

## Biodegradatie van olie

In dit deel van de WOCB-wijzer komen de volgende onderwerpen aan de orde:

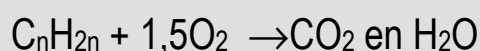
1. Afbraak van olie
2. Vormen van versnellen van de biologische afbraak
3. Onderzoek
4. Standpunt WOCB
5. Slotopmerkingen



Het is bekend dat koolwaterstoffen in het water en in de lucht worden afgebroken. De tijdsduur van deze afbraak is afhankelijk van diverse omstandigheden zoals temperatuur, zuurstofgehalte, aanwezige hoeveelheid micro-organismen en voldoende voedsel voor de micro-organismen.

Onder natuurlijke omstandigheden is het afbraakproces van grote hoeveelheden olie een traag verlopend proces dat wel maanden tot jaren kan duren afhankelijk van eerder genoemde factoren, de hoeveelheid en soort olie en het contactoppervlak oliewater.

Afbraak van minerale olie is in feite een chemische reactie (een oxidatie reactie) waarbij minerale olie en zuurstof wordt omgezet in kooldioxide en water. In tegenstelling tot de verbranding van olie welke reactie, als die eenmaal loopt, een zeer snelle oxidatie reactie is, is de biologische afbraak een traag verlopende oxydatiereactie. Ook hierbij ontstaan via een aantal tussen producten uiteindelijk water en kooldioxide als eind product. Voor de biologische afbraak zijn verschillende soorten bacteriën nodig die de olie en/of olieproducten via tussen producten afbreken (oxideren) tot water en kooldioxide. We noemen dit biodegradatie van minerale olie.



Minerale olie en Zuurstof geeft Kooldioxide en Water

**Figuur 10.1 De oxidatiereactie van minerale olie**

Uit onderzoek heeft men kunnen vaststellen dat per dag ca. 0.01 gram olie per m<sup>3</sup> zeewater door micro-organismen kan worden afgebroken. Olie die gedispergeerd is in water zal sneller biologisch afgebroken worden dan aan het oppervlak drijvende olie, omdat het contactoppervlak met water groter is.

Teerballen en "Chocolate mousse" worden heel langzaam afgebroken, doordat de opname van zuurstof, die nodig is voor de micro-organismen, in het water wordt belemmerd door de omringende olie. Van de vele soorten micro-organismen welke in staat zijn oliecomponenten af te breken blijkt het merendeel hooguit 2 à 3 soorten koolwaterstofverbindingen te kunnen afbreken. Voor een volledige afbraak van minerale oliën zijn daarom veel soorten micro-organismen nodig. Gebleken is dat bij afbraak in een zuurstofrijke omgeving (aërobe afbraak) alleen het gedeelte van de olie dat in contact komt met water afgebroken wordt.

Er zijn diverse producten ontwikkeld om het biologische afbraakproces van minerale olie in het aquatisch milieu en de bodem te versnellen.

Biodegradatie-versnellende middelen zijn middelen die het tekort aan nutriënten zoals stikstof (N) en fosfor (F), in het water opvullen en daardoor de groei van bepaalde "olie-etende bacteriën stimuleren. Het principe van dit soort producten berust op het aanbrengen van nutriënten (meststoffen) en maakt verder gebruik van de reeds in het ecosysteem aanwezige micro-organismen.

Dit deel van de WOCB-wijzer behandelt de methoden om de biodegradatie van olie te versnellen enerzijds door de toepassing van biodegradatie versnellende middelen en anderzijds door methoden toe te passen die het contactoppervlak van de olie in het water of in de bodem vergroten

## 1. Afbraak van olie

Olie die zich in of drijvend op het water bevindt wordt door micro-organismen afgebroken. Door micro-organismen wordt een deel van de olie omgezet in kooldioxide en water en een ander deel in water oplosbare stoffen die op hun beurt weer door andere micro-organismen kunnen worden afgebroken. Ook in de lucht wordt de olie via chemische oxidatie afgebroken.

### 1.1 Microbiële afbraak

Bacteriën zijn microscopisch uiterst kleine ééncellige primitieve levende organismen zonder celkern met een bol- of staaf- of spiraalvormig uiterlijk. De cellen van bacteriën zijn eenvoudiger dan die van dieren en planten. Zij kunnen zich om de 20 minuten delen en zich aldus zeer snel vermeerderen.

Bacteriën zijn in onvoorstelbare aantallen aanwezig in het water, in de bodem, met het stof overal in de atmosfeer en op alle voorwerpen aanwezig. Dit wordt onder andere veroorzaakt door hun grote weerstandvermogen en enorme voortplantingssnelheid ten gevolge van een sterke stofwisselingsactiviteit.

Bacteriën worden gekenmerkt door een enorme verscheidenheid in voedingswijzen en spelen een belangrijke rol in de natuurlijke kringloop van stoffen. Een deel van de bacteriën is dan ook in staat om organische stoffen zoals ruwe olie en olieproducten te gebruiken als voedingsstof voor hun energie. Ze trekken de voor de opbouw van cellen benodigde energie uit de oxidatie van oliecomponenten tot tussen producten. Deze tussen producten worden door andere soorten bacteriën weer verder omgezet tot uiteindelijk kooldioxide en water overblijft.

Vrijwel alle natuurlijke stoffen kunnen zo door bacteriën worden afgebroken zelfs aardolie, paraffine en asfalt. Slechts enkele stoffen zoals kunststoffen als plastics zijn min of meer bestand tegen aantasting door bacteriën.

Sommige soorten bacteriën kunnen zich bewegen met behulp van één of meer zweepdraden. Daar bacteriën geen chlorofyl bezitten kunnen ze zich niet voeden op de manier van planten.

Hun stofwisseling is anders georganiseerd. In het algemeen breken ze organische stoffen af.

Bacteriën bestaan o.a. voor ca. 45-55 % uit koolstof 10-15 % uit stikstof, 2-6 % uit fosfor. Voor de celgroei en celdeling heeft een bacterie dan ook deze stoffen nodig. In de natuur wordt de groei en vermeerdering van bacteriën bepaald door de aanwezigheid van stikstof en fosfor. Koolstof is meestal wel in voldoende mate aanwezig in het water of in de lucht.

In de natuur zijn bacteriën belangrijk in de stikstof en koolstof kringlopen. Koolstof is een essentieel element in de voeding van planten en dieren. Koolstof komt de plant binnen als koolstofdioxide via het proces van de assimilatie en wordt opgenomen in verbindingen als koolhydraten, eiwitten en vetten.

#### Koolstof

Koolstof komt als kooldioxide in grote hoeveelheden voor in de atmosfeer en, gezien de goede oplosbaarheid daarvan, ook in het water. Er zal daarom zelden een tekort optreden waardoor de opbouw van organisch stof geremd wordt. Koolstof is daarnaast

het belangrijkste bestanddeel van organische stof; het koolstofgehalte van oliën is meestal 40-50%.

De stofwisseling van organismen verloopt altijd met de opname of afgifte van koolstofverbindingen, met name van koolstofdioxide. Opgeloste organische stoffen worden met name door bacteriën benut

#### Stikstof

Stikstof is ook in zeer grote hoeveelheden in de atmosfeer aanwezig, echter in een vorm die voor de meeste micro-organismen niet bruikbaar is

Het element stikstof komt in enkele vormen in het water voor, als; opgelost stikstofgas, ammonia, nitriet, nitraat en in diverse organische verbindingen. Ammoniakstikstof komt in zuurstofrijk en onvervuild water, slechts in geringe hoeveelheden voor. Dit element kan derhalve wel in te geringe concentraties aanwezig zijn voor microbiële groei.

Stikstof is in de eerste plaats bouwstof voor de vorming van eiwitten. Met uitzondering van het inerte stikstof gas uit de lucht kunnen micro-organismen en algen alle andere vormen van stikstof gebruiken als energievoorziening of als bouwstof.

#### Fosfor

De totale aanwezige hoeveelheid fosfor in meren en rivieren verschilt van plaats tot plaats en van jaargetijde tot jaargetijde. Is het water vervuild dan stijgt het fosfaat gehalte. Deze stof is van zeer groot belang voor de groei van bacteriën. In onvervuild water komt het slechts in geringe hoeveelheden voor en wordt het als één van de stoffen beschouwd die de groei van bacteriën beperkt. Het element fosfor kan in drie verschillende vormen in oppervlaktewater aanwezig zijn, als; orthofosfaat, polyfosfaat en organisch fosfaat.

In met organisch vuil belaste wateren kunnen echter aanzienlijke hoeveelheden fosfor aanwezig zijn.

In het water, zowel in zee als in het zoete water, kunnen het fosfaat en het nitraat ion dikwijls tot de factoren gerekend worden die de groei van micro-organismen en algen beperken. Ook de fysische factoren licht en temperatuur bepalen onder sommige omstandigheden de groei.

Voor een snelle microbiologische afbraak is het nodig dat:

- de temperatuur van het water hoog is (20 à 30°C). Indien de temperatuur lager is dan 5°C vindt er nauwelijks afbraak plaats;
- er een voldoende gehalte aan stikstof- en fosforverbindingen aanwezig is (nutriënten), omdat dan een snelle groei van de micro-organismen mogelijk is;
- er veel soorten micro-organismen aanwezig zijn;
- het contactoppervlak van olie en water zo groot mogelijk is.

In gebieden met grote microbiële activiteit, zoals bijvoorbeeld havengebieden, blijkt onder gunstige omstandigheden 0.02 tot 2 gram olie per m<sup>2</sup> contactoppervlak per dag afgebroken te worden.

Afbraak in een zuurstof arme omgeving (anaërobe afbraak) blijkt zo langzaam te verlopen dat deze te verwaarlozen is t.o.v. afbraak in een zuurstof rijke omgeving ( aërobe afbraak)



## 1.2 Fotochemische afbraak

Fotochemische afbraak of foto-oxidatie van olie vindt plaats door blootstelling aan zonlicht en zuurstof. Door de chemische afbraak van minerale oliën die dan plaatsvindt worden, als tussen producten, alifatische en aromatische carbonzuren en in mindere mate alcoholen en fenolen gevormd. In het algemeen zijn deze oxidatieproducten oplosbaar in water.

De aanwezigheid van minerale zouten en bepaalde metalen (zoals vanadium) in de olie en/of in het water bevorderen de afbraaksnelheid omdat zij als katalysator werken. Foto-oxidatie verloopt slechts langzaam omdat de hoeveelheid zuurstof die in de olielaag weet binnen te dringen erg klein is.

Laboratoriumexperimenten hebben uitgewezen dat onder gunstige omstandigheden een laag van 2,5 µm olie wordt afgebroken per 100 uren zon bij een olielaagdikte van 1 mm. Oftewel voor een dag met 10 uren zon is dit een laagdikte van 0,25 µm. Dit houdt in dat van een vlek met een omvang van 10.000 m<sup>2</sup> er 2,5 liter olie van de aanwezige 10 m<sup>3</sup> wordt afgebroken. Foto-oxidatie kan echter de samenstelling van de grenslaag (buitenste olielaagje) op korte termijn veranderen. Welke invloed dit heeft op het totale gedrag van olie is nog niet geheel duidelijk.



Figuur 10.2 Olie op het strand in de vloedlijn behandelt met dispergeermiddel

## 2.1 Biodegradatie versnellende producten

De meest remmende factoren voor de snelheid van het biologische afbraakproces zijn de afwezigheid van voldoende nutriënten (meststoffen) zoals stikstof en fosfor in het water.

Om de groei van bepaalde "olie-etende" bacteriën te stimuleren, zijn producten ontwikkeld die het tekort aan nutriënten opvullen, waardoor het natuurlijke proces wordt versneld. Het principe van dit soort producten berust op het aanbrengen van meststoffen (nutriënten) en maakt verder gebruik van de reeds in het ecosysteem aanwezige micro-organismen.

Dit soort producten is:

- instaat om de koolstof-, stikstof- en fosforverhouding op een optimaal peil te brengen;
- totaal biologisch afbreekbaar;
- slechts langzaam oplosbaar in water;
- eenvoudig op de olielaag aan te brengen en zal er daarna doorheen zakken en zich aan de onderzijde vasthechten;
- werkzaam aan de onderzijde van de olielaag;
- werkzaam in een concentratie van 6 à 8% t.o.v. de olie.

Het drijfvermogen van MAKOL SL-90 zorgt ervoor dat dit product aan de oppervlakte van het water zijn werking verricht aan de onderzijde van de olielaag. Doordat dit type producten door de olielaag heen zinkt kan het op eenvoudige manier worden toegepast



Figuur 10.3 Olie is verdwenen door opname van de zee en wordt daarna in het zeewater verder biologisch afgebroken

## 2. Vormen van versnellen van de biologische afbraak

Om het biologische afbraakproces van minerale oliën in het milieu te versnellen zijn enerzijds producten ontwikkeld om de biodegradatie te versnellen en anderzijds zijn er methoden ontwikkeld om het contact oppervlak van de olie zoveel mogelijk te vergroten.

### 2.2 Vergroten contactoppervlak olie-water

De microbiologische afbraak door bacteriën vindt voornamelijk plaats op het grensoppervlak van de olie. Het zijn de in het water of in de bodem levende bacteriën die de olie afbreken. Er van uitgaand dat er in de natuur voldoende bacteriën zijn dan is het contact oppervlak van de olie met het water of met de lucht een belangrijke factor die de snelheid van het afbraakproces bepaald.



Het contactoppervlak bij een drijvende olielaag is maar beperkt tot de onderkant van de oliedruppel. Als deze laag in de vorm van oliedruppels in het water wordt gebracht wordt het contactoppervlak aanzienlijk groter. Een eenvoudig rekensommetje leert ons dat als de druppels kleiner worden het contactoppervlak van een bepaalde hoeveelheid olie sterk vergroot. Dus elke methode die de olie in zo klein mogelijke druppels in het water brengt zal het biologische afbraak proces in het water vergroten. Een zelfde proces zal in de bodem plaatsvinden echter hierbij is het nog belangrijker dat er altijd voldoende zuurstof aanwezig is voor de biologische afbraak.

In het volgende worden een aantal voorbeelden gegeven van praktische toepassingen waarbij de biologische afbraak wordt bevorderd.

### Opname en afbraak van de olie door de zee

Nadat men de olie zo goed mogelijk van het strand heeft verwijderd met mechanische middelen blijft er altijd nog een restant olie over die technisch/economisch gezien niet meer mechanisch te verwijderen is. Om deze olie restanten uit het strand te verwijderen kan men gebruik maken van de biologische afbraak methode.

Door de eb- of vloedbeweging wordt olie opgenomen door de zee, waarna deze betrekkelijk geringe hoeveelheden in de zee biologisch kunnen worden afgebroken. Met het volledig laten opnemen door de zee zullen enige dagen gemoeid zijn. Wellicht is dit te bevorderen door de toplaag bij laag water in zee te schuiven. Dit is echter wel afhankelijk van de soort olie.

Ook de toepassing van dispersiemiddelen (zie figuren 10.2 en 10.3) zal de opname door de zee bevorderen. Toevoeging van meststoffen (nutriënten) zal de afbraak bevorderen.

### Onderploegen

Door het onderploegen van de restanten olie wordt de hinder voor strandgangers sterk verminderd. De meeste olie wordt uit het zand gespoeld als het begraven wordt tussen de hoog- en laagwaterlijn. Tot nu toe is ervaren dat het een acceptabele methode is, als het gaat om zeer kleine hoeveelheden restant olie op het strand.

### De chemische disperseermethode

De disperseermethode berust op het vormen van een dun laagje dispersiemiddel om een gevormde oliedruppel waardoor de olie zijn typische olie eigenschappen zoals de klevigheid en het concentreren aan het wateroppervlak verliest. Olie die in aanraking komt met dispersiemiddelen, verdeelt zich in kleine bolletjes, die niet meer op het water blijven drijven maar zich over de bovenste waterlagen verdelen.

Door de vorming van deze oliedruppels wordt het aanrakingsoppervlak water/olie vergroot. De fysische en biologische afbraak wordt hierdoor enorm bevorderd. Een effectief met dispersiemiddelen behandelde olieverontreiniging is veel sneller van het wateroppervlak verdwenen dan een onbehandelde olieverontreiniging, waar door het gevaar voor de watervogels sterk wordt verminderd. Het dispergeren van de oliedruppels in de waterkolom heeft tevens een verdunnend effect, waardoor de olieconcentratie snel naar een minder toxisch niveau wordt gebracht.

De olie wordt namelijk niet daadwerkelijk uit het aquatisch milieu gehaald, maar alleen in een vorm gebracht die door het milieu beter en sneller afgebroken kan worden.

Het is bewezen, dat door effectief toepassing van disperseermiddelen de biologische afbraak van de olie toeneemt, dit wordt veroorzaakt door de grote toename van het olie/wateroppervlak tot volume verhouding. De concentraties aan nutriënten (stikstof en fosfor) zijn daarnaast echter van groot belang voor een snelle degradatie.



**Figuur 10.4** Het onderploegen van de olie is een van de vormen van biologische afbraak versnellen van olie

### Het laten afbreken van de olie in de grond

Langs natuurlijke weg kan de olie worden afgebroken na vermenging in de grond. Indien de grond regelmatig omgezet wordt en wordt bemest met fosfaten en nitraten kan dit proces twee jaar in beslag nemen. De toepasbaarheid van deze methode, ook wel "landfarming" genoemd wordt nog verder bestudeerd.

Steekvaste oliehoudende mengsels worden zodanig in een enkele tientallen cm's dikke toplaag vermengd dat deze gemiddeld 0,5 tot maximaal 3% olie zal bevatten. Om 20.000 m<sup>3</sup> oliehoudend zand op bovenstaande wijze te verwerken is al een terrein van enkele tientallen hectares nodig. Of dergelijke terreinen in Nederland aanwezig zijn zal nog moeten worden onderzocht. Olie die van zuurstof wordt afgesloten zal nauwelijks afbreken zoals uit een experiment op het strand is gebleken. Na een jaar was de olie nog min of meer onveranderd aanwezig. Het storten van oliehoudend zand op plaatsen waar er geen zuurstof meer bij kan komen moet dan ook worden ontraden.

### Brio-extractie

Door ter plaatse van de bodemverontreiniging naar behoefte zuurstof, stikstof en fosfor in te brengen, de pH te regelen en voor een goede bevochtiging te zorgen, wordt de biologische afbraak gestimuleerd. Bij dieper liggende olieverontreinigingen wordt "Brio-extractie" toegepast. Hiertoe wordt met behulp van infiltratie- en wateronttrekkingsputten een watercirculatie in stand gehouden, waarmee bovengenoemde stoffen kunnen worden aangevoerd. Indien deze methode toegepast kan worden, voorkomt men hiermee de kostbare ontgraving die voor de andere verwerkingstechnieken nodig is.





**Figuur 10.5** Op het fijnzandige wadsediment is zuurstof de beperkende factor voor biodegradatie



**Figuur 10.6** De mechanische verwijdering van de bulk hoeveelheid olie dient altijd eerst plaats te vinden voordat men de restant olie biologisch kan laten afbreken

### 3. Onderzoek

In internationaal kader is de laatste jaren ook veel aandacht besteed aan de versnelde afbraak van het moeilijk te verwijderen restant van een aangespoelde olieverontreiniging op stranden en oevers, door middel van biologische versnellende middelen (bioremediation). Het principe van bioremediation is dat de microbiële afbraak van de olie wordt gestimuleerd door bemesting met stikstof en fosfor. Er zijn inmiddels goede resultaten geboekt op zandstranden in Canada, Alaska, US, Frankrijk en Noorwegen. Een in Nederland door TNO uitgevoerd EU onderzoek heeft geleerd dat de fijnzandige sedimenten zoals wadbodems, zuurstof de beperkende factor in de olieafbraak is en dat de bemesting daardoor geen effect heeft.

Onderzocht moet nog worden of bioremediatie een zinvolle optie is om de olievervuiling, die op het strand, kwelders en sluffers achterblijft nadat het goed verwijderbare deel is opgeruimd, in enkele maanden tijd in plaats van enkele jaren tijd af zal breken

### 4 Standpunt WOCB

Biodegradatie- versnellende middelen, zoals Inipol-EAP 22 en Makol-SI 90, zijn enige producten die op de markt zijn gebracht. De presentatie en de resultaten van praktijkproeven o.a. tijdens de Exxon Valdez olieramp in Alaska waren van dien aard dat een zinvolle bijdrage van dit soort producten aan de oliebestrijding door de Rijkswaterstaat niet werd verwacht.

Omdat enkele andere belanghebbende instanties niet geheel afwijzend tegenover de toepassing van deze middelen stonden was het noodzakelijk om als WOCB een gefundeerd standpunt te formuleren.

Door het RIZA is een advies uitgebracht. De uitgevoerde studie leidde tot de samenstelling van een rapport over de toepassing van biodegradatie-versnellende middelen bij de bestrijding van olieverontreinigingen in oppervlaktewater (estuariene gebieden en overige kustwateren) en oevergebieden.

#### Hoofdconclusies van het rapport zijn:

Het is niet waarschijnlijk dat de speciaal voor het versnellen van biologisch afbraak van olie ontwikkelde producten, een daadwerkelijke bijdrage zal kunnen leveren aan de bestrijding van olieverontreiniging in oppervlaktewateren. Weliswaar versnellen deze producten de biologische afbraak onder geconditioneerde omstandigheden, maar ook dan nog moet gedacht worden in termijnen van weken of zelfs maanden. In de praktijk zal het, om allerlei redenen, veelal niet mogelijk zijn om olie gedurende zo lange tijd te laten liggen en zal al spoedig overgegaan dienen te worden tot mechanische verwijderingsmethoden. Op basis van de resultaten van genoemde studie en latere ontwikkelingen is het standpunt van de WOCB ten aanzien van biodegradatie versnellende middelen als volgt:

#### Mogelijk zinvolle toepassing

- De afbraak van olie op moeilijk schoon te maken plaatsen, zoals bijvoorbeeld tussen de stenen van oeverbeddingen (hier vindt men vaak de vrijgekomen olie terug).
- De afbraak van olie doormiddel van landfarming in de uiterwaarden en op de kwelders

#### Bijvoorkeur andere bestrijdingsmethode

##### In droge oevergebieden (uiterwaarden, kwelders)

- Over het algemeen zal de olie in een rand, bijvoorbeeld langs de winterdijk, aanspoelen. Bevordering van biodegradatie is eventueel mogelijk maar dan niet met speciaal ontwikkelde producten, doch met algemeen gebruikelijke nutriënten (meststoffen).
- Eventueel toepassing zal van geval tot geval moeten worden bekeken



**De toepassing is niet zinvol**

**In oppervlaktewater**

Slecht afbreekbare stoffen zijn eerder limiterend dan het gehalte aan nutriënten. De praktische toepassing geeft problemen voor wat betreft de applicatie en het tijdsaspect. Als de olie onder controle is kan hij beter mechanisch worden opgeruimd.

**In de litorale zone (droogvallende gebieden, "natte" oevers en kribben**

In het algemeen vindt voldoende aanvoer van nutriënten plaats.

Of toepassing praktisch mogelijk is in verband met waterstroming en golfbeweging moet nog worden aangetoond.

Er zijn diverse methoden om de biodegradatie van olie in zuurstofrijke omgeving (aërobe afbraak) te versnellen enerzijds door de toepassing van biodegradatie versnellende middelen en anderzijds door methoden toe te passen die het contactoppervlak van de olie in het water of in de bodem vergroten.

Om het contactoppervlak van olie en water zo groot mogelijk te krijgen kunnen de volgende methoden worden toegepast:

- Gebruik van dispergeermiddelen
- Mengen met top laag grond (landfarming)
- Onderploegen als restant opruiming op het strand
- Mechanische dispersie

In niet verontreinigd water, zowel in zee als in het zoete water, kunnen het fosfaat en het nitraat ion dikwijls tot de factoren gerekend worden die de groei van micro-organismen en algen beperken. Ook de fysische factoren licht en temperatuur bepalen onder sommige omstandigheden de groei.

Het is niet waarschijnlijk dat de speciaal voor het versnellen van biologisch afbraak van olie ontwikkelde producten, een daadwerkelijke bijdrage zal kunnen leveren aan de bestrijding van olieverontreiniging

Op de bodem (oevers, kust) kunnen algemeen gebruikelijke meststoffen (kunstmest) vaak in een tekort aan nutriënten voorzien.

Op het water hebben olie-water contactoppervlak vergrotende methoden de voorkeur omdat in Nederlandse wateren de nutriënten bijna altijd in voldoende mate aanwezig zijn en niet een beperkende factor vormen.

Teerballen en "Chocolate mousse" worden in de natuur slecht afgebroken.

**5. Slotopmerkingen**

Biodegradatie van minerale olie kan nooit worden gezien als primaire oliebestrijdingsmethode. Zoals de mechanische verwijderingsmethode. Mechanisch verwijderen van de olie uit het milieu dient altijd de voorkeur te krijgen.

Biodegradatie is met name toepasbaar bij de restant opruiming. Bijvoorbeeld als nareinigingsmethode op het strand nadat de bulk hoeveelheid olie reeds mechanisch is verwijderd

Ook op moeilijk toegankelijke plaatsen, waar mechanisch verwijderen zeer moeilijk toepasbaar is, zoals tussen stenen e.d. is biodegradatie een optie

Afbraak in een zuurstof arme omgeving (anaërobe afbraak) blijkt zo langzaam te verlopen dat deze te verwaarlozen is t.o.v. afbraak in een zuurstof rijke omgeving ( aërobe afbraak).

Bemesting met stikstof en fosfor heeft op wadbodems (fijnzandige sedimenten) nauwelijks een stimulerende werking op de biologische afbraak omdat hier zuurstof de beperkende factor is.

**COLOFON**

**WOCB-wijzer Deel 10: "Biodegradatie van olie"** is samengesteld door Dr. Ing. W. Koops in opdracht van de Werkgroep Olie- en Chemicaliën Bestrijding bij ongevallen op het water (WOCB).

**Datum:** november, 1999  
**Begeleidingsgroep:** Dhr. O. Dijkstra (vz project groep techniek),  
 Dhr. J.T.G.E. Kramer (vz WOCB) en  
 Dhr. G.van den Burg (secr. WOCB)  
**Distributie:** WOCB (inlichtingen G. van den Burg)  
**Secretariaat WOCB:** Postbus 3119,  
 2001 DC HAARLEM,  
 Tel: (023) 5301301,  
 Fax: (023) 5301302

**Rechten** Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de WOCB

