

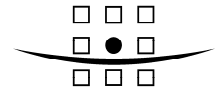
**Verbetering van sedimentkwaliteit als maatregel
in de KRW Verkenner**
Handleiding

Rijkswaterstaat RIZA

5 april 2007

Eindrapport

9S3440



Boschveldweg 21
Postbus 525
5201 AM 's-Hertogenbosch
+31 (0)73 687 41 11 Telefoon
+31 (0)73 612 07 76 Fax
info@den-bosch.royalhaskoning.com E-mail
www.royalhaskoning.com Internet
Arnhem 09122561 KvK

Documenttitel Verbetering van sedimentkwaliteit als
 maatregel in de KRW Verkenner
 Handleiding
Verkorte documenttitel Effecten sedimentkwaliteit in KRW-verkenner
 Status Eindrapport
 Datum 5 april 2007
Projectnummer 9S3440
Opdrachtgever Rijkswaterstaat RIZA
Referentie 9S3440/R00005/501694/DenB

Auteur(s) dr. J. Postma, dr. P. Dankers, drs. M. van Elswijk
Collegiale toets ir. R.A.E. Knoben
Datum/paraaf
Vrijgegeven door ir. J.W.P.M. van Poppel
Datum/paraaf

INHOUDSOPGAVE

	Blz.	
1	INLEIDING	1
	1.1 Achtergrond	1
	1.2 Hoe werkt deze handleiding?	1
2	TOELICHTING OP DE REKENMODULE	3
	2.1 Algemeen	3
	2.2 Stuurvariabelen voor resuspensie (en sedimentatie)	4
	2.2.1 Stroming	4
	2.2.2 Scheepvaart	5
	2.2.3 Windgolven	5
	2.3 Rekening houden met het schaalniveau	6
	2.4 Toelichting op algemene parameters	7
	2.5 Berekening effecten van verontreinigingen op ecologie	8
	2.5.1 Het model Omega	8
	2.5.2 Effect op de EKR	9
3	INSCHATTING BIJDRAGE SEDIMENTKWALITEIT (STAP 1 T/M 3)	10
	3.1 Algemeen	10
	3.2 Toets bijdrage sedimentkwaliteit (stap 1)	10
	3.3 Kies het watertype (stap 2a)	11
	3.4 Verzamelen benodigde gebiedsgegevens (stap 2b)	12
	3.5 Berekening van de bronsterkte (stap 3)	13
4	EFFECTEN OP WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE (HUIDIGE SITUATIE)	15
	4.1 Sedimentkwaliteit als bronterm in de KRW Verkenner (stap 4)	15
	4.2 Bereken de waterkwaliteit met behulp van de KRW Verkenner (stap 5a)	15
	4.3 Berekening van effecten op ecologie (stap 5b)	15
5	HET OPSTELLEN EN AFWEGEN VAN MAATREGELLEN	16
	5.1 Maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit (stap 6)	16
	5.1.1 Verbetering van de sedimentkwaliteit	16
	5.1.2 Maatregelen om resuspensie tegen te gaan	16
	5.2 Maatregelen ter verbetering van de ecologische toestand (EKR)	17
	5.3 Gebruik in de KRW Verkenner	17
6	VOORBEELD ZWARTE MEER (PILOT)	18
	6.1 Systeembeschrijving	18
	6.2 Toets bijdrage sedimentkwaliteit (stap 1)	19
	6.3 Keuze in watertypen en stuurvariabelen (stap 2a)	20
	6.4 Verzamelen aanvullende gegevens (stap 2b)	20
	6.4.1 Windgolven	21
	6.4.2 Scheepvaart	21
	6.4.3 Samenvatting gegevens	22
	6.5 Resultaten	23
	6.5.1 Berekening van de bronsterkte (stap 4)	23
	6.5.2 Berekening van de vracht per stof	23
	6.5.3 Relatie kwaliteit oppervlaktewater en sediment	24
	6.5.4 Ecotoxicologische risicobeoordeling	24

BIJLAGEN

1. Opzoektabel orbitaalsnelheid door windgolven
2. Rekenregels voor berekening van resuspensie en sedimentatie
3. Rekenregels OMEGA aangepast op de KRW-Maatlatten
4. Factsheet voor KRW-Verkenner

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

In de komende 10 tot 15 jaar zullen er in Nederland verschillende maatregelen nodig zijn om de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water te realiseren. Hiervoor is een (eenvoudig) reken- en communicatie-instrument ontwikkeld dat wordt toegepast om de effectiviteit van maatregelen voor de KRW in beeld te brengen: de KRW-Verkenner.

In de KRW-Verkenner (versie 0.99.0130) zitten echter nog geen rekenregels om de effecten van verbetering in sedimentkwaliteit t.a.v. verontreinigingen goed in te schatten, terwijl verbetering van de sedimentkwaliteit wel kan worden gezien als een van de mogelijke maatregelen om de doelstellingen van de Kaderrichtlijn Water te halen.

In opdracht van Rijkswaterstaat/RIZA hebben Royal Haskoning en Aquasense/Grontmij praktische rekenregels opgesteld, waarmee:

[1] *het effect van verbetering van de sedimentkwaliteit op opgeloste en totaalconcentraties wordt bepaald (chemie);*

[2] *het effect van de verbetering van de sedimentkwaliteit op ecologische maatlatten wordt bepaald (ecologie).*

Status

De rekenregels voor chemie vormen tevens de basis voor een rekenmodule die is opgesteld om de bronsterkte vanuit de waterbodem te kunnen inschatten. Hiermee kunnen ook de effecten van maatregelen die een directe verandering van de sedimentkwaliteit tot gevolg hebben (bijvoorbeeld baggeren, saneren) inzichtelijk worden gemaakt. De rekenmodule kan overigens op verschillende schaalniveau's en desgewenst ook voor andere doeleinden (bijvoorbeeld het inschatten van de risico's van verspreiding via oppervlaktewater) worden gebruikt.

Ten aanzien van de rekenregels voor ecologie is in het achtergronddocument bij deze handleiding een voorstel gedaan om de effecten van verbetering van sedimentkwaliteit op de ecologische maatlatten per waterlichaam te kunnen bepalen. Hierover en over de implementatie van deze rekenregels in de KRW Verkenner is nog geen definitief besluit genomen. In het achtergronddocument [Royal Haskoning, 2007] dat gelijktijdig met deze handleiding is opgesteld, wordt hier verder op ingegaan.

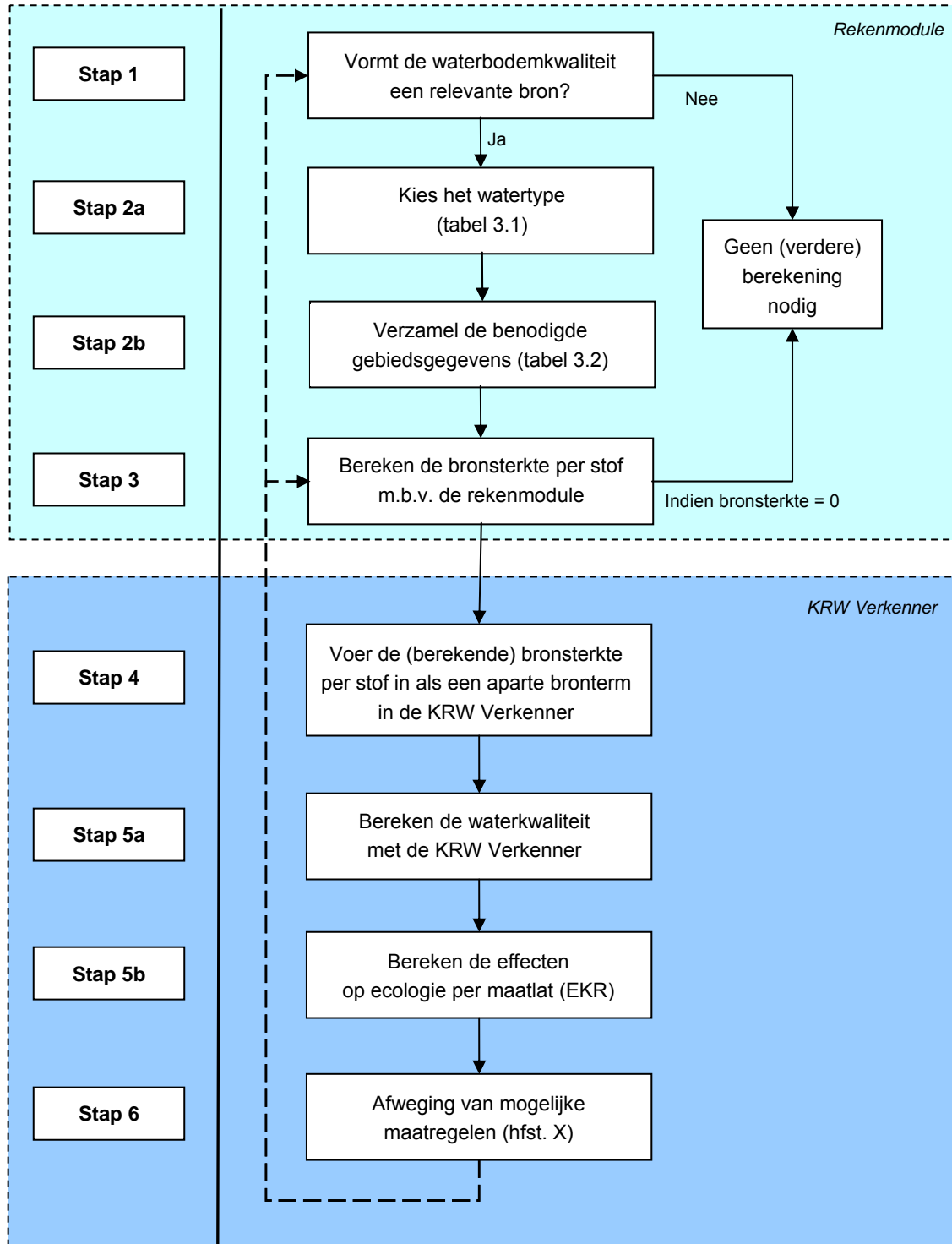
1.2 Hoe werkt deze handleiding?

In figuur 1.1 is schematisch weergegeven welke stappen moeten worden doorlopen om te bepalen of en zo ja, wat de bijdrage is van de waterbodempkwaliteit aan de waterkwaliteit of ecologie van het waterlichaam in de huidige situatie. Er is een aparte rekenmodule ontwikkeld die ook buiten de KRW-verkenner kan worden doorlopen.

Met deze rekenmodule kan voor een bepaald gebied worden ingeschat wat de vracht (in kg/jaar) vanuit de waterbodem is. De berekende vracht wordt vervolgens als een aparte bronterm in de KRW-verkenner opgenomen. Met behulp van alle gebiedsgegevens berekent de KRW Verkenner een (halfjaarlijks) gemiddelde waterkwaliteit. De (berekende) kwaliteitsgegevens worden – na validatie - vervolgens ingevoerd in een KRW-versie van OMEGA om zo de effecten op de verschillende maatlatten voor ecologie in te schatten. Het is uiteindelijk de bedoeling om de OMEGA berekeningen ook in de KRW-Verkenner op te nemen.

In de KRW Verkenner kunnen mogelijke maatregelen die leiden tot een verbetering van de sedimentkwaliteit of een afname van de resuspensieflux worden opgegeven en kan de effectiviteit van die maatregelen worden afgewogen tegen de effectiviteit van andere maatregelen die bijdragen aan verbetering van de waterkwaliteit (bijvoorbeeld verplaatsing van een RWZI) of ecologie (meandering).

Figuur 1.1: Schematische weergave van de te nemen stappen



2 TOELICHTING OP DE REKENMODULE

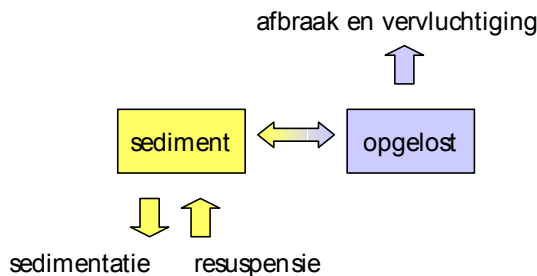
In dit hoofdstuk worden de belangrijkste processen, parameters en uitgangspunten toegelicht die bij het opstellen van de rekenregels en de rekenmodule zijn gehanteerd.

2.1 Algemeen

De KRW Verkenner brengt de stroming van water en stoffen door het beschouwde gebied in beeld. Hiervoor wordt een 'geschakelde' water- en stoffenbalans gebruikt. De afvoer en vracht uit een bovenstrooms 'bakje' wordt als in-post opgelegd aan een benedenstrooms bakje.

Tijdens het transport door het oppervlaktewater zijn stoffen onderhevig aan verschillende processen. De stoffen worden afgebroken, vervluchtigen, binden zich aan het sediment en sedimenteren of worden opgenomen door organismen. De KRW Verkenner probeert op een eenvoudige manier het effect van deze processen op de stofvrachten in beeld te brengen.

Figuur 2.1: schematische weergave van de belangrijkste processen



Om de bijdrage vanuit de waterbodem te kunnen bepalen, dient naast bovengenoemde processen ook rekening te worden gehouden met resuspensie, waarbij stoffen die al dan niet sterk gebonden aan het sediment, in contact komen met het oppervlaktewater en waar uitwisseling plaats vindt. Dit proces van resuspensie treedt gedurende een jaar met enige regelmaat op. Resuspensie wordt veroorzaakt door de stuurvariabelen stroming, scheepvaart en windgolven. Dit wordt in paragraaf 2.2 verder toegelicht.

De mate waarin resuspensie optreedt, is sturend voor de bijdrage vanuit de waterbodem aan de waterkwaliteit. Dit betekent dat het in de rekenmodule niet zozeer gaat om een sluitende balans voor het zwevend stof te verkrijgen, maar een inschatting van de bijdrage vanuit het sediment aan de waterkwaliteit door de mate waarin resuspensie binnen het waterlichaam optreedt. Zo kan in een meer, dat wordt beschouwd als een sedimentatiegebied onder invloed van processen die resuspensie veroorzaken, de waterbodem wel degelijk bijdragen aan de waterkwaliteit.

Al tijdens of direct na de gebeurtenis waardoor resuspensie ontstaat, zal een deel van het opgewervelde materiaal weer sedimenteren. Dit is in de rekenmodule meegenomen door aan een periode van resuspensie ook een periode van sedimentatie te koppelen. De bronsterkte is daarmee het resultaat van de berekende resuspensie minus de sedimentatie.

2.2 Stuurvariabelen voor resuspensie (en sedimentatie)

Het watertype bepaalt welke stuurvariabelen van belang zijn bij het bepalen van de resuspensie- en sedimentatieflux. Zo zijn bijvoorbeeld stroming en scheepvaart de belangrijkste stuurvariabelen voor resuspensie van de waterbodem in een kanaal. Resuspensie als gevolg van windgolven valt bij dit type wateren - op het schaalniveau van een waterlichaam – over het algemeen te verwaarlozen. In de rekenmodule hoeft dan alleen resuspensie t.g.v. stroming en scheepvaart te worden bepaald.

Tabel 2.2: Overzicht van stuurvariabelen per watertype

Watertype	Stuurvariabelen
Meer, plas	Windgolven, scheepvaart, (stroming in enkele gevallen)
Rivier	Stroming (ook getij), scheepvaart
Beek	Stroming
Kanaal	Stroming, scheepvaart

2.2.1 Stroming

Stroming is een belangrijk transportmechanisme dat bodemmateriaal in resuspensie kan brengen. Daarnaast kan, indien sediment door een ander proces in suspensie komt, vervolgens door de stroming worden getransporteerd. Met dit aspect wordt in de rekenmodule geen rekening gehouden. Er is voor gekozen om alleen te kijken naar de processen die binnen het 'bakje' voor resuspensie kunnen zorgen.

In meren is de optredende stroomsnelheid over het algemeen laag en zal resuspensie vrijwel niet voorkomen. In kanalen, rivieren en beken kan stroming echter wel voor resuspensie zorgen. In de Handleiding Sanering waterbodems [Tonkes, 2006] wordt uitgegaan van een kritieke stroomsnelheid aan de bodem van ongeveer 0,3 m/s voor ongeconsolideerd slib en ongeveer 0,8 m/s voor geconsolideerd slib. In rivieren bedraagt de stroomsnelheid bijna altijd meer dan 0,3 m/s.

Indien in de rekenmodule een stroomsnelheid $< 0,3$ m/s wordt opgegeven zal er geen resuspensie optreden. Verdere berekening met betrekking tot stroming is dan niet nodig. Dit is ook het geval bij een bodem die voor een groot deel begroeid is geraakt. Hier is de weerstand tegen resuspensie zeer groot en zal er ongeacht de stroomsnelheid vrijwel geen resuspensie optreden.

Stroming wordt verondersteld een continu proces te zijn. Indien er geen data over stroomsnelheden bekend zijn, kan de gebruiker ook de afvoerverdeling (debieten) over een jaar opdelen in maximaal 4 klassen (varierend van lage tot hoge afvoer). Met behulp van het (lokale) natte profiel kan de lokale stroomsnelheid behorend bij een bepaald debiet worden berekend. Deze gegevens kunnen in de rekenmodule worden ingevoerd.

Indien een snelheid aan de bodem van $> 0,3$ m/s of $> 0,8$ m/s wordt opgegeven voor respectievelijk ongeconsolideerde en geconsolideerde bodems, vindt er wel resuspensie plaats. De opgegeven stroomsnelheid wordt in de rekenmodule omgezet naar een schuifspanning aan de bodem. Deze schuifspanning wordt gebruikt om de resuspensieflux ten gevolge van stroming te bepalen.

2.2.2 Scheepvaart

Voor de bepaling van de snelheid aan de bodem ten gevolge van scheepvaart is het van belang onderscheid te maken tussen verschillende scheepstypen. Er is een bestaand classificatiesysteem IVS90, wat normaliter wordt gebruikt voor scheepstellingen. De IVS90 schepen zijn echter niet direct gerelateerd aan scheepsparameters. Voor de rekenmodule is het verder ook niet nodig om alle scheepstypen mee te nemen. Dit zou een te uitgebreide lijst geven. Daarom is er voor gekozen om een aantal ontwerpschepen te gebruiken (zie tabel 2.3). De opdeling naar IVS90 classificering is als volgt gemaakt:

Tabel 2.3: Scheepsclassificatie

Categorie	Beschrijving
Zeevaart	Kleine Zeevaart, vracht, tank en overig
Binnenvaart groot	Duwvaart, CEMT klasse Vb, vracht en tank
Binnenvaart	CEMT klasse IV, vracht en tank
Binnenvaart klein	CEMT klasse III
Recreatievaart groot	Motorjacht/Zeiljacht
Recreatievaart klein	Speedboot

In de rekenmodule kan uit bovenstaande type schepen worden gekozen en de frequentie (aantal schepen per dag) op een bepaalde locatie worden aangegeven. Scheepvaarttellingen zijn onder meer te verkrijgen via Rijkswaterstaat.

2.2.3 Windgolven

Wind veroorzaakt golven en deze golven leiden tot een orbitaalbeweging bij de bodem. Deze orbitaalbeweging, of orbitaalsnelheid, kan vervolgens resuspensie tot gevolg hebben. De orbitaalsnelheid is geen constante beweging, maar een versnellende en vertragende beweging. Dit heeft tot gevolg dat de kritieke bodemschuifspanning bij een lagere snelheid al wordt overschreden. De kritieke snelheid aan de bodem is onder golven geen 0,3 m/s, maar 0,22 m/s [Eelkema, 2006].

De orbitaalsnelheid aan de bodem hangt af van de golfhoogte en waterdiepte. De golfhoogte hangt weer af van de windsnelheid en de strijklengte. Een eenvoudige manier om een inschatting te maken van de orbitaalsnelheid is door gebruik te maken van strijklengte, windsnelheid en een uitbreiding van de opzoektabel zoals deze is gegeven in Eelkema (2006). In bijlage 1 is een opzoektabel voor orbitaalsnelheid aan de bodem opgenomen.

Als voorbeeld kan gekeken worden naar een meer met een lengte van 7 km en een breedte van 2 km. De meest voorkomende windrichting is zuidwest en daarbij hoort een strijklengte van 7 km. De meest voorkomende windsnelheid bij deze windrichting is 6 m/s. Uit de tabel in bijlage 1 valt af te lezen dat de orbitaalsnelheid bij deze combinatie van factoren slechts 0,16 m/s is. Dit is niet genoeg om resuspensie te veroorzaken. In dit geval kan daarom beter niet gekozen worden voor het gebruiken van de meest voorkomende windrichting en windsnelheid maar wellicht wel voor een windrichting die iets minder vaak voorkomt maar waarbij wel regelmatig hoge windsnelheden optreden.

Het is aan de gebruiker om op deze manier een goede combinatie van strijklengtes en windsnelheden te vinden die zo veel mogelijk van de dagen beslaan waarin opwerveling kan optreden. In bijlage 1 is hiertoe een voorbeeld uitgewerkt (pm).

2.3 Rekening houden met het schaalniveau

Afhankelijk van het doel kan de bijdrage van sedimentkwaliteit op verschillende schaalniveau's worden berekend (zie tabel 2.5).

Tabel 2.5: Schaalniveau voor de berekening van de bijdrage vanuit het sediment

Schaalniveau	Toelichting
Waterlichaam	Kan worden toegepast als het waterlichaam relatief homogeen is qua invoergegevens. Bijvoorbeeld een meer of plas, waarbij de waterdiepte tussen de 1 en 2 meter ligt en waar geen scheepvaart optreedt (of juist wel recreatievaart die overal mag komen)
Gebied	Een deel van het waterlichaam dat zich onderscheidt van de rest van het waterlichaam en waarvan dus ook specifieke gegevens voorhanden zijn
Locatie	Te denken valt aan een saneringslocatie (haven) waarbij specifiek wordt gekeken naar de bijdrage van deze locatie op de rest van het gebied of waterlichaam.

Het hoogste schaalniveau is dat van een waterlichaam, het laagste schaalniveau is dat van een locatie (bijvoorbeeld een haven langs een rivier of kanaal).

Ruimtelijke verdeling van het sediment

Binnen de locatie, het gebied of het waterlichaam dient onderscheid te worden gemaakt in het type sediment: zand, slib of veen¹.

Zandige bodems bezitten namelijk andere karakteristieken dan slibbige bodems. Als het klei percentage (korrelgrootte <2 micrometer) in een bodem meer dan ongeveer 5 – 10% bedraagt, wordt een bodem als cohesief aangemerkt. De sedimentdeeltjes blijven dan makkelijker aan elkaar plakken en deze bodems hebben, ondanks de kleine korrelgrootte, over het algemeen een hogere weerstand tegen erosie en resuspensie dan zandbodems. De cohesieve eigenschap van slib heeft bovendien tot gevolg dat verontreinigingen zich gemakkelijker hechten aan slib dan aan zand. Erosie of resuspensie vanuit zandige bodems zal hierdoor niet sterk bijdragen aan een verslechtering van de waterkwaliteit. Om die reden is er voorlopig voor gekozen om de resuspensie voor zandbodems niet in de rekenregels (en rekenmodule) op te nemen. Dit betekent dat bij het bepalen van de sedimentkwaliteit (in stap 1) alleen gekeken wordt naar die oppervlakten waar slib in de toplaag is aangetroffen.

¹ Het komt ook voor dat veen aan het oppervlak ligt. Veen kan een belangrijke bijdrage leveren aan de waterkwaliteit (o.a. nutriënten, maar ook verontreinigingen die zich goed hechten aan het organische materiaal). Er is weinig bekend over de erodibiliteit van veen. Als er erosie van veen optreedt gebeurt dit vaak als massa erosie, oftewel grote klompen per gebeurtenis. Het is onduidelijk hoe erosie van fijnere deeltjes, inclusief verontreinigingen, optreedt. Daarom is het (op dit moment) nog niet mogelijk om te kiezen voor veen als voornaamste bodemtype.

2.4 Toelichting op algemene parameters

Consolidatie van de slibbodem

In geval van slib (bij een verontreinigde waterbodem is dit meestal het geval) zal de mate van erosie of resuspensie van het bodemmateriaal moeten worden bepaald. Er wordt onderscheid gemaakt tussen geconsolideerde en niet-geconsolideerde cohesieve bodems. Ongeconsolideerde slibbodems hebben een (soms dikke) laag van zeer los materiaal aan het oppervlak liggen (bijvoorbeeld Ketelmeer). Deze laag wordt erg gemakkelijk in resuspensie gebracht. Geconsolideerde slibbodems worden aangetroffen in bijvoorbeeld nieuw gegraven geulen, waarbij oude lagen aan het oppervlak komen. Deze bodems hebben een zeer hoge weerstand tegen resuspensie en erosie.

Over het algemeen is het niet gemakkelijk om de mate van consolidatie te bepalen, vooral niet als er geen geschikte sedimentmonsters zijn genomen. Als default waarde kan echter uitgegaan worden van ongeconsolideerd slib. Alleen als er sprake is van nieuw gegraven geulen, sterk insnijdende geulen of locaties waarvan bekend is dat een vaste kleilaag aan het oppervlak ligt, dient gekozen te worden voor geconsolideerd slib. Op basis van het watertype en de mate van consolidatie van de slibbodem wordt in de bijbehorende rekenmodule voor een aantal algemene parameters automatisch een default-waarde ingevuld. Het betreft hier de ruwheidshoogte en de erosiecoëfficiënt. Als op basis van gebiedskennis echter andere dan de defaultwaarden worden verwacht mag hier vanaf worden geweken.

Ruwheidshoogte

Deze parameter is nodig om de Chézy-coëfficiënt te berekenen. De Chézy-coëfficiënt wordt gebruikt in de berekening van de bodemschuifspanning. De defaultwaarde voor de ruwheidshoogte is 0,01 m. Deze waarde geldt voor slib-bodems omdat deze over het algemeen zeer glad en vloeiend zijn. Zo gauw de bodem zandiger is, kunnen bedvormen (ribbels) zich gaan vormen en zal de ruwheidshoogte toenemen.

Erosiecoëfficiënt

Deze parameter is nodig om de resuspensieflux te berekenen. De erosiecoëfficiënt is een parameter die moeilijk te bepalen is. Over het algemeen kan gezegd worden dat de erosiecoëfficiënt moet liggen tussen de $0,01 \times 10^{-3}$ en $0,5 \times 10^{-3}$ kg/m²/s voor de licht geconsolideerde en de meest losse slibbodems respectievelijk. Meren en kanalen hebben veelal een zeer losse toplaag vanwege de continue opwerveling van sediment. Daarom is als defaultwaarde bij deze types gekozen voor $0,4 \times 10^{-3}$ kg/m²/s. Rivieren en beken worden verondersteld een iets vastere toplaag te hebben. De default erosiecoëfficiënt ligt dan ook iets lager.

Gemiddelde stroomsnelheid en waterdiepte

Naast de specifieke stroomsnelheden waarbij resuspensie kan optreden, dienen een gemiddelde snelheid en waterdiepte te worden ingevuld. Het gaat hier om achtergrondwaarden om de sedimentatie te berekenen. Voor zowel de snelheid als de waterdiepte zal een waarde ingevuld moeten worden die het waterlichaam zo goed mogelijk beschrijft. Het is aan de gebruiker om een waarde te kiezen maar het heeft de voorkeur om een meest voorkomende of gemiddelde waarde te nemen.

Gehalte zwevend stof

Voor het gehalte aan zwevend stof is een default van 30 mg/l aangegeven. In de meeste oppervlaktewateren worden regelmatig metingen van het gehalte aan zwevende stof gedaan en zal het gemiddelde gehalte dus per gebied bekend zijn.

2.5 Berekening effecten van verontreinigingen op ecologie

Ecologische processen, zoals populatiedynamiek en soortensamenstelling, worden door een veelheid aan factoren beïnvloed, waarbij vooral (her)inrichting en eutrofiëring van grote invloed zijn. Ook de in water of sediment aanwezige verontreinigingen kunnen een stressfactor vormen en daarmee van invloed zijn op het al dan niet halen van de ecologische doelstellingen uit de KRW.

Deze stoffen kunnen uit allerlei bronnen afkomstig zijn, zoals RWZI's, diffuse bronnen of een bovenstroomse input, maar ook de waterbodem vormt een mogelijke bron van verontreinigingen. In het vorige hoofdstuk is beschreven hoe de waterbodem als bron kan worden samengevoegd met de andere brontermen, uitmondend in één totaal vracht naar het oppervlaktewater voor een bepaald gebied of waterlichaam. Deze vracht aan verontreinigingen bestaat niet alleen uit de 33 prioritaire stoffen, maar ook uit de overige relevante stoffen. Om de ecologische effecten van deze vracht aan verontreinigingen vast te kunnen stellen (en daarmee ook te kunnen kijken naar het effect van maatregelen), is gebruik gemaakt van een aangepaste versie van het model Omega (versie 6.1 uitgewerkt met chronische EC50 voor verschillende KRW-maatlatten).

2.5.1 Het model Omega

Het model Omega is ontwikkeld om de risico's van blootstelling van planten, dieren en bodemprocessen aan milieuverontreinigende stoffen te bepalen. Op basis van opgegeven concentraties, berekent Omega de zogenaamde potentieel aangetaste fractie (PAF-waarde). Deze PAF-waarde is het percentage van soorten, waarvoor de concentratie van de milieuverontreiniging een drempelwaarde overschrijdt. Voor iedere stof berekent het model Omega een individuele PAF-waarde. Deze individuele PAF's worden vervolgens gecombineerd tot een msPAF (multiple substance PAF) voor alle stoffen samen. Voor een uitgebreide toelichting op het model OMEGA wordt verwezen naar de handleiding [RIZA, 2006].

Het model OMEGA wordt ten tijde van het schrijven van deze handleiding nog verder ontwikkeld en aangepast op de maatlatten voor ecologie zoals die binnen de Kaderrichtlijn Water worden gehanteerd. De PAF-berekening wordt voor ieder kwaliteitselement afzonderlijk uitgevoerd (vissen, macrofauna en fytoplankton en macrofyten). Voor de kwaliteitselementen fyto-benthos en macrofauna geldt dat de berekeningen plaatsvinden op basis van opgeloste concentraties in het oppervlaktewater als mede op basis van sedimentconcentraties, omdat deze soorten via beide compartimenten effecten kunnen ondervinden.

Intermezzo: wel of geen drempelwaarde voor ms-PAF?

In een theoretische situatie, waarbij organismen alleen aan verontreinigingen worden blootgesteld, kunnen kleine nadelige effecten al bij lage concentraties worden aangetoond. In veldsituaties blijken deze vrij geringe effecten vaak weg te vallen in de ruis in populatiedynamiek als gevolg van de invloeden van andere factoren, zoals stroming, temperatuur, eutrofiëring, voedselschaarste etc. Dat wil niet zeggen dat de effecten er niet zijn, maar wel dat bij dergelijke lage waarden aanpak van de verontreinigingen niet tot zichtbare verbeteringen in de kwaliteitselementen zal leiden.

Er kan gekozen worden om te werken met drempelwaarden. Situaties waarbij de berekende msPAF-waarde de drempelwaarde niet overschrijdt, hoeven niet verder bestudeerd te worden omdat geen significante effecten op de ecologie verwacht worden. Er zijn nog geen definitieve drempelwaarden afgeleid. In het achtergronddocument [ref] bij deze handleiding is een voorstel voor de hoogte van deze drempelwaarden opgenomen.

2.5.2 Effect op de EKR

Verscheidene multivariatie studies naar de invloed van verontreinigingen op het ecosysteem laten zien dat deze invloed gemiddeld genomen varieert tussen de 2 – 10%. Voor individuele locaties kan deze invloed echter veel sterker zijn, maar voor een waterlichaam als geheel zal dit naar verwachting tussen de 2 en 10% liggen.

Intermezzo: relatie tussen msPAF en EKR

Ook hiervoor geldt dat er momenteel nog geen goede onderbouwing is om de koppeling tussen de berekende msPAF en de EKR (Ecologische Kwaliteit Ratio) te maken. In het achtergrond-document bij deze handleiding wordt hier uitgebreid bij stil gestaan en is op basis van literatuur wel een voorstel voor een koppeling tussen de msPAF en de EKR gedaan. Hierover is nog geen definitief besluit genomen.

3 INSCHATTING BIJDRAGE SEDIMENTKWALITEIT (STAP 1 T/M 3)

3.1 Algemeen

In figuur 1.1 is het stroomschema van de te doorlopen stappen opgenomen. Als eerste stap wordt getoetst of er voldoende aanleiding bestaat om sedimentkwaliteit als bronterm te berekenen. Is dit het geval, dan worden aan de hand van het watertype (stap 2a) de aanvullende gebiedsgegevens verzameld (stap 2b). In stap 3 wordt met behulp van de rekenmodule de bronsterkte berekend. De berekende bronsterkte kan in de gebiedsanalyse worden gebruikt om te beoordelen of de sedimentkwaliteit van een gebied of (deel van een) waterlichaam daadwerkelijk kan bijdragen aan de waterkwaliteit.

3.2 Toets bijdrage sedimentkwaliteit (stap 1)

Voor het doorlopen van deze toets dienen eerst de basisgegevens uit tabel 3.1 te worden verzameld.

Tabel 3.1: basisgegevens voor het uitvoeren van stap 1

Benodigde gegevens	Mogelijke informatiebronnen
1. (recente) kwaliteitsgegevens toplaag van het sediment*	<ul style="list-style-type: none"> Onderzoeksrapportages (verkenkend, oriënterend of nader onderzoek); Onderzoek i.k.v. (onderhouds)bagger-werkzaamheden Monitoringsrapportages
2. Het oppervlak aan ernstig verontreinigd slib (> interventiewaarden) dat op een of meerdere locaties binnen het waterlichaam is aangetroffen	<ul style="list-style-type: none"> Saneringsprogramma Rijkswateren; Provinciale saneringprogramma's
3. De totale oppervlakte van het waterlichaam	<ul style="list-style-type: none"> Uit database KRW-verkenner Indeling in waterlichamen
4. Oppervlakte van het waterlichaam waar de kwaliteit van de bovenste sliblaag (P90) > MTR-sediment	<ul style="list-style-type: none"> Onderzoeksrapportages (verkenkend, oriënterend of nader onderzoek); Onderzoeksgegevens i.k.v. geplande bagger-werkzaamheden Monitoringsgegevens

* op basis van totaalgehalten. Beschikbare gehalten zijn in principe beter, maar zijn over het algemeen nog niet gebiedsdekkend voorhanden.

Hou rekening met het feit dat alleen met het oppervlak van het waterlichaam hoeft te worden gerekend waar slib in de toplaag (0-25 cm) is aangetroffen (of tenminste wordt verondersteld aanwezig te zijn).

Bepalen van de sedimentkwaliteit

Bij het bepalen van het oppervlak aan ernstig verontreinigd slib van een of meerdere verontreinigde locaties binnen het waterlichaam, kan – indien beschikbaar - gebruik worden gemaakt van de contourgrenzen (> interventiewaarden voor sediment) die bijvoorbeeld in het kader van een oriënterend of nader onderzoek zijn opgesteld. Zijn deze gegevens niet voorhanden, dan kan op basis van de (individuele) toetsresultaten een inschatting (eventueel met behulp van GIS) worden gemaakt van het oppervlak aan slib dat boven de interventiewaarden is verontreinigd.

Daarnaast dient voor de oppervlakte van het waterlichaam, gebied of locatie waar sprake is van een sliblaag te worden bepaald of de sedimentkwaliteit (90-percentiel waarde) het MTR-sediment overschrijdt. Let op dat er voldoende ruimtelijke spreiding bestaat tussen de beschikbare kwaliteitsgegevens. Veelal zijn kwaliteitsgegevens bekend uit waterbodemonderzoek omdat er sprake was van een vermoeden van waterbodemonverontreiniging. Dit wil niet altijd zeggen dat deze kwaliteit ook representatief is voor het gehele gebied.

Indien binnen het gebied geen of onvoldoende kwaliteitsgegevens van het sediment beschikbaar zijn, wordt ten zeerste aanbevolen om eerst aanvullend onderzoek hiernaar te doen. Desgewenst kan met de aanwezige gebiedskennis wel een voorlopige inschatting van de sedimentkwaliteit worden gemaakt (bijvoorbeeld door een klasse 2 of 4 waterbodemon uit hetzelfde stroomgebied te selecteren).

Toets stap 1

- 1a) *Is het oppervlak van een (individuele) ernstig verontreinigde locatie dan wel het gezamenlijke oppervlak van alle ernstig verontreinigde locaties (> interventiewaarden) binnen het gebied groter is dan 1% van het totale oppervlak van het waterlichaam?*
- 1b) *of is het gezamenlijke oppervlak van alle verontreinigde locaties met een sedimentconcentratie hoger dan de MTR-sediment groter is dan 10% van het totale oppervlak van het waterlichaam?*

Is het antwoord op een van bovenstaande vragen positief, ga dan door naar stap 2. Er dient dan een meer gedetailleerde berekening te worden uitgevoerd om de bijdrage van de kwaliteit van het sediment op de waterkwaliteit en de ecologie in het gebied beter te kunnen beoordelen.

Is het antwoord op beide vragen negatief, dan is de bijdrage vanuit het sediment aan de waterkwaliteit (met betrekking tot verontreinigende stoffen) op het beschouwde schaalniveau te verwaarlozen.

3.3 Kies het watertype (stap 2a)

De indeling in watertypen is belangrijk om te bepalen welke processen van invloed zijn op de erosie- sedimentatiefluxen in een gebied (zie tabel 3.2).

Tabel 3.2: Overzicht van stuurvariabelen per watertype

Watertype	Stuurvariabelen
Meer, plas	Windgolven, scheepvaart, (stroming in enkele gevallen)
Rivier	Stroming (ook getij), scheepvaart
Beek	Stroming
Kanaal	Stroming, scheepvaart

Indien op het schaalniveau van een locatie wordt gekeken naar de bijdrage van sedimentkwaliteit, zal meestal het watertype worden gekozen waar de locatie in is gelegen. Een uitzondering vormen de havens. Een haven kan in de rekenmodule het beste worden getypeerd als een kanaal met als belangrijkste stuurvariabelen stroming en scheepvaart. Een kribvak maakt deel uit van een rivier, waarbij stroming een belangrijke rol speelt.

3.4 Verzamelen benodigde gebiedsgegevens (stap 2b)

In onderstaande tabel zijn alle aanvullende gebiedsgegevens opgenomen die nodig kunnen zijn om de bronsterkte te kunnen berekenen. Welke gegevens voor het betreffende waterlichaam precies verzameld moeten worden, is afhankelijk van het watertype en de relevante stuurvariabelen (stroming, windgolven of scheepvaart) voor het betreffende gebied. In paragraaf 2.2 van deze handleiding is een uitgebreide toelichting van de benodigde gegevens opgenomen.

Tabel 3.3: Gebiedsspecifieke gegevens

Gegevens	Toelichting	Bronnen
Algemene parameters		
Sediment type	Ongeconsolideerd of geconsolideerd slib	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Boorprofielen (uit bijlagen onderzoeksrapporten) ▪ Gebiedskennis
Ruwheidshoogte	Defaultwaarde beschikbaar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ o.b.v gebiedskennis aan te passen
Erosiecoëfficiënt	Defaultwaarde beschikbaar	<ul style="list-style-type: none"> ▪ o.b.v gebiedskennis aan te passen
Gehalte zwevend stof in water (in mg/l)	Het gemiddelde gehalte aan zwevend stof in het water	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoring van waterkwaliteit/zwevend stof
Gemiddelde waterdiepte (in m)	Gemiddelde diepte van het gebied	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebiedskennis ▪ Monitoring waterdiepte ▪ Uit toepassing KRW Verkenner
Gemiddelde stroomsnelheid (in m/s)	Gemiddelde stroomsnelheid van het water	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debietmetingen ▪ Uit toepassing KRW Verkenner
Stroming		
Gemiddelde waterdiepte (in m)	In de stromende hoofddelen van het waterlichaam (dus niet van zijwateren)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebiedskennis ▪ Monitoring
Bedekkingsgraad waterplanten (%)	Bedekking van de waterbodem op de locatie door waterplanten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebiedskennis of monitoring
Afvoerdeling	Stroomsnelheden en de frequentie van optreden (in dagen per jaar)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Debietmetingen
Windgolven		
Strijklengte	Gemiddelde lengte over water op overheersende windrichting(en)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bepalen met geografische kaart en windrichtingen ▪ Uit toepassing KRW-verkenner
Waterdiepte	Gemiddelde waterdiepte (bijvoorbeeld binnen de strijklengte)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gebiedskennis ▪ Monitoring waterdiepte
Windsnelheden	Frequentie per opgegeven windsnelheid (in dagen per jaar)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ KNMI-frequentietabellen via onderstaande link: http://www.knmi.nl/klimatologie/frequentietabellen/uur.cgi ▪ Potentiële windsnelheden via onderstaande link: http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/
Scheepvaart		
Binnenvaart, recreatievaart of zeevaart	<ul style="list-style-type: none"> • CEMT-klasse of type schip • frequentie (schepen/dag) • wateroppervlak in gebruik door scheepvaart (% van totale wateroppervlak) • diepte vaargeul 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Scheepvaarttellingen via website van Rijkswaterstaat

Toelichting op tabel 3.3:

De windsnelheden kunnen worden opgezocht via de website van het KNMI. Indien gebruik kan worden gemaakt van boeimetingen (metingen van windsnelheden over het water), heeft dit natuurlijk de voorkeur. Op de website van het KNMI zijn twee mogelijkheden om data over windsnelheden te krijgen:

- frequentie tabellen van windsnelheden;
- database bestanden van potentiële windsnelheden.

Het voordeel van het gebruiken van de potentiële windsnelheden is dat er voor meer locaties (54 locaties) gegevens beschikbaar zijn dan voor de frequentietabellen. Het nadeel is dat uit de ruwe data nog moet worden berekend hoeveel dagen per jaar een bepaalde windsnelheid voorkomt. Aanbevolen wordt om hiervoor een “gemiddeld” weerjaar te nemen, om te voorkomen dat extreem hoge windsnelheden worden ingevoerd die normaliter niet elk jaar optreden.

In de rekenmodule kunnen 4 combinaties van strijklengte en windsnelheid worden opgegeven. De waterdiepte wordt constant verondersteld. Welke strijklengtes en windsnelheden gekozen worden, kan door de gebruiker zelf worden bepaald. Het is hierbij echter aan te bevelen om eerst te kijken naar de combinaties van mogelijkheden tussen de maximale strijklengte, de meest voorkomende windrichting (en dus strijklengte) en de meest voorkomende windsnelheid. Aan de hand van de opzoektabel in paragraaf 2.2.3 kan dan worden ingeschat wanneer resuspensie door windgolven kan optreden. Een voorbeeld is uitgewerkt in bijlage 1 (pm).

3.5 Berekening van de bronsterkte (stap 3)

Als alle benodigde parameters van een locatie, gebied of waterlichaam zijn ingevuld, wordt de bronsterkte (vracht in kg/jaar) in de rekenmodule automatisch berekend. Hiertoe wordt de resuspensie ten gevolge van windgolven, stroming en scheepvaart vermenigvuldigd met de opgegeven tijdsfactor per mechanisme en het oppervlak aan verontreinigd slib in het waterlichaam en vervolgens gesommeerd voor een heel jaar.

De bronsterkte wordt berekend voor alle stoffen waarvan de totaalgehalten in de sliblaag boven de detectielimiet zijn gemeten. Hiermee wordt ook rekening gehouden met stoffen die weliswaar in het sediment niet tot normoverschrijding leiden, maar mogelijk tezamen met andere bronnen wel een probleem kunnen vormen voor de fysisch-chemische of ecologische toestand van het waterlichaam.

De totale vracht van sediment vanaf de bodem naar het water gegeven is het verschil tussen resuspensie en sedimentatie. De waterbodem draagt mogelijk bij aan de waterkwaliteit als de totale hoeveelheid resuspensie groter is dan de totale hoeveelheid sedimentatie tijdens of kort na deze gebeurtenis. Als er meer sedimentatie optreedt dan resuspensie, zal de bodem niet bijdragen aan de waterkwaliteit. De sedimentatie zelf kan wel bijdragen aan de waterkwaliteit aangezien verontreinigingen uit de waterfase in de bodem terecht komen. Deze verdwijnterm is al in de KRW-verkenner opgenomen en hoeft dus niet in de KRW Verkenner opnieuw te worden ingevoerd².

² Er wordt geen rekening gehouden met een mogelijke verslechtering van de waterbodemkwaliteit ten gevolge van netto sedimentatie. Dit vereist een meer modelmatige benadering.

Validatie van de berekende bronsterkte

Het is belangrijk om te controleren of de berekende bronsterkte (in kg/jaar) ook een realistische inschatting van de veldsituatie betreft. Dit kan onder meer door de berekende sedimentvracht (kg/jaar) om te rekenen naar het aantal cm sediment dat per m² in een jaar wordt opgewerveld (en grotendeels weer op de bodem wordt afgezet).

Daarnaast kan ook vanuit de berekende bronsterkte worden teruggerekend naar de concentratie van een stof in de sliblaag. In de rekenmodule (en in de KRW-Verkenner) wordt er van uit gegaan dat de verhouding sediment/verontreinigde stof in de waterbodem en in het water gelijk is. Concentraties in sediment worden gegeven in gewichtseenheid per kg droge stof. Hierdoor is de massa aan verontreinigingen bekend als de totale massa sediment in het water bekend is. Als de bronsterkte groot genoeg is levert de bodem een (negatieve of positieve) bijdrage aan de waterkwaliteit.

4 EFFECTEN OP WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE (HUIDIGE SITUATIE)

4.1 Sedimentkwaliteit als bronterm in de KRW Verkenner (stap 4)

Als de bronsterkte van een bepaald gebied of (deel van het) waterlichaam is berekend met behulp van de rekenmodule, dan kan de berekende (jaar)vracht per stof worden opgevoerd als bronterm in de KRW-verkenner. Hiervoor wordt verwezen naar de handleiding van de KRW Verkenner [www.krwverkenner.nl].

4.2 Bereken de waterkwaliteit met behulp van de KRW Verkenner (stap 5a)

De KRW-verkenner berekent op basis van alle ingevoerde brontermen en de waterbalans een (halfjaarlijkse) gemiddelde waterkwaliteit per parameter voor het waterlichaam. De huidige toestand van de waterkwaliteit die met de KRW-verkenner is bepaald, dient via een uitgebreide gebiedsanalyse te worden gekalibreerd of gevalideerd met behulp van meetgegevens zodat een realistische inschatting van de huidige toestand wordt verkregen.

Bijdrage van sediment(kwaliteit) aan de waterkwaliteit

Nu de waterkwaliteit (op basis van alle brontermen) in de KRW Verkenner is berekend, kan de bijdrage vanuit het sediment aan de waterkwaliteit voor de verschillende verontreinigende stoffen eenvoudig worden bepaald. Met de KRW-Verkenner kan een overzichtstabel worden geleverd over bijvoorbeeld de belasting voor verschillende stoffen vanuit alle brontermen die voor de desbetreffende toepassing voor een waterlichaam of gebied zijn opgevoerd.

4.3 Berekening van effecten op ecologie (stap 5b)

In een nieuwe versie van het model OMEGA - welke momenteel nog in ontwikkeling is - kunnen zowel water concentraties (voor alle kwaliteitselementen) als sedimentgehalten (alleen voor fyto-benthos en macrofauna) worden ingevoerd en getoetst aan de KRW-maatlatten.

Om de effecten voor fyto-benthos en macrofauna te bepalen, kunnen de sedimentconcentraties uit de basisgegevens van de rekenmodule worden gehaald. De sedimentconcentraties kunnen voor het hele waterlichaam (of delen ervan) worden omgerekend naar waterconcentraties (opgelost)³. Beide sporen resulteren in msPAF-waarden, die direct met elkaar vergeleken kunnen worden. De hoogte van de msPAF-waarde geeft aan hoeveel procent van de aanwezige soorten een effect ondervinden.

Er is nog geen definitieve koppeling tussen de msPAF en de ecologische kwaliteit ratio (EKR) per maatlat vastgesteld. Hierover bestond op het moment van schrijven van deze handleiding nog discussie.

³ Hiertoe kan het beste gebruik worden gemaakt van de verdelingscoëfficiënten zoals die ook in de handleiding van de KRW Verkenner (bijlage 4.1) zijn opgenomen.

5 HET OPSTELLEN EN AFWEGEN VAN MAATREGELLEN

5.1 Maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit (stap 6)

Er zijn verschillende type maatregelen mogelijk:

- a) maatregelen die leiden tot verbetering van de sedimentkwaliteit, zoals:
- b) maatregelen die de bijdrage van sedimentkwaliteit aan de waterkwaliteit verminderen. Dit zijn maatregelen die de resuspensie in het waterlichaam tegengaan.

5.1.1 Verbetering van de sedimentkwaliteit

Het betreft hier maatregelen die ingrijpen op de kwaliteit van de toplaag (0-50 cm) van het sediment, zoals:

- saneren of baggeren;
- actief afdekken van de verontreinigde toplaag;
- gedeeltelijk verwijderen in combinatie met actief afdekken;
- natuurlijke afdekking (sedimentatie) bevorderen.

Deze maatregelen kunnen soms ook leiden tot wijziging van andere invoerparameters, zoals de waterdiepte of de stroomsnelheid (zie onderstaand voorbeeld).

Om het effect van verbetering op de sedimentkwaliteit te kunnen beoordelen, dienen alle invoerparameters te worden gecontroleerd en, voor zover die in de nieuwe situatie van toepassing blijven, opnieuw berekend met de nieuwe getalswaarden.

Voorbeeld 1

In het geval dat de sliblaag van het verontreinigde gebied in een meer wordt afgedekt met schoner materiaal, dient niet alleen de kwaliteit van de nieuwe toplaag te worden opgegeven en getoetst (stap 1 van de rekenmodule), maar moet ook de gemiddelde waterdiepte van het waterlichaam worden aangepast. Dit kan overigens tot gevolg hebben dat de resuspensie door windgolven kan toenemen, maar afhankelijk van de kwaliteit hoeft dit geen nieuw probleem te veroorzaken. De nieuwe berekening geeft vervolgens weer of een ingreep wel of geen effect heeft op de waterkwaliteit (chemie).

5.1.2 Maatregelen om resuspensie tegen te gaan

Dit type maatregel richt zich specifiek op de processen (stuurvariabelen) die in het betreffende gebied een rol spelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- scheepvaartbeperkingen voor bepaalde type schepen met een te grote diepgang;
- verdiepen;
- beïnvloeden van de windgolven door het aanleggen van eilandjes of strekdammen;
- verlagen van de stroomsnelheden (indien gewenst).

Dergelijke maatregelen zullen ook effecten hebben op bijvoorbeeld de score op de ecologische maatlatten. In de KRW Verkenner zijn dergelijke koppelingen wel aanwezig, als het een duidelijke koppeling betreft.

Voorbeeld 2

In het geval dat een vaargeul niet kan worden uitgediept, kan middels het opleggen van scheepvaartbeperkingen ook de mate van resuspensie door scheepvaart worden tegengegaan. Hierdoor zullen bepaalde type schepen dit waterlichaam mijden. De nieuwe berekening geeft vervolgens weer of de maatregel wel of geen effect sorteert.

Sommige maatregelen grijpen zowel in op zowel de sedimentkwaliteit als op de processen die de mate van resuspensie bepalen, zoals bijvoorbeeld het verdiepen van een vaargeul (zie onderstaand voorbeeld).

Voorbeeld 3

In het geval dat een vaargeul wordt uitgediept, kan bij de stuurvariabele "scheepvaart" een grotere waterdiepte worden ingevoerd, maar dienen ook kwaliteitsgegevens van de nieuwe toplaag van het sediment in de vaargeul te worden opgegeven. De nieuwe berekening geeft vervolgens weer of een ingreep wel of geen effect heeft op de waterkwaliteit (chemie).

5.2 Maatregelen ter verbetering van de ecologische toestand (EKR)

Voor mogelijke maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit wordt verder verwezen naar paragraaf 5.1.

Bij verbetering van de ecologische toestand geldt dat maatregelen ter verbetering van de sedimentkwaliteit (saneren, afdekken met een schonere laag) alleen voor de maatlatten fythobenthos en macrofauna direct bijdragen aan een betere score op de EKR.

Maatregelen die tot verbetering van de waterkwaliteit leiden (door juist resuspensie tegen te gaan of andere maatregelen), zullen bijdragen aan een betere score op de EKR voor alle maatlatten (vissen, benthische macrofauna, fytoplankton en macorfyten).

5.3 Gebruik in de KRW Verkenner

De KRW Verkenner werkt feitelijk met twee situaties: de huidige situatie (voordat een maatregel heeft plaatsgevonden) en de situatie nadat een maatregel is uitgevoerd. Het verschil tussen beide situaties (wel of geen verbetering van de waterkwaliteit en/of EKR) leidt tot een factor die in de KRW Verkenner aan de betreffende maatregel wordt gekoppeld. Dit gaat op de volgende manier.

Voor chemie (bronmaatregel in KRW-Verkenner):

$$\text{Bronsterkte}_{na_maatregel} = \text{Bronsterkte}_{voor_maatregel} * \text{factor}$$

De factor wordt gehaald uit het quotient van 2 spreadsheet berekeningen van voor en na het nemen van maatregelen. De bronsterkte vóór het nemen van maatregelen wordt als bronterm ingevoerd in de KRW-Verkenner

Voor het effect op ecologie (maatregel met direct effect op EKR in de KRW-Verkenner):

$$\text{EKR}_{na_maatregel} - \text{factor}_{na_maatregel} = \text{EKR}_{voor_maatregel} - \text{factor} \text{ (tussen 0 en 0,1)}.$$

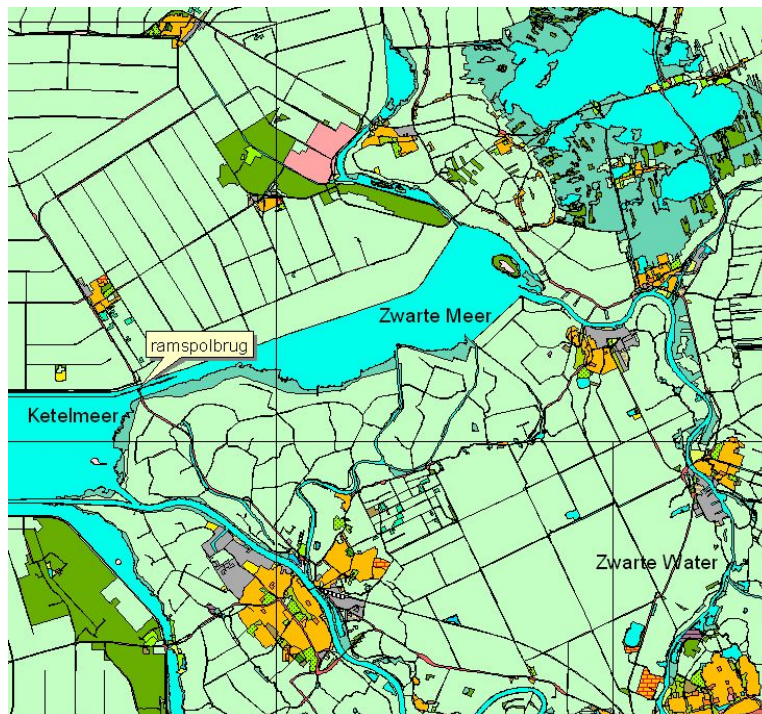
Zowel de (off-line) berekende effecten voor en na het nemen van maatregelen kunnen op deze manier kunstmatig in de KRW-Verkenner worden opgenomen. Hierbij is verondersteld dat de factor (uit tabel 3.3) na uitvoering van de maatregel altijd kleiner zal zijn dan de factor voor de invoering van de maatregel.

6 VOORBEELD ZWARTE MEER (PILOT)

6.1 Systeembeschrijving

Het Zwarte Meer is grotendeels gelegen in de provincie Flevoland en voor het overige deel in de provincie Overijssel. Het Zwarte Meer heeft een oppervlakte van circa 1.700 ha. Het Zwarte Meer grenst aan de noordzijde aan het Kadoelermeer. De wateren zijn van elkaar afgesloten door de Kadoelerkeersluis. Aan de zuidoostzijde mondt het Zwarte Water in het Zwarte Meer uit. Het Zwarte Water zorgt voor de afwatering van een groot stroomgebied o.a. via de Overijsselse Vecht. Aan de westzijde gaat het Zwarte Meer via de Ramsgeul over in het Ketelmeer. Het Zwarte Meer heeft diverse zijwateren, te weten: het Ganzendiep, de Goot en de Veneriete aan de zuidzijde en aan de oostzijde mondt een zijwetering afkomstig van Barsbeker uit. Daarnaast zijn er nog enkele kleinere afwateringskanalen aanwezig. De begrenzing van het Zwarte Meer wordt aan de noordzijde gevormd door de dijk van de Noordoostpolder. Langs de zuid- en oostzijde zijn voornamelijk rietlanden en graslanden aanwezig.

Figuur 6.1: Overzichtskaat Zwart Meer



Het streefpeil in het Zwarte Meer bedraagt N.A.P. -20 cm in de zomer en N.A.P. -40 cm in de winter. De gemiddelde waterdiepte in het Zwarte Meer bedraagt circa 1,6 m. In het gebied is geen drinkwaterfunctie toegekend.

Op het Zwarte Meer vindt weinig recreatievaart plaats. Er is wel beroepsvaart (in de vaargeulen), maar ook dit is niet erg intensief. Langs de noordzijde van het Zwarte Meer zijn twee loswallen aanwezig. In het oostelijke en het zuidelijke deel geldt een toegangs-/vaarverbod.

6.2 Toets bijdrage sedimentkwaliteit (stap 1)

In deze stap wordt bepaald of het oppervlak van een (individuele) verontreinigde locatie dan wel het gezamenlijke oppervlak van alle verontreinigde locaties binnen het gebied groter is dan 1% van het totale oppervlak van het waterlichaam. Het totale oppervlak van het Zwarte Meer is 16,9 km² ofwel 16.900.000 m² [3].

Om te bepalen of de sedimentkwaliteit als bron een relevante bijdrage kan leveren aan de waterkwaliteit en ecologie van het Zwarte Meer zijn gegevens verzameld uit diverse bronnen. Recentelijk heeft Rijkswaterstaat een waterbodemonderzoek uitgevoerd in het Zwarte Meer [1, 2]. In het waterbodemonderzoek van Oranjewoud zijn in het Zwarte Meer 40 boringen verricht. Op 38 locaties zijn ook analyses uitgevoerd, die vervolgens met Towabo zijn getoetst. In tabel 6.1 is het aantal voorkomens van een bepaalde klasse waterbodemonderzoek (klasse 0 t/m klasse 4) in de toplaag van het Zwarte Meer opgenomen [2].

Tabel 6.1: Aantal keer voorkomen per klasse waterbodemonderzoek in de toplaag in Zwarte Meer [2]

	zwarte meer	
klasse 0	14 x	37 %
klasse 1	13 x	34 %
klasse 2	11 x	29 %
klasse 3	0 x	0 %
klasse 4	0 x	0 %
totaal	38 x	100 %

Uit tabel 6.1 kan worden geconcludeerd dat in het Zwarte Meer geen sterk verontreinigde waterbodemonderzoek locaties (klasse 3 of 4) voorkomen. Het oppervlak van de verontreinigde locaties is dan ook 0,0 m².

Gemiddelde (gebiedsdekkende) kwaliteit van het slib

Naast dat er naar de indeling in waterbodemonderzoek klassen is gekeken, is er tevens gekeken naar het aantal monsters waarvan één of meerdere stoffen de MTR overschrijden. Voor de zware metalen zijn er in het sediment geen overschrijdingen van de MTR. Voor de organische microverontreinigingen zijn er meerdere stoffen die de MTR overschrijden.

Dit heeft grotendeels te maken met de correctie⁴ die wordt gemaakt voor gehalten kleiner dan de detectielimiet en het omrekenen naar standaard sediment. Zo worden bijvoorbeeld alle gehalten voor PCB's die onder de detectielimiet liggen (1,0 µg/kg) zijn gestandaardiseerd naar 5,0 µg/kg, terwijl de MTR 4,0 µg/kg is. Als wordt vastgehouden aan deze manier van standaardiseren dan wordt in alle monsters het MTR-sediment overschreden.

Het is ook mogelijk om alle gehalten die onder de detectielimiet liggen buiten beschouwing te laten. In dat geval zijn er 23 van de 38 monsters die de MTR voor één of meerdere stoffen overschrijden. Dit komt overeen met een oppervlak van 10,14 km², ofwel 60% van het totale oppervlak van het waterlichaam. Op grond hiervan dient een verdere berekening van de bronsterkte van het sediment plaats te vinden.

⁴ Gehaltes beneden de detectielimiet worden vermenigvuldigd met een factor 0,7 en daarna omgerekend naar standaard sediment met een organisch stof gehalte en een lutum gehalte van respectievelijk 10% en 25%.

6.3 Keuze in watertypen en stuurvariabelen (stap 2a)

Het Zwarte Meer is conform de KRW –indeling een M14-type. Voor dit watertype zijn in de rekenmodule de stroming, windgolven en scheepvaart als mogelijke stuurvariabelen aangegeven.

6.4 Verzamelen aanvullende gegevens (stap 2b)

Hiertoe zijn een aantal gegevens opgevraagd bij instanties zoals het KNMI en Rijkswaterstaat.

Algemene parameters

Binnen een gebied of waterlichaam kan onderscheid worden gemaakt in het type sediment. In het Zwarte Meer is de verdeling tussen zand en slib ongeveer 1:1 [Oranjewoud, 2006].

Tabel 6.2: Aantal keer voorkomen van een sedimenttype in de toplaag in Zwarte Meer [2]

Sedimenttype	aantal	percentage
Zand	19 x	47 %
Slib	20 x	50 %
Klei	1 x	3 %
Totaal	40 x	100 %

Om te kunnen bepalen welk sedimenttype het belangrijkste is in het Zwarte Meer, is gekeken naar de ruimtelijke verdeling over het meer. Het blijkt dat in de buurt van de vaargeul meestal slibbodems voorkomen en in het ondiepere zuidoosten van het meer komen meer zandbodems voor. In de vaargeul kan veel opwerveling plaats vinden door scheepvaart. Daarom is de keuze gemaakt dat het meest voorkomende sedimenttype ongeconsolideerd slib is.

De ruwheidshoogte voor de slibbodem van het Zwarte Meer is waarschijnlijk vergelijkbaar met de ruwheidshoogte van het Ketelmeer, namelijk 0,01 m [10]. Ook de erosiecoëfficiënt voor de slibbodem van het Zwarte Meer is vergelijkbaar met de erosiecoëfficiënt van het Ketelmeer, namelijk $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}^2/\text{s}$ [11].

Het gehalte zwevend stof in het Zwarte meer is bepaald door maandelijkse metingen op de locatie Ramsdiep te middelen. De maandelijkse gegevens zijn voor de periode 1998-2006 opgehaald uit de database op www.waterbase.nl. Het gemiddelde zwevend stof gehalte is 17 mg/l.

De stroomsnelheid in het Zwarte Meer is erg laag. Volgens de gegevens uit de KRW Verkenner IJsselmeergebied is de stroomsnelheid 0,006 m/s [ref].

Grote delen van het Zwarte meer zijn ondieper dan 1,5 m. De vaargeulen kunnen een diepte hebben van 3,5 - 5,0 m. In onderstaande tabel 6.3 is de relatie tussen het oppervlak en de waterdiepte weergegeven [3]. De gemiddelde waterdiepte (incl. vaargeulen) is 1,58 meter.

Tabel 6.3: Relatie waterdiepte en oppervlakte in het Zwarte Meer [3]

waterdiepte t.o.v. zomerpeil (=0,20 NAP)	oppervlakte (km ²)	Percentage
0-100 cm	8,149	48 %
100-200 cm	5,183	31 %
200-300 cm	0,716	4 %
300-500 cm	2,074	12 %
>500 cm	0,786	5 %
Totaal	16,908	100 %

6.4.1 Windgolven

Wind veroorzaakt golven en deze golven leiden tot een orbitaalbeweging bij de bodem. Deze orbitaalbeweging, of orbitaalsnelheid, kan vervolgens resuspensie tot gevolg hebben. De orbitaalsnelheid aan de bodem hangt af van de golfhoogte en waterdiepte. De golfhoogte hangt weer af van de windsnelheid en de strijklengte.

Voor de windsnelheden boven de 10 m/s zijn relevant voor de bepaling van de orbitaalsnelheid. In de rekenmodule moet worden aangegeven voor hoeveel dagen per jaar een bepaalde windsnelheid geldt. Dit kan ingevuld worden voor een maximum van vier verschillende snelheden. De data zijn afkomstig van de website van het KNMI [9]: http://www.knmi.nl/klimatologie/onderzoeksgegevens/potentiele_wind/.

Tabel 6.4: Verdeling van windsnelheden in dagen per jaar

	windsnelheid	eenheid	aantal dagen/jaar
snellheid 1	4,6	m/s	355
snellheid 2	10,5	m/s	5
snellheid 3	11,5	m/s	3
snellheid 4	12,5	m/s	2

De gegevens uit tabel 6.4 zijn afkomstig van het meetstation Marknesse. Dit meetstation is het meest dichtbij het Zwarte Meer gelegen. De overheersende windrichting is zuid-zuidwest. De gemiddelde strijklengte in het Zwarte Meer is dan 2,5 km.

6.4.2 Scheepvaart

Er is gebruik gemaakt van scheepvaarttellingen bij Ramspolbrug [8] die beschikbaar zijn via de website van Rijkswaterstaat (http://www.rijkswaterstaat.nl/ijg/Images/scheepvaartoverzicht2000-2001_tcm90-13316.pdf). Daarnaast is nog onderscheid gemaakt tussen verschillende scheepstypen (binnenvaart, recreatievaart en zeevaart).

Tabel 6.5: Scheepvaart passages bij Ramspolbrug [8]

Jaar	2001	2000	1999
beroepsvaart	8179	6937	6713
recreatievaart	14739	14876	17811

Gemiddeld komt dit neer op 20 binnenvaartschepen per dag, waarvan 80% normale binnenvaart ofwel CEMT klasse IV is. De overige binnenvaartschepen zijn duwvaart en CEMT klasse III.

Voor de recreatievaart passeren er dagelijks 41 vaartuigen, waarvan 22 boten motorjachten zijn en 16 zeiljachten. In de rekenmodule wordt de recreatievaart ingedeeld in de categorieën motorjacht, speedboot of zeilboot. Er is geen aparte categorie zeiljachten. Voor de pilot wordt aangenomen dat de zeiljachten ook motorboten zijn, aangezien voor een groot gedeelte van het Zwarte Meer een vaarverbod geldt en dus wordt aangenomen dat de meeste zeiljachten op de motor door de vaargeul varen. Ook van de overige 3 schepen per dag (omschreven als “bruine vloot”) wordt aangenomen dat deze het meest lijken op motorjachten.

De diepte van de vaargeul is gemiddeld 4,3 m. De vaargeulen nemen ongeveer 12% van het totale oppervlakte van het Zwarte Meer in beslag.

6.4.3 Samenvatting gegevens

De verzamelde gegevens die moeten worden ingevuld in de rekenmodule staan samengevat in onderstaande tabel 6.6.

Tabel 6.6: Samenvatting verzamelde gegevens

omschrijving	invullen in rekenmodule
Verontreinigd oppervlak (klassen)	0 m ²
Verontreinigd oppervlak (>MTR)	10.140.000 m ²
Totaal oppervlak	16.900.000 m ²
Waterbodemkwaliteitsgegevens	<< zie bijlagen in achtergronddocument >>
Sedimenttype	ongeconsolideerd slib
Indeling in watertype conform KRW	meer / plas (M14)
Ruwheidshoogte	0,01 m
Erosiecoëfficiënt	0,0004 kg/m ² /s
Gehalte zwevend stof	17 mg/l
Waterdiepte	1,58 m
Stroomsnelheid	0,006 m/s
Stuurparameter 1	Windgolven
Strijklengte	2,5 km
Waterdiepte	1,6 m
Windsnelheid 1	4,6 m/s voor 355 dagen per jaar
Windsnelheid 2	10,5 m/s voor 5 dagen per jaar
Windsnelheid 3	11,5 m/s voor 3 dagen per jaar
Windsnelheid 4	12,5 m/s voor 2 dagen per jaar
Stuurparameter 2	Scheepvaart
Waterdiepte vaargeul	4,3 m
Percentage oppervlak waar scheepvaart plaatsvindt	12 %
Binnenvaart	normale binnenvaart (CEMT klasse IV) 16 schepen per dag
	duwvaart 2 schepen per dag
	overige binnenvaart (CEMT klasse III) 2 schepen per dag
Recreatievaart	motorjachten 41 schepen per dag

6.5 Resultaten

6.5.1 Berekening van de bronsterkte (stap 4)

Met behulp van de rekenmodule is de bronsterkte berekend door de resuspensiefluxen als gevolg van de scheepvaart en windgolven in het gebied te sommeren en vervolgens te verminderen met de sedimentatieflux (zie hieronder).

Tabel 6.7: Berekende bronsterkte van sediment naar oppervlaktewater voor het Zwarte meer

Berekende bronsterkte		eenheid
totaal aan resuspensiefluxen	3.55.E+08	kg/jaar
Sedimentatieflux	3.29.E+06	kg/jaar
Bronsterkte	3.52.E+08	kg/jaar

De berekende vracht aan sediment dat in het systeem wordt gebracht, is $3,55 \cdot 10^8$ kilogram per jaar. Om meer gevoel te krijgen bij deze getallen, rekenen we dit om naar een vracht in kg/m^2 . Het wateroppervlak van het Zwarte meer is $16,9 \text{ km}^2$. De vracht per m^2 bedraagt dan circa 21 kilogram/jaar. Rekening houdend met een dichtheid van slib ($1600 \text{ kg}/\text{m}^3$), betekent dat in een jaar circa 1,3 cm sediment wordt opgewerveld en in de waterfase terecht kan komen.

6.5.2 Berekening van de vracht per stof

Met behulp van de spreadsheet is direct de vracht berekend die de verontreinigde waterbodem bijdraagt aan de kwaliteit van het oppervlaktewater (tabel 6.8). De vracht is alleen berekend voor die stoffen waarvan een concentratie in het sediment bekend is.

Tabel 6.8: Berekende vracht van het sediment naar het oppervlaktewater voor het Zwarte meer

Stof	vracht (kg/jaar)	Stof	vracht (kg/jaar)
Arseen	3848	a-endosulfan	2.43
Cadmium	329	a-HCH	2.43
Chroom III	11990	b-HCH	2.43
Chroom VI	11990	g-HCH (lindaan)	2.43
Koper	8675	DDT	13.02
Kwik (anorganisch)	132	heptachloor	2.43
Lood	9525	heptachloorepoxide	8.79
Nikkel	9222	hexachloorbutadieen	2.43
Zink	88510	PCB-28	2.43
minerale olie	66822	PCB-52	2.51
hexachloorbenzeen	2.43	PCB-101	2.45
pentachloorfenol	1.76	PCB-118	2.51
aldrin	2.43	PCB-138	4.09
dieldrin	2.43	PCB-153	4.02
endrin	2.43	PCB-180	2.51

Uit bovenstaande tabel 6.8 blijkt dat in het Zwarte meer circa 329 kilo cadmium met het sediment mee (tijdelijk) in de waterfase terecht komt. Om een beter gevoel te krijgen bij deze getallen, rekenen we het om naar de vracht per m^2 .

Het wateroppervlak van het Zwarte meer is 16,9 km². Dit betekent dat circa 19,5 gram cadmium per m² in een jaar tijdelijk in de waterfase terecht komt.

6.5.3 Relatie kwaliteit oppervlaktewater en sediment

Er is gekeken of er een relatie bestaat tussen de kwaliteit van het sediment en van het oppervlaktewater. Hiervoor zijn gegevens van oppervlaktewaterkwaliteit opgevraagd via de website www.waterbase.nl voor de periode 1998 – 2006 en de locatie Ramsdiep. Uiteindelijk blijken voor de stoffen die zijn ingevoerd in de rekenmodule alleen voor de periode 1998- 2001 gegevens aanwezig te zijn. Voor veel stoffen zijn de gehalten kleiner dan de detectielimiet.

De opgevraagde waterkwaliteitsgegevens zijn allereerst getoetst aan het MTR. Uit de toetsing blijkt dat in het oppervlaktewater de stoffen koper, aldrin, DDT en heptachloor het MTR voor oppervlaktewater overschrijden. In het sediment overschrijden aldrin, DDT en heptachloor ook het MTR voor sediment. De koper gehalten liggen in het sediment onder de MTR. Daarnaast overschrijden in sediment hexachloorbenzeen, endrin, α -endosulfan, hepta-chloorepoxide en de PCB's op basis van detectiegrenzen. Naast het MTR voor oppervlaktewater is ook getoetst aan de KRW normen (prioritaire stoffen). In het Zwarte Meer zijn er geen verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater aanwezig die de KRW normen momenteel overschrijden [ref].

6.5.4 Ecotoxicologische risicobeoordeling

Om de relatie tussen de kwaliteit van het oppervlaktewater en het sediment met de ecologie te bepalen is gebruik gemaakt van het programma Omega dat momenteel wordt aangepast op de KRW-maatlatten. Met Omega worden ecotoxicologische risico's berekend voor verschillende beschermingsdoelen (alle organismen, vissen, bentische macrofauna, fytoplankton, en overige aquatische flora). Het ecotoxicologische risico wordt uitgedrukt als een Potentieel Aangetaste Fractie (PAF) in %.

Tabel 6.9: Berekende ecotoxicologische risico's (PAF) voor oppervlaktewater in het Zwarte Meer (selectie waarbij alleen de stoffen met een PAF > 0,0% en waar het gemiddelde niet is beïnvloed door gehalten kleiner dan de detectielimiet)

STOF	all organisms	fish	bentic macrofauna	Phytoplankton	other aquatic flora
	PAF %	PAF %	PAF %	PAF %	PAF %
chrom III	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
chrom VI	0,0%	0,0%	0,0%	0,5%	0,1%
Diuron	0,1%	0,0%	0,4%	3,2%	1,6%
Koper	8,5%	3,8%	10,1%	10,4%	3,6%
kwik anorg.	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
kwik org.	1,2%	0,5%	2,9%	0,0%	0,2%
Lood	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
Nikkel	8,9%	0,5%	1,7%	0,8%	0,3%
Zink	2,0%	1,0%	2,2%	1,7%	1,9%
TOTAAL ZONDER KLEINER DAN DETECTIELIMIET					
msPAF	19,62 %	5,78 %	16,41 %	15,85 %	7,51 %
maximum PAF	8,93 %	3,83 %	10,07 %	10,36 %	3,57 %

 het gemiddelde van deze stoffen is niet beïnvloed door gehalten die kleiner zijn dan de detectielimiet

Uit tabel 6.9 blijkt dat voor de maatlatten vis, macrofauna, phytoplankton en overige soorten (macrofyten) alleen koper en nikkel in het oppervlaktewater een hoge msPAF-score geven.

Ecologische Kwaliteit Ratio

Voor het Zwarte Meer zijn Ecologische Kwaliteit Ratio's (EKR) bepaald in de KRW Verkenner. De ingevulde KRW Verkenner van het IJsselmeergebied is voor deze pilot beschikbaar gesteld door Rijkswaterstaat [ref].

Tabel 6.10: EKR van het Zwarte Meer

	totaal	vissen	macrofauna	fytoplankton	Macrofyten
EKR	0,19	0,30	0,30	0,19	0,25

Een relatie tussen de berekende msPAF-waarden⁵ en de EKR is momenteel nog niet mogelijk. Hiertoe ontbreekt het aan een volledige gebiedsanalyse. De lage score van fytoplankton kan bijvoorbeeld wel worden veroorzaakt door de aanwezigheid van pesticiden of koper in het oppervlaktewater, maar kan ook diverse andere oorzaken hebben. Zo is bijvoorbeeld in deze pilot geen rekening gehouden met de effecten van nutriënten.

⁵Gebaseerd op waterkwaliteitgegevens en niet vanuit sedimentkwaliteit

REFERENTIES

Ariathurai, C.R., 1974. A finite element model for sediment transport in estuaries, PhD-thesis, University of California, Berkley, USA.

Eelkema, 2006. Verspreidingsrisico's door Waterbodemdynamiek. Concept achtergronddocument bij de Richtlijn Nader Onderzoek van verontreinigde waterbodems, Advies- en Kenniscentrum waterbodems AKWA.

Tonkes, M, 2006. Handleiding Sanering Waterbodems. Advies en Kenniscentrum Waterbodems, AKWA, Rijkswaterstaat, AKWA-rapport 05.006.

Winterwerp, J.C. en W.G.M. van Kesteren, 2004. Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment. Developments in sedimentology, vol. 56, Elsevier.

Royal Haskoning, 2006. Ontwikkeling van rekenregels voor de KRW-verkenner om effecten van verbetering van de sediment(kwaliteit) te bepalen. Achtergronddocument bij de handleiding.

Oranjewoud, 2006. Oriënterend onderzoek Zwarte Meer – Zwarte Water, Oranjewoud, in opdracht van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, projectnummer 155244, mei 2006.

Oranjewoud, 2006. Aanvullend waterbodemonderzoek Zwarte Meer – Zwarte Water, Oranjewoud, in opdracht van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, projectnummer 155244, maart 2006.

Rijkswaterstaat, 2006. Voorstel MEP en GEP Oostelijke Randmeren en Zwarte Meer, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, juli 2006.

Syncera water, 2006. Beheersverslag Rijkswateren IJsselmeergebied 2002 – 2004, Syncera Water, in opdracht van Rijkswaterstaat IJsselmeergebied, IJG rapport 2006-4, ISBN 9036913071, januari 2006.

De straat Milieu-adviseurs B.V. De waterkwaliteit in het stroomgebied Vecht/Zwarte Water (problemen, oorzaken en situatie 2015 bij ongewijzigd beleid), in opdracht van Provincie Overijssel, projectnummer W02A0123, oktober 2004.

Beek, M.A. en R.A.E. Knoben. Ecotoxicologische risico's van stoffen voor water-systemen, RIZA rapportnr 97.064, 1997.

RWS/RIZA. Handleiding en achtergronden Omega 6.0, bijbehorende bij programma Omega versie 6.0, RWS RIZA (F.P. van den Ende), juli 2006.

SCHEEPVAART IJSSELMEERGEBIED/ Jaaroverzicht 2000 en 2001 /Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied-Lelystad: RWS , RDIJ 2002. 77 pag., 13 fig., 19 tab., 9 krt., 6 foto's; 30 cm + bijl. (RDIJ-rapport 2002–09). ISBN 90-369-1303-9

Royal Haskoning, 2006. Risicobeoordeling waterbodems Zwarte Meer, in opdracht van RIZA, projectnummer 9S2187, november 2006.

Bijlage 1 Opzoektabel orbitaalsnelheid door windgolven

Tabel A: Orbitaalsnelheid bij de bodem (m/s) ten gevolge van windgolven bij gekozen strijklengte, windsnelheid en waterdiepte

Strijklengte (km)	Windsnelheid (m/s)	Gemiddelde waterdiepte (m)						
		1	2	3	4	5	6	7
1	10		0,05	0,01				
	12	0,20	0,08	0,03				
	14	0,25	0,12	0,05				
	16	0,29	0,16	0,08				
	18	0,34	0,2	0,11				
	20	0,38	0,25	0,15				
2	10	0,21						
	12	0,26						
	14	0,31	0,20					
	16	0,36	0,25					
	18	0,39	0,30	0,21				
	20	0,43	0,35	0,25	0,18			
3	8	0,17						
	10	0,24	0,14	0,07	0,04	0,02		
	12	0,29	0,2	0,12	0,07	0,04		
	14	0,34	0,25	0,17	0,11	0,07		
	16	0,39	0,3	0,22	0,15	0,1		
	18	0,42	0,36	0,27	0,19	0,14		
	20	0,46	0,41	0,32	0,24	0,18		
4	8	0,19						
	10	0,26	0,17					
	12	0,31	0,23					
	14	0,36	0,29	0,21				
	16	0,39	0,34	0,26	0,19			
	18	0,43	0,39	0,32	0,24	0,18		
	20	0,46	0,44	0,36	0,29	0,23		
5	8	0,21						
	10	0,26	0,19	0,12	0,07	0,04	0,02	
	12	0,32	0,25	0,18	0,12	0,07	0,05	
	14	0,36	0,31	0,24	0,17	0,12	0,08	
	16	0,40	0,37	0,29	0,22	0,16	0,12	
	18	0,45	0,42	0,35	0,28	0,21	0,16	
	20	0,48	0,47	0,4	0,33	0,27	0,21	
6	6	0,15						
	8	0,22						
	10	0,28	0,21					
	12	0,33	0,27	0,20				
	14	0,37	0,33	0,26	0,19			
	16	0,42	0,38	0,32	0,25	0,19		
	18	0,45	0,44	0,38	0,31	0,24	0,19	
	20	0,49	0,49	0,43	0,36	0,30	0,24	0,19
7	6	0,16						
	8	0,23	0,16					

Strijklengte (km)	Windsnelheid (m/s)	Gemiddelde waterdiepte (m)						
		1	2	3	4	5	6	7
	10	0,29	0,22	0,15	0,1	0,06	0,04	0,02
	12	0,34	0,29	0,22	0,15	0,11	0,07	0,05
	14	0,37	0,35	0,28	0,21	0,16	0,12	0,09
	16	0,42	0,4	0,34	0,27	0,21	0,17	0,13
	18	0,46	0,45	0,4	0,33	0,27	0,22	0,17
	20	0,49	0,49	0,45	0,39	0,33	0,27	0,22

Bijlage 2

Rekenregels voor berekening van resuspensie en sedimentatie

REKENREGELS VOOR RESUSPENSIE EN SEDIMENTATIE

Rekenregel 1 – schuifspanning aan de bodem

$$\tau_b = \rho_w \frac{g}{C^2} u^2$$

τ_b	bodemschuifspanning (N/m ²)
ρ_w	= 1000 = dichtheid van water (kg/m ³)
g	= 9,81 = zwaartekrachtsversnelling (m/s ²)
C	Chézy-coëfficiënt (m ^{1/2} /s)
u	Snelheid aan de bodem (m/s)

Rekenregel 2 – Chézy-coëfficiënt

$$C = 18 \log \frac{12d}{k}$$

d	Waterdiepte (m)
k	= 0,01 = ruwheidshoogte (m)

Rekenregel 3 – Resuspensieflux (Ariathurai, 1974)

$$E = 0 \quad \text{voor } \tau_b < \tau_{cr}$$

$$E = M \left(\frac{\tau_b}{\tau_{cr}} - 1 \right) \quad \text{voor } \tau_b > \tau_{cr}$$

E	Resuspensieflux (kg/m ² .s)
τ_{cr}	Kritieke schuifspanning (N/m ²)
	Hiervoor kan Rekenregel 1 gebruikt worden met $u = 0,3$ m/s voor een ongeconsolideerde bodem of $u = 0,8$ m/s voor een geconsolideerde bodem
M	Erosiecoëfficiënt (kg/m ² /s)
	= $0,5 \times 10^{-3}$ voor zeer los ongeconsolideerd materiaal
	= $0,01 \times 10^{-3}$ voor licht geconsolideerd materiaal

Vanwege de grote bandbreedte van de erosiecoëfficiënt en een redelijke bandbreedte van de kritieke schuifspanning, is een nauwkeurige voorspelling van de resuspensieflux niet mogelijk. De berekende resuspensieflux kan slechts als benadering worden gezien.

Rekenregel 4 – Scheepvaart - Axiale uitstroomsnelheid

$$u_0 = 1.15 \left(\frac{P_{hs,a}}{\rho_w D_0^2} \right)^{0.33}$$

u_0	axiale uitstroomsnelheid [m/s]
$P_{hs,a}$	aangewend motorvermogen op de hoofdschroef [W]
D_0	effectieve diameter uitstroomopening [m]

Het aangewende motorvermogen is bepaald als 70% van het geïnstalleerde motorvermogen (Tabel 1). De effectieve diameter van de uitstroomopening wordt geschat op 0,7 maal de schroefdiameter (Tabel 1).

Rekenregel 5 – Scheepvaart – Stroomsnelheid langs de bodem

$$u_{hs,b,m} = \frac{0.3u_0 D_0 n}{z_b} - 0,5V_{schip}$$

$u_{hs,b,m}$	effectieve diameter uitstroomopening [m/s]
z_b	afstand hoofdschroefas tot de bodem [m]
n	factor voor het aantal schroeven [-]
V_{schip}	vaarsnelheid schip [m/s]

Afstand van hoofdschroefas tot bodem wordt bepaald aan de hand van de gemiddelde diepgang (Tabel 1) en de waterdiepte.

Rekenregel 6 – Windgolven – Horizontale amplitude

$$\hat{a}_b = \frac{\hat{u}_b T}{2\pi}$$

\hat{a}_b	amplitude horizontale beweging aan de bodem (m)
\hat{u}_b	orbitaalsnelheid aan de bodem (m/s)
T	golfperiode (s)

Voor de golfperiode wordt een waarde van 3 seconden aangehouden. Dit is een ondergrens en zal bij grotere strijklengtes en hogere windsnelheden mogelijk een overschatting van de bodemschuifspanning geven.

Rekenregel 7 – Windgolven – Wrijvingscoëfficiënt

$$c_f = 0,09 \left(\frac{\hat{u}_b \hat{a}_b}{\nu} \right)^{-0,2}$$

c_f Wrijvingscoëfficiënt (-)
 ν = 10^{-6} = Viscositeit (m^2/s)

Rekenregel 8 – Windgolven – Bodemschuifspanning

$$\hat{\tau}_w = 1/2 \rho c_f \hat{u}_b^2$$

$\hat{\tau}_w$ Maximale schuifspanning onder golf (N/m^2)
 ρ Dichtheid water (kg/m^3)

Rekenregel 9 – Sedimentatie (Winterwerp & van Kesteren, 2004)

$$D_m = w_{s,b} c_b$$

D_m Depositieflux slib ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{s}$)
 $w_{s,b}$ Valsnelheid slibvlok bij de bodem (m/s)
 (= $2,8 \times 10^{-6}$; 0,0001; 0,0002)
 c_b Sedimentconcentratie net boven de bodem ($\text{kg}/\text{m}^3 = \text{g}/\text{l}$)

In de KRW-verkenner wordt op het moment gerekend met 3 verschillende slibfracties, elk met een andere valsnelheid. De valsnelheden bij deze rekenregel zijn overgenomen uit de KRW-verkenner documentatie.

Rekenregel 10 – Concentratie aan de bodem

$$c(z) = \bar{c} \frac{\sin(\pi\beta)}{\pi\beta} \left(\frac{1-z/h}{z/h} \right)^\beta$$

$$\text{met } \beta = \frac{\sigma_T W_s}{\kappa u_*}$$

$c(z)$ concentratie op referentieniveau (kg/m^3)
 \bar{c} diepte-gemiddelde concentratie (kg/m^3) – opgegeven door gebruiker
 z = 0,05 = afstand referentieniveau tot bodem (m)
 h totale waterdiepte (m)
 β Rouse parameter
 σ_T = 0,7 = Prandtl-Schmidt nummer voor turbulentie
 κ = 0,4 = Von Kármán constante
 u_* schuifspanningssnelheid (m/s) = $\sqrt{\tau_b / \rho}$

Bijlage 3 **Rekenregels OMEGA aangepast op de KRW- maatlatten**

Zie bijgevoegd excel-bestand

Bijlage 4

Factsheet voor KRW Verkenner

Factsheet “Effecten verbetering sedimentkwaliteit in KRW-verkenner”

Type maatregel

Verbetering sedimentkwaliteit

Stuurvariabelen

Stoffen

Watertypen

Alle watertypen

Beschrijving van de maatregel(en)

Royal Haskoning heeft i.s.m. Aquasense/Grontmij een handleiding “verbetering van sedimentkwaliteit als maatregel in de KRW Verkenner” opgesteld. Hierin worden verschillende maatregelen genoemd die bijdragen aan de verbetering van de sedimentkwaliteit en/of erosie/resuspensie van de sliblaag tegenaan.

A. *Mogelijke maatregelen voor chemie (verbetering waterkwaliteit)*

Het betreft hier maatregelen die ingrijpen op de kwaliteit van de toplaag (0-50 cm) van het sediment, zoals:

- saneren of baggeren;
- actief afdekken van de verontreinigde toplaag;
- gedeeltelijk verwijderen in combinatie met actief afdekken;
- natuurlijke afdekking (sedimentatie) bevorderen.

B. *Mogelijke maatregelen om resuspensie tegen te gaan*

Dit type maatregel richt zich specifiek op de processen (stuurvariabelen) die in het betreffende gebied een rol spelen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- scheepvaartbeperkingen voor bepaalde type schepen met een te grote diepgang;
- verdiepen;
- beïnvloeden van de windgolven door het aanleggen van eilandjes of strekdammen;
- verlagen van de stroomsnelheden (indien gewenst).

Rekenregels

Eerst wordt de bijdrage vanuit de waterbodem in de uitgangssituatie (voor het nemen van maatregelen) bepaald. Daar waar sprake is van een verbetering van de sedimentkwaliteit na een maatregel, wordt de bijdrage opnieuw berekend, maar nu met de te verwachten sedimentkwaliteit (bijvoorbeeld de kwaliteit van het sediment na verondiepen). Het verschil tussen beide situaties (wel of geen verbetering van de waterkwaliteit en/of EKR) leidt tot een factor die in de KRW Verkenner aan de betreffende maatregel wordt gekoppeld. Dit gaat op de volgende manier.

A) Voor chemie (bronmaatregel in KRW-Verkenner):

$$\text{Bronsterkte}_{na\ maatregel} = \text{Bronsterkte}_{voor\ maatregel} * \text{factor}$$

De factor wordt gehaald uit het quotient van 2 spreadsheet berekeningen van voor en na het nemen van maatregelen. De bronsterkte vóór het nemen van maatregelen wordt als bronterm ingevoerd in de KRW-Verkenner.

B) Voor het effect op ecologie (maatregel met direct effect op EKR in de KRW-Verkenner):

$EKR_{na_maatregel} = EKR_{voor_maatregel} + factor$ (tussen $-0,1$ en $0,1$). Zowel de offline berekende effecten voor en na het nemen van maatregelen kunnen op deze manier kunstmatig in de KRW-Verkenner worden opgenomen.

Tips voor de modelleur

- Het onderscheid tussen zand en slib is relevant. Indien slib vooral in bepaalde delen van het waterlichaam wordt aangetroffen, wordt aanbevolen om de maatregelen ook te beperken tot die delen;
- Met behulp van de bijgeleverde rekenmodule kan de totale vracht per jaar (per stof) worden berekend. Deze vracht kan als bronterm in de KRW-verkenner worden ingevoerd.

Informatiebehoefte

De handleiding, inclusief bijbehorende rekenmodule zijn beschikbaar voor de KRW-verkenner.

Kennisleemten

- Aan de berekening van de bijdrage van de sedimentkwaliteit op de waterkwaliteit en de ecologie kleven op het schaalniveau van waterlichamen de nodige onzekerheden. Zie hiervoor het achtergronddocument;
- Omgaan met kribvakken tijdens hoogwater en havens;
- Formules voor berekening van resuspensieflux bij een veenbodem (ondiepe veenplassen);

Kosten

n.t.b.

Voorbeeldtoepassingen

Deze maatregel is nog niet toegepast binnen de KRW-verkenner

REFERENTIES

- Royal Haskoning, 2007. Handleiding verbetering sedimentkwaliteit als maatregel in de KRW Verkenner. In opdracht van RWS/RIZA, april 2007.
- Royal Haskoning, 2007. Ontwikkeling van rekenregels voor de KRW-verkenner om effecten van verbetering van de sediment(kwaliteit) te bepalen. Achtergronddocument bij de handleiding, april 2007.