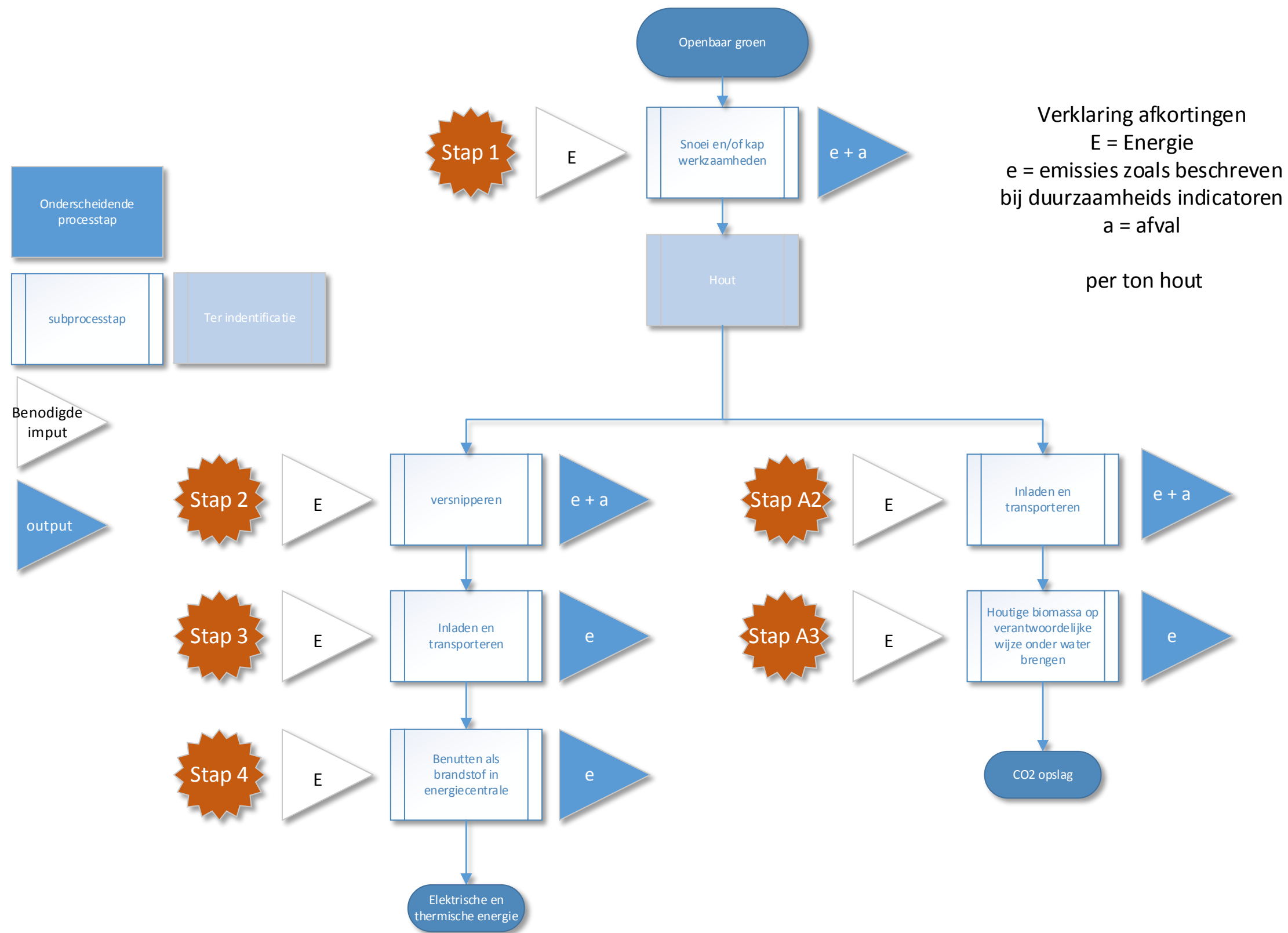
Compost is van belang als potgrond maar ook voor het opwaarderen van de bodem voor landbouw doeleinden (Matinez-Blanco, et al., 2013). Het nut van het composteren van organisch afval staat in deze niet ter discussie en is van wezenlijk belang voor de land- en tuinbouw (KNAW, 2015). Hout maakt dan wel een wezenlijk deel uit van een composthoop, maar vergt geen grote toestroom aan nieuw hout, omdat hout vanwege de langzamere afbraak keer op keer hergebruikt kan worden. Vanwege het feit dat deze methode niet ter discussie staat en de interesse van Dekker vooral uitgaat naar de verbranding van hout wordt composteren niet verder onderzocht

HET ALTERNATIEF VOOR BIOMASSA: AFZINKEN IN EEN ZANDWINPUT ALS CO₂ OPSLAG.

Hierbij is het idee dat de houtige resten afgezonken worden in een zandwinput. Ook hierbij geldt des te minder bewerkt des te meer energie wordt er bespaard. Naast het feit dat ook hier bijzondere onderwater situaties kunnen ontstaan, zoals de bij puin beschreven riffen, is het ook een vorm van koolstof vastlegging of “carbon storage”. Die opslag vindt plaats vanwege het feit dat droog hout voor 50% gewicht uit koolstof bestaat en dit hout onder water, dus anaerobe omstandigheden, niet tot nauwelijks afgebroken wordt. Afhankelijk van de houtsoort varieert het koolstofgehalte tussen de 45-55% (Lamlon & Savidge, 2003). De fossiele brandstoffen die de mens benut brengen grote hoeveelheden koolstof in de lucht in de vorm van onder andere CO₂ maar er wordt zo goed als niets gedaan om deze in de atmosfeer ophopende gasmengsels weer in het gareel te krijgen. Door deze opslag van houtige resten wordt er weer koolstof vastgelegd. Daarnaast lijkt het erop dat het onderwater opbergen van houtige resten niet veel complicaties met zich mee brengt, anders dan het onderwater houden van het materiaal. Een studie van Fraanje uit 2000 laat zien dat het wateren, het ten minste negen maanden in het water opslaan, van hout een geweldige manier is om hout te verduurzamen, met andere woorden langer houdbaar maken (Fraanje, 2000). Voor dit onderzoek wellicht veel belangrijker is het feit dat er amper chemische uitloging plaatsvindt bij in de winter gekapt hout.

De stappen voor het afzinken van hout zijn afgebeeld in figuur 3 en hiervoor gelden de volgende processtappen:

1. transport van de houtsnippers of houtresten naar een zandwinput;
2. (optioneel)het plaatsen van materiaal/systeem voor het onder water brengen van het houtige materiaal;
3. het onderwater brengen van het houtige materiaal op een verantwoorde wijze;



FIGUUR 3 STROOMSCHEMA VOOR HOUT: DIT ZIJN ALLE GEIDENTIFICEERDE STROMEN VAN ENERGIE EN MATERIAAL BINNEN DE TE ONDERZOEKEN REGULIERE METHODEN EN ALTERNATIEVEN

1.5 VRAAGSTELLING

Met behulp van de volgende vraagstelling wordt het mogelijk om de doelstelling te realiseren.

- a. Wat is de meest duurzame manier van puin in de vorm van granulaat A (her)gebruik?
 - i. Hoe duurzaam zijn de in dit document behandelde (her)gebruiksmethoden van puin voor granulaat A?
 - 1 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua energie verbruik?
 - 2 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua klimaat?
 - 3 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua ecologie?
 - 4 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua waterverbruik?
- b. Wat is de meest duurzame manier van puin in de vorm van granulaat B (her)gebruik?
 - i. Hoe duurzaam zijn de in dit document behandelde (her)gebruiksmethoden voor granulaat B?
 - 1 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua energie verbruik?
 - 2 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua klimaat?
 - 3 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua ecologie?
 - 4 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua waterverbruik?
- c. Wat is de meest duurzame manier van hout verwerken?
 - i. Hoe duurzaam zijn de in dit document behandelde (her)gebruiksmethoden van organisch materiaal?
 - 1 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua energie verbruik?
 - 2 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua klimaat?
 - 3 Wat is de impact van een (her)gebruiksmethode qua ecologie?

1.6 DUURZAAMHEID

Wat is duurzaamheid? In dit rapport wordt voor het begrip duurzaamheid de Brundtland definitie zoals deze geschreven staat in het rapport: "Our common future" gehanteerd. Deze laat zich als volgt vertalen:

"Ontwikkeling die aansluit op de behoeften van het heden zonder het vermogen van toekomstige generaties om in hun eigen behoeften te voorzien in gevaar te brengen" (Verenigde Naties)

Rekening houdende met de toekomst moet er dus zuinig en doordacht omgegaan worden met alle materialen, grondstoffen en energie zodat volgende generaties ook nog in hun eigen behoeften kunnen voorzien.

Deze brede definitie is veel te algemeen om er een meetbaar begrip van te maken voor dit onderzoek. In het algemeen wordt duurzaamheid benaderd vanuit drie zijden namelijk: de sociale kant (People), de ecologische kant (Planet) en de economische kant (Profit), waarbij bij de People kant gekeken wordt naar de impact die zaken hebben op een mens, zoals arbeid, gebruik van sociale voorzieningen, en veranderingen in de leefomgeving. Voor de Planet kant wordt gekeken naar de ecologische effecten op de lange en korte termijn. Wat gebeurt er/zijn de effecten van een handeling of product met betrekking tot de planten en dieren in de omgeving? Wat gebeurt er met de lucht, de bodem, in het water en wat is de impact op het klimaat? Tot slot nog de Profit kant: Is het economisch haalbaar? Wie heeft er baat bij en wat levert het op? Door gebrek aan tijd en middelen kunnen de sociale en economische kanten niet meegenomen worden en focust dit onderzoek dus op de ecologische kant. Qua milieu impact wordt een zo breed mogelijk spectrum aangehouden. De milieueffecten worden weergegeven met behulp van duurzaamheidsindicatoren.

1.6.1 DUURZAAMHEIDSINDICATOREN

Er is gekozen voor een eigen opzet van indicatoren (zie tabel 1) om een eigen milieukundig onderbouwd duurzaam advies te kunnen geven.

TABEL 1 DUURZAAMHEIDSINDICATOREN

Nr.	Indicator	Eenheid
1	Emissies van broeikasgassen	kg CO ₂ eq / ton product
2	Emissies die bijdragen aan eutrofiëring (vermesting)	kg PO ₄ eq / ton product
3	Emissies die bijdragen aan verzuring	kg SO ₂ eq / ton product
4	Verbruikte energie	MJ /ton product
5	Waternutrientgebruik	m ³ /ton product
6	Biodiversiteit	beschrijvend

1.6.2 BESCHRIJVING INDICATOREN

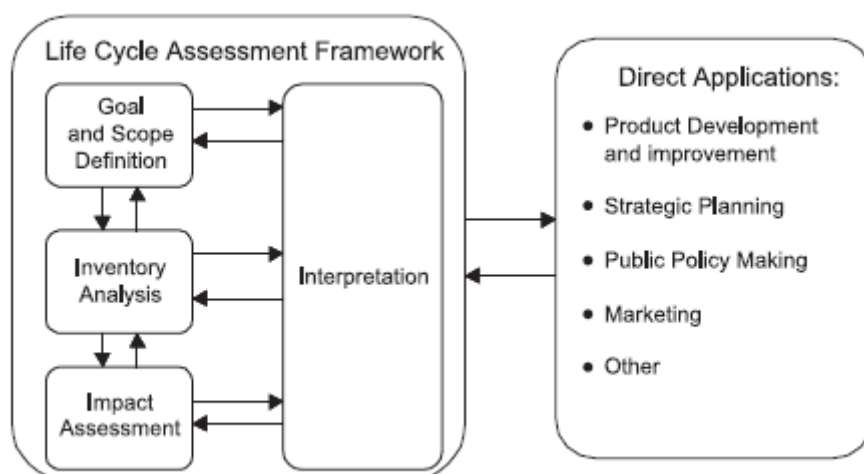
Hieronder volgt per indicator een korte uitleg over wat er met de betreffende indicator bedoeld wordt.

1. *Emissies van broeikasgassen.* Dit criterium gaat over de uitstoot van gassen waarvan aangenomen wordt dat deze bijdragen aan de opwarming van de aarde, bijvoorbeeld de gassen CO_2 en CH_4 . Deze emissie wordt uitgedrukt in de maat die hier universeel voor gebruikt wordt: het **equivalent** aan **kg CO_2** waarbij alle gassen omgerekend worden tot de mate waarin CO_2 bijdraagt tot opwarming. Voorbeeld: methaan CH_4 is een broeikasgas dat 23 maal meer invloed uitoefent op het klimaat dan koolstofdioxide CO_2 op basis van GWP 100a (Biograce, 2009)).
2. *Emissies die bijdragen aan eutrofiëring (vermesting).* Dit criterium gaat over de uitstoot of uitlozing van stoffen die een eutrofiërende werking hebben op de natuurlijke omgeving de maat hiervoor is **kg PO_4 eq.** Totaal fosfor (P), orthofosfaat, totaal stikstof (N) en stikstof in de vorm van nitraat (NO_3^-) zijn normaliter de stoffen die gemeten worden om eutrofiering in kaart te brengen.
3. *Emissies die bijdragen aan verzuring.* Verzuring is van belang opdat geen verdere antropogene verzuring van de bodem en omgevingswater optreed. De maat hiervoor is **kg SO_2 eq** (zwaveldioxide).
4. *Verbruikte energie.* Het aandeel primaire energie, dat ingezet is voor het proces. Uitgedrukt in **MJ**.
5. *Waterverbruik.* Dit criterium geeft aan hoeveel zoetwater wordt gebruikt bij een proces. Dit is onder andere van belang vanwege het feit dat zoetwater een steeds schaarser wordend goed is, zeker met het oog op klimaatverandering. Uitgedrukt in kubieke meters **m³**.
6. *Biodiversiteit.* Draagt de manier van werken op de een of andere manier bij aan het verhogen of verlagen van de biodiversiteit? Verzuring en vermesting zijn factoren die een invloed uitoefenen op de biodiversiteit, echter zijn er veel meer factoren die voor dit onderzoek lastig te kwantificeren zijn. Deze indicator blijft steken op een kleine beschrijving bij de alternatieven.

2 METHODIEK

In dit hoofdstuk wordt de aanpak van het onderzoek nader beschreven en toegelicht. Het is in de basis een Levens Cyclus Analyse (LCA) van een nieuwe puin verwerkingsmethode en een nieuwe organisch materiaal verwerkingsmethode in vergelijking tot LCA gegevens van bestaande verwerkingsmethoden van de gedefinieerde reststromen om voor beide materialen de meest duurzame variant te kunnen identificeren. Een LCA is in de regel alleen geschikt voor vergelijkingen en heeft niet de mogelijkheid/capaciteit om een enkel systeem of product een milieuvriendelijke status op zich te verlenen, dit is alleen mogelijk in vergelijking tot.

De aanpak gaat volgens de methodiek beschreven in “Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources” van het Europees energie agentschap (EEA, 1997). Een LCA heeft in de regel 4 stappen. Goal and scope definition (doel en reikwijdte), inventory analysis (inventaris analyse), impact assessment (impact inschatting) en interpretation (interpretatie), welke onderling afhankelijk van elkaar zijn. De toepassing van een LCA kan helpen bij besluitvorming over productontwikkeling, planning, beleid, marketing, et cetera. (Rebitzer, et al., 2004)



AFBEELDING 10 LCA MODEL UIT REBITZER, ET AL., 2004 LAAT ZIEN DAT ALLE STAPPEN BINNEN EEN LCA AFHANKELIJK VAN EN ONDERHEVIG AAN ELKAAR ZIJN.

Stap 1 is de *Goal and scope definition* (doel en reikwijdte). Hiertoe dienen de deelhoofdstukken 1.1 tot en met 1.6.

Stap 2 is de *inventory analysis* (inventaris analyse). Hiertoe dienen de duurzaamheidsindicatoren uit hoofdstuk 1.2.1. en de ketenanalyse uit hoofdstuk 2.1 Deze geven namelijk aan welke informatie verkregen moet worden voor welke onderdelen. Hier is het ook van belang waar deze informatie vandaan moet komen en in hoeverre deze bruikbaar is (validatie). In dit onderzoek wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van reeds bestaande gegevens of reeds bestaande life cycle analyse data voor het winnen van zand en grind, de sloop tot puin, het breken van puin, transport, versnipperen, etc.

Voor de twee nieuw bedachte mogelijkheden, het afzinken van puin en het afzinken van organisch materiaal, bestaan deze data niet. Deze zullen moeten worden samengesteld met algemeen beschikbare gegevens, gegevens van vergelijkbare processen en enkele aannames.

De LCA data moet komen uit de literatuur, de nationale milieu database, andere databases zoals Biograce en Ecoinvent en mogelijk ook van experts uit de verschillende werkvelden. Dit zorgt voor een reeks getallen die of door “peer reviewed” wetenschap gepubliceerd zijn of direct uit de praktijk afkomstig zijn, waarmee een solide basis gevormd is waarover met een hoge mate van waarschijnlijkheid uitspraken gedaan kunnen worden. Uiteindelijk kan met behulp van alle data tezamen de gehele *inventory* (inventarisatie) geanalyseerd worden.

Stap 3 is de *impact assessment* (impact inschatting). Deze vindt plaats aan de hand van de indicatoren. Door te zeggen hoeveel MJ energie nodig is voor het maken van een ton product weet je de impact op basis van energie.

Stap 4 *interpretation* (interpretatie) is een begeleidende stap die voortdurend moet voorkomen dat niet afgeweken wordt van de ingeslagen weg, maar ook zorg draagt voor duidelijkheid en helderheid door bij elke gezette stap goed te kijken naar hoe de betreffende zaken geïnterpreteerd moeten en kunnen worden.

2.1 KETENANALYSE

De ketenanalyse is onderdeel van stap 2 en 3 inventory analysis en impact assessment in die zin dat het de verzamelplaats is voor alle data. In het kort gebeurt hier het volgende:

Voor het materiaal **puin** geldt dat de methoden: **Granulaat A** en **afzinken in een zandwinput** apart van: **Granulaat B**, **Slim breken** en **afzinken in een zandwinput** worden vergeleken op basis van de duurzaamheidsindicatoren. Voor het materiaal **Hout** geldt dat de methoden **Biomassa verbranding** en **Afzinken in een zandwinput** worden vergeleken op basis van de duurzaamheidsindicatoren.

Deze indicatoren worden ingevuld met gegevens uit diverse bronnen op volgorde van prioriteit. Het eerste uitgangspunt is de Ecoinvent database (Weidema, et al., 2013) (Frischknecht R. , et al., 2005), dan de Biograce database (Biograce, 2009), hierna komt de Nationale milieudatabase (Stichting MRPI, 2011), gevolgd door CE Delft studies (CE Delft, 2013), (CE Delft, 2015), emissieberekenen.nl (Stimular, 2011) en als er geen (samengestelde) getallen beschikbaar zijn worden getallen gegenereerd op basis van praktijkgegevens en aannames. De verschillende databases dienen ook ter vergelijking en ondersteuning om een zo volledig mogelijk beeld te krijgen van de milieueffecten. Voor het verrekenen van de milieueffecten tot indicatoren wordt gebruik gemaakt van de standaard getallen van het Institute for Environmental Sciences van de Leiden University (CML - Department of Industrial Ecology, 2016). Dit is noodzakelijk omdat de diverse bronnen getallen niet op dezelfde wijze weergeven. Op deze manier is het mogelijk eenduidige vergelijkbare getallen te genereren en presenteren.

In een Excel bestand is een spreadsheet opgebouwd waarbij de afzonderlijke stappen binnen de ketens van de verschillende verwerkingsmethoden verzameld kunnen worden (*inventory analysis*). Vervolgens kunnen deze data opgeteld worden om de impact van de gehele cyclus van een methode weer te geven (*impact assessment*). De stappen zijn op basis van de figuren 1 tot en met 3 uit hoofdstuk 1 en kunnen samengestelde getallen opgebouwd uit verschillende activiteiten zijn.

2.2 VORM GEVEN AAN ALTERNATIEVEN

Om de alternatieven te kunnen onderzoeken is het noodzakelijk de activiteiten die nodig zijn om tot verondiepen te komen te kwalificeren en kwantificeren. Kwalificatie is gedaan op basis van aannames van de onderzoeker in combinatie met expert opinion. Hierbij is de keuze gemaakt om van het meest negatieve scenario uit te gaan en alle mogelijke acties die er iets mee te maken zouden kunnen hebben te kwalificeren. Het kwantificeren van deze stappen is gedaan volgens de methodiek vermeld in hoofdstuk 2.1 ketenanalyse.

Voor de nieuwe mogelijkheden zijn voor het verondiepen de volgende stappen bedacht.

Uitgangssituatie hierbij is dat in het geval van granulaat A en granulaat B de stap 2A uit figuren 1 en 2 is voltooid. Stap 3A uit figuren 1 en 2 beslaat dan vervolgens de volgende activiteiten:

- U. plaatsen ponton met stortkoker (en kraan) en uiteindelijke verwijdering van dit ponton;
- V. overslaan van vrachtwagen naar schip m.b.v. overslagkraan;
- W. transport per schip;
- X. puin overslaan van schip naar de waterbodem m.b.v. kraan en stortkoker
- Y. afdeklaag aanbrengen (feitelijk een herhaling van punt 2-4 met ander materiaal en een nieuwe toevoeging van laden vrachtwagen met wiellader maar in een factor 1/10 voor 1m³ afdeklaag per 10m³ verondiept materiaal voor een theoretische verondieping van 11 meter);

Uitgangssituatie is dat in het geval van Hout de stap 2A uit figuur 3 is voltooid. Stap 3A uit figuur 3 beslaat dan vervolgens de volgende activiteiten:

- U. plaatsen ponton met stortkoker (en kraan) en uiteindelijke verwijdering van dit ponton;
- V. overslaan van vrachtwagen naar schip m.b.v. overslagkraan;
- W. transport per schip;
- X. aanbrengen verzwaringsmateriaal (tot op heden nog niet gekwantificeerd);
- Y. hout overslaan van schip naar de waterbodem m.b.v. kraan en stortkoker;
- Z. afdeklaag aanbrengen (feitelijk een herhaling van punt 2-4 met ander materiaal en een nieuwe toevoeging van laden vrachtwagen met wiellader maar in een factor 1/10 voor 1 m³ afdeklaag per 10m³ verondiept materiaal voor een theoretische verondieping van 11 meter);

2.3 BEREKENINGEN EN AANNAMEN

Dit hoofdstuk beschrijft de berekeningen en aannamen.

2.3.1 BEREKENINGEN

Omdat de berekeningen, om de equivalenten qua klimaat impact en dergelijke per verweringsmethode helder te krijgen, gelijk van aard zijn wordt hier volstaan met een weergave van een enkele berekening uit de verweringsmethode Granulaat B en een enkele berekening uit de verweringsmethode voor Hout, en daarnaast de totstandkoming van enkele emissie equivalenten afkomstig uit de Ecoinvent database: *Diesel, burned in building machine 1MJ* en *wood pellets, burned in stirling heat and power co-generation unit per 0,45 MJ heat produced* (Frischknecht R. , et al., 2005). Conversiefactor (cf in formule) van emissies naar GWP100 afkomstig van Leiden University (CML - Department of Industrial Ecology, 2016).

TABEL 2 DATA HERKOMST VOORBEELD BEREKENING

Data	Beschrijving	Waarde	Bron
Conversiegetal	<i>well to wheel</i>	1,16 MJ _{fossil} /MJ	Biograce
CO ₂ uitstoot Diesel	<i>Diesel, burned in building machine 1MJ</i>	0,073 kg CO ₂ per MJ Diesel	Ecoinvent
CO uitstoot Diesel	<i>Diesel, burned in building machine 1MJ</i>	0,000266 kg CO per MJ Diesel	Ecoinvent
N ₂ O uitstoot Diesel	<i>Diesel, burned in building machine 1MJ</i>	0,0000028 kg N ₂ O per MJ Diesel	Ecoinvent
CH ₄ uitstoot Diesel	<i>Diesel, burned in building machine 1MJ</i>	0,000000375 kg CH ₄ per MJ Diesel	Ecoinvent
Conversiefactor CO ₂ naar CO ₂ eq.		1	Leiden University Characterization factors
Conversiefactor CO ₂ naar CO ₂ eq.		1	Leiden University Characterization factors
Conversiefactor N ₂ O naar CO ₂ eq.		265	Leiden University Characterization factors
Conversiefactor CH ₄ naar CO ₂ eq.		28	Leiden University Characterization factors

Door de data uit tabel 2 in deze formule in te voeren, komt men op een uitstoot van 0,0860 Kg CO₂-eq/MJ_{diesel} voor Diesel.

$$\begin{aligned}
 \text{emissies in } & \text{kg CO}_2\text{eq} / \text{MJ Diesel} \\
 &= \text{Conversiegetal dieselproductie} \\
 &\cdot ((\text{kg CO}_2 \text{ MJ Diesel} \cdot \text{cf CO}_2) + (\text{kg CO MJ Diesel} \cdot \text{cf CO}_2) \\
 &+ (\text{kg N}_2\text{O MJ Diesel} \cdot \text{cf CO}_2) + (\text{kg CH}_4 \text{ MJ Diesel} \cdot \text{cf CO}_2))
 \end{aligned}$$

De overige berekeningen worden korter beschreven. De herkomst van de getallen en conversiefactoren is in de meeste gevallen vergelijkbaar en onder dezelfde bronnen te vinden. Daar waar dit niet het geval is wordt de herkomst toegelicht.

Het berekenen van het PO₄ equivalent van 1 ton houtsnippers op de alternatieve wijze verwerkt gaat als volgt:

$$\begin{aligned} \text{emissies in } kg \text{ PO}_4 \text{eq} / \text{ton hs} = & \\ & \frac{\left(\frac{kg \text{ NH}_3}{0,45 \text{ MJ}_Q} \cdot cf \text{ PO}_4 \right) + \left(\frac{kg \text{ NO}_x}{0,45 \text{ MJ}_Q} \cdot cf \text{ PO}_4 \right) + \left(\frac{kg \text{ N}_2\text{O}}{0,45 \text{ MJ}_Q} \cdot cf \text{ PO}_4 \right) + \left(\frac{kg \text{ P}}{0,45 \text{ MJ}_Q} \cdot cf \text{ PO}_4 \right)}{0,45} \\ & \cdot \frac{1000 \text{ kg/ton}}{\frac{kg \text{ hs} / 0,45 \text{ MJ}_{\text{warmte}}}{0,45}} \end{aligned}$$

SO₂ equivalent uitrekenen gaat op een vergelijkbare manier de verschillende stoffen die een verzurend effect hebben zijn ook afkomstig uit de Ecoinvent database, deze dienen dan ook met andere conversiefactoren uit de Leiden database gebruikt te worden, afhankelijk van de energiedrager en eenheid in de database moeten er bepaalde correcties uitgevoerd worden.

Bij hout worden gegevens in de Ecoinvent database weergegeven in kg per 0,45 MJ warmte. Dit vergt enig omrekenen om op getallen per ton uit te komen. Allereerst wordt gerekend naar kg per MJ en vervolgens naar kg per ton hout.

Voor die uitstoot die vrijkomt bij de verbranding van 1 MJ diesel uit Ecoinvent wordt een correctie factor uit Biograce gebruikt. De 1,16 correctiefactor van diesel vanuit Biograce is gebruikt omdat in de Ecoinvent database (voor de diesel die gebruikt wordt om de emissie inhoud van 1 MJ diesel te berekenen) niet van well to wheel gerekend wordt en dus een deel van de emissies ontbreekt. Dit zou bij vergelijking met andere cijfers dusdanig veel schelen dat een te sterk vertekend beeld ontstaat. Deze correctiefactor herstelt het beeld.

De totale emissie van het reguliere verwerkingsproces behorende bij granulaat B, bij 100% grindvervanging, in kg CO₂-eq per ton puin zonder extra transportafstand komt neer op: Stap 1+ Stap 2+ Stap 3 + Stap 4 +Stap 5 + Stap 6 = 390 kg CO₂-eq per ton puin waarbij:

E= 57,7 MJ diesel/ton puin afkomstig uit CE Delft verduurzaming betonketen (CE Delft, 2015).

$$\text{Stap 1} = E \text{ in } \frac{\text{MJ}}{\text{t}_{\text{puin}}} \cdot \text{emissies in } \frac{kg \text{ CO}_2 \text{eq}_{\text{diesel}}}{\text{MJ}}$$

$$\text{Stap 2} = \text{Stap 1} \cdot 0,5$$

$$\text{Stap 3 en 5} = \text{emissies in } \frac{kg \text{ CO}_2 \text{eq}_{\text{vw}}}{\text{t} \cdot \text{km}} \cdot s \text{ in km} + \frac{\text{emissies in } \frac{kg \text{ CO}_2 \text{eq}_{\text{wl}}}{\text{m}^3}}{\rho_{\text{betonpuin in t/m}^3}}$$

CO2 equivalent breker en beton100% van Stap 4 en 6 zijn afkomstig uit het MPRI blad VOBN betonmortel (Stichting Bouwkwiteit , 2015)

$$\text{Stap 4} = \text{emissies in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{\text{breker}}}{t_{\text{betonpuin}}}$$

$$\text{Stap 6} = \text{emissies in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{\text{beton100\%}}}{m^3_{\text{beton}}} \cdot \frac{V_{\text{beton in } m^3}}{m_{\text{granulaat in ton}}}$$

Totaal emissie alternatief verwerkingsproces hout in kg (met een transportafstand van 10 km per transportstap (exclusief retour verkeer)) CO₂-eq per ton hout: = Stap A2 + Stap A3 = - 1826,84 kg CO₂-eq.

$$\text{Stap A2} = e_{vw} \text{ in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{vw}}{t_{\text{hout gem.}}} \cdot s \text{ in km} + e_{wl} \text{ in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{wl}}{m^3} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{hout gem. in } t/m^3}}$$

$$\text{Stap A3} = e_{vo} = \text{Stap U} + \text{Stap V} + \text{Stap W} + \text{Stap X} + \text{Stap Y} + \text{Stap Z} - \text{CO}_2 \text{ opslag in } \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{t_{\text{hout gem}}}$$

Gemiddeld vermogen uit drie overslagkranen van het merk Sennebogen (Sennebogen, 2016).

$$\text{Stap U en W} = \frac{P \text{ in MW} \cdot t \text{ in s}}{V_{\text{vrachtwagen in } m^3}} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{hout gem. in } t/m^3}} \cdot \text{emissies in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{\text{diesel}}}{MJ}$$

$$\text{Stap V} = \text{emissies in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{\text{vrachtwagen}}}{t \cdot km} \cdot \text{conversiefactor} \cdot s \text{ in km}$$

$$\text{Stap X} = \text{emissies in } \frac{\text{kg CO}_2\text{eq}_{\text{schip}}}{t \cdot km} \cdot n_{\text{vaarberwegingen}} \cdot s \text{ in km} \cdot \frac{1}{1000000}$$

Stap Y = 0: nog ongedefinieerd kan indien nodig ingevuld worden

Conversiefactoren hout en grond afkomstig van soortelijk gewicht website (GWW materialen, 2014)

$$\text{Stap Z} = e_{vo} \text{ in kg CO}_2\text{eq} = \frac{\text{Stap U} + \text{Stap V} + \text{Stap W}}{(\text{conversiefactor } \Delta\rho \text{ grond en hout})} \cdot \frac{1}{\left(\frac{s_{\text{afdeklaag in m}}}{s_{\text{opvuldiepte in m}}}\right)}$$

2.3.2 AANNAMEN

TRANSPORT

Aangenomen wordt dat de emissies en het energieverbruik die staan voor transport per as (voor grond, zand, grind, beton of puin) verzorgd worden door een vrachtwagen van de grootteklasse >32 ton die voldoet aan de EURO6 standaard. Deze data staan beschreven in de Ecoinvent database onder “transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO6”. Voor het transport per as van hout of houtsnippers wordt uitgegaan van een vrachtwagen van de grootteklasse 7,5-16 ton die voldoet aan de EURO6 standaard. Deze data staan beschreven in de Ecoinvent database onder “transport, freight, lorry 7,5-16 metric ton, EURO6”.

PUIN SCHEIDEN

Van het scheiden van het puin wordt aangenomen dat dit 50% van de energievraag van het slopen betreft en dat emissies hieruit gelijk zijn aan emissies die vrijkomen bij de verbranding van diesel zoals beschreven in de Ecoinvent database (Diesel, burned in building machine 1MJ).

DIESEL

Aangenomen wordt dat de gemiddelde samenstelling en energie inhoud van diesel is zoals beschreven in de database van Biograce (standard values, fuels-liquids, Diesel), hierbij wordt uitgegaan van de onderwaarde, LHV, of Lower Heating Value, en dat de emissies die hierbij vrijkomen gelijk zijn aan de Ecoinvent database (Diesel, burned in building machine 1MJ) met een aanpassingsfactor voor dieselproductie van $1,16 \text{ MJ}_{\text{fossil}}/\text{MJ}$ uit Biograce (standard values, fuels-liquids, Diesel). Dit omdat het verschil in CO₂ uitstoot tussen Ecoinvent en Biograce heel groot is en niet duidelijk waar dit verschil precies vandaan komt. Vermoeden is dat de dieselproductie in deze factor niet meegenomen is.

GRONDSTOFFENVERBRUIK

Van het grondstoffenverbruik/de abiotische uitputting wordt aangenomen dat deze gezien de grote volumes niet schaarse primaire grondstoffen die in dit onderzoek behandeld worden dusdanig laag is dat deze in het niet vallen bij de overige impact indicatoren. Indien strikt noodzakelijk bestaat de mogelijkheid om deze naderhand alsnog een plek te geven maar dat valt niet meer binnen de scope van dit onderzoek.

SLIM BREKEN

De impact van slim breken is berekend op basis van getallen uit “Update verduurzaming betonketen” van CE Delft uit 2015. Volgens dit rapport is er 10% van de kracht nodig van een gewone breker. In dit onderzoek wordt aangenomen dat op het hele breekproces inclusief filteren en schoonmaken van de 3 productstromen een totale besparing in vergelijking met een gewoon breekproces 50%, dus de helft is. Volgens ditzelfde CE Delft rapport is hierdoor een besparing van cement haalbaar doormiddel van het gebruik van 3,75% gerecycled cement. In dit rapport wordt aangenomen dat deze besparing realistisch is.

BETONSAMENSTELLING

Bij de berekeningen wordt aangenomen dat de gemiddelde samenstelling van beton zoals beschreven in de MPRI bladen de beste weergave van de realiteit is.

In dit onderzoek is aangenomen dat de MPRI bladen de beste weergave van de gemiddelde Nederlandse milieu impact is voor zand en grindwinning, de productie van betongranulaat en de productie van beton.

Van de Characterization factors van Leiden Universiteit wordt aangenomen dat dit juiste interpretatie van impact factoren van individuele broeikasgassen en overige milieu schadende emissies op basis van de IPCC rapporten is, welke noodzakelijk zijn om tot de gangbare emissie equivalenten te komen.

3 RESULTATEN

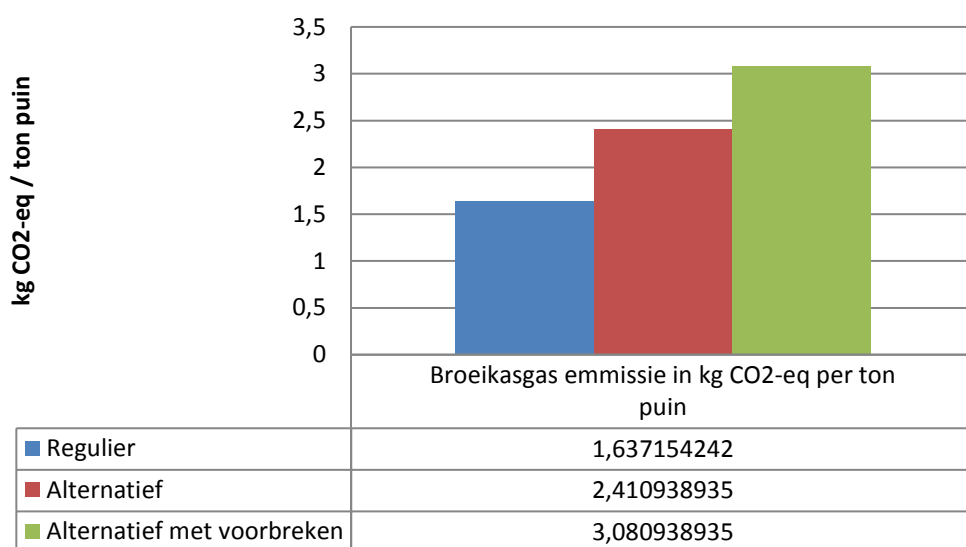
De resultaten van de verschillende methoden, wetende Granulaat A, B en Snoeihout, laten alle drie een ander beeld zien, maar hebben ook overeenkomsten. Hier wordt het resultaat per methode toegelicht. De uitgebreide resultaten en rekendata zijn te vinden in bijgaand Excel bestand en de directe resultaten alsook de (gevoeligheds-)analyse zijn te vinden in bijlage I tot en met VI.

Regulier gebruik granulaat A is breken en onder de weg stoppen, voor B is het nieuw beton maken met 20% of 100% grindvervanger. Het alternatief voor beiden is afzinken in een zandwininput met als extra bij granulaat B het slim breken. Voor snoeihout is het reguliere proces verbranding en het alternatief verondieping.

3.1 GRANULAAT A

De uitslagen met betrekking tot equivalenten van het broeikasgas CO₂ bij een transportafstand van 1km per transport stap in het gehele proces zijn te zien in grafiek 1. De reguliere manier is breken en onder de weg stoppen het alternatief is afzinken in een zandwininput, dit kan met en zonder extra breekstap gebeuren.

**Broeikasgas emissie per verwerkingsmethode
voor granulaat A**



GRAFIEK 1 DE CO₂ UITSTOOT VAN HET REGULIERE PROCES EN DE VOORGESTELDE ALTERNATIEVEN.

De verzurende en ook vermestende emissies zijn weergegeven in tabel 3 ook het energieverbruik is hier weergegeven.

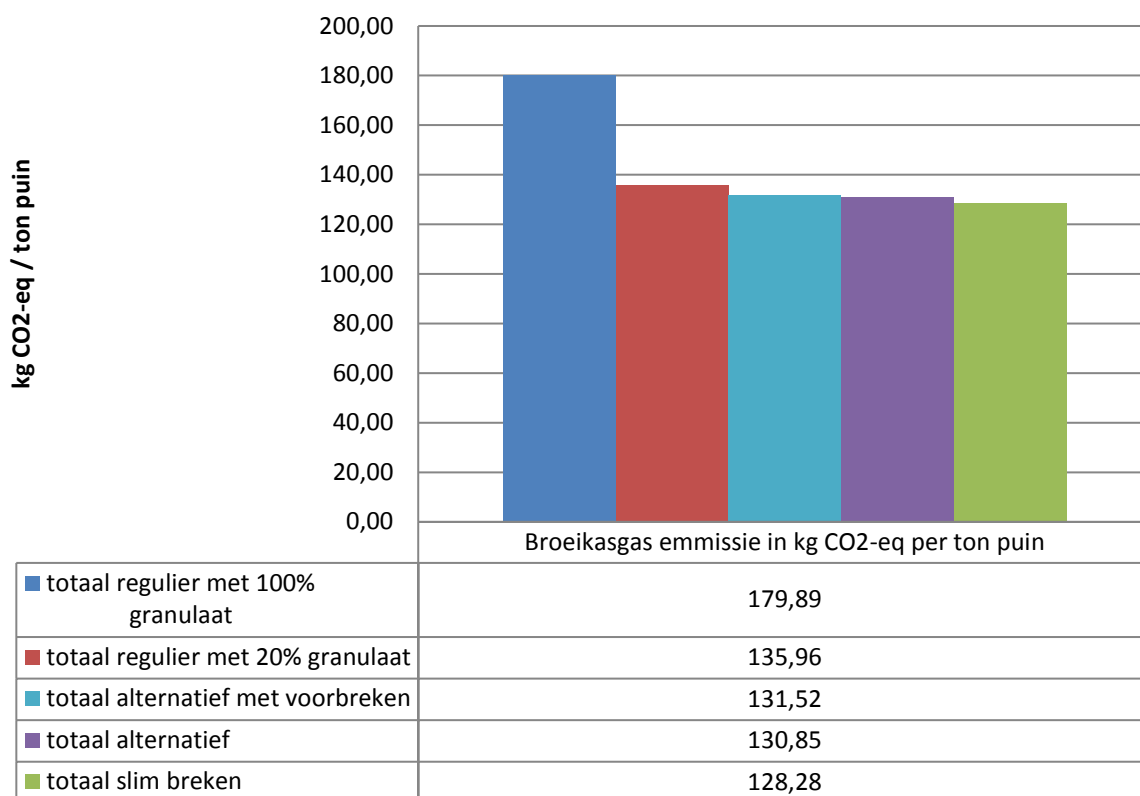
TABEL 3 VERMESTENDE EN VERZURENDE EMISSIES EN HET ENERGIEVERBRUIK VOOR DE DRIE AAN GRANULAAT A GERELATEERDE METHODEN

Methode	Vermestende emissie in kg PO ₄ -eq per ton puin	Verzurende emissie in kg SO ₂ -eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin
Regulier	0,0025	0,010	14
Alternatief	0,0035	0,015	29
Alternatief met voorbreken	0,0047	0,020	36

3.2 GRANULAAT B

Hier worden de resultaten met betrekking tot granulaat B getoond. Om de verhoudingen tussen de resultaten meer inzichtelijk te maken zijn de resultaten met betrekking tot broeikasgas emissies weergegeven in grafiek 2. De reguliere manier is breken en in nieuw beton gebruiken, het alternatief is afzinken in een zandwinput, dit kan met en zonder extra breekstap gebeuren. Daarnaast een tweede alternatief dat slim breken heet. Het reguliere traject wordt op 2 manieren getoond. Namelijk een 20% en een 100% variant. Dit zijn varianten waarbij er sprake is van een grind vervanging door betongranulaat van 20% of 100%.

Broeikasgas emissie per verwerkingsmethode



GRAFIEK 2 CO₂ UITSTOOT VAN HET REGULIERE PROCES EN DE VOORGESTELDE ALTERNATIEVEN.

De resultaten met betrekking tot vermestende en verzurende emissies alsook het energieverbruik worden weergegeven in tabel 4.

TABEL 4 VERMESTENDE EN VERZURENDE EMISSIES EN HET ENERGIEVERBRUIK VOOR DE VIJF AAN GRANULAAT B GERELATEERDE METHODEN

methode	Vermestende emissies in kg PO ₄ -eq per ton puin	Verzurende emissies in kg SO ₂ -eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin
Regulier met 100% granulaat	0,105	0,722	2361
Regulier met 20% granulaat	0,090	0,594	1687
Alternatief met voorbreken	0,088	0,574	1600
Alternatief	0,087	0,568	1593
Slim breken	0,088	0,565	1564

3.3 HOUT

Hier worden de resultaten met betrekking tot hout getoond. Deze resultaten zijn ongeschikt gebleken voor grafische weergave in grafiekvorm. De resultaten worden in dit deelhoofdstuk dan ook beperkt tot tabel 5.

TABEL 5 RESULTATEN MET BETREKKING TOT HET REGULIERE EN ALTERNATIEVE PROCES

Methode	Broeikasgas emissie in kg CO ₂ -eq per ton hout	Verzuring in kg SO ₂ -eq per ton hout	Vermesting in kg PO ₄ -eq per ton hout	Energieverbruik in MJ per ton hout
regulier	8,161	0,051	0,013	-11340
alternatief	-1827,719	-1,510	-0,405	32,825

3.4 EXPERT OPINION

Tijdens het onderzoek zijn gesprekken geweest met experts uit verschillende gebieden om een duidelijker beeld te krijgen van de situatie in een zandwinplas als deze verondiept zou worden. Hieronder volgen de resultaten van die gesprekken.

3.4.1 ECOLOGIE

Op basis van een gesprek met ecooloog Jeroen Huisman, specialist op het gebied van zout en zoet waterecologie voorheen werkzaam bij het waterschap Noorderzijlvest en docent aan de VHL Hogeschool te Leeuwarden is een beeld gevormd over de wenselijkheid en toepasbaarheid van een verondieping in zandwinputten.

Zoals van een ecooloog verwacht kan worden is het antwoord van de heer Huisman op de vraag: “Zandwinputten verondiepen met puin, een goed idee?” ja en nee.

Ja, onder andere bij het aanhouden van een grove structuur biedt dat vele verstop mogelijkheden voor juveniele vis, waardoor een soort “kweekvijver” ontstaat. Dit zou onder meer buitengewoon interessant kun zijn voor de sportvisserij en het aalscholver predatie probleem.

Op het gebied van biodiversiteit is het antwoord van Huisman “ja, maar”. Verondiepen met puin kan positieve effecten bewerkstelligen mits van de bodem geen monocultuur gemaakt wordt. Zijn advies is om het puin gespreid af te dekken met lokaal materiaal (bijvoorbeeld zand of klei) ten behoeve van nichevorming. Zo ontstaat er een meer lappendeken-achtige structuur met verschillende substraten en condities. Ook granulaten zouden dan geschikt worden als bodembedekker vanwege de grootte van de puindelen. Dit zou interessant kunnen zijn voor de biodiversiteit binnen een zandwinput. De zand en klei bodems zijn nodig voor plantengroei de rotsachtige structuren voor tweekleppigen.

Tegelijkertijd waarschuwt Huisman ervoor niet alle putten te verondiepen. Ook diepe putten kunnen interessante biotopen vormen, juist vanwege hun diepte. Deze diepte zorgt onder andere in de zomer voor stratificatie in de waterlagen waarbij ecologisch gezien interessante processen plaatsvinden onder andere op deze stratificatie diepte of spronglaag. Over hoe diep deze verondiepingen dan moeten zijn is geen eenduidig antwoord te geven. Dit zou per put bekeken moeten worden en is ook afhankelijk van wat voor “habitat” men uiteindelijk wil bereiken. Dit zou vier meter diep kunnen zijn (minder waterplanten en dus beter surfen), maar ook slechts een halve meter diep (veel waterplanten hoge biodiversiteit). Het hangt dus af van de gewenste eindsituatie.

Dit wordt ondersteund door het STOWA, onder andere in tabel 6.

TABEL 6 INDICATOREN VOOR GESCHIKTHEID VAN DIVERSE GEBRUIKSVORMEN VAN OPEN WATER (STOWA, 2010)

	Helder water	Grote diepte	Veilige taluds	Grote ondiepe zones
Zwemmen	+	- (veiligheid)	+	0
Duiken	+	+	+	0
Windsurfen/zeilen	+	+ (geen waterplanten)	+	-
Sportvissen	0	- (lage biomassa)	+	+
Koudewinning	0	+	0	-
Wonen a/h water	+	0	+	0
Ecologie	+	+ (sedimentatie)	0	+

+ / - / 0: resp. goed / negatief / neutraal voor gebruiksvorm. Met een veilig talud wordt een flauwe helling (1:10) bedoeld, grote ondiepe zones hebben een veel groter areaal ondiep water dan voor een flauw talud noodzakelijk is. Het toepassen van grond en baggerspecie bij herinrichting is geen gebruiksvorm en is daarom niet in deze tabel opgenomen.

Tabel 6 pleit voor diversiteit binnen plassen of specifieke gebruiksvormen voor plassen. Beiden zijn mogelijk en afhankelijk van locatie, oppervlakte, volume, wenselijkheid en beschikbare middelen.

Doordat elke put zijn eigen specifieke condities en bestemming heeft, kunnen er verschillende habitats ontstaan. Diversiteit en bestemming zijn de sleutelwoorden.

3.4.2 VERONDIEPEN EN SLIM BREKEN

Op basis van gesprek met Stefan Sengers werkzaam bij Dekker grondstoffen en recycling bedrijf van Berkel uit Brabant expert op het gebied van bodembeleid, betonrecycling en verondiepen is het advies slim breken links te laten liggen en uit te kijken naar het elektrisch fragmenteren. Een wetenschappelijk onderzoek in samenwerking met het bedrijfsleven zijn het elektrische fragmenteren op laboratoriumschaal aan het beproeven.

Een belangrijk aandachtspunt voor het verondiepen vind hij de mate van vreemde bestanddelen, kunststoffen, metalen, hout etc., die voorkomt bij het aan het recyclingbedrijf aangeleverde puin, dit is zo ernstig (denk aan drijfvuil) dat een voorbewerking d.m.v. breken, zeven, sorteren en scheiden voor het puin in de put toegepast kan worden noodzakelijk is.

Hij geeft ook aan dat voor de markt aan granulaten en aanbod puin gekeken moet worden naar een straal van maximaal 30 kilometer als zoekgebied voor een recyclinginrichting als de logistiek van het materiaal per as is. De recycling industrie heeft als zoekgebied daardoor een regionaal karakter. Inrichtingen die aan of nabij het vaarwater gelegen zijn hebben een grotere actieradius dan die dit niet zijn.

De bedrijfsvoering van een recyclinginrichting hoort erop gericht te zijn de balans tussen ontvangst van puin en afzet van granulaten in evenwicht te houden. Toch blijkt het in balans houden van de massa praktisch niet altijd mogelijk met als gevolg dat er een tekort of overschot ontstaat. Dit is de realiteit waar puinbrekers mee te maken hebben en deze realiteit zal ook toegepast moeten worden op de zandwinput die verondiept gaat worden.

Het huidige breekproces geschiedt voor het grootste deel met rotor brekers (impact). Rotor brekers maken het materiaal alsmaar fijner dan het origineel. Bij recyclinginrichting worden partijen puin van de 1st generatie menggranulaat uit de jaren 80 aangeleverd. Dit materiaal wordt toegevoegd aan het puin en vervolgens een tweede keer gebroken. Het aandeel fijne fractie neemt toe door een tweede breek sessie. De maximale waarde aan fijne fractie in het mengsel gaat hierdoor tegen de limiet lopen of deze overschrijden. Het is wenselijk om deze fractie te gaan scheiden uit het mengsel. Dit kan door een voorafzeving (breekzeefzand) of na afzeving (fijn granulaat). In Duitsland zeven recyclinginrichtingen het puin vooraf (voorafzeving) en in België is dit zelfs verplicht. De afzet van dit fijn materiaal is in beide landen moeizaam vanwege de fysische kwaliteit (te vochtig in de winterperiode) en de chemische kwaliteit.

De fijne fractie aangeduid (0-8 mm) is wellicht een goede optie is om te gaan onderzoeken als verondiepingsmateriaal met de voorwaarde dat er een certificeringsmechanisme (BRL 2506) opgebouwd wordt om verontreiniging door bijvoorbeeld uitloging te voorkomen. Het onderzoek is in een te ver gevorderd stadium om deze fractie te kunnen meenemen echter verdient het een aanbeveling voor verder onderzoek.

Het stappenplan worst case scenario uit Excel blad "eigen verzamelde getallen" vanaf kolom A rij 87, of hoofdstuk 2, welke meegenomen is als zijnde de werkwijze van verondiepen met puin is ook door de heer Sengers erkend als zijnde een werkbaar pakket van activiteiten om tot verondiepen te kunnen komen.

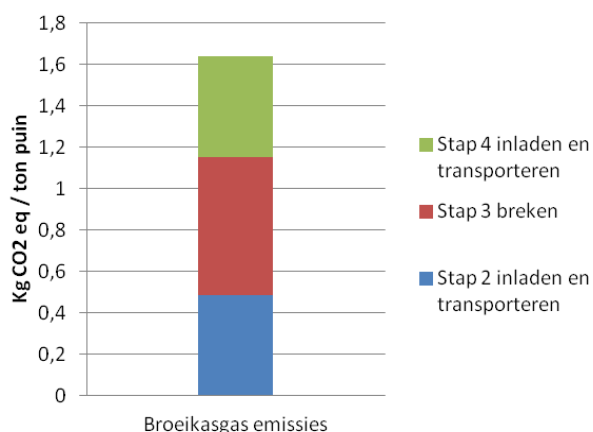
4 ANALYSE

De analyse en ook de gevoeligheidsanalyse geven een andere en verhelderende kijk op de resultaten. Ook hier wordt het resultaat weer per onderdeel wetende, Granulaat A, B en Snoeihout, getoond. Regulier gebruik granulaat A is breken en onder de weg stoppen, voor B is het nieuw beton maken met 20% of 100% grindvervanger. Het alternatief voor beiden is afzinken in een zandwininput met als extra bij granulaat B het slim breken. Voor snoeihout is het reguliere proces verbranding en het alternatief verondieping.

4.1 ANALYSE GRANULAAT A

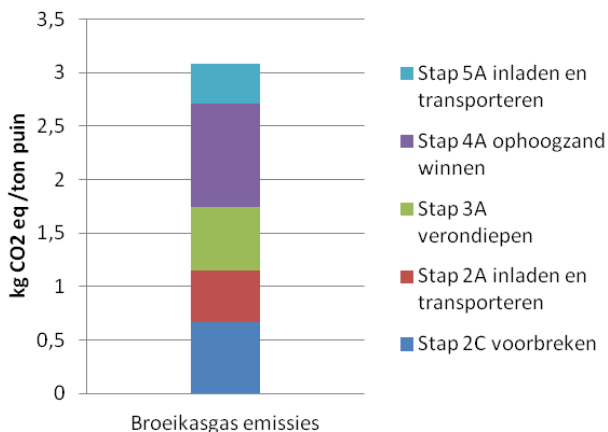
Hier volgt de analyse van de resultaten voor granulaat A. Om te kunnen tonen wat het aandeel in broeikasgasemissies van de verschillende stappen zijn, zijn de resultaten uitgesplitst per stap en in grafieken weergegeven. Dit wordt getoond in grafiek 3 waarbij in het reguliere proces het breken als meest klimaatonvriendelijke activiteit uit de bus komt. Voor het alternatief getoond in grafiek 4 kan het winnen van nieuw ophoogzand als meest klimaatonvriendelijk onderdeel beschouwd worden. Dit is echter alleen het geval bij een transportafstand per transport stap van 1km.

broeikasgas emissies per stap



GRAFIEK 3 BROEIKASGAS EMISSIES PER STAP VOOR HET REGULIERE PROCES

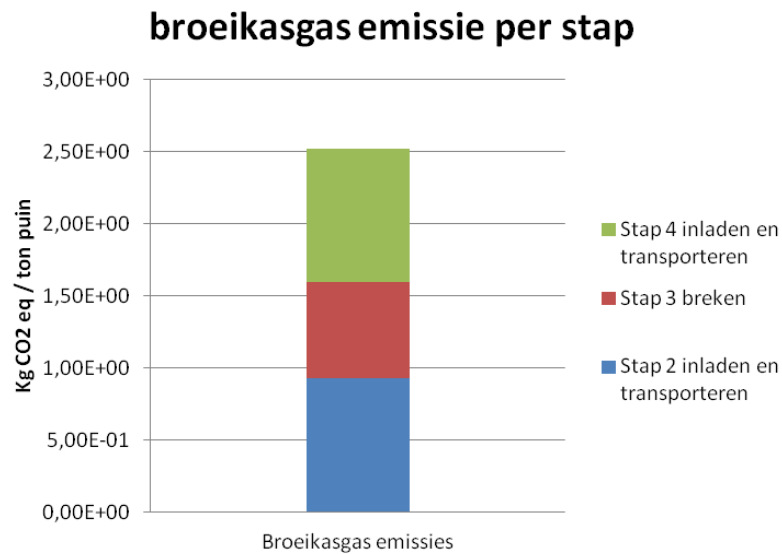
broeikasgas emissies per stap



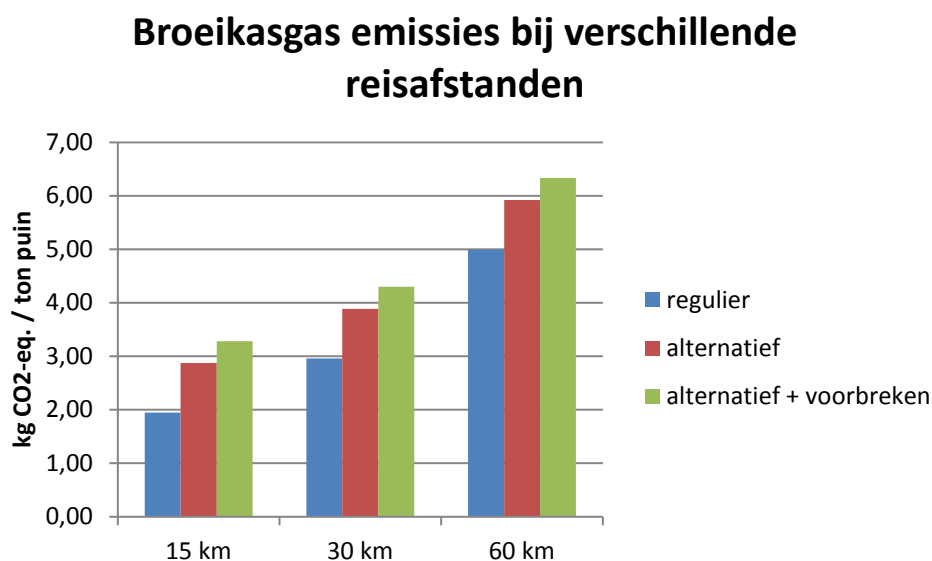
GRAFIEK 4 BROEIKASGAS EMISSIES PER STAP VOOR HET ALTERNATIEVE PROCES

Worden deze transportkilometers aangepast, dan wordt een heel nieuw impact beeld verkregen zoals te zien is in grafiek 5. Dit heeft als gevolg voor de grafieken 3 en 4 dat alleen de grootte van de transportstappen verandert, deze worden het grootst en deze stappen moeten dan beschouwd worden als de stappen met de meeste impact. Daarnaast kan gezegd worden dat per 15 kilometer totaal transport de impact van CO₂ equivalente emissies met ongeveer 1 kg CO₂ eq vergroot wordt. Uit grafiek 6 blijkt dat bij een verschil van 15 kilometer transportafstand de milieu-impact verschuift. Hierdoor lijkt het alternatief een minder kwalijke optie

dan het reguliere proces. De impact verschuiving wordt waargenomen als het alternatief met 15 km transportafstand vergeleken wordt met het reguliere proces bij 30 km transportafstand.



GRAFIEK 5 BROEIKASGASEMISSIE PER STAP VOOR HET REGULIERE PROCES WAARBIJ PER TRANSPORTSTAP 7,5 KM AFGELEGD MOET WORDEN

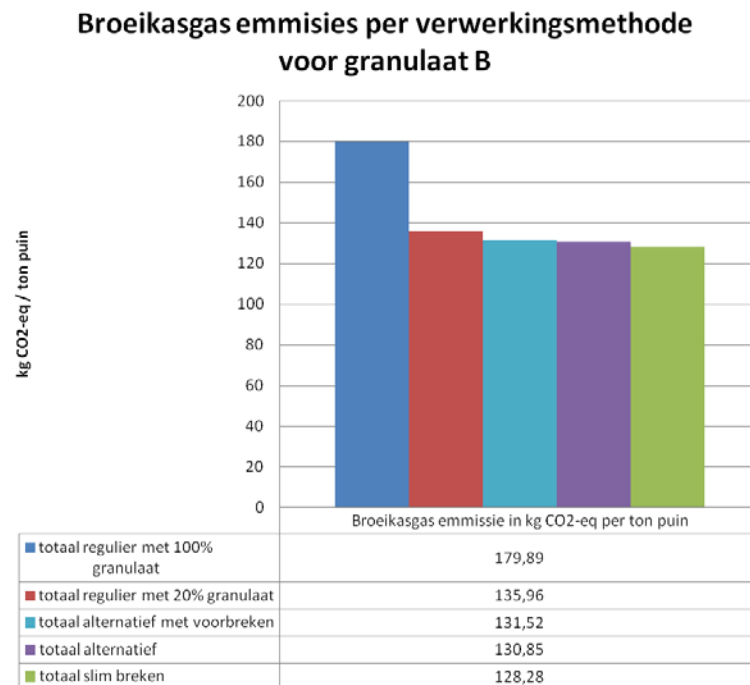


GRAFIEK 6 HET VERSCHIL IN BROEIKASGASEMISSIE BIJ VERSCHILLENDE TRANSPORTAFSTANDEN.

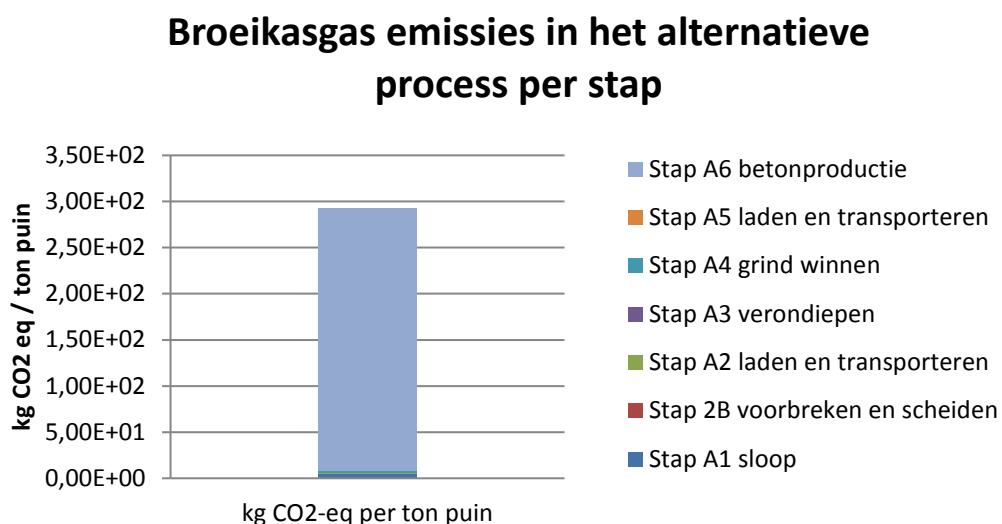
4.2 ANALYSE GRANULAAT B

Hier volgt de analyse van de resultaten voor granulaat B. De 100% granulaat variant uit grafiek 7 lijkt het meest klimaatvriendelijk. Deze score is volledig te wijten aan de iets grotere cementbehoefte van dit proces, voor slim breken geldt juist dat de cementbesparing de oorzaak van de lagere score is.

Die cementbesparing wordt pas echt duidelijk als de stappen van een van de granulaat B processen uitgesplitst weergegeven worden. Dit is gedaan voor het alternatief in grafiek 8. Hieruit wordt meteen duidelijk dat betonproductie(waarvan cement de grootste CO₂ emissie bijdrage levert verreweg de grootste impact heeft (CE Delft, 2013).



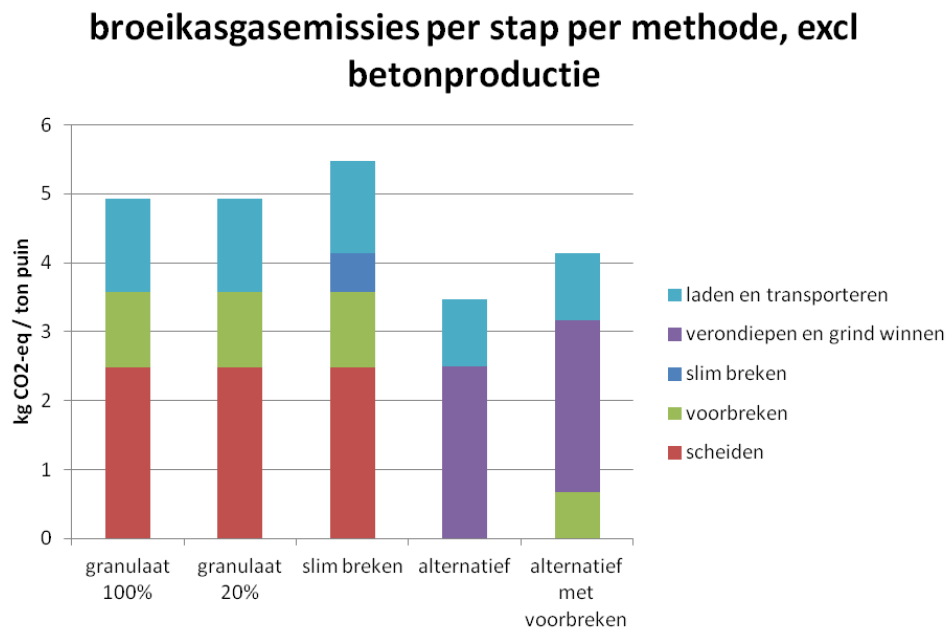
GRAFIEK 7 BROEIKASGAS EMISSIES PER METHODE



GRAFIEK 8 BROEIKASGAS EMISSIES IN HET ALTERNATIEVE PROCES PER PROCESSTAP.

Wordt de betonproductie weggelaten, dan wordt een beeld verkregen dat vergelijkbaar is met granulaat A verwerking. Dit is weergegeven voor alle granulaat B methoden in grafiek 9. In deze grafiek wordt dan helder welke stap, zonder betonproductie mee te nemen, de grootste impact zou hebben voor de verwerkingsmethodes van granulaat B. In deze situatie lijkt ook de transportafstand grote sprongen te maken zouden we deze vergroten.

De betonproductie zelf is een proces dat in deze studie niet beschreven wordt maar wel in de literatuur bestudeerd is. Wat hierbij van belang is om te weten, is dat de cementproductie datgene is wat zorg draagt voor het leeuwendeel van de impact van de betonproductie. Wanneer men in de literatuur zou duiken om te kijken wat er zoal speelt op het gebied van betonproductie, dan blijkt dat er op zeer uiteenlopende manieren onderzocht wordt hoe de impact van dit proces verkleind kan worden (CE Delft, 2013).

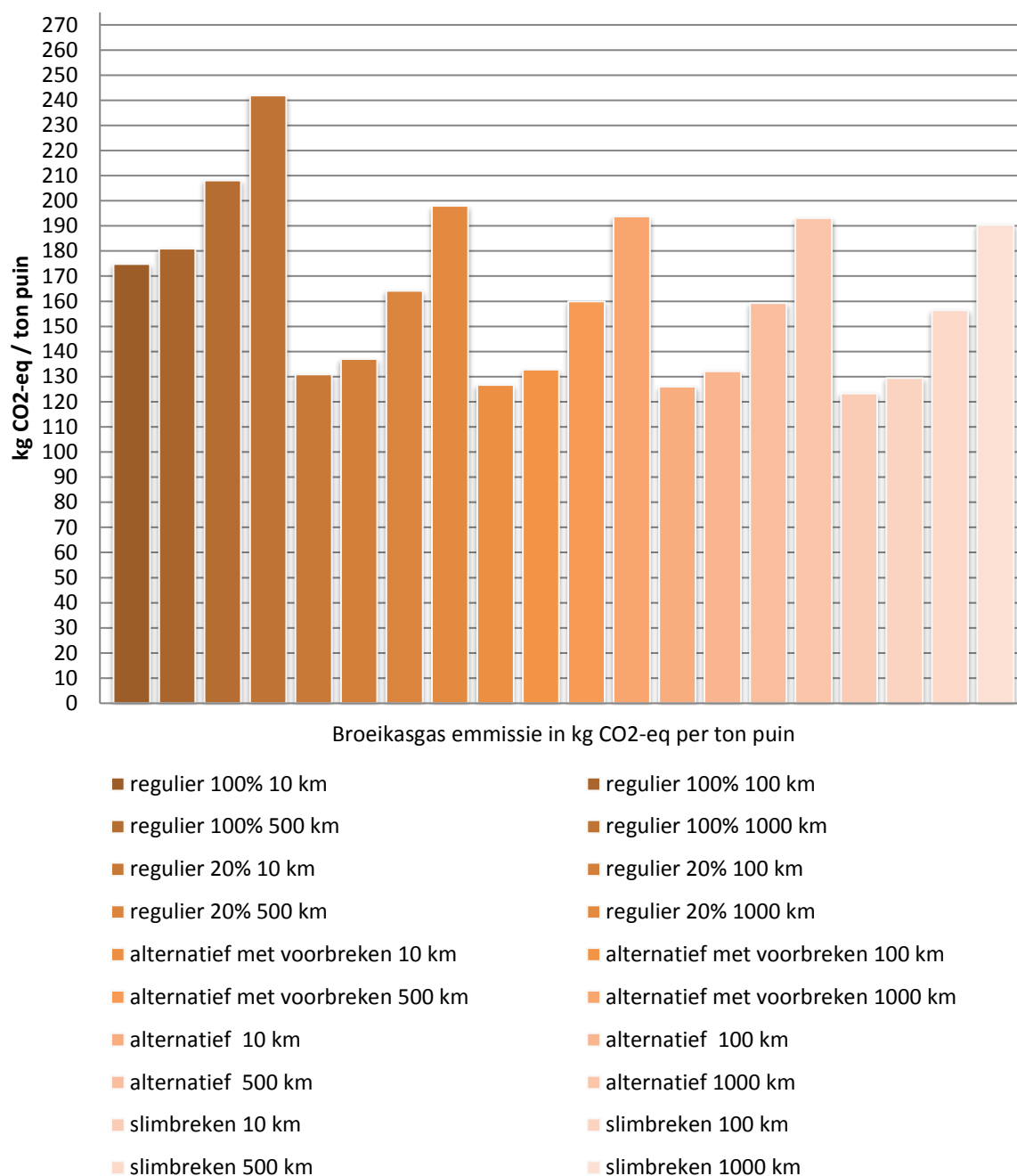


GRAFIEK 9 BROEIKASGAS EMISSIES PER STAP PER METHODE EXCLUSIEF DE BETONPRODUCTIE

Het transport in de stappenketen voor granulaat B begint pas grote impact te krijgen bij grote afstanden in vergelijking met het gehele proces. Dit wordt aangetoond met behulp van grafiek 10. Pas bij afstanden van rond de 1000 kilometer zou het reguliere proces met 100% granulaat qua klimaatimpact interessant worden, wat uiteraard binnen Nederland zeer onrealistisch is.

Voor de emissies met betrekking tot vermesting en verzuring zijn de onderlinge verhoudingen vergelijkbaar met de broeikasgasemissies. Deze worden vanwege dit feit niet extra in grafiekvorm weergegeven.

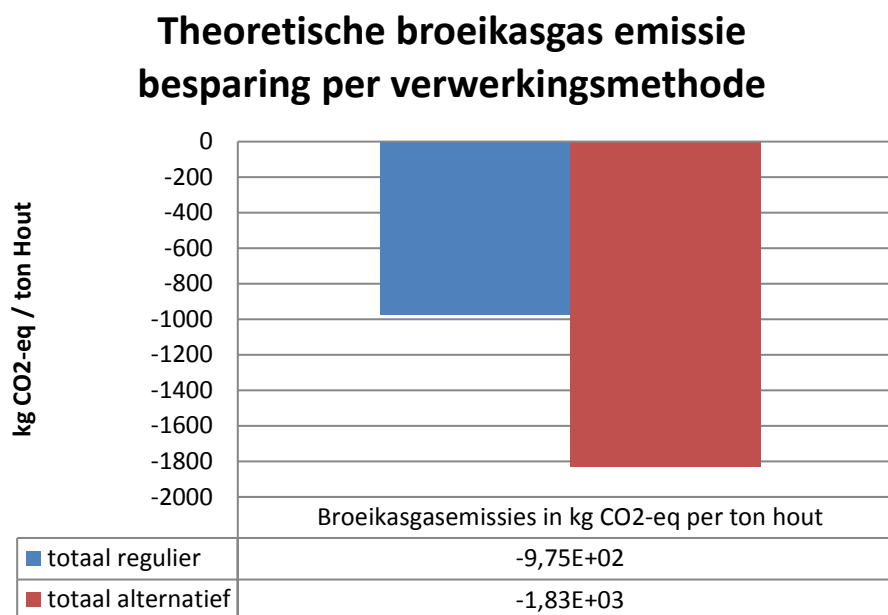
Broeikasgas emissies bij verschillende transportafstanden voor alle methoden



GRAFIEK 10 BROEIKASGAS EMISSIES BIJ VERSCHILLENDE TRANSPORTAFSTANDEN VOOR ALLE METHODEN.

4.3 ANALYSE HOUT

Hier volgt de analyse van de resultaten voor hout: Te beginnen met de theoretische broeikasgas emissie besparing voor de reguliere verwerking in vergelijking met het alternatief. In werkelijkheid is in het reguliere proces (verbranding) geen sprake van CO₂ besparing, maar sprake van energie productie in de vorm van warmte en elektriciteit. Deze geproduceerde energie is om het verschil visueel weer te kunnen geven omgerekend in de hoeveelheid CO₂, die uitgestoten zou zijn als deze energie in de vorm van diesel verbruikt zou zijn. Deze weergave is te zien in grafiek 11.

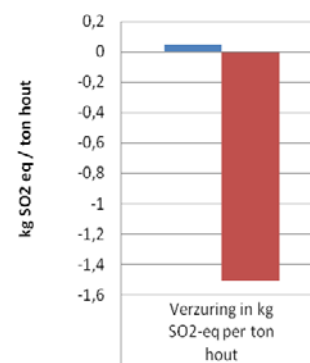


GRAFIEK 11 THEORETISCHE BROEIKASGASEMISSIE BESPARING

Hieruit blijkt dat het alternatief waarbij sprake is van opslag veel positievere effecten heeft dan het reguliere proces. Als een andere emissie bekeken wordt zonder deze aanpassing blijkt hetzelfde waar te zijn zoals in grafiek 12 te zien is.

Als er vervolgens weer transportafstanden aangepast worden, verandert de impact op het gebied van broeikasgas voor het alternatief pas bij grote afstanden zoals te zien is in grafiek 13. Voor het reguliere proces geldt dat er meteen sprake is van een grotere impact op het gebied van broeikasgasemissies dit is weergegeven in grafiek 14.

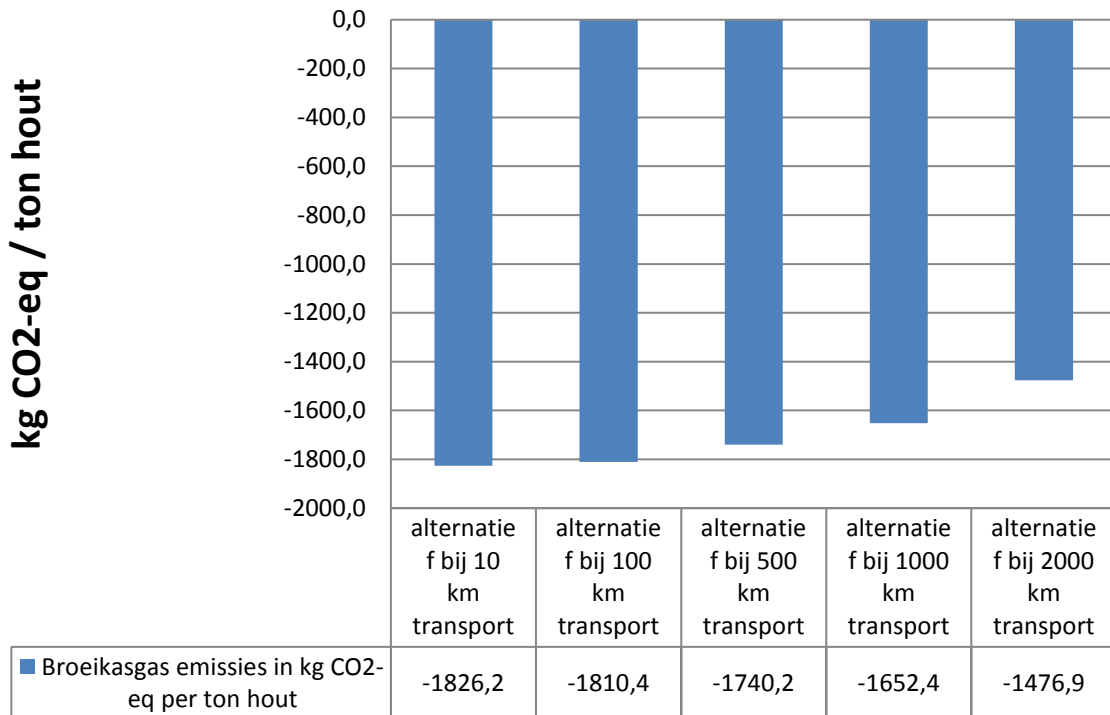
verschil in verzuring veroorzakende emissies



GRAFIEK 12 VERZURING VEROORZAKENDE EMISSIES

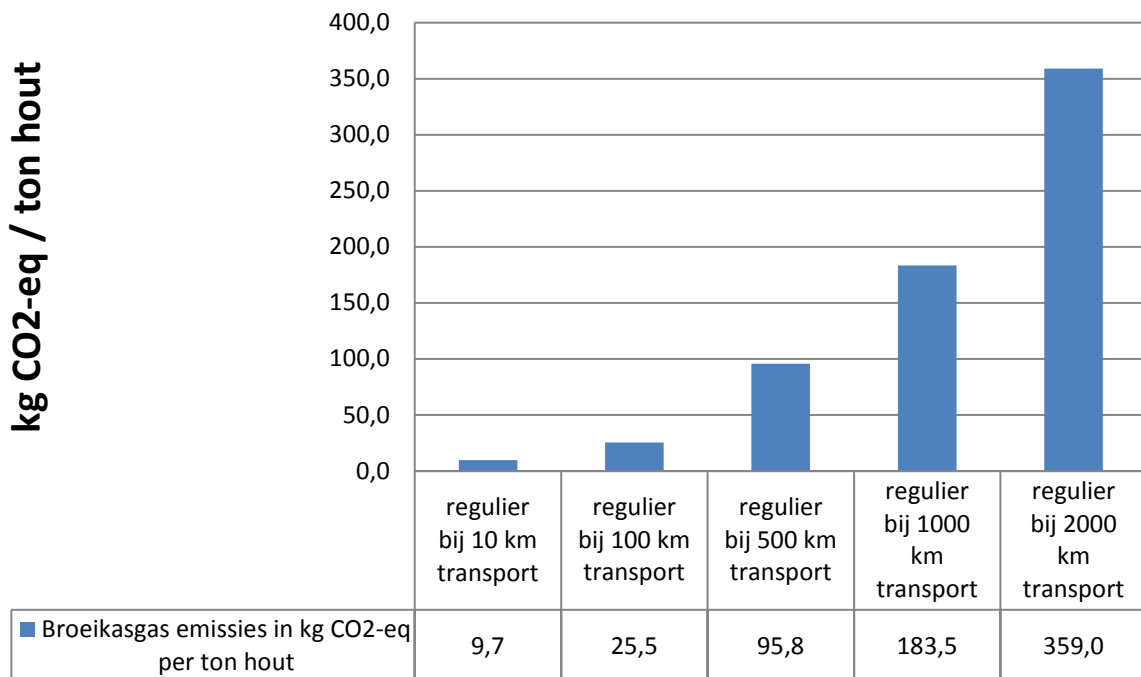
Ditzelfde patroon is terug te zien bij broeikasgas emissies en vermestende emissies

Broeikasgas emissies voor het alternatief



GRAFIEK 13 DE VERSCHILLEN IN BROEIKASGAS EMISSIES VOOR HET ALTERNATIEF BIJ VERSCHILLENDE TRANSPORTAFSTANDEN

Broeikasgas emissies regulier



GRAFIEK 14 DE VERSCHILLEN IN BROEIKASGAS EMISSIES VOOR HET REGULIERE PROCES BIJ VERSCHILLENDE TRANSPORTAFSTANDEN.

4.4 GEVOELIGHEIDSANALYSE

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

In de gevoeligheidsanalyse van deze studie zijn waar mogelijk en waar nog geen gebruik gemaakt werd van gemiddelden een aantal variaties onderzocht. De resultaten worden in sub paragrafen per indicator besproken. De gevoeligheidsanalyse wordt beperkt tot die factoren die een bijzonder grote invloed hebben op de milieu-impact.

4.4.1 GRANULAAT A

Bij granulaat A is het transport de factor met potentieel de meeste impact. Dit is ook te zien in hoofdstuk 4.1 bij het verschil tussen grafiek 4 en 5. In de gevoeligheidsanalyse is dieper ingegaan op het effect van afstandsverschillen voor granulaat A. Daarnaast is gekeken naar het effect van zandwinning, verondieping en de energiedrager. Zie tabel 7 voor nadere uitleg en zie bijlage IV voor het totaal overzicht van de cijfers.

TABEL 7 GEVOELIGHEIDSANALYSE BESCHRIJVING GRANULAAT A

Factor	Variatiebeschrijving
Transport	Variatie in het aantal gereden en gevaren kilometers: Wat levert dit op? Dit is te zien bij de reguliere analyse vanwege het feit dat bij het verkrijgen van de resultaten uitgegaan is van slechts 1 km transportafstand per stap. Voor deze gevoeligheidsanalyse zijn de verschillen tussen 1km-15km (regulier 42% hogere emissie van broeikasgassen alternatief 36%) en 1km-30km (regulier 91% hogere emissie van broeikasgassen alternatief 78%) en 15km-30km onderzocht.
Zandwinning	Bij deze analyse is de impact van de zandwinning met 10% vergroot. (impact vergroot met 3-4% voor emissie en energie, waterverbruik loopt op met bijna 10%)
Verondieping	Bij deze analyse is de impact van het verondiepen met 50% vergroot vanwege de vele aannames in het opzetten van dit traject. (10% impact verhoging op alle indicatoren)
Energiedrager	In plaats van Diesel wordt hier aardgas gebruikt als brandstof om een ander impact beeld te schetsen. Dit is alleen gedaan op basis van broeikasgassen bij die stappen waarvan de hoeveelheid dieselgebruik in Ecoinvent bekend is. (regulier impact verkleind met 3,6%, alternatief met 2,1% en alternatief met voorbreken met 1,6%)

4.4.2 GRANULAAT B

Voor granulaat B is de factor met de grootste impact de betonproductie. Echter, om de betonproductie adequaat te kunnen analyseren zijn tijdens dit onderzoek niet genoeg specifieke data beschikbaar gebleken. Hier is geen gevoeligheidsanalyse op toegepast. De verschillen zijn al wel een keer zichtbaar gemaakt in het geval van slim breken waarbij 3,75% cement vervangen wordt en bij de verschillen tussen 20% en 100% granulaat als grindvervanger waarbij volgens de nationale milieudatabase en CE Delft meer cement gebruikt wordt. Om deze factor alsnog te manipuleren is

een bewerking gedaan op basis van de betonsamenstelling. Hiernaast is de impact van het slim breken, voorbreken, verondiepen en de energiedrager geanalyseerd. Zie tabel 8 voor nadere uitleg en zie bijlage V voor het totaal overzicht van de cijfers.

TABEL 8 GEVOELIGHEIDSANALYSE BESCHRIJVING GRANULAAT B

Factor	Variatiebeschrijving
Energiedrager	In plaats van Diesel is aardgas gebruikt als brandstof om een ander impact beeld te schetsen. Dit is alleen gedaan op basis van broeikasgassen bij die stappen waarvan de hoeveelheid dieselgebruik in Ecoinvent bekend is. (zelfs zonder de betonproductie mee te nemen blijft het effect een verlaging van minder dan 1% in alle gevallen)
Betonsamenstelling	Bij deze analyse is voor de 100% granulaat variant de hoeveelheid grindvervanger met 10% verkleind om de impact van de betonproductie te demonstreren.
(Slim) breken	Bij deze analyse is de impact van het onderdeel slim breken voor het hele proces slim breken en het breken voor het reguliere proces met 10% verkleind en vergeleken met de totaalimpact exclusief de betonproductie. (voor het reguliere proces brengt dit een verlaging van tussen de 1,2 en 1,6% met zich mee voor slim breken is deze verlaging minder dan 0,33%)
Voorbreken	Bij deze analyse is de impact van voorbreken voor het alternatief met 10% verkleind en vergeleken met de totaalimpact inclusief en exclusief de betonproductie. (het effect is een verlaging van emissies van minder dan 1%)
Verondiepen	Bij deze analyse is de impact van het verondiepen met 50% vergroot vanwege de vele aannames in het opzetten van dit traject en de lage impact in vergelijking met de betonproductie (resultaat zonder betonproductie mee te rekenen een verhoging van emissies variërend van 0,9 tot 1,8%).

4.4.3 HOUT

Voor het hout zijn niet veel factoren beschikbaar om te manipuleren. De eindfase heeft voor het reguliere alsook het alternatieve proces een dermate grote impact, dat verdere analyse onnodig lijkt. Toch zijn ook voor deze methode het verondiepen, het versnipperen en de energiedrager geanalyseerd. Zie tabel 9 voor nadere uitleg en zie bijlage VI voor het totaal overzicht van de cijfers.

TABEL 9 GEVOELIGHEIDSANALYSE BESCHRIJVING HOUT

Factor	Variatiebeschrijving
Versnipperen	Bij deze analyse is de impact van het versnipperen met 10% vergroot om het effect op de impact van het reguliere proces te tonen.(bij een transportafstand van 1km blijkt het effect op het reguliere proces een verhoging van emissies van bijna 10%)
Verondiepen	Bij deze analyse is de impact van het verondiepen met 150% vergroot vanwege de vele aannames in het opzetten van dit traject. Alleen de impact van de activiteiten is hierbij vergroot. De opslagwaarde van hout is gelijk gehouden. (energieverbruik neemt dan toe met 22% emissies nemen toe met maximaal 0,22%)
Energiedrager	In plaats van diesel is aardgas gebruikt als brandstof om een ander impact beeld te schetsen. Dit is alleen gedaan op basis van broeikasgassen bij die stappen waarvan de hoeveelheid dieselgebruik in Ecoinvent bekend is.(dit heeft bij 1 transport km een daling van 33% broeikasgas ten gevolge voor het alternatief is effect niet waarneembaar)

5 CONCLUSIE

Wat is de meest duurzame manier van puin in de vorm van granulaat A (her)gebruik?

Wegenbouw lijkt een beter gebruik van granulaat A dan het alternatief op basis van klimaateffecten en energiegebruik, maar dit is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden zoals de vraag naar granulaten en het aanbod aan puin. Zodra de totale transportafstand voor de reguliere verwerking 15 kilometer of meer langer is dan de totale transportafstand voor het alternatief inclusief voorbreken, wordt het alternatief een verwerkingsmethode met een lagere milieu-impact qua klimaateffecten en energieverbruik. De wegenbouw is minder sterk op het gebied van de ecologie omdat verondiepen grote voordelen kan opleveren voor de biodiversiteit van een zandwinput. Qua waterverbruik kan geen uitspraak gedaan worden wegens gebrek aan data.

Wat is de meest duurzame manier van puin in de vorm van granulaat B (her)gebruik?

Van de drie verschillende methoden lijkt het slim breken qua klimaateffecten, energieverbruik, ecologie en waterverbruik de beste verwerkingsmethode. Deze methode is echter nog lang niet uitontwikkeld en behoeft nog veel onderzoek in de eindfase voordat sprake kan zijn van grootschalig toepassen. Van de drie verschillende methoden lijkt verondiepen een minder milieubelastend alternatief dan het reguliere proces, zelfs in het geval dat het puin eerst voorgebroken en gesorteerd zou moeten worden scoort het beter op energieverbruik, klimaateffecten, waterverbruik en ecologie dan de reguliere manier van verwerken. Na de betonproductie is transport de meest invloedrijke factor.

Wat is de meest duurzame manier van hout verwerken?

Verondiepen met hout lijkt qua klimaateffecten en ecologie de manier met de minst negatieve milieueffecten. Dit wordt theoretisch ondersteund door uitspraken van het KNAW tegen het verbranden van organisch materiaal en voor het vastleggen van CO₂. De impact qua energieverbruik lijkt veel gunstiger in geval van de reguliere manier van verwerking. Qua waterverbruik kunnen geen uitspraken gedaan worden wegens gebrek aan data. Transport is in deze vergelijking een minder grote factor vanwege de grote (theoretische) besparingen aan CO₂.

Voor alle opties geldt dat voor ieder project de lokale omstandigheden doorslaggevend kunnen zijn in de keuze voor een bepaald verwerkingsproces. Voor ieder project zou een voorstudie gedaan moeten worden om het meest milieuvriendelijke alternatief te identificeren en dit onderdeel mee te nemen in het onderhandelingsproces.

6 AANBEVELINGEN

VERANDERING VAN LANDGEBRUIK

Dit is een belangrijke factor en een factor met potentieel grote lokale impact, zeker als het gaat om winnen van primaire grondstoffen. Hierbij gaat het vaak om grote ingrepen in het landschap en een drastische verandering van het landgebruik veelal agrarisch land dat water wordt. In het geval van verondiepen tot boven de waterspiegel zou echter sprake kunnen zijn van een circulaire put. Dit zou een meerwaarde kunnen betekenen voor het concept circulaire economie in de bouw waar de overheid momenteel veel tijd in steekt. Hierbij zou de put gezien kunnen worden als een opslagplaats voor grondstoffen. Dit valt echter buiten de middelen en de scope van dit onderzoek, maar het gebruik van een zandwinpunt als depot voor secundaire bouwstoffen (betonpuin bijvoorbeeld) verdient een aanbeveling voor verder onderzoek.

HOUT

Alleen binnendijkse putten komen in aanmerking voor verondiepen met hout in verband met het overstromingsrisico in de uiterwaarden en een hieruit volgend gevaar van rondrijvend hout voor de doorstroming van de rivier en gevaar, verandering of oorzaak van schade bij de scheepvaart. Een voorstel zou kunnen zijn om de effecten van een kleine opslag bij een bestaande binnendijkse put voor een periode van 3-5 jaar te monitoren op vergroeiing, opgeslagen hout zou kunnen uitlopen, uitloging, biodiversiteit en de stapelbaarheid en inklinking van het materiaal.

MENGGRANULAAT

Verder onderzoek naar de mogelijkheden binnen de alternatieve verwerkingsmethode is wenselijk, vanwege het dreigende overschot van deze granulaten. Wellicht kan er een vast scenario bedacht worden waar bij sloop van panden op haventerreinen een bulkschip klaarligt om het puin mee te nemen, om de transport factor zo klein mogelijk te houden.

BETONGRANULAAT

Verder onderzoek naar alternatieve verwerkingsmethoden is noodzakelijk om de herbruikbaarheid van beton te vergroten. De impact van het cement is in het geval van milieuschadende emissies dermate hoog dat ook naar alternatieven voor cement gezocht moet worden.

7 BIBLIOGRAFIE

- CML - Department of Industrial Ecology. (2016, Januari 25). *CML-IA Characterisation Factors*. Opgeroepen op Maart 09, 2016, van www.universiteitleiden.nl:
<https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>
- 2R Recycling. (sd). *Breken we over 5 jaar nog steeds puin?* Opgeroepen op Oktober 7, 2015, van www.betonketen.nl:
http://www.betonketen.nl/nieuws/16_Breken_we_over_5_jaar_nog_steeds_puin.pdf
- Agentschap NL. (2009). *Bio-energie – Techniek – Verbranding*. Opgeroepen op December 17, 2015, van www.rvo.nl: <http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Bio-energie%20-%20Techniek%20%E2%80%93%20Verbranding%20-%20Warmtekrachtinstallaties%20voor%20schoon%20hout%20%28bio-wkk%29.pdf>
- Agentschap NL. (sd). *Bio-Energie - Techniek - Vergisting*. Opgeroepen op Oktober 7, 2015, van www.rvo.nl: <http://www.rvo.nl/sites/default/files/bijlagen/Bio-energie%20-%20Techniek%20%E2%80%93%20Vergisting.pdf>
- Biograce. (2009). *List of Standard Values*. Opgeroepen op December 15, 2015, van www.biograce.net: <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>
- BRBS Recycling. (sd). *INFORMATIEBLAD – TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN RECYCLINGGRANULATEN*. Opgeroepen op September 18, 2015, van www.brbs.nl:
<http://brbs.webdog.nl/files/01%20Infoblad%20toepassingsmogelijkheden%20recyclinggranulaatV2.pdf>
- Brouwers, J., & Florea, M. (2013). Slim breken sluit materiaal kringloop. *Cement*, 74-78.
- BVOR. (2013). *CO2-effecten van het opwerken van groenafval en daarmee vergelijkbare reststromen*. Wageningen: BVOR.
- BVOR. (sd). *Organische Reststromen*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.bvor.nl:
<http://bvor.nl/groenproducten/>
- Caserini, S., Livio, S., Giugliano, M., Grosso, M., & Rigamonti, L. (2010). LCA of domestic and centralized biomass combustion: The case of Lombardy (Italy). *Biomass and bioenergy* (34), pp. 474-482.
- CE Delft . (2010). *Goed gebruik van Biomassa*. Delft: CE Delft.
- CE Delft . (2013). *Hoe duurzaam is biogas*. Delft: CE Delft.
- CE Delft. (2013, maart). Milieu-impact betongebruik in de Nederlandse bouw. *Rapport 2013*, p. alle.
- CE Delft. (2015, maart). Update Prioritering handelingsperspectieven verduurzaming betonketen 2015. *Rapport*, p. alle.

- Cement en Beton Centrum. (sd). *Hoe kan ik zelf beton maken voor eenvoudig betonwerk?* Opgeroepen op September 15, 2015, van www.cementenbeton.nl: <http://www.cementenbeton.nl/materiaal/vragen-over-cement-en-beton/hoe-kan-ik-zelf-beton-maken-voor-eenvoudig-betonwerk>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2011, Juli 12). *Bebouwing zet gestaag door*. Opgeroepen op September 25, 2015, van www.cbs.nl: <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/dossiers/nederland-regionaal/publicaties/artikelen/archief/2011/2011-3433-wm.htm>
- Cobouw. (2014, Januari 29). Interview: Andre van den Broek en Sjaak Wezenberg 'MVO is geen eindpunt maar een proces'. *Cobouw* (17) , p. 3.
- Coelho, A., & de Brito, J. (2012). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *waste management* (32) , pp. 532-541.
- Competentiecentrum duurzaam bouwen. (sd). *Nieuwe methoden om beton te recyclen*. Opgeroepen op September 21, 2015, van www.technologywatch.be: http://www.technologywatch.be/index.cfm?n01=techwatch&n02=innovations&PageAction=SearchDetail&article_id=85
- CSM b.v. (sd). *Afvalsoorten - Schoonpuin*. Opgeroepen op oktober 5, 2015, van www.csm-bv.com: http://www.csm-bv.com/Afvalsoorten/Schoon_puin/
- de Consumentenbond. (2015). *Duurzaam consumeren*. Opgeroepen op November 04, 2015, van www.consumentenbond.nl: <http://www.consumentenbond.nl/duurzaam-consumeren/extra/duurzaamheid/>
- Dekker, P., Stilma, E., van Geel, W., & Kool, A. (2009, Mei). *Levenscyclus analyse meststoffen bij gebruik in biologische en gangbare landbouw*. Wageningen.
- EEA. (1997, augustus). Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources. *Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources* , p. alle.
- Eriksson, O., Finnveden, G., Ekvall, T., & Bjorklund, A. (2007). Life cycle assessment of fuels for district heating: A comparison of waste incineration, biomass- and natural gas combustion. *Energy Policy* (35) , pp. 1346–1362.
- Europees parlement. (2009, April 23). *Eur-lex acces to european law DIRECTIVE 2009/30/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL*. Opgeroepen op December 09, 2015, van eur-lex.europa.eu: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32009L0030>
- Finnveden, G., Eldh, P., & Johansson, J. (2006). Weighting in LCA Based on Ecotaxes. *The International Journal of Life Cycle Assessment* (11) , pp. 81-88.
- Fraanje, P. (2000). wateren van hout. *Nederlands bosbouw tijdschrift* , pp. 57-61.
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., et al. (2007, December). Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods Data v2.0. *ecoinvent report No. 3* , p. Alle.

Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Doka, G., Dones, R., Heck, T., et al. (2005). The ecoinvent database: Overview and methodological framework. *International Journal of Life Cycle Assessment* 10 , pp. 3-9.

Goedkoop, M., & Spriensma, R. (2001, Juni). The Eco-indicator 99 A damage oriented method for life cycle assessment. Amersfoort, Nederland: Ministerie van volkshuisvesting ruimtelijke ordening en milieubeheer.

GWW materialen. (2014). *Soortelijk Gewicht* . Opgeroepen op December 09, 2015, van [gwwmaterialen.blogspot.nl](http://gwwmaterialen.blogspot.nl/p/soortelijk-gewicht.html): <http://gwwmaterialen.blogspot.nl/p/soortelijk-gewicht.html>

innovation seeds. (sd). *C2CA*. Opgeroepen op Oktober 7, 2015, van www.innovationseeds.eu: http://www.innovationseeds.eu/Virtual_Library/Results/C2CA.kl

KNAW. (2015). *VISIEDOCUMENT BIOBRANDSTOF EN HOUT ALS ENERGIEBRONNEN*. Amsterdam: Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen.

Kok, L. (2015, November 6). Beperk import van bouwgrondstoffen. *Cobouw* .

kranendonk b.v. (2015). *Soortelijk gewicht en inhoud*. Opgeroepen op december 09, 2015, van www.zandbestellen.nl: <http://www.zandbestellen.nl/informatie/soortelijk-gewicht-inhoud>

Lamton, S., & Savidge, R. (2003). A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass & Bioenergy* (25) , pp. 381-388.

Matinez-Blanco, J., Lazcano, C., Christensen, T., Munoz, P., Rieradevall, J., Moller, J., et al. (2013). Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. *Agron sustainable development* (33) , 721-732.

milieucentraal.nl. (sd). *UV-straling*. Opgeroepen op December 7, 2015, van www.milieucentraal.nl: <http://www.milieucentraal.nl/wonen/gezonde-leefomgeving/elektromagnetische-velden-en-straling/uv-straling/>

Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer . (1997, December 8). *Besluit stortplaatsen en stortverboden afvalstoffen Geldend op 23-09-2015*. Opgeroepen op September 23, 2015, van wetten.overheid.nl: http://wetten.overheid.nl/BWBR0009094/geldigheidsdatum_23-09-2015#BijlageI

Pa, A., Craven, J. S., Bi, X. T., Melin, S., & Sokhansanj, S. (2012). Environmental footprints of British Columbia wood pellets from a simplified life cycle analysis. *international journal life cycle assessment* (17) , pp. 220-231.

Pattyn, J. (2009). Het LCA-profiel van biomassa in België. *FACULTEIT ECONOMIE EN BEDRIJFSKUNDE Universiteit Gent academiejaar 2008-2009* , p. alle.

pianoo. (2015). *Productgroepen*. Opgeroepen op November 5, 2015, van www.pianoo.nl: <https://www.pianoo.nl/themas/maatschappelijk-verantwoord-inkopen-duurzaam-inkopen/productgroepen>

Platform Duurzaamheid. (2015). *Wat is duurzaamheid?* Opgeroepen op November 5, 2015, van www.platformduurzaamheid.net: <http://www.platformduurzaamheid.net/index.php?/Wat-is-Duurzaamheid/achtergrond-duurzaamheid/wat-is-duurzaamheid.html>

puincontainer.nl. (sd). *Afvalsoorten*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.puincontainer.nl: <http://www.puincontainer.nl/afvalsoorten.php>

Raeini, L. I., Negarestan, H., & Khoee, A. J. (2007). An ecological investigation on colonization of fresh water artificial reefs. *Journal of environmental hydrology* , p. Volume 15 Paper 17.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., et al. (2004). Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications. *Environmental international* (30) , pp. 701-720.

Rijksoverheid (1). (2015). *Afvalstoffase beton- en metselwerkpuin en -granulaten*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.bodemrichtlijn.nl: <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/puin-en-granulaten/afvalstoffase-beton-en-me104281>

Rijksoverheid (2). (2015). *Materiaaleigenschappen menggranulaat*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.bodemrichtlijn.nl: <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/puin-en-granulaten/eigenschappen-puin-en-granulaten/materiaaleigenschappen-men104284>

Rijksoverheid (3). (2015). *Materiaaleigenschappen betongranulaat*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.bodemrichtlijn.nl: <http://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bouwstoffen-en-afvalstoffen/puin-en-granulaten/eigenschappen-puin-en-granulaten/materiaaleigenschappen-bet104282>

Rijksoverheid (4). (2015). *Zoeken*. Opgeroepen op November 04, 2015, van www.rijksoverheid.nl: <https://www.rijksoverheid.nl/zoeken?trefwoord=duurzaamheid>

Santos, L. N., Garcia-Berthou, E., Agostinho, A. A., & Latini, J. D. (2011, January). Fish colonization of artificial reefs in a large Neotropical reservoir: material type and successional changes. *Ecological applications (volume 21 no. 1)* , pp. 251-262.

Schijf. (sd). *Puin*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.schijf.nl: <http://www.schijf.nl/content/view/id/123>

Sennebogen. (2016). *Products*. Opgeroepen op Februari 2016, van www.sennebogen.com: <http://www.sennebogen.com/en/products/material-handler.html>

soortelijkgewicht.com. (sd). *Zand*. Opgeroepen op December 09, 2015, van www.soortelijkgewicht.com: <http://www.soortelijkgewicht.com/vaste-stoffen/zand>

Stichting Bouwkwiteit . (2015). *de Nationale Milieudatabase van Stichting Bouwkwiteit* . Opgeroepen op November 5, 2015, van www.milieudatabase.nl: <https://www.milieudatabase.nl/>

Stichting MRPI. (2011). *MRPI toetsingsprotocol*. Nieuwegein: Stichting MRPI.

- Stimular. (2011). *emissiefactoren*. Opgeroepen op 2016, van www.emissieberekenen.nl: <http://www.emissieberekenen.nl/filelib/file/Overzicht-emissiefactoren-v3.pdf>
- STOWA. (2010). Een heldere kijk op diepe plassen; Kennisdocument diepe meren en plassen:ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen. *watermozaiek* [38] , p. Alle.
- UNEP. (sd). *THE MONTREAL PROTOCOL ON SUBSTANCES THAT DEplete THE OZONE LAYER*. Opgeroepen op December 7, 2015, van ozone.unep.org: <http://ozone.unep.org/en/treaties-and-decisions/montreal-protocol-substances-deplete-ozone-layer>
- van Belzen, T. (2015, Oktober 30). Deltaplan remt recycling beton. *Cobouw* .
- van der Meulen, M., de Lang, F., Maljers, D., Dubelaar, W., & Westerhoff, W. (2003). Grondsoorten en delfstoffen bij naam. *publicatiereeks grondstoffen 2003/16* , pp. 11,38-39,48-49.
- van Pruissen, O. P., & Moulijn, J. A. (1993, december). Dieselbrandstof. *Chemische feitelijkheden* (8) , p. tekst 101.
- van Uffelen, S. (2015, Oktober 13). Meer CO2 door hergebruik beton is mythe. *Cobouw* .
- Verenigde Naties. (sd). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future* . Opgeroepen op September 23, 2015, van www.un-documents.net: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
- VOBN (1). (2013, oktober). *Beton en betongranulaat*. Opgeroepen op Oktober 5, 2015, van www.vobn-beton.nl: <http://www.vobn-beton.nl/keurmerk-beton-bewust/duurzaam-bouwen-met-beton/beton-en-betongranulaat>
- VOBN (2). (2013, Mei). *Cement en bindmiddelen*. Opgeroepen op December 15, 2015, van www.vobn-beton.nl: <http://www.vobn-beton.nl/beton/beton/grondstoffen-beton/cement-en-bindmiddelen>
- Weidema, B., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., et al. (2013). *The ecoinvent database: Overview and methodology, Data quality guideline for the ecoinvent database version 3*. Opgeroepen op 2016, van www.ecoinvent.org: <https://v32.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>

8 AFBEELDINGEN

Afbeelding 1 Gemengd puin afkomstig van www.woudenbergbv.nl	3
Afbeelding 2 Snoeihout: afkomstig van: img.rtvoost.nl	4
Afbeelding 3 Sloopschaar: afkomstig van www.atlascopco.com	5
Afbeelding 4 Explosieven: afkomstig van www.hoondert.nl	5
Afbeelding 5 Puin Breker: afkomstig van www.vanderspek.nl	5
Afbeelding 6 Menggranulaat (granulaat A): afkomstig van www.regiocontainer.nl	6
Afbeelding 7 Betongranulaat (granulaat B): afkomstig van www.gruno-recycling.nl	8
Afbeelding 8 Snoeihout: afkomstig van i0.wp.com	12
Afbeelding 9 Houtsnippers afkomstig van www.heeren-zandgrind.nl	12
Afbeelding 10 Houtpellets: afkomstig van www.heva.nl	12
Afbeelding 11 LCA model uit Rebitzer, et al., 2004 laat zien dat alle stappen binnen een LCA afhankelijk van en onderhevig aan elkaar zijn.	19
Afbeelding voorpagina verondiepen: door Simon Schimmel	

BIJLAGEN

BIJLAGE I GRANULAAT A DATA

	Broeikasgas emissie in kg CO2- eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4-eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waternverbruik in m3 per ton puin	gevaarlijk afval in kg per ton puin	Afval in kg per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	5,77E+01			
Stap 2 inladen en transporteren	3,28E-01	1,66E-03	4,12E-04	3,74E+00			
Stap 3 breken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01	-3,50E-01	1,80E-01
Stap 4 inladen en transporteren	3,28E-01	1,66E-03	4,12E-04	3,74E+00			
totaal regulier	1,3254	0,0084	0,0020	13,9785	0,3800	-0,3500	0,1800
Stap 2C voorbreken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01	-3,50E-01	1,80E-01
Stap 2A inladen en transporteren	3,28E-01	1,66E-03	4,12E-04	3,74E+00			
Stap 3A verondiepen	3,73E-01	2,40E-03	5,96E-04	5,35E+00			
Stap 4A ophoogzand winnen	9,65E-01	6,20E-03	1,42E-03	1,58E+01	1,14E+01	6,50E-04	3,00E-02
Stap 5A inladen en transporteren	3,68E-01	1,90E-03	4,71E-04	4,20E+00			
totaal alternatief	2,0334	0,0122	0,0029	29,0870	11,4	0,00065	0,03
totaal alternatief + voorbreken	2,7034	0,0173	0,0041	35,5870	11,7800	-0,3494	0,2100

Deze vergelijking is gemaakt met verschillende transportafstanden

Broeikasgas emissie in kg
co2-eq per ton puin

Stap 1 sloop	4,96053132
Stap 2 inladen en transporteren	4,33E+00
Stap 3 breken	0,67
Stap 4 inladen en transporteren	4,33E+00
Totaal regulier bij 120 km	14,2819195
Totaal regulier bij 60 km	7,14095973
Totaal regulier bij 30 km	2,83284704
Stap 2c voorbreken	0,67
Stap 2a inladen en transporteren	2,29E+00
Stap 3a verondiepen	0,37265443
Stap 4a ophoogzand winnen	0,965
Stap 5a inladen en transporteren	2,33E+00
Totaal alternatief bij 60 km	5,96366213
Totaal alternatief + voorbreken bij 60 km	6,63366213
Totaal alternatief bij 30 km	2,98183107
Totaal alternatief + voorbreken bij 30 km	3,31683107
Totaal alternatief bij 15 km	1,58E+00
Totaal alternatief + voorbreken bij 15 km	2,25E+00

BIJLAGE II GRANULAAT B DATA

	Broeikasgas emmissie in kg co2-eq per ton puin	Verzuring in kg so2-eq per ton puin	Vermesting in kg po4-eq per ton puin	Energieverbruik in mj per ton puin	WATERVERBRUIK per ton puin in m3
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
Stap 2 scheiden van materiaal	2,48E+00	1,57E-02	3,89E-03	28,85	
Stap 3 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	7,71E+00	
Stap 4 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 5 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	7,71E+00	
Stap 6 beton 100%granulaat	1,70E+02	6,60E-01	9,03E-02	2,24E+03	2,93E+01
Stap 7 beton 20%granulaat	1,26E+02	5,33E-01	7,51E-02	1,56E+03	2,12E+01
Totaal regulier met 100% granulaat	1,80E+02	7,22E-01	1,05E-01	2,36E+03	3,05E+01
Totaal regulier met 20% granulaat	1,36E+02	5,94E-01	9,02E-02	1,69E+03	2,24E+01
Totaal regulier zonder beton	9,89E+00	6,15E-02	1,51E-02	1,23E+02	1,20E+00
Stap 4b voorbreken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 5b slim breken	5,50E-01	3,35E-03	7,50E-04	1,07E+01	6,00E-01
Stap 6b laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	7,71E+00	
Stap 7b betonproductie	1,18E+02	5,00E-01	7,20E-02	1,43E+03	1,98E+01
Totaal slim breken	1,28E+02	5,65E-01	8,78E-02	1,56E+03	2,16E+01
Totaal slim breken zonder beton	1,04E+01	6,49E-02	1,58E-02	1,34E+02	1,80E+00

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4-eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waternutrient per ton puin in m3
Stap a1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
Stap 2b voorbreken en scheiden	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
Stap a2 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap a3 verondiepen	5,94E-01	3,80E-03	9,44E-04	7,93E+00	
Stap a4 grind winnen	1,90E+00	8,38E-03	1,95E-03	3,08E+01	3,39E+00
Stap a5 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap a6 betonproductie	1,22E+02	5,20E-01	7,48E-02	1,49E+03	2,06E+01
Totaal alternatief	1,31E+02	5,68E-01	8,68E-02	1,59E+03	2,40E+01
Totaal alternatief zonder beton	8,42E+00	4,89E-02	1,20E-02	1,07E+02	3,39E+00
Totaal alternatief met voorbreken	1,32E+02	5,74E-01	8,80E-02	1,60E+03	2,43E+01
Totaal alternatief met voorbreken exclusief betonproductie	9,09E+00	5,40E-02	1,32E-02	1,14E+02	3,77E+00

	Broeikasgas emmissie in kg co2-eq per ton puin	Verzuring in kg so2-eq per ton puin	Vermesting in kg po4-eq per ton puin	Energiever bruik in mj per ton puin
Regulier 100% 10 km	174,866006	0,68638519	0,09660239	2,00e+03
Regulier 100% 100 km	180,964635	0,68762912	0,0970267	2,06e+03
Regulier 100% 500 km	208,069652	0,69315774	0,09875859	2,37e+03
Regulier 100% 1000 km	241,950924	0,70006851	0,10092345	2,76e+03
Regulier 20% 10 km	130,932356	0,55908661	0,08145812	1,49e+03
Regulier 20% 100 km	137,030985	0,56033055	0,08184779	1,56e+03
Regulier 20% 500 km	164,136003	0,56585916	0,08357968	1,87e+03
Regulier 20% 1000 km	198,017274	0,57276993	0,08574454	2,26e+03
Alternatief met voorbreken 10 km	126,687632	0,53967708	0,07955568	1,45e+03
Alternatief met voorbreken 100 km	132,786261	0,54092101	0,07994535	1,52e+03
Alternatief met voorbreken 500 km	159,891278	0,54644963	0,08167724	1,82e+03
Alternatief met voorbreken 1000 km	193,77255	0,5533604	0,0838421	2,21e+03
Alternatief 10 km	126,017632	0,53457708	0,07835568	1,44e+03
Alternatief 100 km	132,116261	0,53582101	0,07874535	1,51e+03
Alternatief 500 km	159,221278	0,54134963	0,08047724	1,82e+03
Alternatief 1000 km	193,10255	0,5482604	0,0826421	2,20e+03
Slim breken 10 km	123,254791	0,52987537	0,07914294	1,41e+03
Slim breken 100 km	129,35342	0,53111931	0,07948932	1,48e+03
Slim breken 500 km	156,458437	0,53664793	0,08122121	1,79e+03
Slim breken 1000 km	190,339709	0,5435587	0,08338607	2,17e+03

BIJLAGE III HOUT DATA

	Broeikasgas emmissie in kg co2- eq per ton hout	Verzuring in kg so2-eq per ton hout	Vermesting in kg po4-eq per ton hout	Energieverbruik in mj per ton hout
Stap 1 snoeien				
Stap 2 versnipperen	7,98E+00	5,05E-02	1,25E-02	92,88
Stap 3 inladen en transporteren	1,76E-01	3,43E-05	1,07E-05	1,58E+00
Stap 4 verbranden tbv energieopwekking	0	0	0	-11340,034
Totaal regulier	8,16E+00	5,06E-02	1,25E-02	-1,12E+04
Stap 1 snoeien				
Stap a2 inladen en transporteren	1,75E+00	9,99E-03	2,48E-03	1,83E+01
Stap a3 verondiepen	-1,83E+03	-1,52E+00	-4,07E-01	1,45E+01
Totaal alternatief	-1,83E+03	-1,51E+00	-4,05E-01	3,28E+01

Variaties in transportafstanden	Broeikasgas emissies in kg co2- eq per ton hout	Verzuring in kg so2-eq per ton hout	Vermesting in kg po4-eq per ton hout	Energieverbruik in mj per ton hout
Regulier bij 10 km transport	9,7	0,0509	0,0126	-11231,4
Regulier bij 100 km transport	25,5	0,0540	0,0136	-11089,2
Regulier bij 500 km transport	95,8	0,0677	0,0179	-10457,4
Regulier bij 1000 km transport	183,5	0,0848	0,0233	-9667,7
Regulier bij 2000 km transport	359,0	0,1191	0,0340	-8088,3

Variaties in transportafstanden	Broeikasgas emissies in kg co2- eq per ton hout	Verzuring in kg so2-eq per ton hout	Vermesting in kg po4-eq per ton hout	Energieverbruik in mj per ton hout
Alternatief bij 10 km transport	-1826,2	-1,510	-0,405	33,4
Alternatief bij 100 km transport	-1810,4	-1,507	-0,404	37,7
Alternatief bij 500 km transport	-1740,2	-1,493	-0,400	56,5
Alternatief bij 1000 km transport	-1652,4	-1,476	-0,394	80,1
Alternatief bij 2000 km transport	-1476,9	-1,442	-0,384	127,4

BIJLAGE IV GEVOELIGHEIDSANALYSE GRANULAAT A

110%

Zandwinning

	Broeikasgas emmissie in kg CO2- eq per ton puin	Verzuring in kg SO2- eq per ton puin	Vermesting in kg PO4- eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waterverbruik in m3 per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	5,77E+01	
Stap 2 inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap 3 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 4 inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
totaal regulier	2,0672	0,0120	0,0028	32,4357	1,2000
Stap 2C voorbreken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
Stap 2A inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap 3A verondiepen	5,94E-01	3,80E-03	9,44E-04	7,93E+00	
Stap 4A ophoogzand winnen	1,06E+00	6,82E-03	1,56E-03	1,74E+01	1,25E+01
Stap 5A inladen en transporteren	3,68E-01	1,90E-03	4,71E-04	4,20E+00	
totaal alternatief	2,5074	0,0152	0,0036	35,0236	12,54
totaal alternatief + voorbreken	3,1774	0,0203	0,0048	41,5236	12,9200
	3,13%	3,16%	3,03%	3,96%	9,68%

150%

Verondiepen +50%

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4- eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waterverbruik in m3 per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	5,77E+01	
Stap 2 inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap 3 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 4 inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
totaal regulier	2,0672	0,0120	0,0028	32,4357	1,2000
Stap 2C voorbreken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
Stap 2A inladen en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap 3A verondiepen	8,91E-01	5,70E-03	1,42E-03	1,19E+01	
Stap 4A ophoogzand winnen	9,65E-01	6,20E-03	1,42E-03	1,58E+01	1,14E+01
Stap 5A inladen en transporteren	3,68E-01	1,90E-03	4,71E-04	4,20E+00	
totaal alternatief	2,7081	0,0164	0,0040	37,4065	11,4
totaal alternatief + voorbreken	3,3781	0,0215	0,0052	43,9065	11,7800
	10%	10%	10%	10%	

7,5

Transport basis

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4- eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waterverbruik in m3 per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	5,77E+01	
Stap 2 inladen en transporteren	9,24E-01	2,74E-03	6,85E-04	1,05E+01	
Stap 3 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 4 inladen en transporteren	9,24E-01	2,74E-03	6,85E-04	1,05E+01	
totaal regulier	2,9481	0,0122	0,0029	42,4873	1,2000
15 km regulier	42,61%	1,50%	2,00%	30,99%	

Stap 2C voorbreken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
Stap 2A inladen en transporteren	9,24E-01	2,74E-03	6,85E-04	1,05E+01	
Stap 3A verondiepen	5,94E-01	3,80E-03	9,44E-04	7,93E+00	
Stap 4A ophoogzand winnen	9,65E-01	6,20E-03	1,42E-03	1,58E+01	1,14E+01
Stap 5A inladen en transporteren	8,09E-01	2,01E-03	5,04E-04	9,23E+00	
totaal alternatief	3,2919	0,0147	0,0036	43,4952	11,4
totaal alternatief + voorbreken	3,9619	0,0198	0,0048	49,9952	11,7800
15 km alternatief	36,54%	1,33%	1,74%	30,06%	
15 km alternatief en voorbreken	28,59%	0,98%	1,29%	25,16%	

15

Transport uitbreiding

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4- eq per ton puin	Energieverbruik in MJ per ton puin	Waterverbruik in m3 per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	5,77E+01	
Stap 2 inladen en transporteren	1,43E+00	2,84E-03	7,17E-04	1,63E+01	
Stap 3 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
Stap 4 inladen en transporteren	1,43E+00	2,84E-03	7,17E-04	1,63E+01	
totaal regulier	3,9645	0,0124	0,0029	54,0853	1,2000
30 km regulier	91,79%	3,23%	4,31%	66,75%	
verschil 30-15	34,48%	1,70%	2,26%	27,30%	

Stap 2C voorbreken	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
Stap 2A inladen en transporteren	1,43E+00	2,84E-03	7,17E-04	1,63E+01	
Stap 3A verondiepen	5,94E-01	3,80E-03	9,44E-04	7,93E+00	
Stap 4A ophoogzand winnen	9,65E-01	6,20E-03	1,42E-03	1,58E+01	1,14E+01
Stap 5A inladen en transporteren	1,32E+00	2,11E-03	5,36E-04	9,23E+00	
totaal alternatief	4,3083	0,0149	0,0036	49,2942	11,4
totaal alternatief + voorbreken	4,9783	0,0200	0,0048	55,7942	11,7800
30 km alternatief	78,70%	2,76%	3,60%	47,40%	
30 km alternatief en voorbreken	61,58%	2,04%	2,68%	39,68%	
verschil 30-15	115,38%	107,14%	107,14%	57,69%	
verschil 30-15 + voorbreken	115,38%	107,14%	107,14%	57,69%	

transport en loader op basis aardgas	Broeikasgas emissie in kg CO2-eq per ton puin
Stap 1 sloop	4,96E+00
Stap 2 inladen en transporteren	4,47E-01
Stap 3 breken	1,10E+00
Stap 4 inladen en transporteren	4,47E-01
totaal regulier	1,9932
	-3,58%
Stap 2C voorbreken	6,70E-01
Stap 2A inladen en transporteren	4,47E-01
Stap 3A verondiepen	5,94E-01
Stap 4A ophoogzand winnen	9,65E-01
Stap 5A inladen en transporteren	3,55E-01
totaal alternatief	2,3609
totaal alternatief + voorbreken	3,0309
Diesel	0,08597108
Gas	0,058299332
	-2,08%
	-1,63%

BIJLAGE V GEVOELIGHEIDSANALYSE GRANULAAT B

90%		Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4-eq per ton puin	Energieverb ruik in MJ per ton puin	Waterver- bruik per ton puin in m3
(Slim)breken 10%						
	Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
	Stap 2 scheiden van materiaal	4,74E-01	3,00E-03	7,44E-04	28,85	
	Stap 3 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	1,26E+01	1,08E
	Stap 4 breken	9,90E-01	6,03E-03	1,35E-03	1,93E+01	+00
	Stap 5 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	1,26E+01	
	Stap 6 beton 100%granulaat	1,70E+02	6,60E-01	9,03E-02	2,24E+03	2,93E +01
	Stap 7 beton 20%granulaat	1,26E+02	5,33E-01	7,51E-02	1,56E+03	2,12E +01
	totaal regulier met 100% granulaat	1,78E+02	7,08E-01	1,02E-01	2,37E+03	3,03E +01
	totaal regulier met 20% granulaat	1,34E+02	5,81E-01	8,69E-02	1,69E+03	2,23E +01
	totaal regulier zonder beton	7,78E+00	4,82E-02	1,18E-02	1,31E+02	1,08E +00
						-
		-1,39%	-1,37%	-1,26%	-1,61%	10,00 %
	Stap 4B voorbreken	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	1,20E +00
	Stap 5B slim breken	2,18E-01	1,19E-03	2,96E-04	2,48E+00	5,40E -01
	Stap 6B laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
	Stap 7B betonproductie	1,18E+02	5,00E-01	7,20E-02	1,43E+03	1,98E +01
	totaal slim breken	1,25E+02	5,45E-01	8,31E-02	1,54E+03	2,15E +01
	totaal slim breken zonder beton	7,30E+00	4,47E-02	1,11E-02	1,13E+02	1,74E +00
		-0,33%	-0,29%	-0,30%	-0,24%	-
						3,33%

90%

Voorbreken

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4-eq per ton puin	Energieverb ruik in MJ per ton puin	Waterverbrui k per ton puin in m3
Stap A1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
Stap 2B voorbreken en scheiden	6,03E-01	4,59E-03	1,08E-03	5,85E+00	3,42E -01
Stap A2 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
Stap A3 verondiepen	5,94E-01	3,80E-03	9,44E-04	7,93E+00	
Stap A4 grind winnen	1,90E+00	8,38E-03	1,95E-03	3,08E+01	3,39E +00
Stap A5 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	1,94E+03	
Stap A6 betonproductie	1,22E+02	5,20E-01	7,48E-02	1,49E+03	2,06E +01
totaal alternatief	1,31E+02	5,68E-01	8,68E-02	3,53E+03	2,40E +01
totaal alternatief zonder beton	8,42E+00	4,89E-02	1,20E-02	2,04E+03	3,39E +00
totaal alternatief met voorbreken	1,31E+02	5,73E-01	8,78E-02	3,53E+03	2,43E +01
totaal alternatief met voorbreken exclusief betonproductie	9,02E+00	5,35E-02	1,31E-02	2,05E+03	3,73E +00
	-0,05%	-0,09%	-0,14%	-0,02%	0,16%
	-0,74%	-0,95%	-0,91%	-0,03%	1,01%

9 0 %	Beton samenstelling de 100% variant heeft 10% minder	Broeikasgas	Verzuring in	Vermesting in	Energieverbr	Waterverbr
		emmissie in kg CO2-eq per ton puin	kg SO2-eq per ton puin	kg PO4-eq per ton puin	uik in MJ per ton puin	uik per ton puin in m3
	Stap 1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
	Stap 2 scheiden van materiaal	4,74E-01	3,00E-03	7,44E-04	28,85	
	Stap 3 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	1,26E+01	
	Stap 4 breken	1,10E+00	6,70E-03	1,50E-03	2,14E+01	1,20E+00
	Stap 5 laden en transporteren	6,76E-01	3,86E-03	9,59E-04	1,26E+01	
	Stap 6 beton 100%granulaat	1,89E+02	7,33E-01	1,00E-01	2,49E+03	3,25E+01
	Stap 7 beton 20%granulaat	1,26E+02	5,33E-01	7,51E-02	1,56E+03	2,12E+01
	totaal regulier met 100% granulaat	1,97E+02	7,82E-01	1,12E-01	2,62E+03	3,37E+01
	totaal regulier met 20% granulaat	1,34E+02	5,82E-01	8,70E-02	1,70E+03	2,24E+01
	totaal regulier zonder beton	7,89E+00	4,88E-02	1,19E-02	1,33E+02	1,20E+00
		10,62%	10,35%	9,81%	10,49%	10,67%
	Stap 4B voorbreken	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	1,20E+00
	Stap 5B slim breken	2,42E-01	1,32E-03	3,28E-04	2,76E+00	6,00E-01
	Stap 6B laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
	Stap 7B betonproductie	1,18E+02	5,00E-01	7,20E-02	1,43E+03	1,98E+01
	totaal slim breken	1,25E+02	5,45E-01	8,31E-02	1,54E+03	2,16E+01
	totaal slim breken zonder beton	7,32E+00	4,49E-02	1,11E-02	1,13E+02	1,80E+00

50 0%		Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	Verzuring in kg SO2-eq per ton puin	Vermesting in kg PO4-eq per ton puin	Energieverbr uik in MJ per ton puin	Waterverbr uik per ton puin in m3
	Verondiepen					
	Stap A1 sloop	4,96E+00	3,14E-02	7,78E-03	57,7	
	Stap 2B voorbreken en scheiden	6,70E-01	5,10E-03	1,20E-03	6,50E+00	3,80E-01
	Stap A2 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	5,52E+00	
	Stap A3 verondiepen	2,97E+00	1,90E-02	4,72E-03	3,96E+01	
	Stap A4 grind winnen	1,90E+00	8,38E-03	1,95E-03	3,08E+01	3,39E+00
	Stap A5 laden en transporteren	4,84E-01	2,65E-03	6,57E-04	1,94E+03	
	Stap A6 betonproductie	1,22E+02	5,20E-01	7,48E-02	1,49E+03	2,06E+01
	totaal alternatief	1,33E+02	5,84E-01	9,05E-02	3,56E+03	2,40E+01
	totaal alternatief zonder beton	1,08E+01	6,41E-02	1,58E-02	2,07E+03	3,39E+00
	totaal alternatief met voorbreken	1,34E+02	5,89E-01	9,17E-02	3,57E+03	2,43E+01
	totaal alternatief met voorbreken exclusief betonproductie	1,15E+01	6,92E-02	1,70E-02	2,08E+03	3,77E+00
		1,82%	2,67%	4,35%	0,90%	0,00%

Energie drager Stap 3 en 5 zijn nu op basis aardgas

Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton puin	
Stap 1 sloop	4,96E+00
Stap 2 scheiden van materiaal	4,74E-01
Stap 3 laden en transporteren	6,63E-01
Stap 4 breken	1,10E+00
Stap 5 laden en transporteren	6,63E-01
Stap 6 beton 100%granulaat	1,70E+02
Stap 7 beton 20%granulaat	1,26E+02
totaal regulier met 100% granulaat	1,78E+02
totaal regulier met 20% granulaat	4,96E+00
totaal regulier zonder beton	7,86E+00
	-0,33%

stap 6B is op basis aardgas	
Stap 4B voorbreken	4,84E-01
Stap 5B slim breken	2,42E-01
Stap 6B laden en transporteren	4,70E-01
Stap 7B betonproductie	1,18E+02
totaal slim breken	1,25E+02
totaal slim breken zonder beton	7,29E+00
	-0,36%

Stap A3 en A5 op basis aardgas	
Energie drager	Broeikasgas emissie in kg CO2-eq per ton puin
Stap A1 sloop	4,96E+00
Stap 2B voorbreken en scheiden	6,70E-01
Stap A2 laden en transporteren	4,47E-01
Stap A3 verondiepen	5,94E-01
Stap A4 grind winnen	1,90E+00
Stap A5 laden en transporteren	4,47E-01
Stap A6 betonproductie	1,22E+02
totaal alternatief	1,31E+02
totaal alternatief zonder beton	8,35E+00
totaal alternatief met voorbreken	1,31E+02
totaal alternatief met voorbreken exclusief betonproductie	9,02E+00
Diesel	0,0859711
Gas	0,0582993
	-0,88%
	-0,81%

BIJLAGE VI GEVOELIGHEIDS ANALYSE HOUT

110% Versnipperen

	Broeikasgas emmissie in kg CO2- eq per ton hout	Verzuring in kg SO2-eq per ton hout	Vermesting in kg PO4-eq per ton hout	Energiever- bruik in MJ per ton hout
Stap 2 versnipperen	8,78E+00	5,56E-02	1,38E-02	1,02E+02
Stap 3 inladen en transporteren	1,76E-01	3,43E-05	1,07E-05	1,58E+00
Stap 4 verbranden tbv energieopwekking	0	0	0	-11340,034
totaal regulier	8,96E+00	5,56E-02	1,38E-02	-1,12E+04
	9,78%	9,99%	9,99%	-0,08%
Stap A2 inladen en transporteren	1,75E+00	9,99E-03	2,48E-03	1,83E+01
Stap A3 verondiepen	-1,83E+03	-1,52E+00	-4,07E-01	1,45E+01
totaal alternatief	-1,83E+03	-1,51E+00	-4,05E-01	3,28E+01

150% Verondiepen

	Broeikasgas emmissie in kg CO2- eq per ton hout	Verzuring in kg SO2-eq per ton hout	Vermesting in kg PO4-eq per ton hout	Energieverbruik in MJ per ton hout
Stap 2 versnipperen	7,98E+00	5,05E-02	1,25E-02	92,88
Stap 3 inladen en transporteren	1,76E-01	3,43E-05	1,07E-05	1,58E+00
Stap 4 verbranden tbv energieopwekking	0	0	0	-11340,034
totaal regulier	8,16E+00	5,06E-02	1,25E-02	-1,12E+04
Stap A2 inladen en transporteren	1,75E+00	9,99E-03	2,48E-03	1,83E+01
Stap A3 verondiepen	-1,83E+03	-1,52E+00	-4,07E-01	2,17E+01
totaal alternatief	-1,83E+03	-1,51E+00	-4,04E-01	4,01E+01
	-0,03%	-0,22%	-0,20%	22,06%

Energie drager transport op basis aardgas

	Broeikasgas emmissie in kg CO2-eq per ton hout
Stap 2 versnipperen	5,41E+00
Stap 3 inladen en transporteren	1,19E-01
Stap 4 verbranden tbv energieopwekking	0
totaal regulier	5,53E+00
	-32,19%
Stap A2 inladen en transporteren	1,69E+00
Stap A3 verondiepen	-1,83E+03
totaal alternatief	-1,83E+03
Diesel	0,08597108
Gas	0,058299332
	0,00%