

Olivijn legt CO₂ vast in de gemeente Rotterdam

**Mogelijkheden voor praktijktoepassingen
en klimaatdoelstellingen**



Olivijn legt CO₂ vast in de gemeente Rotterdam

**Mogelijkheden voor praktijktoepassingen
en klimaatdoelstellingen**

Dianne den Hamer
Jos Vink

1206650-000

Titel

Olivijn legt CO₂ vast in de gemeente Rotterdam

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Greensand Civiel BV Van Dijk Maasland BV	1206650-000	1206650-000-BGS-0007	55

Trefwoorden

CO₂, eco-engineering, klimaat, kooldioxide, olivijn, substraten, verwerking.

Samenvatting



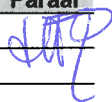
Voorliggende studie is uitgevoerd om de praktijktoepassingen van olivijn in kaart te brengen ten behoeve van de klimaatdoelstellingen van de gemeente Rotterdam. Deze doelstellingen zijn verwoord in het *Rotterdam Climate Initiative*. Het mineraal olivijn kan hierbij een rol spelen vanwege zijn eigenschap om kooldioxide (CO₂) uit de atmosfeer vast te leggen. Olivijn is een silicaatmineraal dat in grote hoeveelheden op aarde voorkomt. Het vermogen om kooldioxide te binden is vrij hoog (1 kg olivijn bindt maximaal 1,25 kg CO₂), maar is afhankelijk van de korrelgrootte en de omgevingsomstandigheden waarin het wordt toegepast.

Er is onderzocht wat de haalbaarheid en effectiviteit is van de toepassing van olivijn binnen groene en infrastructurele werken in de gemeente Rotterdam. Zes concrete toepassingen zijn uitgewerkt: bomenzand, dresszand, dak substraat, brekerzand, halfverharding en strooizout. Voor elke toepassing zijn zo nauwkeurig mogelijk de volumes bepaald die de gemeente Rotterdam van het betreffende product verbruikt. Vervolgens is berekend hoeveel en in welke samenstelling het olivijn kan worden aangewend zonder verlies van functionaliteit van het oorspronkelijke materiaal. Hierbij is gebruik gemaakt van een rekenmodel, waarbij onder meer de korrelgrootte en de omgevingscondities zijn verdisconteerd voor het bepalen van de verwerkingssnelheid. De resultaten geven per toepassing de netto CO₂ vastlegging weer in ton per jaar, waarbij ook de compensatie van de jaarlijkse uitstoot van het aantal personenauto's is weergegeven.

De mogelijkheden voor praktijktoepassing van olivijn wordt mede bepaald door het algemene juridisch kader waarbinnen deze wordt beoordeeld. Zo lijken de mogelijkheden voor toepassingen onder het Besluit Bodemkwaliteit (bijmenging in of toepassingen op grond) beperkter dan toepassingen als bouwstof (groene daken, halfverharding e.d.). Dit heeft vooral te maken met het gehalte aan nikkel in olivijn en de terugneembaarheid van de toepassing. De mogelijkheden voor het ontwikkelen van locatiespecifiek beleid is in deze studie buiten beschouwing gelaten.

Referenties

Den Hamer, D., J.P.M. Vink, 2012. Olivijn legt CO₂ vast in de gemeente Rotterdam. Mogelijkheden voor praktijktoepassingen en klimaatdoelstellingen. Deltares rapport 1206650-000-BGS-0007 Utrecht.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	15 nov. 2012	Dianne den Hamer		Harry Veld		Hilde Passier	
		Jos Vink					

Status

definitief

Titel

Olivijn legt CO2 vast in de gemeente Rotterdam

Opdrachtgever

Greensand Civiel BV
Van Dijk Maasland BV

Project

1206650-000

Kenmerk

1206650-000-BGS-0007

Pagina's

54

Inhoud

1	Introductie	1
2	Olivijn verwerking: mechanismen en effecten	3
2.1	Factoren van invloed op verwerking van olivijn	4
2.2	Factoren van invloed op het rendement van CO ₂ vastlegging	4
2.3	Neveneffecten	4
2.4	De waarde van vastgelegd CO ₂	5
3	Kennis en ervaring uit praktijkonderzoek	7
4	Toepassingen binnen gemeente Rotterdam	11
4.1	Olivijn toegepast in substraten – GROEN	11
4.2	Olivijn in straatwerken en wegenbouw – GRIJS	13
4.3	Olivijn toegepast in strooizout	15
4.4	Kosten-baten analyse	17
5	Relevante wetgeving	19
6	Kansen voor olivijn binnen gemeente Rotterdam	21
6.1	Kansen binnen gemeente Rotterdam	22
6.2	'No regret' toepassingen als opstap naar de toekomst	22
6.3	Internationale kansen	23
	Referenties	25
	Bijlage 1 Rendementverlies door winning, malen en transport	29
	Bijlage 2 De waarde van CO₂	31
	Bijlage 3 Rekenmodel life cycle assessment olivijn	33
	Bijlage 4 Verweringsgraad en rendement van toepassingen	35
	Bijlage 5 Uitgangspunten toepassingen in de Groene en Grijs sector	39
	Bijlage 6 Berekeningen efficiency CO₂ binding per jaar en per 50 jaar	51
	Bijlage 7 Emissiefactoren per toepassing	53
	Bijlage 8 Uitlooproeven bouwstof volgens Besluit Bodemkwaliteit	55
	Bijlage 9 Overwegingen binnen de juridische kaders	57

1 Introductie

Fossiele brandstoffen zijn op dit moment de belangrijkste bron van energie en maken circa 85% uit van onze globale energiebehoefte. In de komende 50 tot 100 jaar zullen fossiele brandstoffen een belangrijke rol blijven spelen in onze energie voorziening. De International Energy Agency verwacht voor de komende decennia een toename in energiebehoefte van 57% wereldwijd (IEA, 2004). De uitstoot van CO₂ als gevolg van het gebruik van fossiele brandstoffen vindt op dermate grote schaal plaats dat deze resulteert in een verstoring van de koolstof kringloop, met als resultaat opwarming van de aarde en verzuring van de oceanen. Circa 40% van het CO₂ dat wordt uitgestoten vindt zijn oorsprong in puntbronnen, het overgrote deel echter is van diffuse bronnen. Dit geeft aan dat er niet één totaaloplossing is voor de mondiale CO₂ problematiek, en dat er verschillende typen maatregelen nodig zijn om het CO₂ gehalte in de atmosfeer te stabiliseren of zelfs te reduceren.

De Europese Commissie heeft zich uitgesproken voor een vergaande reductie van broeikasgasemissies, een afname in onze energie behoefte en toename in het gebruik van duurzame en hernieuwbare (energie)bronnen (EC, 2009). Het doel staat bekend als het zogenaamde '20-20-20 *target*'. De ambitie is om een reductie van 20% in 2020 te bewerkstelligen ten opzichte van de uitstoot in 1990. Indien de oplossing enkel is gericht op het reduceren van de CO₂-uitstoot, dan is de kans groot dat deze doelstellingen niet worden gehaald.

Naast een reductie van de antropogene uitstoot van kooldioxide wordt mondiaal ook gekeken naar het inzetten en stimuleren van natuurlijke processen die CO₂ vastleggen. Voorbeelden hiervan zijn het op grote schaal aanplanten van bomen (*forestation*), fertilisatie van de oceanen, en CO₂ opslag in voormalige gas- en olievelden. Deze laatste optie is enkel van toepassing voor puntbronnen en biedt geen definitieve *sink* voor CO₂. Een andere optie is minerale carbonisatie (IPCC, 2005). Dit betreft de verwerking van mineralen (gesteenten) onder invloed van CO₂. Het CO₂ uit de atmosfeer wordt hierbij door het mineraal gebonden en omgezet in stabiele carbonaten ("kalk"). Olivijn is een silicaatmineraal dat in grote hoeveelheden voorkomt en onder de juiste omstandigheden vrij effectief reageert met CO₂. De afgelopen vijf jaar is de toepassing van olivijn voor het vastleggen van CO₂ wetenschappelijk intensief onderzocht, voornamelijk op industriële schaal (bij hoge temperatuur en druk) maar ook bij toepassing onder atmosferische omstandigheden. Deze laatste onderzoeken zijn van belang voor het toepassen van olivijn op praktijkschaal binnen de gemeente Rotterdam.

Klimaatdoelen van gemeente Rotterdam in het Rotterdam Climate initiative.

De gemeente Rotterdam erkent dat het als industrie- en havenstad een bijdrage kan leveren aan het beperken van de CO₂ uitstoot en gehalten in de atmosfeer. Hiertoe heeft de gemeente Rotterdam in samenwerking met het Havenbedrijf Rotterdam NV, DCMR Milieudienst Rijnmond en Deltalinqs, het ambitieuze klimaat programma *Rotterdam Climate Initiative* opgezet. De doelstelling van het programma is om 50% CO₂ reductie te bewerkstelligen in 2025 te opzichte van het referentiejaar 1990. Dit betekent dat de gemeente Rotterdam in het jaar 2025 een reductie van een kleine 30 miljoen ton CO₂ voor ogen heeft, waarvan 10 miljoen ton CO₂ zal moeten worden afgevangen of op enigerlei wijze zal worden gecompenseerd (RCI, 2007). Het toepassen van olivijn voor het vastleggen van CO₂ binnen groene en infrastructurele werken is een van de mogelijkheden die de gemeente Rotterdam wil onderzoeken. Gezien de urgentie, de klimaatdoelstellingen en de levensduur van groene

en infrastructurele werken, wordt de effectiviteit van olivijn om CO₂ vast te leggen in dit rapport geëvalueerd over een periode van 50 jaar. De toepassing van olivijn dient zogezegd rendabel te zijn binnen deze periode.

Doelstelling en structuur rapportage

De doelstelling van deze rapportage is drieledig:

1. Het voorzien in 'state of the art' achtergrond informatie: hoe werkt de vastlegging van CO₂ door verwerking van olivijn en wat zijn de resultaten uit lopende praktijktesten?
2. Het omschrijven en evalueren van zes kansrijke toepassingsvormen van olivijn binnen groen- en infrastructurele projecten in de Gemeente Rotterdam.
3. Het inventariseren van de geldende nationale en Europese regelgeving die betrekking kunnen hebben op de praktijktoepassing van olivijn.

Elke doelstelling wordt in een apart hoofdstuk behandeld. Voor deze rapportage zijn nationale en internationale publicaties geraadpleegd. Voor het kwantificeren van de effectiviteit van de praktijktoepassingen is een rekenmodel gebruikt (Knops, 2010) voor het uitvoeren van *life cycle assessments*. Daarnaast zijn er gesprekken gevoerd met leveranciers en producenten van (bodem)materialen.



Gemalen olivijn. Foto: Greensand, 2010.

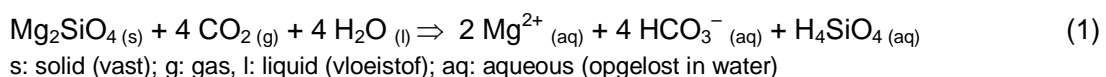
2 Olivijn verwerking: mechanismen en effecten

Olivijn is een van de meest voorkomende mineralen op aarde. Olivijn is een natuurlijke grondstof dat net als kalk, zout en zand oppervlakkig wordt afgegraven of gewonnen uit mijnen. De chemische formule voor het mineraal olivijn is $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$, een magnesium-ijzer-silicaat. De verhouding tussen magnesium en ijzer aanwezig in de minerale structuur varieert per locatie waar het olivijn gewonnen wordt. De gemiddelde samenstelling van winbaar olivijn is 93% forsteriet (Mg-silicaat) en 7% fayaliet (Fe-silicaat).

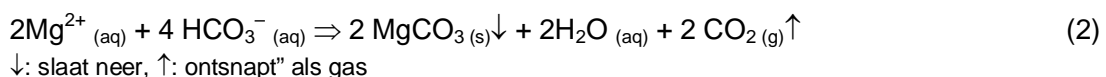
Door de structuur van olivijn is het een van de gevoeligste silicaatmineralen voor verwerking, gevoeliger dan bijvoorbeeld de mineralen veldspaat, mica of plagioklaas. Bij het verweringsproces van olivijn wordt CO_2 onttrokken aan de atmosfeer en vastgelegd in de vorm van bicarbonaat. De verschillende reacties die plaatsvinden bij de verwerking van olivijn worden beknopt beschreven in dit hoofdstuk.

Verwerking vindt plaats aan het blootgestelde oppervlak van het mineraal. Hoe groter het oppervlak dat beschikbaar is (per kilogram olivijn) hoe sneller de verwerking en dus vastlegging van CO_2 zal verlopen. De opnamecapaciteit binnen een bepaald tijdsbestek kan door het fijnmalen van olivijn worden vergroot. De snelheid van binding neemt dus toe, maar de totale hoeveelheid CO_2 dat olivijn kan vastleggen wordt hierdoor niet beïnvloed. Factoren die van invloed zijn op de verweringsnelheid van olivijn, en de neveneffecten die hierbij optreden, staan beschreven in dit hoofdstuk.

De reactie van olivijn, uitgaande van 100% forsteriet, met atmosferisch CO_2 is weergegeven in vergelijking 1:



De vergelijking geeft aan dat per kilogram puur olivijn (forsteriet) er 1,25 kg CO_2 vastgelegd wordt. Het vastleggen van CO_2 gebeurt door de vorming van bicarbonaat. In een ongebufferd systeem leidt de reactie tot een geringe pH verhoging. Een deel van het vastgelegde CO_2 kan weer vrijkomen als het opgeloste bicarbonaat neerslaat met Mg als magnesiet (MgCO_3 , vergelijking 2):



Het nettorendement bij volledige verwerking is in dit geval 0,6 kg CO_2 per kg olivijn. Voor een uitvoerigere beschrijving van de omstandigheden waaronder neerslag plaatsvindt wordt verwezen naar Bakker et al. (2010).

2.1 Factoren van invloed op verwerking van olivijn

Factoren die de verweringsnelheid van olivijn verhogen, versnellen tevens de opname van CO₂ en het vastleggen van CO₂ in bicarbonaat. De verwerking van olivijn wordt bepaald door de pH, het oppervlak per kilogram olivijn (korrelgrootte), de omgevingstemperatuur, en de aanwezigheid van opgelost organische koolstof uitgedrukt als *dissolved organic carbon* (DOC). Een overzicht van invloeden op verweringsnelheid van olivijn is gegeven in Tabel 1. Waarom en hoe deze factoren de verweringsnelheid van olivijn beïnvloeden is uitvoerig beschreven in de literatuur (o.a. Olsen, 2007; Veld et al., 2008; Bakker et al., 2010). De onderzoeksresultaten van veldtoepassingen worden behandeld in Hoofdstuk 4.

Tabel 1. Invloed van omgevingsfactoren op de verwerkingssnelheid van olivijn.

	Veldcondities	Laboratorium
Versnelling verwerking	Organische zuren Schimmels, plantenwortels Korstmossen Erosie, <i>crushing</i> (strand) Temperatuur Zouten	Verhouding CO ₂ , water en olivijn Vergemalen olivijn Hogere CO ₂ druk en concentratie Hoge temperatuur Zouten (met name ammonia)
Vertraging verwerking	Vorming afsluitende ijzeroxidelaaag Vorming silica grenslaag Afwezigheid / lage concentratie CO ₂ Afwezigheid water	Afwezigheid organische zuren Ouder materiaal

2.2 Factoren van invloed op het rendement van CO₂ vastlegging

Er moet rekening worden gehouden met het feit dat bij het winnen en malen van olivijn en het transport van de plaats van winning naar de plaats van toepassing, energie wordt verbruikt waarbij CO₂ vrijkomt. De hoeveelheid CO₂ die vrijkomt bij winning, malen en transport ten opzichte van de hoeveelheid CO₂ die wordt vastgelegd door olivijn gedurende een bepaalde levensduur, wordt het rendement van de toepassing genoemd. Het resultaat is de netto hoeveelheid CO₂ vastgelegd per ton olivijn. In welke mate winning, malen en transport het rendement van CO₂ vastlegging door olivijn verlagen is uitvoerig beschreven in *life cycle assessments* die voor olivijn zijn uitgevoerd. In Bijlage 1 is een samenvatting weergegeven.

2.3 Neveneffecten

Het is mogelijk dat het toepassen van olivijn tot ongewenste of juist gewenste neveneffecten leidt. Ongewenste effecten zijn bijvoorbeeld het mogelijk verstoren van de ecologische toestand door pH verhoging, verandering in alkaliteit en verhoogde concentraties aan zware metalen, met name van nikkel (Bakker et al., 2010). Het effect van pH verhoging kan bijvoorbeeld leiden tot verminderde groei bij driehoeksmosselen en algen, maar heeft een positief effect op (mariene) schaaldieren. Kiezelwieren (diatomeeën) ondervinden positieve effecten van verhoogde silicaconcentraties, terwijl watervlooien mogelijk negatieve effecten ondervinden (Adams, 2006). Magnesium is een essentieel macronutriënt (vooral voor druiven e.d.) en kent nauwelijks negatieve effecten bij verhoogde concentraties. Het risico van het vrijkomen van nikkel is geheel afhankelijk van de omgevingscondities waarin olivijn wordt toegepast en de resulterende (bio)beschikbaarheid. Nikkel is een noodzakelijk sporenelement voor planten en dieren, maar hoge concentraties kunnen tot schadelijke effecten leiden voor aquatische organismen. In laboratoriumproeven met "groene daken" (Walraven, 2011) zijn metingen verricht in het eluaat (percolerend water). Hierbij zijn geen verhoogde nikkelconcentraties aangetroffen.

Diverse bronnen (Knops, 2009; Schuiling & Tickell, 2010; Bakker et al., 2010; Rietra, 2010) noemen positieve neveneffecten zoals het tegengaan van verzuring van bodem en van oceanen, het voorkomen van blauwalgen en het verstevigen van de (water)bodem door een carbonaatneerslag die volgt op het oplossen van olivijn. Tabel 2 geeft een beknopt overzicht

van lokale en mondiale neveneffecten van olivijn – uiteraard naast het beoogde effect van CO₂ vastlegging.

Tabel 2. Neveneffecten van het toepassen van Olivijn.

Lokale neveneffecten van olivijn	Mondiale neveneffecten van olivijn
Emissie van Nikkel (-)	Effecten verhoogde pH en alkaliniteit (+)
Effecten van verhoogde SiO ₂ concentraties (+/-)	
Effecten van verhoogde alkaliteit (+/-)	
Effecten van pH verhoging (+/-)	
Additie van magnesium als essentiële meststof (+)	

2.4 De waarde van vastgelegd CO₂

De kosten van een praktijktoepassing zijn relatief eenvoudig te begroten. Om de baten van olivijn – de binding van kooldioxide uit de atmosfeer – te kwantificeren moet ook deze waarde worden begroot. Er zijn meerdere financiële kaders beschikbaar waarin de monetaire waarde van 1 ton CO₂ wordt vastgesteld (Tabel 3 en Bijlage 2). De waarde van 1 ton CO₂ is echter vrij arbitrair en wordt vooral bepaald door de internationale politiek. Deze reflecteert niet altijd de urgentie van de mondiale CO₂ problematiek. De waarde van 1 ton CO₂ zal evenredig aan het maatschappelijke draagvlak en gevoel van urgentie toenemen. De ‘winst’ in het toepassen van olivijn ten behoeve van klimaatdoeleinden zal op dit moment dus gezocht moeten worden in het invullen van waardevolle nevenfuncties. Nevenfuncties van olivijn zijn bijvoorbeeld het zuur-neutraliserende vermogen (buffering tegen verzuring), het voorzien van magnesium als meststof aan de bodem (Rietra, 2011), het vastleggen van zware metalen (pers. meded. Olaf Schuiling, 2012; Mineralis, 2012), en het functioneren als een granulaire bouwstof (o.a. Movares, 2012).

In Bijlage 2 is een uiteenzetting gegeven van de waardebepaling van CO₂. Een kosten-baten vergelijking is toegevoegd van de producten met olivijn en hetzelfde product zonder olivijn. In deze vergelijking is zowel de nevenfunctie van olivijn als het vastleggen van CO₂ monetair uitgedrukt.

Tabel 3. Financiële kaders ter bepaling van de monetaire waarde van 1 ton vastgelegd CO₂.

Kader	€/ ton CO ₂	Overwegingen
Carbon Credit (EU, 2012)	7	De internationale handelsprijs voor CO ₂ - de zogenaamde <i>carbon credits</i> – is op dit moment erg laag. De prijs is een irreële prijs doordat de markt is oververzadigd met emissierechten.
IPCC (IPCC, 2005)	19 - 23	IPCC concludeert dat <i>Carbon Capture and Sequestration</i> (CCS) systemen pas op significante schaal zullen worden ingezet indien de prijs van een emissierecht 25 tot 30 USD/ton CO ₂ overstijgt.
Nederlandse overheid, 1999 – 2000 (ECN, 1999)	68	De regering heeft in de Uitvoeringsnota Klimaatverandering een basispakket maatregelen voorgesteld waarmee de Kyoto-doelstelling kan worden behaald. Hierbij heeft de overheid een bovengrens gelegd bij €68 per ton CO ₂ -equivalent.
Geurts & Rathman, 2010	40 - 50	Volgens de internationale doelstellingen voor CO ₂ emissiereductie zijn hogere prijzen richting de €40 à €50 nodig om de investeringen in duurzame energie en energiebesparing op gang te brengen in de transitie naar een koolstofarme economie.

3 Kennis en ervaring uit praktijkonderzoek

Het toepassen van olivijn met als doel het vastleggen van CO₂ wordt sinds enkele jaren in de praktijk, onder verschillende veldcondities, getest. Praktijkonderzoek naar de werking van olivijn in Nederland is (tot nu toe) echter beperkt. Op dit moment lopen er drie onderzoeken naar de landbouwkundige werking van olivijn. Momenteel zijn nog niet alle onderzoeksresultaten gepubliceerd of beschikbaar. Om een overzicht te krijgen van de stand van zaken in veld- en laboratoriumonderzoek is er in november 2012 een workshop georganiseerd in Rotterdam met als doel de discussie te voeden over de mogelijkheden en kansen van het toepassen van olivijn voor CO₂ vastlegging. Tabel 4 geeft een overzicht van gepubliceerde praktijk gerelateerde onderzoeksresultaten ten tijde van deze rapportage.

De verwachting is dat deze resultaten meer duidelijkheid zullen bieden over de discrepantie tussen laboratoriummetingen en de waargenomen verweringsnelheden in de praktijk. Het onderzoek van Ten Berge et al. (2012) toont bijvoorbeeld aan dat er bij hoge olivijn dosering een afwijking is tussen onderzoeksresultaten en het model van Olsen (Olsen, 2007).

De toevoeging van olivijn aan de bodem voor landbouwkundige en klimaat doeleinden wordt door Rietra & Bergsma (2012) als positief beoordeeld. Hier wordt de kanttekening gemaakt dat het olivijn met mate wordt toegevoegd om accumulatie van nikkel in plant en bodem te voorkomen. Rietra stelt tevens dat het gebruik van steenmelen (waaronder olivijn) de emissie van CO₂ kan beperken door het vervangen van landbouwkalk. Toepassen van kalk als buffer in de landbouw leidt namelijk tot een CO₂ emissie (RWS, 2010; Rietra, 2011).

In Noorwegen wordt momenteel olivijn in de landbouw daadwerkelijk toegepast als meststof (magnesium en kalk). Er zijn voor zover bekend alleen Noorstalige onderzoeksresultaten beschikbaar.

Tabel 4. Gepubliceerde onderzoeksresultaten van praktijkproeven met olivijn.

Referentie	Doelstellingen	Opzet onderzoek	Resultaten	Vast gelegd CO ₂
Proef Zegsveld (Ter Berge & Van der Meers, 2012)	Verweringsnelheid olivijn en impact op plant en bodem. Het olivijn is relatief fijn gemalen en is verwerkt in de bodem waar intensieve plantengroei plaatsvindt (hoge pH en DOC waarde).	Olivijn poeder toegevoegd aan plant (pot proeven).	Olivijn stimuleert de plantengroei (+15.6%). De concentratie kalium in de plant neemt tevens toe (+16.5%) en verbetert de kwaliteit van de plant. Olivijn verhoogt de beschikbaarheid van magnesium en nikkel in de bodem en de plant. Tevens is er een toename van calcium en silica opname in de plant waargenomen.	Circa 290 tot 2690 kg CO ₂ is er per hectare land vastgelegd. Olivijn concentraties van minimaal 1630 en maximaal 20400 kg per hectare zijn aangebracht.
Bouw materiaal (Movares in opdracht van Prorail, Movares, 2012)	Verweringsnelheid van olivijn, en of olivijn als bouw materiaal geschikt is. Het olivijn is relatief grof en ligt droog op het maaiveld (niet in grondwater).	Olivijn als alternatief voor graniet in een schouwpad. Mengsel van olivijn met Obsidiaan ¹ .	Olivijn en obsidiaan mogen in Nederland als niet-gebonden bouwstof worden toegepast.	Resultaten (nog) niet gepubliceerd. Dit rapport wordt medio November 2012 openbaar.
Landbouw praktijkproef steenmeel (WUR i.s.m. Nova Saxum, Alterra, Arcadis en Provincie Utrecht. Rietra & Bergsma, 2012)	Het toepassen van basische silicaten – waaronder olivijn - als alternatief voor landbouwkalk. Functie als reductie van CO ₂ emissie in de landbouw, als Mg meststof en als zuur neutraliserende stof (buffer).	Naast laboratorium proeven is het olivijn als steenmeel uitgestrooid op een grasland (veengrond) nabij Woerden.	Verminderen van CO ₂ -emissie in landbouw door: a) vervangen van kalk en b) door het vastleggen van CO ₂ door verwerking van het olivijn. Olivijn kan functie van landbouwkalk vervangen, zowel als Mg meststof als zuur neutraliserend vermogen. De proef loopt echter nog maar 1 jaar. Zuur bindend vermogen en Mg afgifte van het olivijn op de lange termijn onder veld condities kan nog niet worden bevestigd. De uitloging van nikkel bepaalt of olivijn als bouwstof voldoet aan de norm (< 0.44 mg Ni/ kg ds). Ten opzichte van de achtergrondwaarde van 35 mg Ni/kg bodem is dit dus toelaatbaar. De uitloging van olivijn als bouwstof in de bodem (beschikbaarheidsproef NEN 7341) is echter 26 mg Ni/ kg bodem. Als meststof stelt Rietra echter dat olivijn niet toelaatbaar is vanwege overschrijding van de norm.	8.6 gew.% van het olivijn is opgelost na 6 maanden. Dit staat gelijk aan een CO ₂ vastlegging van 100 kg CO ₂ / ton olivijn (in 6 mnd). Aanvullend vervangt het olivijn kalk en vindt een CO ₂ reductie plaats. Uitgegaan van pH< 6, is dit gelijk aan circa 130 kg CO ₂ / ton olivijn ² .

¹ Het donkere mineraal obsidiaan werkt onder invloed van de zon temperatuur verhogend, waardoor het verweringsproces van olivijn wordt versneld.

² Berekend met een emissie factor van 0.14 C/CaCO₃ [kg/kg] als uitgangspunt. In het veldexperiment is 2111 kg/ ha kalk en 8333 kg/ha olivijn gebruikt.

4 Toepassingen binnen gemeente Rotterdam

De toepassing van olivijn is geëvalueerd voor zes verschillende scenario's. De selectie van deze scenario's is gebaseerd op de volgende criteria:

1. De toepassing kan in relevante volumes in de gemeente Rotterdam worden uitgevoerd.
2. De toepassing kan naar relevante hoeveelheden worden opgeschaald.
3. Het is civieltechnisch relatief eenvoudig uit te voeren.
4. Olivijn kan als vervanger worden gebruikt van een regulier product.

Voor de zes toepassingen van olivijn is het totaal aan CO₂ dat kan worden vastgelegd berekend. Voor de berekening is een rekenmodel gebruikt (Rekenmodel Plan B CO₂ B.V.; Knops, 2010), dat is afgeleid van een TNO rapportage (Veld et al., 2008) en de publicaties van Olsen (Olsen & Rimsmidt, 2007; Olsen, 2007). In het rekenmodel zijn een aantal aannames gemaakt waaronder:

- 1) de pH wordt bepaald door de partiële CO₂ druk;
- 2) er is voldoende zuurstof aanwezig;
- 3) het type olivijn is 93% Mg₂SiO₄;
- 4) er is geen kalk in het systeem;
- 5) er slaat geen magnesiet (MgCO₃) neer.

Een uitvoerigere beschrijving van het model met de aannames die worden gehanteerd is vermeld in Bijlage 3.

Voor elke toepassingsvorm gelden specifieke condities. De condities die zijn meegenomen in het model zijn: de korrelgrootte van het toegepaste olivijn, de DOC concentratie (*dissolved organic carbon*; een maat voor de concentratie aan organische zuren die aanwezig zijn in omgevingswater door biologische activiteit), de pH en het temperatuurverloop over het jaar. De condities per toepassing zijn vastgesteld op basis van literatuurbronnen en interviews.

De tijdperiode waarover olivijn verweert is afhankelijk van de levensduur van het 'product' waaraan olivijn wordt toegevoegd. Voor civiele werken wordt hier ongeveer 50 jaar voor aangehouden. Voor het behalen van klimaatdoelstellingen is een reductie van de CO₂ uitstoot gedurende de komende 50 jaar noodzakelijk (VPRO, 2012). De berekeningen zijn om deze reden uitgevoerd voor een verweringsperiode van 50 jaar.

In de berekeningen is het rendement bepaald voor de specifiek toepassing, en uiteindelijk uitgedrukt in de netto CO₂ vastlegging per jaar. Het rendement van de toepassingen varieert tussen de 0.14 ton CO₂ per ton olivijn voor brekerzand en 1.09 ton CO₂ per ton olivijn voor groene toepassingen. In Bijlagen 4, 5 en 6 worden overzichten gegeven van de resultaten van de berekeningen. Om het effect van een toepassing in een referentiekader te plaatsen is de hoeveelheid CO₂ die wordt vastgelegd vertaald naar de kooldioxide-uitstoot van een gemiddelde personenauto met een gemiddeld aantal gereden kilometers per jaar (Centraal Bureau Statistiek, 2012).

4.1 Olivijn toegepast in substraten – GROEN

Het effectief binden van CO₂ door verwerking van olivijn is met name kansrijk in de zogenaamd 'groene' sectoren. Onder 'groene' sectoren verstaan we in dit rapport de landbouw, tuinbouw en groenvoorziening in een stad. Voor toepassing in één van de groene sectoren wordt het olivijn onderdeel van een substraat. Substraat producten kunnen

zodoende bijdragen aan de opslag van CO₂ uit de atmosfeer. Voorbeelden van substraten die geschikt zijn in combinatie met olivijn zijn: bomengrond en -zand, dresszand (= bezanding van sportvelden), 'groene' daken en bloembakmengsels.

Aan substraten worden vaak grofkorrelige, minerale fracties toegediend om het substraat enerzijds van een luchtige structuur te voorzien, en anderzijds voor de additie van macronutriënten zoals magnesium, kalium en calcium. Daarnaast wordt soms kalk toegevoegd om een substraat te bufferen en de zuurgraad te neutraliseren. Olivijn kan I) de minerale fractie vervangen, II) magnesium meststof vervangen en III) het kalk vervangen. Zoals reeds vermeld in paragraaf 2.2 en 2.3 komt er magnesium en ijzer vrij bij verwerking van het olivijn mineraal. Olivijn kan dienen als bron voor nutriënten en zou dus kunnen worden beschouwd als meststof of als vervanger van kalk. Het verweringsproces van olivijn verloopt langzamer dan het oplossen van kalk. In vergelijking met kalk is olivijn een minder krachtige buffer, maar met een langere levensduur (zie figuren in Bijlage 4).

Het toevoegen van olivijn aan substraten en het effect op plantengroei is getest door BVB Substrates. Het bijmengen van 20 gew.% olivijn aan grond liet geen negatieve invloed zien op het ontkiemen van zaden en de groei van de plant (BVB Substrates, 2012).

De toepassing van olivijn in een substraat of als meststof in de bodem versnelt in de regel het verweringsproces, zoals eerder is toegelicht. Als meststof is het dan een traag naleverende bron van magnesium.

De volgende toepassingen van olivijn worden in dit hoofdstuk verder uitgewerkt:

- Bomezand;
- Dresszand;
- Substraat voor 'groene daken'.

In totaal gebruikt de gemeente Rotterdam ca. 20.000 ton aan substraten per jaar. Zie Tabel 5 voor een overzicht van de volumes per toepassing.

Tabel 5. Uitgangspunten toepassingen van Olivijn in de Groene sector.

	Bomezand	Dresszand	Dak substraat
Omschrijving Toepassing	Teelgrond geschikt voor boom in verharding	Bezanden van golfbanen en sportvelden	Beplanten van platte daken
Volume per jaar binnen Gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	15.000 m3 NL 300.000 m3	5.000 m3 NL 100.000 m3	4.000 m3 NL 80.000 m3
Frequentie gebruik	1 malig (per boom)	Elk voorjaar	1 malig (per plat dak)
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20%	20%	20 gew.% van de substraat laag
Compartiment [-]	Diepe wortelzone (verhard maaiveld) 20 – 1000 cm - MV	Ondiepe wortelzone (onverhard maaiveld) < 20 cm - MV	Ondiepe wortelzone (onverhard maaiveld) < 30 cm - MV
Water [-]	Onverzadigde zone Regenwater, geen grondwater Geen goede drainage	Onverzadigde zone Regenwater en grondwater Goede drainage	Onverzadigde zone Regenwater en grondwater Drainage van laag. Sterk wisselende omstandigheden.

Aanvulling 1: Zie Bijlage 5 voor detaillering en bronvermelding.

Aanvulling 2: Een verweringsperiode van 50 jaar is aangehouden voor alle toepassingen.

Bomenzand is een zandmengsel voor bomen geplaatst in een verharding. De zandlaag functioneert als een draagkrachtige onderlaag voor de verharding om verzakkingen tegen te gaan. Daarnaast dient het ook goed doorwortelbaar en voedend te zijn voor de boom. Dresszand is een homogeen fijn zand dat wordt uitgestrooid op sportvelden en golfbanen om verschraving van de bodem tegen te gaan. Dresszand en bomenzand dienen vrij toepasbaar te zijn in of op de bodem in woon- en/of industriegebieden. Hiertoe zal het substraat moeten voldoen aan de samenstellingswaarden van schone of licht verontreinigde grond. In hoofdstuk 5 worden deze milieuaspecten en juridische kaders verder behandeld.

Naast bomenzand en dresszand kan olivijn geïntegreerd worden in de bedekking van platte daken. Platte daken kunnen in steden gebruikt worden als oppervlak voor plantengroei. Voor de aanleg van deze 'groene daken' wordt substraat gebruikt ('dak substraat'), waarbij olivijn kan dienen als alternatief voor grind bij het ballasten van daken (olivijndak) of als onderdeel van de dakbedekking zelf (olivijn leislag).

Effectiviteit van olivijn in Groene toepassingen

Tabel 6 geeft een overzicht van de resultaten uitgevoerd bij pH 4.5. De resultaten voor de overige pH condities zijn weergegeven in Bijlage 4. Per product waarin olivijn kan worden toegepast is berekend hoeveel CO₂ – bruto en netto - door de maatregel per jaar wordt vastgelegd. Verdragende processen welke mogelijk het verweringsproces van olivijn in de tijd doen afnemen zijn niet meegenomen in deze berekeningen. In Bijlage 3 is een overzicht gegeven van deze afwegingen.

Voor de omrekening van de bruto waarde CO₂ vastlegging naar de netto waarde is een rendement aangehouden van 94.4%, hetgeen is berekend uit rendementsverliezen door winning (-0.33%), malen (-1.20%), en transport vanuit een bron uit Noorwegen (-3.50%). Daarnaast is een correctie voor de puurheid van olivijnsteen aangehouden (factor 1.1). Voor een gedetailleerde motivatie van deze percentages en de berekening van de waarden zoals vermeld in Tabel 6, wordt verwezen naar Bijlage 4, Bijlage 5 en Bijlage 6.

Tabel 6. Effectiviteit van olivijn in de 'groene' toepassingen bij pH 4.5.

Eenheid	Bomenzand	Dresszand	Dak substraat
Schatting effectiviteit maatregel binnen gemeente Rotterdam			
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	5 929	2 034	2 691
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	5 544	1 902	2 516
Compensatie personen auto per jaar	2 132	732	968
Schatting effectiviteit maatregel binnen Nederland			
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	118 575	40 688	32 290
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	110 881	38 047	30 194
Compensatie personen auto per jaar	42 646	14 634	11 613

4.2 Olivijn in straatwerken en wegenbouw – GRIJS

Onder de 'grijze' sector verstaan we in dit rapport de infrastructuur binnen een stad of gemeente. Infrastructuur is een sector waarbinnen de gemeente Rotterdam per jaar grote volumes aan zandachtige materialen verbruikt, voor bijvoorbeeld de aanleg van wegen of industrie- en woongebieden. In principe kan olivijn toegepast worden als vervanging van zand. Het moet daarvoor voldoen aan bepaalde specificaties afhankelijk van het type werk zoals de pakkingsdichtheid, de doorlatendheid, en de maximale verdichtinggraad die kan

worden bereikt. Stabiliteitseigenschappen worden onder meer bepaald door de hoekigheid van de korrel. In relatie tot de verwerkingssnelheid van olivijn is de diepte waarop de toepassing plaatsvindt van belang, vanwege de beschikbaarheid van CO₂ en de mate van interactie met het grondwater.

Brekerzand wordt gebruikt in straatwerk. Dit kan zijn voor het invullen van voegen (laag van 4 à 5 cm op het zandbed) en voor het mengen in het zandbed zelf (laag 20 tot 40 cm). Brekerzand bestaat uit gebroken steen of betonresten en heeft een hoekige korrel. Deze hoekige korrel zorgt ervoor dat het zandbed 'sterker' wordt. Olivijn kan voor 100% het gebroken steen vervangen, aangezien olivijn een hoekige korrel heeft en het tot de gewenste korrelverdeling gemalen kan worden. Doordat de hoekigheid naar verwachting zal afnemen vanwege verwerking zal deze toepassing waarschijnlijk in combinatie met regulier brekerzand moeten worden uitgevoerd.

Een andere mogelijkheid is het toevoegen van een fijne fractie olivijn aan bijvoorbeeld grind of schelpen die als halfverharding worden gebruikt. De toe te voegen fractie olivijn is (arbitrair) gesteld op 50%. Een halfverharding is een toplaag en creëert meer draagkracht voor de onderliggende bodem. Halfverhardingen zijn relatief goedkope werken die dienen als toplaag van fietspaden en wandelpaden.

De condities waaronder olivijn verweert zijn voor brekerzand en halfverharding vergelijkbaar, hetgeen is weergegeven in Tabel 7. Voor het olivijn dat is toegepast als brekerzand is dezelfde korrelgrootte aangehouden als dat van brekerzand. Voor de halfverharding is dezelfde korrelgrootte aangehouden als voor toepassing van olivijn in substraat.

Tabel 7. Uitgangspunten toepassingen van Olivijn in de 'grijze' sector.

Parameter	Brekerzand	Halfverharding
Omschrijving toepassing	Invullen van voegen en oppervlakte behandeling in verkeersgebieden	Creëren van meer draagkracht voor fiets- en wandelpaden
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	14.500 m ³ NL: 500.000 m ³	12.000 m ³ NL: 240.000 m ³
Frequentie aanbrengen per 50 jaar	éénmalig	1 x per 5 jaar
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	100%	50%
Compartiment [-]	Maaiveld (verhard maaiveld) en toplaag bodem 20 cm – 1000 cm - MV	Maaiveld (verhard maaiveld) 20 - 0 cm + MV
Water [-]	Niet in bodem, enkel regenwater. Zeer goede doorspoeling van laag.	Niet in bodem, enkel regenwater. Zeer goede doorspoeling van laag.
pCO ₂ [%]	0.035% atmosferisch	0.035% atmosferisch
pH [-]	7 – 7.5	5.0 - 6.5
DOC [mg C/l]	Laag (0-5)	Laag (0-5)
Temperatuur [oC]	Gelijk aan bodemtemperatuur (10 -12 °C)	Luchttemperatuur KNMI aangehouden (2.8 tot 17.4 °C)

Aanvulling 1: Zie Bijlage 5 voor details en bronvermelding.

Aanvulling 2: Een verweringsperiode van 50 jaar is aangehouden voor alle toepassingen.

Effectiviteit van olivijn in Grijs toepassing

Tabel 8 geeft een overzicht van de resultaten bij pH 7 voor brekerzand en pH 6.5 voor een halfverharding. De verweringsgraad van olivijn als functie van de pH is grafisch weergegeven in Bijlage 4.

Per product waarin olivijn kan worden toegepast is berekend hoeveel CO₂ bruto en netto door de maatregel per jaar wordt vastgelegd. Vertragende processen die mogelijk het verweringsproces van olivijn in de tijd doen afnemen zijn niet meegenomen in deze berekeningen. Zie Bijlage 3 voor overzicht van deze afwegingen.

Voor de omrekening van de bruto waarde CO₂ vastlegging naar de netto waarde is een rendement aangehouden van 95.20%. Dit is berekend uit: - 0.33% voor winning, -0.47% voor het malen bij de toepassing halfverharding of -0.51% bij de toepassing brekerzand, -3.50% voor transport vanuit Noorwegen en een correctie voor de puurheid van olivijnsteen (factor 1.1). Voor een gedetailleerde motivatie van deze percentages wordt verwezen naar Bijlage 4, Bijlage 5 en Bijlage 6.

Tabel 8. Effectiviteit van olivijn in 'grijze' toepassingen.

Eenheid	Brekerzand	Halfverharding
Schatting effectiviteit maatregel binnen Gemeente Rotterdam		
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	3 950	3 379
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	3 759	3 217
Compensatie personen auto per jaar	1 446	1 237
Schatting effectiviteit maatregel binnen Nederland		
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	136192	78 843
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	129 606	75 068
Compensatie personen auto per jaar	49 849	28 872

4.3 Olivijn toegepast in strooizout

Gladheid op wegen wordt bestreden door het strooien van zout met eventueel een fractie aan onoplosbare vaste delen (steengruis). Strooimiddelen worden daartoe onderverdeeld in stroefmakende middelen en dooimiddelen. In Nederland worden dooimiddelen het meest gebruikt en dan voornamelijk natriumchloride (NaCl). Als bron voor natriumchloride wordt in Nederland voornamelijk vacuümzout gebruikt. De winter van 2009 – 2010 heeft duidelijk gemaakt dat vacuümzout ook in Nederland een schaars goed kan zijn. Voor relatief kleine afnemers van zout, zoals gemeenten met wegen die een lage prioriteit hebben in de landelijke gladheidbestrijding, kan olivijn een al dan niet deels vervangende functie hebben van vacuümzout. In deze paragraaf wordt onderzocht of olivijn toevoeging aan strooizout een meerwaarde oplevert en praktisch uitvoerbaar is.

De stroefheid die kan worden bewerkstelligd zal sterk toenemen door het bijmengen van olivijn aan vacuümzout. De smeltpaciteit van het strooizout zal vanzelfsprekend lager worden. Stroefmakende middelen worden voornamelijk gebruikt in gebieden met langdurige en strenge winters (o.a. Noord- en Oost-Europa). Bij temperaturen $\leq -10^{\circ}\text{C}$ is de smeltwerking van natriumchloride namelijk erg gering, en zand wordt dan toegevoegd of gestrooid (Akzo Nobel, 2010). Daarnaast zijn verkeersbewegingen noodzakelijk voor het mengen van het zout met sneeuw van het wegdek om het dooiproces te versnellen (Terpstra et al., 2011). Daarbij moet worden opgemerkt dat olivijn als strooimateriaal enkel geschikt is voor niet-poreuze wegbedekking. Toepassing op zeer open asfalt beton (zoab) is dus geen optie.

Een ander neveneffect van het bijmengen met of vervangen van vacuümzout met olivijn, is dat de milieubelasting van chloride wordt verlaagd. Strooizout zorgt door het hoge chloride gehalte voor een hoge milieubelasting van ondiepe grondwaterlagen en is bovendien sterk corrosief (Manen en Oosterwegel, 2009). Op voorwaarde dat de smeltcapaciteit van strooizout met olivijn voldoende is, en enkel wordt toegepast bij niet poreuze wegdekken, kan het strooizout verdund worden met circa 10 – 20% gew. Olivijn (zie Bijlage 5).

De effectiviteit waarbij olivijn verwerkt in strooizout CO₂ kan vastleggen is onder meer afhankelijk van de verweringscondities gedurende 50 jaar. De verweringsomstandigheden over deze periode wijken af van de condities die gelden tijdens het aanbrengen van het strooizout. Bij temperaturen van -10⁰C is de verweringsnelheid laag. Bij het strooien blijft een deel achter op de bestrating maar zal een deel ook terecht komen in de berm en, indien aanwezig, in de riolering. Voor deze twee verschillende verweringscondities zijn twee scenario's opgenomen. Tabel 9 geeft een overzicht van de verweringsomstandigheden die zijn gebruikt voor de berekening ton CO₂ afgevangen per ton strooizout gemengd met olivijn.

Tabel 9. *Uitgangspunten olivijn toegepast in strooizout.*

	Strooizout in berm	Strooizout in riolering
Omschrijving Toepassing	Stroefmakend middel	
Volume per jaar binnen Gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	585 – 877	
Frequentie gebruik	Circa 60 keer per jaar	
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20 gew. %	
Fijnheid korrels [µm]	5% < 0.16 mm; 80% ≥ 0.20 mm en ≤ 0.45 mm; 1% > 1 mm	
Compartiment [-]	(Verhard) maaiveld, 20 - 0 cm + MV	Rioleringsstelsel
Water [-]	Niet verwerkt in de bodem dus enkel regenwater	Rioolwater
pCO ₂ [%]	> 0.035% atmosferisch. Verhoogd door verteren van plantenresten in de berm	> 0.035% atmosferisch. Verhoogd door afbraak organisch materiaal in rioolstelsel
pH [-]	5	6.5
DOC [mg C/l]	circa 100	circa 40 - sterk variabel
Temperatuur [°C]	In toplaag bodem, ondiep grondwater (9 – 16 °C)	Circa 6.6 tot 20.9 °C

Aanvulling 1: Zie Bijlage 5 voor details en bronvermelding.

Aanvulling 2: De verblijftijd van olivijn in het riool zal in de orde van maanden tot een jaar zijn i.p.v. 50 jaar. Na het afscheiden van de zandfractie door slib verwerkingsbedrijven heeft het waarde als een bouwstof, en kan het olivijn op die manier opnieuw worden toegepast. Het verweringsproces is afhankelijk van deze nieuwe condities.

Effectiviteit van olivijn in strooizout

Tabel 10 geeft een overzicht van de resultaten bij pH 5 voor bermcondities en pH 6.5 voor riolering condities. De verweringsgraad van olivijn als functie van de pH is grafisch weergegeven Bijlage 4. Per toepassing is berekend hoeveel CO₂ bruto en netto jaarlijks wordt vastgelegd. Verdragende processen (bijvoorbeeld beschikbaarheid van CO₂ en water), die mogelijk het verweringsproces van olivijn in de tijd doen afnemen, zijn niet meegenomen in deze berekeningen. Zie Bijlage 3 voor overzicht van deze afwegingen.

Er is een schatting gedaan van de fractie olivijn die afstroomt naar het rioleringsstelsel, en ook de fractie die achterblijft in voegen van straatstenen of in de berm. Tabel 10 laat de effectiviteit zien voor beide gevallen; 100% van het olivijn uitgestrooid op het wegdek komt ofwel in de berm terecht ofwel volledig in het rioleringsstelsel. De verschillen zijn niet erg groot, en worden voornamelijk veroorzaakt door de heersende pH en temperatuur onder de verschillende condities.

Gemeente Rotterdam heeft in het jaar 2010 – 2011, 2600 ton strooizout gebruikt. In het jaar 2009 – 2010 was dit 7100 ton strooizout (Gemeente Rotterdam, 2012). Het uitgangspunt voor de berekening is verbruik van 3654 ton strooizout per winter, waarvan de helft geschikt is voor het bijmengen met olivijn. Zie Bijlage 5 voor een uitwerking van deze schatting. Indien we uitgaan van een stort gewicht van vacuümzout van 1.25 ton/m³ (Akzo Nobel, 2005) dan staat 20 gew.% bijmengen van olivijn in vacuümzout gelijk aan een toevoeging van 250 kg olivijn per ton strooizout. Voor de verschillende condities van berm en riool zijn twee verschillende berekeningen gemaakt (zie Tabel 9 voor de condities). Voor de omrekening van de bruto waarde CO₂ vastlegging naar de netto waarde is een rendement aangehouden van 95.1%. Voor de berekeningswijze zie Bijlage 4, 5 en 6.

Tabel 10. Effectiviteit van olivijn verwerkt in strooizout.

Eenheid	Olivijn verwerking in berm condities	Olivijn verwerking in riolering/ RWZI condities
Schatting effectiviteit maatregel binnen Gemeente Rotterdam		
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	130	143
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	123	136
Compensatie personen-auto per jaar	47	52
Schatting effectiviteit maatregel binnen Nederland		
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – bruto	1022	1250
ton CO ₂ per jaar vastgelegd – netto	972	1 189
Compensatie personen-auto per jaar	374	457

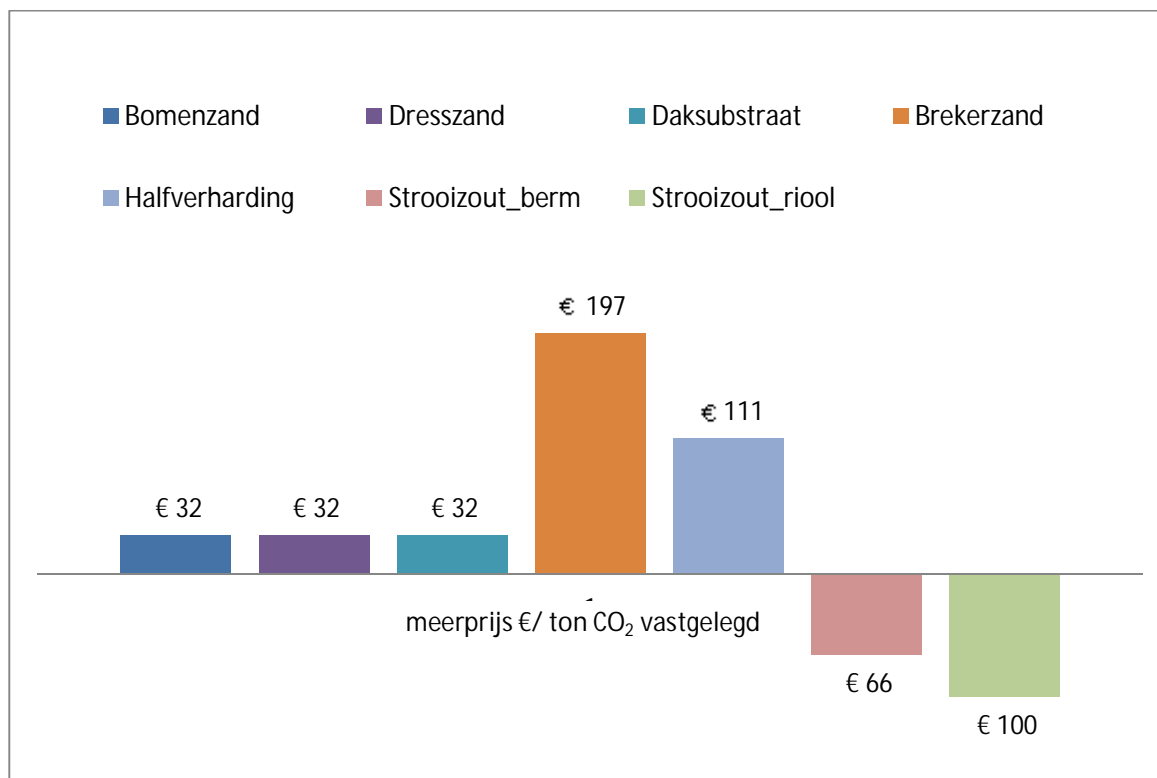
Olivijn komt via de riolering ook in rioolwater zuivering installaties (RWZI) terecht. Schuiling rapporteert dat RWZI's a) de verwerking van olivijn versnellen door combinatie van relatief hoge temperaturen en pH waarden die verlaagd kunnen zijn door verhoogde microbiologische activiteit (methode om afvalwater te zuiveren), en b) het olivijn een positieve werking kan hebben op de afvalwaterzuivering door het laten neerslaan van zware metalen door pH verhoging (Schuiling, 2011; 2012).

4.4 Kosten-baten analyse

Er is een kosten-baten analyse uitgevoerd voor alle genoemde toepassingen van olivijn. In de berekeningen zijn de emissiefactoren van olivijn en het materiaal dat vervangen wordt door olivijn meegenomen. De emissiefactoren en een overzicht van de berekeningen is toegevoegd in Bijlage 7. In de aangehouden grondstofprijs voor olivijn (50 €/ ton) ontbreekt nog de factor *economy of scale*: dit houdt in dat bij een verhoogde vraag naar olivijn voor dit soort toepassingen de prijs van olivijn zal dalen.

De resultaten zijn grafisch weergegeven in Figuur 1. Hieruit blijkt dat er toepassingen zijn die (licht) hoger uitpakken in totale kosten, en toepassingen die goedkoper worden na toepassing

met olivijn. Hierbij moeten een aantal zaken worden opgemerkt: Allereerst betreft het hier een zuiver financiële analyse, waarbij de bijdrage aan klimaatdoelen niet in beeld zijn gebracht. Bovendien hebben deze resultaten betrekking op de doelperiode van vijftig jaar, terwijl de CO₂-bindende capaciteit van olivijn nog langer doorloopt. Daarnaast is een te verwachten oplopende (mondiale) handelsprijs voor CO₂ niet verdisconteerd in de analyse.



Figuur 1. Meer- of minderkosten per ton vastgelegd CO₂ voor de verschillende producten.

Zoals reeds toegelicht zijn deze kosten berekend voor een periode van 50 jaar. In Bijlage 4.3, Figuur B4-3, zijn de resultaten van deze meerkosten voor brekerzand weergegeven voor periodes variërend van 10 tot 250 jaar.

5 Relevante wetgeving

Olivijn is een natuurlijk mineraal en komt wereldwijd in grote hoeveelheden voor in de aardkorst – ook aan de oppervlakte. Olivijn bevat echter ook de zware metalen nikkel en in mindere mate chroom, kobalt, zink en koper (Kierzack et al., 2007; Bakker et al., 2010). Milieurisico's van deze metalen, die (zeer traag) vrijkomen bij de verwerking van olivijn moeten worden gerelateerd aan het type toepassing en de daarbij behorende juridische kaders.

Vigerende regelgeving voor toepassing van olivijn in Nederland zoals omschreven in Hoofdstuk 4 is de Wet bodembescherming (Wbb) en de Wet milieubeheer (Wmb). Het Besluit Bodemkwaliteit, de Waterwet en de Meststoffenwet zijn hieruit afgeleid. Tabel 11 geeft een overzicht hoe olivijn past binnen de huidige regelgeving. Deze tabel is tot stand gekomen na overleg met DCMR milieudienst Rijnmond (pers. comm. Anton Roeloffzen). Voor dit schema is een aanname gemaakt met betrekking tot de gemiddelde samenstelling van olivijn van 3.000 mg Ni per kg droge stof olivijn (Bakker et al., 2010). Bijlage 9 geeft een uiteenzetting van de overwegingen met betrekking tot het juridisch kader per type toepassing.

Tabel 11. Overzicht van relevante regelgeving voor toepassing van olivijn.

Toepassing als:	Juridisch kader	Subkader	Functie	Waarde
Meststof	MeststoffenWet	Anorganische minerale meststof, alternatief voor kalkmeststof	pH neutraliserende werking en magnesium (micronutriënt)	Gew.% toediening onduidelijk. Erkenning Ministerie Landbouw voorwaarde.
Grond en Baggerslib	Besluit Bodemkwaliteit	Toepassing van olivijn als grond.	Bijmengen van olivijn als niet bodemvreemd materiaal	Voldoet niet. Maximaal 3% toevoegen mogelijk
Bouwstof in grond(water)	Besluit Bodemkwaliteit	Niet vormgegeven bouwstof	Olivijn is onderdeel van bouwstof of functioneert als een bouwstof.	Voldoet ³
Bouwstof in oppervlakte water	Waterweg	Niet vormgegeven bouwstof in bv. zeewater	Olivijn is onderdeel van bouwstof of functioneert als een bouwstof en is geplaatst in zeewater	Voldoet

Volgens bijlage II van het Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet (Ministerie van Landbouw, 2005) mag een magnesium meststof niet meer dan 800 mg Nikkel bevatten per kg MgO (waardegevend bestanddeel). Dit betekent dat het nikkelgehalte in olivijn een factor 6.5 te hoog is, en olivijn niet toegepast zou kunnen worden. Echter, naast deze samenstellingseis is er ook een emissie-eis die gekoppeld wordt aan de belasting van de achtergrondwaarde bodem. In de gemeente Rotterdam is deze voor nikkel vastgesteld op 60 mg/kg bodem. Op basis van de beschikbaarheidsproef volgens NEN 7341 (Bijlage 8 en 9) wordt wel aan de norm voldaan. Bij het ontwikkelen van gebiedspecifiek beleid, waarvoor een Nota Bodembeheer wordt opgesteld, zou hier duidelijkheid geschapen moeten worden.

³ Het type olivijn zoals verwerkt in de substraten (bijvoorbeeld bomenzand) is op initiatief van GreenSand getest als een niet vormgegeven bouwstof. De resultaten van de uitlooproef zijn bijgevoegd in Bijlage 8.

Bij toepassingen als bouwstof zijn er juridisch gezien ruime mogelijkheden. Olivijn wordt beschouwd als bouwstof indien er sprake is van (een reële mate van) terugneembaarheid. Hierbij moet gedacht worden aan toepassingen als 'groene daken', gescheiden ophooglagen en halfverhardingen van paden.

6 Kansen voor olivijn binnen gemeente Rotterdam

In voorgaande hoofdstukken is in detail de werking van olivijn in de 'groene' en 'grijze' sector beschreven. De effectiviteit en dus het rendement verschilt per toepassing. In deze paragraaf wordt de toepassing van olivijn per sector (GROEN = substraten, GRIJS = bouwstof, WIT = strooizout) geëvalueerd aan de hand van vier aspecten. De meest relevante aspecten zoals geïdentificeerd in voorgaande hoofdstukken zijn:

1. De hoeveelheid CO₂ vastlegging (= bijdrage aan de klimaatdoelstelling);
2. Economische aspecten;
3. Milieu aspecten;
4. Juridische kaders.

Tabel 12 geeft een samenvatting van de conclusies van bovengenoemde aspecten. Er is aangenomen dat meerkosten acceptabel zijn als deze niet hoger zijn dan € 40 per ton vastgelegd CO₂. Zie Bijlage 2 voor verdere motivatie.

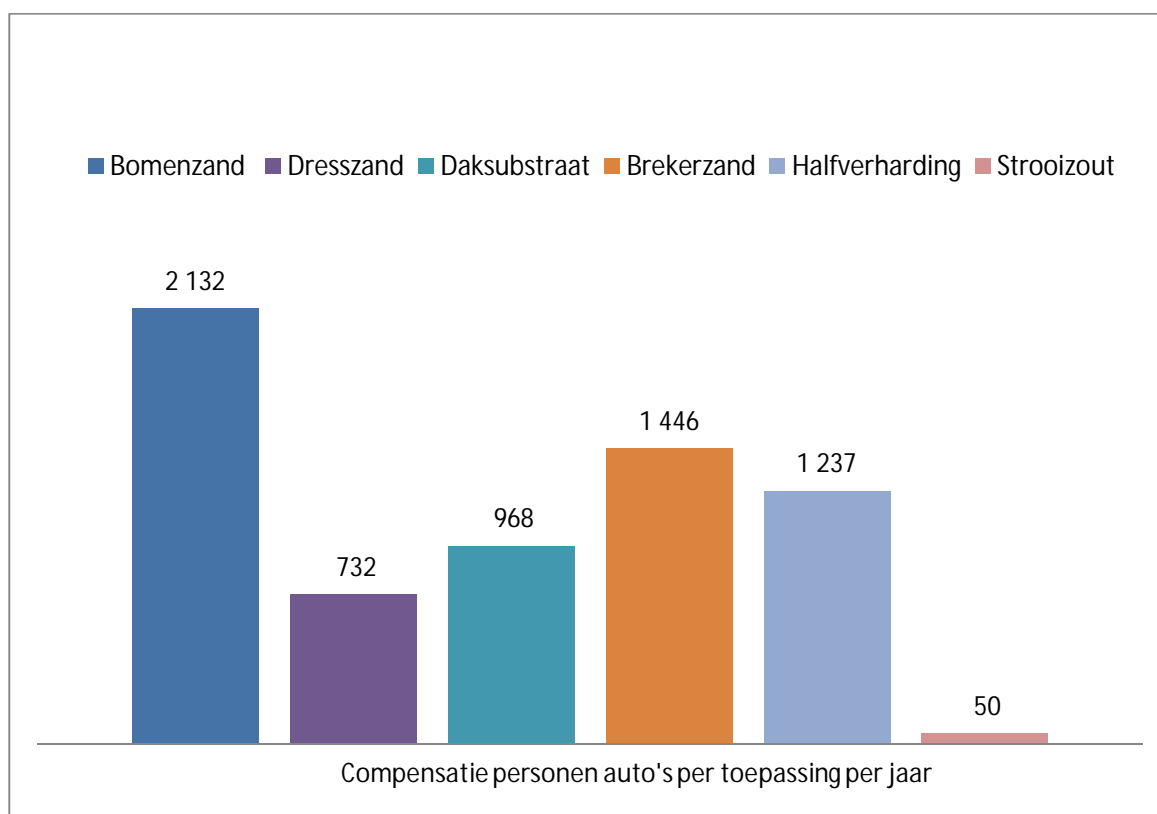
Tabel 12. Samenvatting van kaders en daaruit resulterende kansrijkheid van toepassingen.

Toepassing van olivijn in substraten	
Klimaatdoelstelling	Kansrijk voor bijdragen
Economie	Meerkosten zijn acceptabel
Milieu	Emissie van nikkel uit olivijn dient onderzocht te worden bij omstandigheden met hoge gehalte aan organische zuren. Waarschijnlijk zal dit vergelijkbaar zijn met emissie van nikkel van olivijn in afwezigheid van organische zuren en hoge pH (9). Opname van nikkel door planten is beperkt.
Juridisch kader	Toepassing als bouwstof binnen Besluit bodemkwaliteit of als meststof binnen de Meststoffenwet. Aanvraag en overleg met bevoegd gezag noodzakelijk.
Toepassing van olivijn in/ als een bouwstof	
Klimaatdoelstelling	Verschuift van matig naar kansrijk indien de verweringsduur verlengd wordt van 50 jaar naar 250 jaar (Waterbouw). Zie hiervoor de grafiek in Bijlage 4.
Economie	De meerkosten zijn binnen een verweringsperiode van 50 jaar niet per definitie gunstig. Indien de verweringsperiode en dus levensduur van de constructie kan worden verlengd naar 100 of 250 jaar dan worden de meerkosten acceptabel.
Milieu	Emissie van nikkel uit olivijn is beperkt en voldoet aan de eis zoals gesteld in het Besluit Bodemkwaliteit voor niet vormgegeven bouwstoffen. De constructie dient zo te worden toegepast dat het materiaal terugneembaar is.
Juridisch kader	Toepassing als bouwstof binnen Besluit bodemkwaliteit. Olivijn voldoet aan de gestelde normen. Zie Bijlage 8.
Toepassen van olivijn in strooizout	
Klimaatdoelstelling	Verschuift van matig naar kansrijk indien de verblijftijd van olivijn verlengd wordt door hergebruik van de zandfractie (afvalstroom riolering en RWZI) als bouwstof.
Economie	Kansrijk. Bijmenging van strooizout met olivijn resulteert in een significante kostenreductie.
Milieu	Afstemming noodzakelijk. Of de emissie van nikkel gedurende de verblijftijd van olivijn in het rioleringsstelsel en de RWZI acceptabel is dient besproken te worden met de beheerder van RWZI. Daarnaast dient de extra input van vaste delen in het rioolstelsel afgestemd te worden met de rioolbeheerder.
Juridisch kader	Voorwaarde voor bijmenging met olivijn is de veiligheid. De smeltcapaciteit van strooizout mag niet lager zijn dan de geldende norm.

6.1 Kansen binnen gemeente Rotterdam

De toepassingen zoals vermeld in deze rapportage zullen een relatief bescheiden bijdrage leveren aan de totale klimaatdoelstelling van de gemeente Rotterdam. Wel kunnen uitvoeringswerken ten minste CO₂-neutraal worden uitgevoerd. Daarnaast draagt het toepassen van olivijn bij aan de publieke bewustwording en het waardebesef van de vastlegging van CO₂ uit de atmosfeer.

Bij het toepassen van olivijn binnen de gemeente Rotterdam dient het startpunt laagdrempelig te zijn. Bij laagdrempelige toepassingen wordt het olivijn verwerkt in reeds bestaande producten en zijn de meerkosten acceptabel of leiden zelfs tot een kostenreductie. Vervolgens kan de opgedane praktijkkennis en een optimalisatie in procesvoering de efficiëntie en effect van minerale carbonatie op lange termijn verhogen. Figuur 2 geeft een overzicht van de compensatie in CO₂ die mogelijk bewerkstelligd kan worden per toepassing.



Figuur 2. Mogelijk te bereiken compensatie CO₂ per toepassing. Uitstoot van een gemiddelde personenauto is 130 gram CO₂ per km bij 20.000 km per jaar (= 2,6 ton CO₂/ jaar. CBS, 2012).

6.2 'No regret' toepassingen als opstap naar de toekomst

Bij het toepassen van olivijn binnen de gemeente Rotterdam kan in eerste instantie de aandacht worden gericht zogenaamde *no regret* toepassingen. Dit zijn niet-risicodragende toepassingen, waarbij de meerwaarde van nevenfuncties van olivijn opweegt tegen de eventuele investering voor het verwerken van olivijn in een reeds bestaand product of (bouw)materiaal. De bijdrage van olivijn aan het behalen van de klimaatdoelstelling is hierbij niet het doel op zich, maar een gewenst neveneffect.

Het op korte termijn inzetten van dergelijke toepassingen van olivijn biedt de gemeente op termijn de mogelijkheid te voorzien in een kader waarin klimaatdoelstellingen zwaarder meewegen in de keuze van een materiaal voor een werk. Daarnaast biedt het de

mogelijkheid om een betere risico inschatting te maken ten aanzien van de mogelijke milieuaspecten.

Initiatieven met olivijn worden ook buiten de gemeente Rotterdam breed gedragen. Rijkswaterstaat ziet bijvoorbeeld kansen voor toepassing en vraagt het uitvoerend bouwbedrijf om met voorstellen te komen voor toepassing op bijvoorbeeld oevers van rivieren (pers. meded. Harold Verstege, 2012).

6.3 Internationale kansen

Een goed voorbeeld buiten Nederland is het stimuleren van de ontginning van olivijn en het toepassen van olivijn in tropische landen, in de infrastructuur en landbouw. De verwerking van olivijn gaat sneller in vochtige, tropische regionen en de kosten zijn relatief laag. Beide aspecten verlagen dus de meerkosten en verhogen de effectiviteit van de toepassing in termen van CO₂ vastlegging. Indien olivijn wordt gemijnd en toegepast volgens het *fair trade* principe, kunnen westerse geïndustrialiseerde landen ook via deze weg een rol spelen bij een reductie van CO₂ concentraties in de atmosfeer.

Referenties

- Adams, L.Kl., Lyon, D.Y., McIntosh, A., Alvarez, P.J.J. (2006). Comparative toxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂ and ZnO in water suspensions. *Water Science & Technology* 54 (11-12):327-334.
- Akzo Nobel (2010). Visie op gladheidsbestrijding, Akzo Nobel Industrial Chemicals B.V. SBU Salt.
- Appelo, C. A. J. & D. Postma (2005). *Geochemistry, groundwater and pollution*. Amsterdam, The Netherlands. , CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Bakker, D. J., V. Beumer, N. Hartog, W. J. M. Sniijders, M. S. Sule, J. P. M. Vink (ed.), (2010). Toepassing van olivijn in RWS-werken. Inventarisatie van mogelijkheden voor een pilot. Deltares rapport 1203661-000-VEB-0006, Utrecht.
- Barnhoorn, J. (2004). College Dictaat Leerstoel Wegenbouwkunde, Hoofdstuk 6 Elementenverhardingen. <http://www.citg.tudelft.nl>. Delft, Technische Universiteit Delft, Citg: 28.
- Bearat, H., M. J. McKelvy, A. V. G. Chizmeshya, D. Gormley, R. Nunez, R. W. Carpenter, K. Squires, G. H. Wolf (2006). Carbon sequestration via aqueous olivine mineral carbonation: Role of passivating layer formation. *Environmental Science & Technology* 40(15): 4802-4808.
- Boer, S. d., I. Dinkla, B. Drijver, N. Hartog, M. Koenders, H. Mathijssen (Meer met bodemenergie). 2012. Gouda, skb duurzame ontwikkeling ondergrond, IF Technology, Bioclear, Deltares, Wageningen University: 21.
- BVB Substrates (2012).
- Carapellucci, R. & A. Milazzo (2003). "Membrane systems for CO₂ capture and their integration with gas turbine plants; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy 217: 505-517.
- CBS. (2012). <http://www.cbs.nl/nl-NL/menu/themas/verkeer-vervoer/publicaties/artikelen/archief/2012/2012-3579-wm.htm>. 6 juli 2012.
- Chen, Z. Y., W. K. O'Connor & S. J. Gerdemann (2006). "Chemistry of aqueous mineral carbonation for carbon sequestration and explanation of experimental results." *Environmental Progress* 25(2): 161-166.
- Commissie Integraal Waterbeheer (CIW), (2002). Afstromend wegwater. www.ciw.nl.
- Consolidated BV, (2012). "Groendaken; Dak in volle bloei." <http://www.consolidated.nl/groendaken.consolidated>. Retrieved 20 oktober 2012.
- Dankelman, J. M. P. (2009). Riolering van rijkswegen piekbelasting bij extreme neerslag en zuiveringsvoorzieningen voor afstromend wegwater. Bsc., Hogeschool Zeeland en ARCADIS.
- DHV Milieu en Infrastructuur (2000) Run-off en verwaaing, Bodem- en oppervlaktewater bescherming bij provinciale wegen, Provincie Utrecht P4637-74-001.
- Duyvendak, W. (2012). De aarde redden doet pijn, accepteer dat nou. *NRC_Handelsblad*. Nederland.
- ECN (1999). Derde Hoofdstuk 'Focus' in het Energie Verslag Nederland. Uitvoeringsnota Klimaatbeleid. Amsterdam, ECN.
- EIA (2007). International Energy Outlook 2007. US DOE. a. N. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>.
- Erstad, K. J., N. Y. Konovalov, B. Farstad (2000). Radgivande agronomar rapport. Bioavailability of nickel in olivine and serpentine, and use of olivine in agriculture and nature management. Korssund, Norway.
- European Commission(2009). The European climate package. http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm. November 2012.
- Garcia, B., V. Beaumont, E. Perfetti, V. Rouchon, D. Blanchet, P. Oger, G. Dromart, A. Y. Huc, F. Haeseler (2010). Experiments and geochemical modelling of CO₂ sequestration by olivine: Potential, quantification. *Applied Geochemistry* 25(9): 1383-1396.

- Gemeente Rotterdam (2011). Bestek nr 1-028-11 Leveren van bomenzand, bomengrond en eikengrond. Rotterdam, Gemeente Rotterdam.
- Gemeente Rotterdam (2012). Evaluatie gladheidbeschrijving winter 2011-2012 Gemeente Rotterdam. A. van Huffelen, Gemeente Rotterdam.
- Geoplein, H. (2012). Strooizout. <http://www.geoplein.nl/?p=4663>In cache Retrieved 20 oktober, 2012.
- Geurts, F. & M. Rathman (2010). Prijsbeleid voor een versnelde energietransitie. Ecofysica Utrecht.
- Hangx, S. J. T. & C. J. Spiers (2009). Coastal spreading of olivine to control atmospheric CO₂ concentrations: A critical analysis of viability. *International Journal of Greenhouse Gas Control* 3(6): 757-767.
- Haug, T. A., R. A. Kleiv, I. A. Munz (2010). Investigating dissolution of mechanically activated olivine for carbonation purposes. *Applied Geochemistry* 25(10): 1547-1563.
- International Energy Agency (2004). The Prospects for CO₂ Capture and Storage, O. 75775 Paris Cedex 16, France, ECD/IEA.
- IPCC (2005). Carbon Dioxide Capture and Storage. IPCC Special Report. B. Prepared by Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change: Metz, Davidson, O., and H. de Coninck, Loos, M., Meyer, L. Cambridge, United Kingdom and New York Cambridge University: 442.
- Johnson, T. L. & D. W. K. Keith (2004). Fossil Electricity and CO₂ Sequestration: How Natural Gas Prices, Initial Conditions and Retrofits Determine the Cost of Controlling CO₂ Emissions. *Energy Policy* 32: 367 - 382.
- Kierczak, J., C. Neel, H. Bril, J. Puziewicz (2007). Effect of mineralogy and pedoclimatic variations on Ni and Cr distribution in serpentine soils under temperate climate. *Geoderma* 142(1-2): 165-177.
- King, H. E. & A. Putnis (2010). "Effect of Secondary Phase Formation on the Carbonation of Olivine. *Environmental Science & Technology* 44(16): 6503-6509.
- KNMI. (2011). "Maand en seizoenoverzichten, klimaatdata en -advies." http://www.knmi.nl/klimatologie/maand_en_seizoenoverzichten/maand/jan11.html Retrieved 30 augustus, 2012.
- Knops, P. (2009). Olivijn en Substraat. De oplossing voor het versterkte broeikaseffect bestaat niet..er bestaan slechts deeloplossingen. Innovationconcepts, in opdracht van Optigroen.
- Knops, P. (2010). Rekenmodel Plan B CO₂ B.V.
- Manen, M. v. & J. L. V. Oosterwegel (2009). Milieubelasting door strooizout bij hemelwater infiltratievoorzieningen BIO Chloride fase 2, Geofox Lexmond: 14.
- McFarland, J. R., J. M. Reilly, H. J. Herzog (2004). Representing energy technologies in top-down economic models using bottomup information. *Energy Economics* 26: 685 - 707.
- Meire, P., R. Bouteligier, G. Vaes, W. Beyen, J. Berlamont (2005). Kwaliteit van afstromend regenwater. *Water*. www.tijdschriftwater.be, vzw Water en Commissie Integraal Waterbeleid. 20: artikel 3.
- Mineralis. (2012). Olivijn. <http://www.mineralis.nl/index.php/mineralis/categorie/olivijn> Retrieved 20 oktober, 2012.
- Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (2005, geldend op 13-11-2012). Uitvoeringsbesluit Meststoffenwet, Bijlage II. wetten.overheid.nl.
- Movares. (2012). Het groene schouwpad. Retrieved oktober 2012.
- Nidagravel (2008). Waterdoorlatende verharding grindstabilisatie. www.nidaplast-landscaping.com: 20.
- Olson, A. A. & J. D. Rimstidt (2007). Using a mineral lifetime diagram to evaluate the persistence of olivine on Mars. *American Mineralogist* 92(4): 598 - 603.
- Olson, A. A. (2007). Forsterite Dissolution Kinetics: Applications and Implications for Chemical Weathering. Doctor of Philosophy, Virginia Polytechnic Institute and State University.

- Paulissen, M. P. C. P., R. C. Nijboer, P. F. M. Verdonchot (2007). Grondwater in perspectief. Een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland. Wageningen, Alterra: 72.
- RAW (2011). RAW0024 Hoofdstuk 22, 1-062-08 P2-1. (1) Grondsoorten Algemeen; (2) Cunet t.b.v. verwerken bomenzand; (6) Zand in aanvulling of ophoging; (6) Brekerzand; (7) Algemene bepalingen t.v.m. hoeveelheden.
- RCI (2007). CO₂-afvang en -opslag in Rijnmond. M. DCMR Milieudienst Rijnmond en ROM Rijnmond (Hanegraaf, Santen, S., Knippels, H.). Mijdrecht, Rotterdam Climate Initiative.
- Rietra, R. P. J. J. (2010). Use of olivine as a liming material to prevent CO₂ emissions in agriculture. *Frontiers in Shallow Subsurface Technology*, Delft, NL.
- Rietra, R. P. J. J. (2011). Verduurzaming van de landbouw met silicaatmineralen; De mogelijkheden van calcium en magnesiumsilicaten in de landbouw ten behoeve van klimaatdoelstellingen. Wageningen, Alterra 100.
- Rietra, R. P. J. J. & H. Bergsma (2012). Presentation: Decreasing CO₂ emission in agriculture by using rock flour. Alternative for agricultural lime and potassium fertilisers. EuroSoil, Bari, Alterra, Wageningen WUR, Arcadis bv.
- RWS (2010). Protocol 11-033 Bodem.
- Schuilijng, R. D. (2011). Kan het landschap nog groener. <http://www.steenrijkbv.nl/files/2011/10/rooilijn.pdf>, Steenrijk bv.
- Schuilijng, R. D. (2012). Toepassen van olivijn binnen RWZI. Pers. comm. Email.
- Schuilijng, R.D. & P. Krijgsman (2006). Enhanced weathering; an effective and cheap tool to sequester CO₂. *Climatic Change* 74 (1-3):349-354.
- Schuilijng, R. D. & O. Tickell (2009). Olivine against climate change and ocean acidification. Abstr. Int. Symposium on Carbon Management, Hyderabad.
- Schuilijng, R. D. & O. Tickell (2010). Enhanced weathering of olivine to capture CO₂. *Journal of Applied Geochemistry* 12(4): 510-519.
- Schut, E. & v. Muiswinkel, K. (2009). Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009, Schreurs Uitgeverij BV.
- Seifritz, W. (1990). CO₂ disposal by means of silicates. *Nature* 345: 486.
- Sibelco (2012). <http://www.sibelco.com>. Pers. comm. Oystein Warnes, mei 2011.
- Song, C. (2006). Global challenges and strategies for control, conversion and utilization of CO₂ for sustainable development involving energy, catalysis, adsorption and chemical processing. *Catalysis Today* 115: 2 - 32.
- Ten Berge, H. F. M., H. G. van der Meer, J. W. Steenhuizen, P. W. Goedhart, P. Knops, J. Verhagen (2012). Olivine Weathering in Soil, and Its Effects on Growth and Nutrient Uptake in Ryegrass (*Lolium perenne*): A Pot Experiment. *PLoS ONE* 7(8): e42098.
- Terpstra, J., P. Geerlings, E. v. Boven (2011). Evaluatie gladheidsbestrijding 2010/2011, gemeente Hoorn. R. w. Gemeente Hoorn. Hoorn.
- Van Gelder (2012). http://www.vangelder.com/upload/media/documenten/Van_GelderReport_Scope_3_analyse_voor_extern_def.pdf.
- Veld, H., G. D. Roskam, R. van Enk (2008). Desk study on the feasibility of CO₂ sequestration by mineral carbonation of olivine. Utrecht, TNO.
- VPRO (2012). Tegenlicht: Er is een grote revolutie in het 'klein' aan de hand.
- Walraven, S. A. C. M. (2011). Laboratoriumonderzoek naar de mate van CO₂ vastlegging door olivijn op platte daken. Utrecht, TNO, in opdracht van Daklab Consolidated Nederland: 27.
- Wise, M. A., J. J. Dooley, E. S. R. In: D.W. Keith, P.O.V C.F. Gilboy (eds.) (2004). Baseload and Peaking Economics and the Resulting Adoption of a Carbon Dioxide Capture and Storage System for Electric Power Plants. 7th International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies., Cheltenham, UK.
- Yang, H., Z. Xu, M. Fan, R. Gupta, R. B. Slimane, A. E. Bland, I. Wright (2008). Progress in carbon dioxide separation and capture: A review. *Journal of Environmental Sciences* 20: 14-27.

Bijlage 1 Rendementverlies door winning, malen en transport

Tabel B1-1 Rendement verlies door het winnen van olivijn in een mijn.

Het winnen van olivijn de mijn in Noorwegen	Rendement verlies [%]	Bron
	-0.33 %	(Bakker et al. 2010; Hangx and Spiers 2009)

Tabel B1-2 Rendement verlies door malen van olivijn

Rendement korrel fijnheid			
fijnheid korrel	Hangx (2009)	fijnheid korrel	Veld (2008)
[um]	verlies [%]	[um]	verlies [%]
1000	-0,31%	grof	-0,14%
300	-0,52%	-	-
100	-0,85%	75	-0,91%
37	-1,51%	38	-5,80%
10	-11,00%	10	-10,40%

Tabel B1-3 Rendement verlies door transport van olivijn vanuit Noorwegen naar Rotterdam

	Hangx (2009)		Hangx (2009)
Rendement transport vanuit Noorwegen	efficiency verlies/ 100 km	afstand [*100km]	totaal efficiency verlies [%]
binnen en kustschepen	0,24%	10	2,4%
vrachtreinen	0,16%		0%
vrachtwagens	1,11%	1	1,1%
Som			-3,5%

Bijlage 2 De waarde van CO₂

De kosten en baten van het product met olivijn en zonder olivijn zijn met elkaar vergeleken voor de toepassingen. De reductie in CO₂ emissie is in geld uitgedrukt. Er zijn verschillende internationale en nationale kaders beschikbaar om een ton CO₂ in geld uit te drukken. Drie kaders worden hier benoemd:

- de internationale handelsprijs voor CO₂; de zogenaamde *carbon credits*.
- de waarde van CO₂ volgens de *capture and storage* gedachte (IPPC, 2005).
- de prijs die de Nederlandse overheid aanhoudt als investeringslimiet (Nationale milieubarometer; Bakker et al., 2010).

Internationale handelsprijs voor CO₂.

De internationale handelsprijs voor CO₂ is gebaseerd op het systeem van emissierechten. Deze rechten kunnen verhandeld worden en geven de producent van CO₂ (de vervuiler dus) het recht om een bepaalde hoeveelheid CO₂ uit te stoten of door bv. een alternatieve energie bron te gebruiken (zonne-energie) zijn uitstoot te beperken en zijn emissierechten te verkopen. Dit lijkt een mooi plan op papier, echter de Europese markt is niet gesloten (producent verplaatst vervuilend werk gewoon naar derde wereld landen) en de markt is oververzadigd met emissierechten, met name door de vele vrijstellingen. Gevolg hiervan is dat op dit moment de handelsprijs voor CO₂ op circa 7 euro ligt. De verwachting is dat de CO₂-prijs binnen het emissiehandelssysteem tot 2020 rond de €20 per ton zal zijn (Bakker et al., 2010). Geurts & Rathman stellen dat de prijs minimaal 40 euro zou moeten zijn om verduurzaming van productie proces rendabel te maken (Geurts & Rathman, 2010).

Limiet gesteld door Nederlandse overheid (Kyotoverdrag).

In de Nationale Milieubarometer worden verschillende soorten milieubelasting onder één noemer gebracht door hen in geld uit te drukken met behulp van schaduw prijzen. Voor CO₂ is een internationale schaduwprijs vastgesteld. Dit is een richtgetal voor de te maken kosten voor beperking van de emissie van 1 ton CO₂-equivalent (Davidson, 2002). Hoewel de kosten van emissiereducerende maatregelen in het buitenland vaak lager zijn dan in Nederland wordt de schaduwprijs voor binnenlandse emissies bepaald door de preventiekosten in Nederland. De regering heeft in de Uitvoeringsnota Klimaatverandering een basispakket maatregelen voorgesteld waarmee de Kyoto-doelstelling kan worden behaald. Hierbij heeft de overheid een grens gelegd bij € 68 per ton CO₂-equivalent (Bakker et al., 2010; ECN, 1999).

Capture and Storage waarde van CO₂

In het rapport "Carbon Dioxide Capture and Storage" van de internationale organisatie International Panel on Climate Change (IPCC, 2005) wordt een financieel kader voor CO₂ beschreven. Het rapport vermeldt dat de marginale waarde van een CO₂ emissie recht (*emission reduction permit*) een van de belangrijkste factoren is die de inzet van CCS maatregelen zal beïnvloeden. Er wordt gerefereerd aan meerdere onderzoeken waarbij economische en energie gerelateerde modellen zijn gebruikt (IEA, 2004; Johnson & Keith, 2004; McFarland et al., 2004; Dooley et al., 2004)..

Aan de hand van deze onderzoeken concludeert de IPCC dat CCS systemen pas op significante schaal zullen worden ingezet indien de prijs van een emissierecht de 25 a 30 US-dollar /ton CO₂ zal overstijgen. **Dit staat ongeveer gelijk aan een waarde van 19 – 23 € per ton CO₂.**

Bijlage 3 Rekenmodel life cycle assessment olivijn

Voor de life cycle assessment berekeningen, waarbij naast de verwerking van olivijn ook economische aspecten zijn opgenomen, is het model gebruikt "Plan B CO₂" (Knops, 2010). Dit model is afgeleid van TNO rapportage (Veld et al., 2008) en de publicaties van Olson (Olson & Rimstidt, 2007; Olson, 2007). In het berekeningsmodel zijn de volgende aannames gemaakt:

- De pH in het systeem wordt bepaald door de concentratie H₂CO₃ en dus de partiële CO₂ druk.
- De afwezigheid van kalk (kalkarme omgeving). Olivijn heeft een bufferende werking op de bodem, vergelijkbaar met kalk.
- Het type olivijn is 93% Mg₂SiO₄ (forsteriet) en 7% Fe₂ SiO₄ (fayaliet).
- De aanwezigheid van zuurstof. Dit betekent dat de fractie fayaliet niet bijdraagt aan de totale capaciteit van het olivijn om CO₂ vast te leggen. Hiervoor is gecorrigeerd in het model.
- Magnesiet (MgCO₃) slaat niet neer. De oplosbaarheid van MgCO₃ is dermate hoog dat een neerslag van MgCO₃ direct ook weer in oplossing gaat. Zo kan een hoge concentratie aan Mg²⁺ en bicarbonaat ionen in oplossing aanwezig zijn (dit is oververzadiging) zonder de vorming van een 'blijvende' neerslag. Hiervoor is aangenomen dat er geen uitdroging plaatsvindt en het milieu niet verzuurd.
- Met 'natuurlijke omstandigheden' wordt hier de pH en het wel of niet verdampen van water bedoeld. Het is mogelijk dat een gedeelte van het CO₂ weer vrijkomt als het water met het bicarbonaat (HCO₃⁻, product reactie 1) in een zuur milieu komt. Normaliter zal dit niet gebeuren want dit is de natuurlijke kringloop van mineralen.
- De tijdperiode dat het olivijn verweert is afhankelijk van de levensduur van het 'product' waaraan olivijn wordt toegevoegd. Dit is in het algemeen 50 jaar voor civiele werken. Gesteld wordt dat het grootste deel van de verwerking van het olivijn in de eerste 50 jaar dient plaats te vinden.
- Vertragende processen (bijvoorbeeld beschikbaarheid van CO₂ en water), die mogelijk het verweringsproces van olivijn in de tijd doen afnemen, zijn niet meegenomen in deze berekeningen. Daarnaast is het mogelijk dat in de periode van 50 jaar dat er een neerslag op de olivijn korrel ontstaat (Veld et al. 2008). Deze laag schermt de korrel zogenaamd af van zijn omgeving en vertraagd het verweringsproces van olivijn. In de berekeningen is de verweringsgraad niet gecorrigeerd voor het mogelijk ontstaan van een neerslag.

Bijlage 4 Verweringsgraad en rendement van toepassingen

Overzicht van de verweringsgraad van olivijn voor elke toepassing en het rendement verlies door winnen, malen en transport voor elke toepassing. Deze twee factoren samen geven de effectiviteit van een toepassing uit oogpunt van CO₂ vastlegging. Weergegeven zijn de minimaal te verwachten rendementen. De maximale waarden zijn afhankelijk van omgevingscondities en zijn in het meest gunstige geval 100%.

Tabel B4-1 Totaal overzicht rendement, verweringsgraad en effectiviteit van olivijn toepassingen.

Toepassing	Rendement 1	Verweringsgraad 2	Effectiviteit 3
	[%]	[gew.%]	[ton CO ₂ / ton olivijn]
Bomenzand	93.5	ondergrens berekening: 85%	1.10 – 0.94
Dresszand	93.5	ondergrens berekening: 95%	1.10 - 1.04
Dak substraat	93.5	ondergrens berekening: 74%	1.10 - 0.87
Brekerzand	95.2	19% - 13%	0.21 – 0.14
Halfverharding	95.2	85% - 32%	0.94 – 0.36
Strooizout berm	95.1	Ondergrens berekening: 32%	0.21 – 0.14
Strooizout riool	95.1	Ondergrens berekening: 51%	0.94 – 0.36

1. Zie tabellen hieronder.
2. Uitkomst van model berekening,
3. De netto CO₂ vastlegging over de gekozen verwerkingstijd gedeeld door het totaal gewicht olivijn dat in 50 jaar binnen gemeente Rotterdam kan worden weggezet (in eenheden: [ton CO₂/ 50 jaar] / [ton olivijn/ 50 jaar]).

Bijlage 4.1

Groene toepassingen: bomenzand, dresszand en dak substraat

Tabel B4-2 Berekening van het rendement bij Groene toepassingen van olivijn

Rendement	Eenheid	Waarde	Specificatie	Bron
CO ₂ - productie				
winning	[ton CO ₂ uitstoot/ton olivijn]	-0,33%	Mijn in Noorwegen	Hangx, T. A. & C. J. Spiers (2009). Bakker et al. (2010).
malen	[ton CO ₂ uitstoot/ton olivijn]	-2.00%	Energie verbruik tijdens productie van brekerzand + uitzeven van fijne fractie uit brekerzand	Schatting GreenSand en Hangx (2009) als uitgangspunt
transport	[ton CO ₂ uitstoot/ton olivijn]	-3,5%	Zie tabel	Hangx (2009)
puurheid olivijn	[rendement]	1,1	Olivijn rijk gesteente 90% puur (10% andere mineralen aanwezig)	Veld et al. (2008)
Netto Rendement	[%]	93.5%		

Grijze toepassingen: Brekerzand

Tabel B4-3 Berekening van het rendement bij toepassing Brekerzand

Rendement	Eenheid	Waarde	Specificatie	Bron
CO2 - productie				
winning	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,33%	Mijn in Noorwegen	Hangx, T. A. & C. J. Spiers (2009). Bakker et al. (2010).
malen	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,51%	Volgens korrelverdeling	GreenSand en Hangx (2009) als uitgangspunt
transport	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-3,5%	Zie tabel	Hangx (2009)
puurheid olivijn	[rendement]	1,1	Olivijn rijk gesteente 90% puur (10% andere mineralen aanwezig)	Veld et al. (2008)
Netto Rendement	[%]	95,2%		

Grijze toepassingen: halfverharding

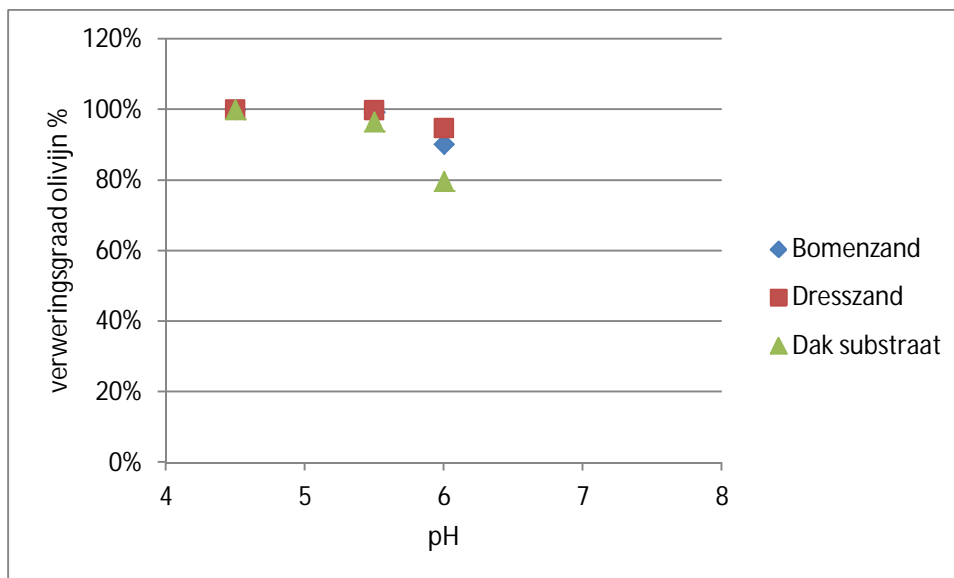
Tabel B4-4 Berekening van het rendement bij toepassing Halfverharding

Rendement	Eenheid	Waarde	Specificatie	Bron
CO2 - productie				
winning	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,33%	Mijn in Noorwegen	Hangx, T. A. & C. J. Spiers (2009). Bakker et al. (2010).
malen	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,47%	Volgens korrelverdeling	GreenSand en Hangx (2009) als uitgangspunt
transport	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-3,5%	Zie tabel	Hangx (2009)
puurheid olivijn	[rendement]	1,1	Olivijn rijk gesteente 90% puur (10% andere mineralen aanwezig)	Veld et al. (2008)
Netto Rendement	[%]	95,2%		

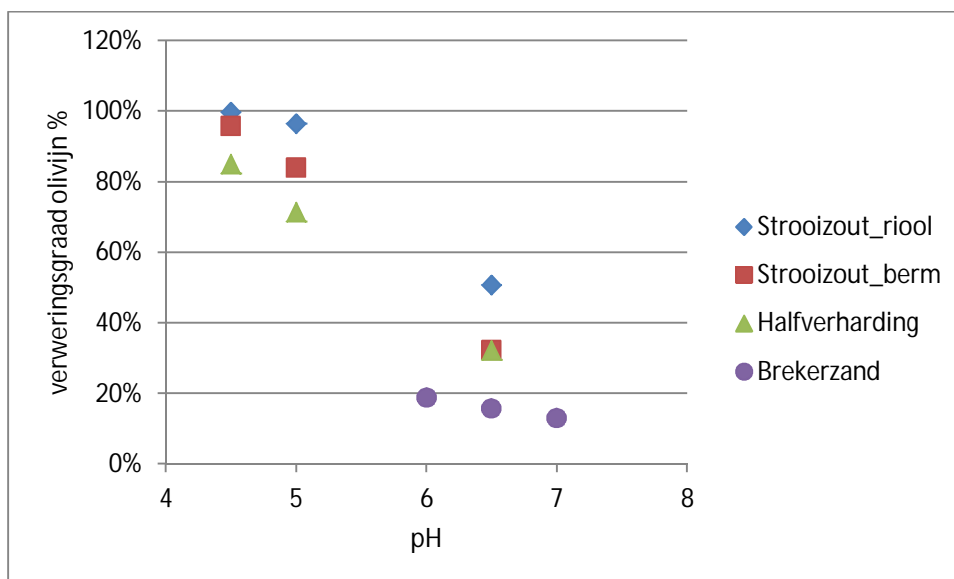
Strooizout

Tabel B4-5 Berekening van het rendement bij toepassing Strooizout

Rendement	Eenheid	Waarde	Specificatie	Bron
CO2 - productie				
winning	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,33%	Mijn in Noorwegen	Hangx, T. A. & C. J. Spiers (2009). Bakker et al. (2010).
malen	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-0,58%	Volgens korrelverdeling	GreenSand en Hangx (2009) als uitgangspunt
transport	[ton CO2 uitstoot/ton olivijn]	-3,5%	Zie tabel	Hangx (2009)
puurheid olivijn	[rendement]	1,1	Olivijn rijk gesteente 90% puur (10% andere mineralen aanwezig)	Veld et al. (2008)
Netto Rendement	[%]	95,1%		

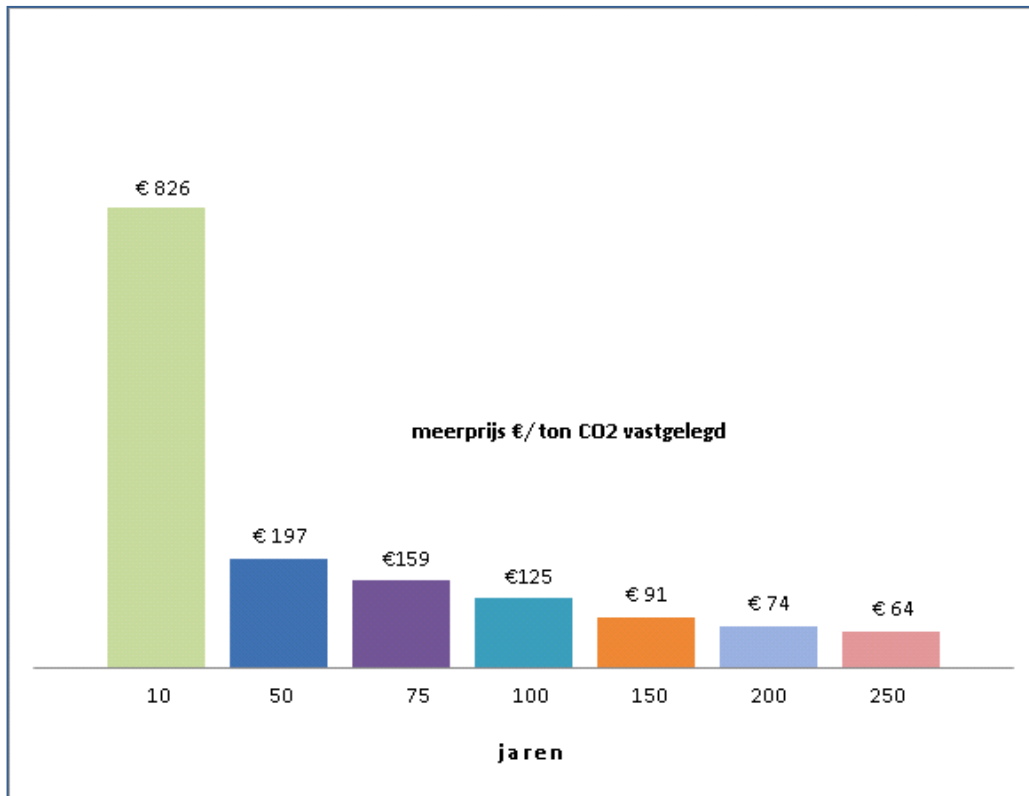
Bijlage 4.2 Verweringsgraad van olivijn per toepassing in relatie tot pH waarde

Figuur B4-1 Verweringsgraad van olivijn in relatie tot pH – Groene toepassingen.



Figuur B4-2 Verweringsgraad van olivijn in relatie tot pH – Grijs toepassingen.

Bijlage 4.3 Meerkosten van olivijn als brekerzand in relatie tot verweringsperiode (= levensduur werk)



Figuur B4-3 Meerkosten van olivijn als brekerzand in relatie tot verweringsduur, berekend bij pH= 7.

Bijlage 5 Uitgangspunten toepassingen in de Groene en Grijze sector

Bijlage 5.1 Overzicht omrekenfactoren

Tabel B5-1 geeft een overzicht van de factoren gebruikt om het volume product toegepast in de gemeente Rotterdam of in Nederland om te rekenen naar massa product.

Tabel B5-1 Overzicht van relevante omrekenfactoren.

Materiaal	Vol. Massa Los gepakt (transport) [ton/m3]	Vol. Massa Vast gepakt (na verdichting) [ton/m3]	Bron
Bomenzand	1,36	1,70	Tabel T22.02 Bepaling verhoudingen van gewichtshoeveelheden van bouwstoffen grond bij een aardvochtigheid van ca. 10 %, in relatie tot de volumieke massa. (Gemeente Rotterdam, 2011) (RAW 2011)
Dresszand	1,736	1,75	email F.v.Dijk van 4/6/2012 doorgestuurd van BVB substrates; Type 11602 Dressgrond 80-20
Daktuin substraat	1,736	1,75	email FvDijk van 4/6/2012 doorgestuurd van BVB substrates . Type 18528 BVB Daktuin L Ar
Brekerzand	1,44	1,80	Tabel T22.02 Bepaling verhoudingen van gewichtshoeveelheden van bouwstoffen grond bij een aardvochtigheid van ca. 10 %, in relatie tot de volumieke massa. (Gemeente Rotterdam, 2011) (RAW 2011)
Grind (halfverharding)		1.60	http://www.cimescaut-materiaux.com/nl/producten/ . Grindhandelaar
Strooizout			Akzo Nobel. Type Vacuümzout

Bijlage 5.2 Condities en totaal volume afzet

Tabellen B5-2 t/m B5-7 geven een overzicht van de condities waarin verwerking van olivijn plaatsvindt en het afzet volume van het product per toepassing binnen gemeente Rotterdam. De vermeldingen in de tabellen zijn schattingen gebaseerd op diverse bronnen, zie de bronvermelding in de tabel.

Bomenzand

Tabel B5-2 Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing bomenzand.

	Bomenzand	Referentie	Opmerkingen
Omschrijving Toepassing	Teelgrond geschikt voor boom in verharding	RAW (2011) Gemeente Rotterdam (2011)	n.v.t.
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	15.000 m ³ NL 300.000 m ³	Gemeente Rotterdam Van Dijk BV.	n.v.t.
Frequentie gebruik	1 malig (per boom)	n.v.t.	n.v.t.
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20%	BvB Substrates (2012) (onderzoek rapport niet openbaar)	Bij 20 gew.% olivijn geen nadelige effecten ondervonden in plant groei en ontwikkeling
Compartiment [-]	Diepe wortelzone (verhard maaiveld) 20 – 100 cm - MV	RAW (2011) Gemeente Rotterdam (2011)	n.v.t.
Water [-]	Onverzadigde zone Voornamelijk infiltratie van regenwater.	Gemeente Rotterdam (2011) BvB Substrates (2012)	Water- en luchthuishouding in het plantgat dient optimaal te zijn voor de boom.
pCO ₂ [%]	< 10%, factor 1 tot 3 hoger dan atmosferisch	Appelo (2005)	Verhoogde partiële CO ₂ in toplaag van de bodem door aerobe omzettingsprocessen en infiltratie van regenwater
pH [-]	4.5 – 6.0	Gemeente Rotterdam (2011) BvB Substrates (2012)	n.v.t.
DOC [mg C/l]	Gemiddeld (20)	n.v.t. aanname	Aanwezigheid van organische zuren (afscheiding wortels boom) in verrijkte zandgrond
Temperatuur [°C]	Bodemtemperatuur (10 – 12 °C)	Boer et al. (2012)	n.v.t.

Dresszand

Tabel B5-3 Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing dresszand

	Dresszand	Referentie	Opmerkingen
Omschrijving Toepassing	Bezanden van golfbanen en sportvelden	Gemeente Rotterdam Van Dijk BV.	n.v.t.
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	5.000 m ³ NL 100.000 m ³	Gemeente Rotterdam Van Dijk BV.	n.v.t.
Frequentie gebruik	Elk voorjaar	Gemeente Rotterdam Van Dijk BV.	n.v.t.
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20%	BvB Substrates (2012) (onderzoek rapport niet openbaar)	Bij 20 gew.% olivijn geen nadelige effecten ondervonden in plant groei en ontwikkeling
Compartiment [-]	Ondiepe wortelzone (onverhard maaiveld) < 20 cm - MV	RAW (2011)	n.v.t.
Water [-]	Onverzadigde zone Regenwater en grondwater Drainage van laag	RAW (2011)	n.v.t.
pCO ₂ [%]	< 10%, factor 2 tot 3 hoger dan atmosferisch	Appelo (2005)	Verhoogde partiële CO ₂ in toplaag van de bodem door aerobe omzettingsprocessen en infiltratie van regenwater
pH [-]	4.5 – 6.0	BvB Substrates (2012) En in overleg met Van Dijk BV.	Dresszand wordt uitgestrooid over grasmat. Olivijn wordt vertrapt in wortelzone en/of grasmat. Hoge biologische (planten, wortelzuren, afbraak) activiteit in aerobe zone
DOC [mg C/l]	Hoger (40)	aanname	Zie stuk tekst bij pH
Temperatuur [°C]	In toplaag bodem, ondiep grondwater (9 – 16 °C)	Boer et al. (2012)	Toplaag bodem. Invloed van temperatuur schommelingen in atmosfeer en in toplaag bodem.

Dak substraat

Tabel B5-4 Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing dak substraat

	Dak substraat	Referentie	Opmerkingen
Omschrijving Toepassing	Beplanten van platte daken	Walraven (2011) Knops (2009) Consolidated BV, (2012)	n.v.t.
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	4.000 m ³ NL 80.000 m ³	Gemeente Rotterdam Van Dijk BV.	n.v.t.
Frequentie gebruik	1.7 malig (per plat dak)	Walraven (2011) Knops (2009)	Levensduur van een plat dak is circa 30 jaar. Op een verweringsperiode van 50 jaar dient het dak dus 1.7 keer vervangen te worden.
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20 gew.% van de substraat laag	BvB Substrates (2012) (onderzoek rapport niet openbaar)	Bij 20 gew.% olivijn geen nadelige effecten ondervonden in plant groei en ontwikkeling
Compartiment [-]	Ondiepe wortelzone (onverhard maaiveld) < 30 cm - MV	Walraven (2011) Knops (2009) Consolidated BV, (2012)	n.v.t.
Water [-]	Onverzadigde zone Regenwater en grondwater Drainage van laag. Sterk wisselende omstandigheden.	Walraven (2011) Knops (2009) Consolidated BV, (2012)	n.v.t.
pCO ₂ [%]	< 10%, factor 2 tot 3 hoger dan atmosferisch	Appelo (2005)	Verhoogde partiële CO ₂ in toplaag van de bodem door aerobe omzettingsprocessen en infiltratie van regenwater
pH [-]	4.5 – 6.0	BvB Substrates (2012) En in overleg met Van Dijk BV.	Substraat toegepast als voedingsbodem voor vegetatie is een kleiner systeem. Zie tekst
DOC [mg C/l]	Hoog (40)	aanname	Hoge biologische (planten, wortelzuren, afbraak) activiteit in aerobe zone
Temperatuur [°C]	Luchttemperatuur (2,8 tot 17,4 °C)	KNMI (2011)	KNMI maandgemiddelde aangehouden van het jaar 2011

Zuurgraad (pH)

Processen die plaatsvinden in de vegetatielaag van een plat dak (pers. meded Knops, 2012):

- 1 Regenwater raakt in de atmosfeer verzadigd met CO₂ (pCO₂=3.5*10⁻⁴ atm).
- 2 Een gedeelte van het CO₂ zal met water reageren tot H₂CO₃ (H₂O + CO₂ <-> H₂CO₃)
- 3 Een gedeelte van het koolzuur zal vervolgens dissociëren en protonen produceren (H₂CO₃ <-> H⁺ + HCO₃⁻). Het gevolg is dat de pH daalt tot circa 5.6
- 4 Het zure regenwater wordt geneutraliseerd door het basische olivijn. Als er geen regenwater valt dan zal het stilstaande water 'ontzuren' (de pH gaat omhoog). Het evenwicht verschuift en het water neemt weer CO₂ op uit de bodemlucht, waarop weer een reactie met olivijn volgt. Door de aanwezigheid van organische zuren in een wortelzone van een vegetatielaag (wortelzuren en aerobe afbraak van planten resten) kan de pH onder 5.6 uitkomen.

Brekerzand

Tabel B5-5. Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing brekerzand

	Brekerzand	Referentie	Opmerkingen
Omschrijving Toepassing	Invullen van voegen en oppervlakte behandeling in verkeersgebieden	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009) Barnhoorn (2004)	n.v.t.
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	14.500 m ³ NL 500.000 m ³	Van Dijk bv. Persoonlijke communicatie met gemeente Rotterdam (Carel Andriessen)	n.v.t.
Frequentie gebruik	éénmalig	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009)	n.v.t.
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	100%	n.v.t.	aanname, zie tekst paragraaf 4.2
Compartiment [-]	Maaiveld (verhard maaiveld) en toplaag bodem 20 cm – 1000 cm - MV	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009)	n.v.t.
Water [-]	Niet in bodem, enkel regenwater. Zeer goede drainage van laag.	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009)	n.v.t.
pCO ₂ [%]	0.035% atmosferisch	n.v.t.	aanname
pH [-]	7 – 7.5	Tabel 2 in Paulissen et al (2007)	Aeroob diep regenwaterinfiltraat in arme zandgrond. Ondiep grondwater/ geïnfilteerd regenwater (lage buffercapaciteit)
DOC [mg C/l]	Laag (0-5)	n.v.t.	Aanname (arme zandgrond, niet in oppervlakkige of diepe wortelzone)
Temperatuur [°C]	Gelijk aan bodemtemperatuur (10 -12 °C)	Boer et al. (2012)	n.v.t.

Halfverharding

Tabel B5-6 Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing halfverharding

	Halfverharding	Referentie	Opmerkingen
Omschrijving Toepassing	Creëren van meer draagkracht voor bijvoorbeeld fietspaden	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009)	n.v.t.
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	12.000 m ³ 240.000 m ³	n.v.t.	aanname, zie tekst
Frequentie gebruik	1 x per 5 jaar	Van Dijk B.V.	Aanname bepaald in overleg met Van Dijk b.v.
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	50%	n.v.t.	aanname, zie tekst
Compartiment [-]	Maaiveld (verhard maaiveld) 20 - 0 cm + MV	n.v.t.	n.v.t.
Water [-]	Niet in bodem, enkel regenwater. Zeer goede doorspoeling van laag.	Leidraad Bouwstoffen Rijkswaterstaat 2009 (Schut en Muiswinkel 2009)	n.v.t.
pCO ₂ [%]	0.035% atmosferisch	n.v.t.	Toplaag, niet verwerkt in de bodem.
pH [-]	6.5	n.v.t.	Toplaag, niet verwerkt in de bodem. Weinig invloed van organische zuren.
DOC [mg C/l]	Laag (0-5)	n.v.t.	Toplaag, niet verwerkt in de bodem. Groei van planten in de halfverharding is niet gewenst. Halfverharding bestaat verder uit grind en goede drainage van laag dus afvoer van afbraakproducten mochten ze gevormd worden.
Temperatuur [°C]	Luchttemperatuur (2,8 tot 17,4 °C)	KNMI (2011)	KNMI maandgemiddelde aangehouden van het jaar 2011

Afzet

Het was niet mogelijk om gegevens betreffende de afzet van halfverhardingen binnen de gemeente Rotterdam te achterhalen (via de gemeente). Hiertoe is een zeer ruwe schatting gemaakt van het volume halfverharding wat per jaar door de gemeente Rotterdam wordt aangelegd (zie hieronder). Het verbruik in Nederlands is bepaald door te stellen dat de gemeente Rotterdam 5% van het verbruik in Nederland vertegenwoordigd (bij brekerzand is dit 3% en bij strooizout 2-4%).

Aannames en berekening van afzet binnen gemeente Rotterdam:

- 1 200 km paden met halfverharding binnen gemeente Rotterdam
- 2 Laag van 30 cm dikte
- 3 Levert totaal een volume op van 60.000 m³ halfverharding
- 4 Indien de paden 1 x per 5 jaar worden vervangen of worden opgehoogd dan komt het totale volume per jaar op: $60.000 / 5 = 12.000 \text{ m}^3$ per jaar halfverharding.

Het toevoegen van 50% fijne delen, dus olivijn, is een aanname. Indien ingezet wordt op deze toepassing dient de gewicht concentratie olivijn ingesteld te worden aan de hand van verdichtingsgraad, doorlatendheid en bergingscapaciteit. De doorlatendheid en draagkracht van een halfverharding zijn de belangrijkste eigenschappen waarop de laag wordt ontworpen en het materiaaleisen worden gesteld.

Om een regenintensiteit van 270 l per seconde per hectare te kunnen verwerken moet de bodem en de op liggende verhardingslaag een minimale doorlatendheid bezitten van $2,7 \cdot 10^{-5}$ m/s (Nidagravel 2008). Doorlatendheden van 10^{-5} tot 10^{-4} m/s zijn gangbaar voor halfverhardingen (afhankelijk van onderliggende bodem). Hiertoe dient de fractie fijne delen (in dit geval dus de olivijn fractie) niet te hoog te zijn omdat anders de doorlatendheid van de laag te laag wordt. Tevens dient de laag voldoende draagkracht te bezitten ook onder natte omstandigheden. De aanwezigheid van een fijne fractie is nodig om de laag goed te verdichten en draagkracht te creëren. Daarnaast dient voorkomen te worden dat de fijne fractie wegspoelt uit de laag (door de verhouding grof tot fijne delen, en de te bereiken verdichtingsgraad goed in te stellen) (Nidagravel 2008).

Strooizout

Tabel B5-7 Overzicht verweringscondities en volume afzet toepassing strooizout in berm of riool

	Strooizout berm	Strooizout riool	Opmerkingen/ referentie
Omschrijving Toepassing	Stroefmakend middel	Stroefmakend middel	Akzo Nobel (2010). Gemeente Rotterdam (2012). Terpstra et al. (2011).
Volume per jaar binnen gemeente Rotterdam [m ³ /jaar]	585 - 877	585 - 877	aanname, zie tekst
Frequentie gebruik	Circa 60 keer per jaar	Circa 60 keer per jaar	aanname, zie tekst
Percentage toevoeging olivijn [gew %]	20 gew. %	20 gew. %	aanname, zie tekst
Compartiment [-]	(Verhard) maaiveld, 20 - 0 cm + MV	rioleringsstelsel	n.v.t.
Water [-]	Niet verwerkt in de bodem dus enkel hemel- en wegwater	rioolwater	n.v.t.
pCO ₂ [%]	> 0.035% atmosferisch. Verhoogd door verteren van planten resten in de berm	> 0.035% atmosferisch. Verhoogd door afbraak organisch materiaal in rioolstelsel	aanname, zie tekst
pH [-]	5	6.5	aanname, zie tekst
DOC [mg C/l]	circa 100	circa 40 - sterk variabel	aanname, zie tekst
Temperatuur [°C]	In toplaag bodem, ondiep grondwater (9 – 16 °C)	Circa 6.6 tot 20.9 °C	Temperatuur ondiep grondwater in Rotterdam: Boer et al. (2012) Temperatuur rioolwater: STOWA (2011)

Afzet

Gemiddeld heeft Nederland ruim 70.000 tot 250.000 ton strooizout per jaar nodig (Geplein 2012). In de berekeningen is aangenomen dat het verbruik van strooizout per jaar circa 160.000 ton strooizout is (het gemiddelde van 70 en 250 duizend ton strooizout).

De gemeente Rotterdam heeft in de uitzonderlijk strenge winter van 2010-2011 circa 7.100 ton strooizout verbruikt, en is daarvoor 125 keer uitgerukt. In de relatief zachte winter van 2011–2012 is er 2.600 ton gestrooid door de gemeente Rotterdam en hiervoor is 40 keer uitgerukt (Gemeente Rotterdam 2012). In de berekeningen is aangenomen dat in de gemeente Rotterdam circa 57 tot 65 ton strooizout per strooiroonde wordt verspreid en dat er circa 60 keer wordt gestrooid per winter. Dit komt maakt een totaal gemiddeld gewicht van 3654 ton strooizout per jaar.

De volgende aannames zijn vervolgens gemaakt:

1. Niet al het wegoppervlak binnen de gemeente Rotterdam is geschikt voor strooizout bijgemengd met zand of olivijn fractie. Hiertoe is aangenomen dat 50% van het strooizout geschikt is voor het bijmengen met zand of olivijn. Dit is een ruwe inschatting en dient in overleg met strooidienst precies te worden vastgesteld.
2. Binnen de gemeente Rotterdam vindt de afvoer van hemelwater van een wegoppervlak voornamelijk plaats via het riool. Bij de grotere doorgangswegen infiltreert het in de berm. Er is aangenomen dat 60% van het strooizout gebruikt wordt op wegen waarbij het hemelwater afgevoerd wordt via het riool, en 40% infiltreert in een berm. Deze verdeling is een ruwe inschatting en dient in overleg met strooidienst precies te worden vastgesteld.
3. Niet al het strooizout belandt in het riool of de berm met afvloeien van hemelwater. Een klein deel van het strooizout zal op het wegdek blijven liggen en belanden tussen de straatstenen. Het is niet goed in te schatten welk deel tussen de straatstenen blijft liggen. Hiertoe is aangenomen dat 100% van het gestrooide zout ofwel in de berm ofwel in het riool beland.

Indien bovenstaande aannames worden verwerkt om het totale gewicht strooizout per toepassing 'berm' en 'riool', per jaar, in de gemeente Rotterdam, dan gelden de waarden zoals vermeld in Tabel B5-7.

Er is aangenomen dat het verdunnen van strooizout met 20 gew.% olivijn mogelijk is. Hierbij is uitgegaan van de volgende informatie:

1. Bedekkingsgraad van strooizout die in het algemeen wordt aangehouden is circa 15 – 20 gr/m² strooizout indien gebruik wordt gemaakt van een vacuümzout met 96,5 gew.% NaCl. De smeltcapaciteit van dit type strooizout is 11,5 kg gesmolten ijs per kg NaCl. De smeltcapaciteit is tevens afhankelijk van de korrelverdeling van het zout (Akzo Nobel 2010, Terpstra 2011). Het verdunnen van vacuümzout met olivijn resulteert dus in een verlaging van de smeltcapaciteit: capaciteit van 1 kg strooizout daalt naar 8,88 kg gesmolten ijs (het strooizout bevat nog 0,772 kg NaCl per kg strooizout). Dit betekent dus dat er per m² wegdek 3 tot 3 gram minder NaCl zal worden aangebracht. In gesprek met de strooidienst zal moeten worden bepaald of hierbij nog steeds aan de voorwaarden voor veiligheid wordt voldaan.
2. De strooiwagens die gebruikt worden dienen in staat te zijn om het olivijn te mengen met het vacuümzout, en egaal te verspreiden over het wegdek. Het gebruik van vaste delen dient niet te resulteren in het verstopping van de strooi installatie. In Nederland wordt voornamelijk nat gestrooid (combinatie van pekels en strooizout) om een egale spreiding en minimaal verlies van strooizout in de berm/ goot te verkrijgen (Akzo Nobel 2010, Terpstra 2011). In overleg met de strooidienst dient bepaald te worden of het mogelijk is nat te strooien in combinatie met een olivijn fractie, en wat de gevolgen zijn indien droog gestrooid moet worden.

Zuurgraad (pH)

Tabel B5-7 gaat uit van een pH waarde van 5 voor bermcondities en een pH waarde van 6.5 in rioolcondities.

Het rapport "Afstromend Wegwater" van de Commissie Integraal Waterbeheer (2002) vermeldt de milieuhygiënische kwaliteit van de wegberm langs de A2 en de A27, in tabel 11 en 12. De gemiddelde pH waarde in het grondwater met een afstand van maximaal 4 meter

tot de verharding langs de A2 en de A27 is $6,1 \pm 0,45$. Deze pH waarden zijn als referentie gebruikt voor de pH waarde in de riolering en de berm binnen de gemeente Rotterdam. Hierbij is dus aangenomen er geen verschil in pH waarde is tussen wegwater afkomstig van provinciale wegen ten opzichte van snelwegen. Al dient vermeld te worden dat slijtage van wegen een hogere pH waarde kan veroorzaken (bv. indien basische slakken zijn verwerkt in de bestrating) (Meire et al., 2002). Het type bestrating kan dus invloed hebben op de pH waarde van het wegwater.

Hierbij is tevens aangenomen dat de berm begroeid is en dat door de afbraak van plantenresten in de toplaag van de berm lokaal de pH daalt naar 5 door de aanwezigheid van wortelzuren en afbraakproducten (*dissolved organic carbon*). De pH van het rioolwater is aangenomen iets hoger te liggen, namelijk 6.5, door mogelijk verhoogd gehalte aan carbonaten in rioolwater en afwezigheid van plantengroei. Indien het olivijn afgezet wordt in een slibkelder/ kolk (Dankelman, 2009) is het evenwel mogelijk dat de pH daalt door anaerobe afbraak van organisch materiaal aanwezig in het rioolwater.

Het moge duidelijk zijn dat de condities in berm en riool zeer variabel zijn, zowel ruimtelijk als temporeel. De condities voor vertering zijn gebaseerd op de hierboven vermelde aannames en zijn onzeker. Metingen in de praktijk zullen aan moeten tonen in welke mate de condities variëren en in welke mate variërende condities een (positieve of negatieve) uitwerking heeft op de verteringsnelheid van olivijn.

Bijlage 5.3 Korrelverdeling olivijn per sector toepassing

Olivijn in substraten - GROEN

Tabel B5-8 Korrelverdeling van olivijn fractie verwerkt in substraten (Bron: BVB Substrates, 2012).

Afmeting [mm]	Fractie verdeling Gew.% op zeef
102,000	
	0,00%
101,000	
	0,00%
100,000	
	0,00%
5,600	
	0,00%
4,000	
	0,00%
2,000	
	0,00%
1,000	
	0,00%
0,500	
	0,00%
0,250	
	0,00%
0,125	
	20,00%
0,063	
	80,00%
0,000	

Olivijn als bouwstof – GRIJS en WIT

Tabel B5-9 Korrelverdeling van olivijn fractie verwerkt in brekerzand, halfverharding en strooizout.

Toepassing olivijn fractie	Brekerzand	Halfverharding	Strooizout
Afmeting [mm]	Fractie verdeling Gew.% op zeef	Fractie verdeling Gew.% op zeef	Fractie verdeling Gew.% op zeef
102,000			
	0,00%	0,00%	0,00%
101,000			
	0,00%	0,00%	0,00%
100,000			
	0,00%	0,00%	0,00%
5,600			
	0,00%	0,00%	0,00%
4,000			
	0,18%	0,00%	0,00%
2,000			
	7,43%	6,00%	1,00%
1,000			
	33,52%	30,00%	0,00%
0,500			
	36,28%	32,00%	80,00%
0,250			
	16,24%	14,00%	14,00%
0,125			
	6,35%	8,00%	5,00%
0,063			
	0,00%	10,00%	0,00%
0,000			
Bron	http://www.tudelft.nl Barnhoorn (2004)	Schut en Muiswinkel (2009)	Akzo Nobel (2010)

Bijlage 6 Berekeningen efficiency CO₂ binding per jaar en per 50 jaar

Berekeningsmethode per 50 jaar

Uitkomst Rekenmodel Plan B CO₂ (Knops, 2010). Invoer parameters zijn weergegeven in Bijlage 5. Zie Figuur B6-1 voor een *screenshot* van het rekenmodel en de invoer parameters.

Berekeningsmethode per jaar

Uitkomst Pol Knops model gedeeld door verweringsperiode van 50 jaar. Aanname hier is dat verwerking- en dus vastleggen van CO₂ - lineair met de tijd verloopt. In werkelijkheid is dit niet het geval. Met afnemende korreldiameter zal relatief meer oppervlakte van de korrel (per gram stof) in contact komen met de omgeving en interactie aangaan (verwerking). Daarentegen is het mogelijk dat in de loop van de tijd een aanslag wordt gevormd op de korrel welke een fysieke barrière vormt voor het contact met de lucht. Het verweringsproces - opname snelheid van CO₂ - wordt hiertoe vertraagd. In de berekeningen is hier geen rekening mee gehouden (Bakker et al., 2010).

S20																	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	Berekeningen basis: TNO rapportage TNO report 2008-UR0776/B																
2	Berekening Olivijn verwerking																
3	Auteur:	Pol Knops			rendement	93% Afh. Olivijn samenstelling (93% Forsteriet = Standaard Olivijn)											
4	Datum:	2012-11-12															
5	Versie	5.3															
6	Uitgangspunten																
7	Verwerkingstijd	50 jaar			Gebruiksduur												
8	DOC	40 Dissolved Organic Carbon [mg C/l]			Aanname Dissolved Organic Carbon (waarschijnlijk hoger, niet erg relevant)												
9	pH waarde	4,5			pH grond												
10	Vastlegging	1,1625 kg CO ₂ /kg Olivijn			Afh. Olivijn samenstelling (93% Forsteriet = Standaard Olivijn)												
11	Olivijn	0,2 van het materiaal			Hoeveelheid olivijn aan mengsel (m/m)												
12	Hoeveelheid	1 ton per hectare			Hoeveelheid toe te passen												
13	Grootte	1 hectare grasland			Terrein grootte												
14	Olivijn gebruik	833 280 ton Olivijn															
15																	
16	Temperatuur profiel en verwerking																
17	Temperatuur gedurende het jaar																
18	Jan	Febr	Maart	April	Mei	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec	Jaar				
19	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	Grd. C	
20	2,8	3,0	5,8	8,3	12,7	15,2	17,4	17,2	14,2	10,3	6,2	4,0	9,8				
21	Verwerking micrometer																
22	Verwerking micrometer (per maand over tijdsduur)												Totale afname verwerking (per kant)				
23	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	um	
24	4.43	4.52	5.96	7.59	11.49	14.46	17.65	17.34	13.20	9.18	6.19	4.99	117.0				

Figuur B6-1 Rekenmodel Plan B CO₂ (Knops, 2010)

Bijlage 7 Emissiefactoren per toepassing

Tabel B7-1 De CO₂ emissiefactor van olivijn onder de gegeven condities per toepassing (verweringsperiode van 50 jaar).

Toepassing	CO ₂ emissiefactor [kg CO ₂ / ton olivijn]
Bomenzand	-1087
Dresszand	-1087
Dak substraat	-1087
Brekerzand	-144
Halfverharding	-357
Strooizout_berm	-929
Strooizout_riool	-562

Tabel B7-2 De CO₂ emissiefactor van grondstof(fen) per toepassing. De waarde is een schatting, inclusief transport naar Rotterdam.

Toepassing	Grondstoffen	Emissiefactor [kg CO ₂ / ton olivijn]	Bron
Bomenzand, dresszand, dak substraat. Olivijn vervangt het granulaire gedeelte van het materiaal.	Natuurlijk zand uit Duitsland	3.4	Grindwinning (Belgie/ Nederland)
	Landbouwkalk (incl. CO ₂ productie gedurende bufferende werking)	440	Protocol 11-033 Bodem (RWS),
	Kieseriet, gangbare meststof voor magnesium	50	Schatting
Brekerzand	Brekerzand vanuit Noorwegen	4.2	Van Gelder
Halfverharding	Grind uit IJsselmeer Nederland	2.7	Grindwinning (Belgie/ Nederland)
Strooizout_berm	Vacuümzout vanuit Limburg, Akzo Nobel	138	Knops
Strooizout_riool	Vacuümzout vanuit Limburg, Akzo Nobel	138	Knops

Tabel B7-3 De CO₂ emissiefactor van grondstof(fen) gebruikt per toepassing. De waarde is een schatting inclusief transport naar Rotterdam.

Toepassing(en)	Grondstoffen	Inkoopprijs [€ ton]	Bron
Olivijn	Olivijn uit Noorwegen	50,-	GreenSand
Bomenzand, dresszand, dak substraat substraat. Olivijn vervangt enkel het granulaire gedeelte van het materiaal.	Natuurlijk zand uit Duitsland)	7,-	Gemeente Rotterdam
	Landbouwkalk (incl. CO ₂ productie gedurende bufferende werking)	50,-	Groothandelprijs
	Kieseriet, gangbare meststof voor Magnesium	258,-	Groothandelprijs
	Bomenzand	20,-	Gemeente Rotterdam/ BVB Substrates
Brekerzand	Brekerzand vanuit Noorwegen	21,-	Gemeente Rotterdam
Halfverharding	Grind uit IJsselmeer Nederland	10,-	GreenSand
Strooizout_Berm	Vacuümzout vanuit Limburg, Akzo Nobel	120,-	Inkoopprijs Van Dijk
Strooizout_Riool	Vacuümzout vanuit Limburg, Akzo Nobel	120,-	Inkoopprijs Van Dijk


Tabel B7-4 Voorbeeld berekening voor de toepassing halfverharding.

Uitkomst	Berekening	Referentie
Euro per ton product	$50 \text{ gew.}\% \cdot 1000 / 1000 \cdot €10,- = €5,-$ per ton product	A_kosten
Kg CO ₂ per ton product	$50 \text{ gew.}\% \cdot 1000 / 1000 \cdot 3,40 \text{ kg CO}_2 \text{ per ton grind} = 1,70 \text{ kg CO}_2/\text{ton product}$	A_CO ₂
Euro per ton product	$50 \text{ gew.}\% \cdot 1000 / 1000 \cdot €60,- = €30,-$ per ton product	B_kosten
Kg CO ₂ per ton product	$50 \text{ gew.}\% \cdot 1000 / 1000 \cdot -357 \text{ kg CO}_2 \text{ per ton olivijn} = -178,73 \text{ kg CO}_2 \text{ per ton product}$	B_CO ₂
Meerkosten toevoeging olivijn/ ton product	meerkosten = (B_kosten) - (A_kosten)	
CO ₂ meerwaarde toevoeging olivijn/ ton product	CO ₂ meerwaarde = (B_CO ₂) - (A_CO ₂) = (-178,73) - (1,70)	
Meerkosten/ton CO ₂ vastgelegd	meerkosten/ CO ₂ meerwaarde = $€25,- / -0,18 = €138,56$ per ton CO ₂	

Bijlage 8 Uitloogproeven bouwstof volgens Besluit Bodemkwaliteit

Bouwstof

In opdracht van GreenSand en Van Dijk BV is er door het AP04 gecertificeerde milieulaboratorium Agrolab een kolomproef uitgevoerd volgens het Besluit Bodemkwaliteit zoals voorgeschreven voor een niet-vormgegeven bouwstof (NEN 7375). Olivijn betreft een niet vormgegeven bouwstof aangezien het een granulaat betreft. Het type olivijn dat getest is, is gelijk aan het type zoals beschouwd in de toepassing bomenzand, dresszand en dak substraat. Zie Bijlage 5 voor de korrelgrootteverdeling.

AL-West B.V.		AGROLAB group	
Handelskade 39, 7417 DE Deventer, Netherlands Postbus 693, 7400 AR Deventer Tel. +31(0)570 788110, Fax +31(0)570 788108 e-Mail: info@al-west.nl, www.al-west.nl			
Opdracht 322688 Bouwstof / puin			
<i>Monsternr.</i>	<i>Monstername</i>	<i>Monsteromschrijving</i>	
820337	03.08.2012	Monster 1	
820340	30.08.2012	L/S 10 Monster 1	
	Eenheid	820337 Monster 1	820340 L/S 10 Monster 1
Algemene monstervoorbehandeling			
Aangeleverde monsterhoeveelheid	kg	4,7	--
Droge stof (Ds)	%	99,9	--
Uitloogonderzoek			
Kolomproef 1 fraktie volledig		++	--
Berekende cumulative emissie			
Chroom cumulatief	mg/kg Ds	0,0 - 0,10	--
Nikkel cumulatief	mg/kg Ds	0,0 - 0,20	--
Uitlooging eluaatanalyse			
Geleidbaarheid eluaat (25 °C)	µS/cm	--	110
Temperatuur	°C	--	21,9
pH-eluaat		--	8,2
L/S-cumulatief	ml/g	--	10
Metalen (eluaatanalyse)			
Chroom (Cr)	µg/l	--	<10
Nikkel (Ni)	µg/l	--	<20
Verklaring: "<" of na betekent dat het gehalte van de component lager is dan de rapportagegrens.			
Begin van de analyses: 06.08.12			
Einde van de analyses: 03.09.12			

Grond

Indien olivijn wordt toegepast als grond geldt er een samenstellingseis voor Nikkel in plaats van een emissie eis zoals voor bouwstoffen. De samenstellingseis voor Nikkel als grond is afhankelijk van de functie van de grond. De eis per functie is weergegeven in Tabel B8. Indien men uitgaat van een concentratie van 3.000 mg Nikkel per gram droge stof olivijn. Om te voldoen aan de bodemfunctie klasse industrie dient het olivijn 300 keer verdund te worden. Voor de bodemfunctie klasse wonen dient het olivijn 769 keer te worden verdund. Aan 1 kg droge stof grond kan maar 3% olivijn toegevoegd worden om de eis van 100 mg Ni/kg d.s. niet te overschrijden (hierbij is niet gecorrigeerd voor lutum of organisch stof gehalte).

Tabel B8 Samenstellingseis voor Nikkel in grond volgens Besluit Bodemkwaliteit

Grond en Baggerslib volgens Besluit Bodemkwaliteit			
	Achtergrond waarden (NL)	Maximale waarden bodemfunctie klasse wonen	Maximale waarden bodemfunctie klasse industrie
	[mg/kg ds]	[mg/kg ds]	[mg/kg ds]
Nikkel	35	39	100
Chroom	55	62	180

Bijlage 9 Overwegingen binnen de juridische kaders

Binnen het juridisch kader 'Grond en Waterbodem' (Besluit Bodemkwaliteit) kan olivijn, verwerkt in een substraat, niet worden toegepast gezien de samenstellingseis voor nikkel. Echter, indien het substraat niet enkel functioneert als bodem voor planten, maar ook een bouwkundige functie heeft (zoals drainerende werking, dragende of belastende werking) dan is het mogelijk om substraat met olivijn binnen het juridisch kader 'Bouwstof' (Besluit bodemkwaliteit) toe te passen. Dit kan op voorwaarde dat het geplaatste materiaal terugneembaar is, en zich dus niet vermengd met de ondergrond (granulaire bouwstof dus niet-vormvast). Onder deze voorwaarden wordt olivijn, verwerkt als substraat, beschouwd als een bouwstof en geldt dus de emissie-eis. De resultaten van de kolomproef in Bijlage 8 laten zien dat olivijn voldoet aan de emissie-eis voor niet vormgegeven bouwstoffen. Aanbevolen wordt om een kolomproef uit te laten voeren op een mengsel van olivijn en substraat om de invloed van organische zuren en lagere pH waarden te bepalen op de emissie van nikkel.

Terugneembaarheid is vanzelfsprekend voor toepassing dak substraat. In deze toepassing is er een duidelijke scheiding tussen ondergrond en het dak. Daarnaast heeft de vegetatielaag ook een belastende werking voor het dak en voorziet het dak in tijdelijke opslag van hemelwater. Voor de toepassingen bomenzand en dresszand is terugneembaarheid van het materiaal minder voor de hand liggend. Er kan bijvoorbeeld gedacht worden aan worteldoeken, geotextielen die het materiaal scheiden van de ondergrond.

Het toepassen van olivijn binnen de Meststoffenwet is een mogelijkheid, op twee voorwaarden. De eerste voorwaarde is dat het gehalte aan nikkel in de ondergrond door het behandelen met olivijn niet de achtergrondwaarde overschrijdt. De achtergrondwaarde is gebiedspecifiek, in Nederland is de waarde 35 mg Nikkel per kg grond en in Rotterdam is de waarde gesteld op 60 mg/ kg grond. De tweede voorwaarde is dat olivijn als meststof erkend wordt door het ministerie van landbouw. Daarnaast zullen ook de boeren de meerwaarde van de meststof olivijn moeten inzien. Als argument voor het gebruik van olivijn is naar CO₂ vastlegging de relatief langzame afgifte van HCO₃⁻ (neutraliserende werking) en Mg²⁺ (magnesium).

Skal is een organisatie welke de biologische landbouw certificeert. Het is veelzeggend dat Skal de toepassing van olivijn in de biologische landbouw toestaat en zelfs voorschrijft als mogelijkheid voor een steenmeel (Erstad, Konovalov et al. 2000, Knops and SKAL 2012).

Olivijn wordt op dit moment als meststof in Noorwegen toegepast (Sibelco, 2012). Noorwegen is een lidstaat van de EU. Het is een mogelijkheid dat de producent vanuit Noorwegen een erkenning aanvraagt van olivijn als EU meststof. Indien dit wordt toegekend dat mag olivijn binnen de gehele EU zone als meststof worden toegepast. Stimulans voor de producent om dit te doen is op dit moment echter afwezig. Het 'kip en ei' verhaal: geen erkenning levert geen markt en geen markt geeft geen erkenning.

Het toepassen van olivijn in strooizout raakt meerdere juridische kaders. Allereerst dient bijmenging van strooizout met olivijn de smeltcapaciteit van het zout niet dermate te verlagen dat de veiligheid in het geding is. Voor het olivijn dat in de berm terecht komt geldt dat de berm naast wegen wordt beschouwd als een infiltratie voorziening. Verontreinigingen van het wegdek blijven achter in de bovenste grondlaag. Langs een aantal (Rijks)wegen wordt de berm eens in de 5 tot 10 jaar afgeschraapt en afgevoerd. Voor het olivijn dat met hemelwater afvloeit in afvalwaterriolering geldt dat het zich vermengd met de zand- en slibfractie. Dit betekent dat het deels in pompkelders/ zandkelders terecht zal komen, waar het 1 a 2 maal per jaar wordt afgepompt en samen met de zandfractie wordt verwerkt tot een herbruikbare grondstof. Een ander deel van het olivijn zal afgevoerd worden via het rioleringsstelsel naar

een rioolafvalwaterzuiveringsinstallatie (RWZI). Het toevoegen van vaste delen aan strooizout dient afgestemd te worden met de beheerder van het riool, met beheerder van RWZI en met bedrijven die de zandfractie nu verwerken tot een herbruikbare grondstof. Er dient een kosten baten analyse te worden opgesteld aan de hand van deze gesprekken. Hierbij zijn de volgende argumenten te noemen voor en tegen het gebruik van olivijn in strooizout:

Kosten:

- Verstopten van zandvangens in het riool?
- Verhogen van het nikkel gehalte in het rioolsysteem en RWZI? NB: Normen voor lozing liggen hoger dan voor oppervlaktewater en grondwater.
- Wat is de verblijftijd van olivijn in het riool en in een RWZI?

Baten:

- Afname van chloride inbreng door strooizout. Dit kan een verlaging van chloride in riool water en grondwater in stedelijk gebied tot stand brengen.
- Verminderen van H₂S vorming in het riool door inbreng van ijzer en bufferende werking van het olivijn bij vertering.
- Logistieke voordelen: olivijn is beter beschikbaar gedurende de winter en dus beter leverbaar.
- Vertering van olivijn gedurende de verblijftijd van olivijn in het rioolsysteem en RWZI systeem vermindert het droge stof gehalte van rioolslib (significant?). Indien zand wordt gebruikt voor het bijmengen van strooizout is dit niet het geval.
- Olivijn kan een positieve werking hebben in een RWZI systeem als pH buffer (stimulatie microbiologische (afbraak)processen) en helpen bij het laten neerslaan van zware metalen.
- Olivijn uit het rioolslib kan eventueel worden teruggewonnen en opnieuw worden ingezet als bouwstof.
- Vertering van olivijn in het riool is hoger dan in de omgeving door thermische energie van het rioolstelsel en hoge DOC gehalten in het riool. Deze waarden stimuleren de vertering van olivijn. Echter het olivijn kan terecht komen in zandvangens van rioolputten en daar met rioolslib in anaerobe condities ophopen, dit vertraagt het verteringsproces en reduceert de efficiëntie van CO₂ vastlegging per kg olivijn.