

voorlopige  
technische commissie bodembescherming

*Neu uitgeleide*  
↓  
Ko

Advies Bodemkwaliteit

Leidschendam  
juni 1986

VTCB A86/02-I

Adres

Dr van der Stamstraat 2  
2265 BC Leidschendam

Postadres

Postbus 450  
2260 MB Leidschendam

Telefoon

070 - 209367

## Voorwoord

Het voorliggende advies is opgesteld naar aanleiding van de adviesaanvraag bij brief kenmerk BWS/0156429 van 12 mei 1986 betreffende een door het Ministerie van VROM opgestelde discussienotitie Bodemkwaliteit. In deze notitie wordt nader ingegaan op het begrip multifunctionaliteit van de bodem, uitgangspunt van het bodembeschermingsbeleid, en wordt een lijst gegeven van voorlopige referentiewaarden voor de belangrijkste, stofgerichte parameters als getalsmatige beschrijving van de milieuhygiënisch gewenste bodemkwaliteit. In haar advies gaat de commissie in op de wijze waarop een voorgestelde lijst van stofgehalten is afgeleid, en daarmee in samenhang op de betekenis die aan de voorlopige referentiewaarden gehecht kan worden. Daarbij plaatst zij een aantal kanttekeningen uit oogpunt van uiteenlopende deelaspecten die verbonden zijn aan het vraagstuk van normstelling voor de bodem. De commissie voorziet dat haar advies betrokken zal worden in de discussies die met het uitbrengen van de notitie Bodemkwaliteit geïnitieerd worden. Om deze reden heeft zij een aantal deelaspecten meer uitvoerig beschouwd dan uit oogpunt van het gevraagde advies als zodanig noodzakelijk was. Zij vraagt de lezer hiervoor begrip, en verwijst voor een snelle kennisname naar de samenvatting.

Het advies is mede tot stand gekomen door de inbreng van medewerkers van een groot aantal instellingen en diensten die betrokken zijn bij het onderzoek van de kwaliteit van bodem en grondwater, en van de daarmee samenhangende effecten. De commissie dankt deze organisaties voor de betoonde bereidheid tot medewerking, en in het bijzonder de betreffende medewerkers voor de door hen geleverde bijdragen aan de totstandkoming van het advies. De commissie is voornemens eind 1986 een symposium te wijden aan de problematiek van normstelling voor de bodem, waarin enkele aspecten die in het onderhavige advies aan de orde gesteld zijn, nader uitgewerkt, besproken zullen gaan worden. Zij hoopt dat het voorliggende advies een bijdrage zal leveren aan de gedachtenvorming terzake van het omgaan met de bodem, en aan de discussie die dienaangaande gevoerd gaat worden.

Namens de commissie,

De secretaris,



ir. P.J. de Bruijn.

De voorzitter,



ir. H. Haverkate.

## Inhoud

<b>Samenvatting</b>	1
<b>1. Inleiding</b>	1
<b>2. Afbakening en werkwijze</b>	3
<b>3. Uitgangspunten en begrippen</b>	7
3.1 Inleiding	7
3.2 Doelstellingen van het bodembeschermingsbeleid	7
3.3 Het uitgangspunt van de multifunctionaliteit van de bodem	9
3.4 Status van de voorlopige referentiewaarden	10
<b>4. De gevolgde benaderingswijze</b>	13
4.1 Algemeen	13
4.2 Getalsmatige uitwerking van referentiewaarden en differentiatie naar grondsoort	16
4.2.1 Zware metalen en arseen	16
4.2.2 Organische verbindingen	17
4.2.3 Macro-constituenten	18
<b>5. Huidige achtergrondwaarden in het landelijk gebied</b>	19
5.1 Zware metalen en arseen in de vaste fase van de bodem	19
5.1.1 Betekenis van de mineralogische samenstelling van de bodem	19
5.1.2 Verband met het lutumgehalte	19
5.1.3 Verband met het organische stofgehalte	21
5.1.4 Standaardisatie van referentiewaarden voor metaalgehalten	23
5.2 Zware metalen en arseen in het grondwater	27
5.3 Organische verbindingen	31
5.4 Macro-constituenten	33
<b>6. Normstelling en ecologie</b>	41
6.1 Inleiding	41
6.2 Effecten in het bodem-ecosysteem	42
6.3 Parameters ten behoeve van het vaststellen van effecten	46
6.4 Beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden	48

<b>7. Normstelling en volksgezondheid</b>	<b>51</b>
7.1 Inleiding	51
7.2 Een modelmatige benadering	52
7.3 Te beschouwen opnamewegen	53
7.4 Uitgangspunten voor uitwerking	54
7.5 Uitwerking van de benaderingswijze	55
7.5.1 Ingestie van grond	57
7.5.2 Drinkwater	59
7.5.3 Consumptie van gewassen en voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong	61
7.5.4 Consumptie van vis	65
7.5.5 Opname met ademlucht	65
7.6 Optelling van afzonderlijke opnamen	67
7.7 Onzekerheden en fouten	69
7.8 Beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden	70
<b>8. Normstelling en landbouw</b>	<b>71</b>
<b>9. Onderwaterbodems</b>	<b>75</b>
9.1 Inleiding	75
9.2 Achtergrondgehalten van stoffen in onderwaterbodems	75
9.2.1 Zware metalen	76
9.2.2 Organische verbindingen	77
9.3 Normstelling uit oogpunt van effecten	78
9.3.1 Advies-richtwaarden	78
9.3.2 Chemische en biologische methoden voor normstelling	80
<b>10. Herstel</b>	<b>83</b>
10.1 Herstel van abiotische milieufactoren	83
10.1.1 Natuurlijke herstelprocessen	83
10.1.2 Herstel door sanering	87
10.2 Herstel van biotische milieufactoren	89
<b>11. Bemonstering en beoordeling</b>	<b>91</b>
<b>12. Relatie met het brongerichte beleid</b>	<b>95</b>
<b>Bijlagen:</b>	
1. Adviesaanvraag	
2. Referenties	
3. Discussienotitie Bodemkwaliteit	
4. Voorlopige referentiewaarden en huidige achtergrondgehalten voor een aantal zware metalen en arseen in de bovengrond van natuurterreinen en landbouwgronden	
5. Bijdrage aan de oecologische normstelling van bodembescherming	

De bijlagen 3 t/m 5 zijn in deel II van het advies opgenomen.

## Lijst van tabellen

Tabel 1	Het verband tussen de bovengrens (95% interval) van gehalten zware metalen en arseen in de bovengrond van natuurterreinen en het lutumgehalte L, en het verband tussen de referentiewaarden en het lutumgehalte als voorgesteld in de notitie Bodemkwaliteit	pag. 20
Tabel 2	De voorgestelde referentiewaarden voor bodems met een organische stofgehalte van 59% en 100%, vergeleken met de bovengrens van de waargenomen gehalten in de bovengrond van natuurterreinen	pag. 22
Tabel 3	C-factor volgens de discussienotitie Bodemkwaliteit en volgens het gegeven voorbeeld	pag. 25
Tabel 4	Waargenomen bovengrens van gehalten zware metalen en arseen in natuurterreinen, referentiewaarden als beschreven in de discussienotitie, en gewijzigde waarden volgens het gegeven voorbeeld	pag. 26
Tabel 5	Waargenomen gehalten, theoretische evenwichtsconcentraties en voorgestelde referentiewaarden voor zware metalen en arseen in grondwater	pag. 28
Tabel 6	Gemiddelde gehalten zware metalen en arseen in regenwater, de gehalten na indikking en de waargenomen gehalten in grondwater	pag. 29
Tabel 7	Referentiewaarden volgens de discussienotitie Bodemkwaliteit en geadviseerde gewijzigde waarden op grond van een overschrijdingskans van 5 à 10% door nu waargenomen gehalten	pag. 31
Tabel 8	Waargenomen gemiddelde gehalten van macro-constituenten in ondiep grondwater en voorgestelde referentiewaarden	pag. 34
Tabel 9	Structuurkenmerken die als biologische bodemparameters zouden kunnen dienen	pag. 46
Tabel 10	Voorgestelde referentiewaarden en kleinste signaalwaarden voor stofgehalten in landbouwgronden volgens de LAC	pag. 72

Tabel 11	Mogelijke maatregelen ter bevordering van microbiologische afbraak van organische verbindingen	pag. 84
Tabel 12	Microbiologische afbreekbaarheid van verschillende verontreinigingen	pag. 84
Tabel 13	Mogelijkheden tot herstel van de bodemkwaliteit tot het door de referentiewaarden gegeven niveau langs natuurlijke weg en binnen een redelijke termijn	pag. 87
Tabel 14	Gehalten zware metalen in de meest voorkomende bodemhorizonten in natuurlijke, pleistocene zandgronden	pag. 92
Tabel 15	Indicaties voor aan- en afvoer van zware metalen op bouwland, en de periode benodigd om een initiële concentratie ter grootte van de helft van de referentiewaarde (standaardbodem) te verdubbelen	pag. 97

#### **Lijst van figuren**

Figuur 1	Een algemeen model van de structuur van een ecosysteem	pag. 43
Figuur 2	Onderverdeling van het decompositie-subsysteem	pag. 44
Figuur 3	Opnamewegen van bodem tot mens	pag. 53

## **Samenvatting**

### Introductie

De discussienotitie Bodemkwaliteit bevat een, verbale en getalsmatige, omschrijving van een "goede" bodemkwaliteit, en vormt de meest vergaande uitwerking tot nu toe van het principe van de multifunctionaliteit van de bodem, welks behoud als uitgangspunt voor het bodembeschermingsbeleid geldt. De getalsmatige omschrijving van de milieuhygiënisch gewenste bodemkwaliteit wordt gegeven in de vorm van voorlopige referentiewaarden voor gehalten van een groot aantal stoffen in de vaste en vloeibare fase van de bodem. Deze referentiewaarden beogen de grens aan te geven tussen nog wel en niet meer als zijnde multifunctioneel te beschouwen bodems. Voor de meeste der beschouwde stoffen is de referentiewaarde afhankelijk van één of meer bodemkenmerken. In een beperkt aantal gevallen wordt een gebiedsgewijze differentiatie voorgesteld. Tenslotte wordt in de discussienotitie kort ingegaan op de betekenis van voorlopige referentiewaarden uit het oogpunt van bodemsanering en van brongerichte eisen voor diffuse bronnen van bodemverontreiniging.

Met het uitbrengen van de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt een ronde van discussie met externe deskundigen in gang gezet over met name de technisch-wetenschappelijke aspecten die verbonden zijn aan de aangesneden problematiek. Een nadere standpuntsbepaling inzake de gewenste bodemkwaliteit zal te zijner tijd plaatsvinden, mede op grond van de resultaten van de discussieronde. In verband met de rol die het advies van de commissie mogelijk zal spelen in de beoogde discussie, heeft de commissie gemeend in haar advies een aantal deelaspecten vrij uitvoerig te moeten behandelen. Een deel van het materiaal waarop de commissie haar oordeel heeft gebaseerd is in de vorm van bijlagen bij het advies gevoegd.

### Uitgangspunten

In haar advies geeft de commissie een beknopte opsomming van de uitgangspunten en doelstellingen van het bodembeschermingsbeleid, daar deze het perspectief dienen te vormen voor het beoordelen van de voorgestelde referentiewaarden. Geconstateerd kan worden dat de gedachtenvorming ten aanzien van de uitwerking van het bodembeschermingsbeleid nog volop gaande is, en dat als gevolg daarvan de betekenis van een aantal centrale begrippen in de loop der tijd veranderd of genuanceerd is. De discussienotitie Bodemkwaliteit vormt een belangrijke bijdrage aan de "vertaling" van de meer abstracte, in de diverse beleidsstukken verwoorde, uitgangspunten en begrippen in praktisch hanteerbare en ten dele kwantificeerbare termen. Een dergelijke vertaling is noodzakelijk om tot een operationele uitwerking van de gewenste normstelling te komen en zonodig door middel van gericht onderzoek in kennisleemten te kunnen voorzien.

De multifunctionaliteit van de bodem vormt een centraal concept in het bodembeschermingsbeleid. Dit concept houdt in dat het in beginsel mogelijk moet zijn en blijven zogewent die vormen van bodemgebruik te verwezenlijken die voor de betreffende bodem in de situatie zonder de beschouwde menselijke beïnvloeding mogelijk zijn, en dat het bodem-ecosysteem, naar aard en functioneren, niet onherstelbaar wordt aangetaast.

In de uitwerking van het begrip multifunctionaliteit verdient een aantal aspecten nadere aandacht.

1. Het functioneren van het bodem-ecosysteem als onderdeel van energie-, water- en stofkringlopen, ook wel aangeduid als de algemene ecologische functie. Het functioneren van het bodem-ecosysteem in deze zin wordt op grond van de afwijkende tijd- en ruimteschaal onderscheiden van de bodem als woon- en verblijfplaats van bodemorganismen en standplaats voor de vegetatie (ook wel aangeduid als de specifieke ecologische functie). Dit functioneren is eisenstellend ten aanzien van eigenschappen van de bodem.
2. Gerealiseerde of potentiële vormen van bodemgebruik door de mens, waaronder begrepen kan worden het gebruik van de bodem ten behoud van de bij die bodem behorende specifieke gemeenschap van planten en dieren. Ook vormen van bodemgebruik zijn eisenstellend ten aanzien van eigenschappen van de bodem, met inachtneming van de randvoorwaarden die de bodem daar van nature aan stelt.
3. De hoedanigheid van het bodem-ecosysteem in de zin van abiotische en biotische factoren (fysische, chemische en biologische kenmerken) die van invloed zijn op vormen van bodemgebruik en/of op het functioneren van het bodem-ecosysteem.
4. De aard en mate van de invloed van (veranderingen in) abiotische en biotische bodemkenmerken op de vormen van bodemgebruik en op het functioneren van het bodem-ecosysteem. Er is sprake van een nadelige beïnvloeding wanneer bijvoorbeeld:
  - de bodem niet langer geschikt is voor vestiging en overleving van de, in de situatie zonder beïnvloeding, bij de betreffende bodem behorende gemeenschap van planten en dieren;
  - de wijze waarop en de mate waarin kringlopen (in de bodem) verlopen (in belangrijke mate) veranderd zijn ten opzichte van de situatie zonder beïnvloeding;
  - de bodem niet langer geschikt is voor de winning van zoet grondwater van een kwaliteit die het mogelijk maakt hieruit zonder ingrijpende zuivering drinkwater te bereiden; en
  - de bodemvruchtbaarheid niet gehandhaafd blijft.

Er is sprake van onomkeerbare of onherstelbare veranderingen indien de relevante eigenschappen van de bodem niet binnen een redelijke termijn op een niveau kunnen komen waarbij er niet langer sprake is van een nadelige beïnvloeding. De voornoemde "redelijke termijn" hangt samen met de periode die veranderingen in vormen van bodemgebruik van nature reeds behoeven.



Om te kunnen beoordelen of bepaalde handelingen op of in de bodem een, blijvende, aantasting van de multifunctionaliteit inhouden, is het van belang te beschikken over een referentiekader welke de hoedanigheid van een nog multifunctioneel te achten bodem omschrijft. De discussienotitie Bodemkwaliteit beoogt een dergelijk referentiekader te geven voor een deel van de betrokken parameters, en wel voor de gehalten van stoffen in bodem en grondwater. De stofgehalten die behoren bij een nog juist multifunctionele bodem dienen krachtens de betekenis van dit begrip te worden ontleend aan het inzicht in de samenhang tussen enerzijds stofgehalten in bodem en grondwater en anderzijds de gevolgen daarvan voor de uiteenlopende vormen van bodemgebruik en voor het functioneren van het bodem-ecosysteem. De gehalten waarboven sprake is van nadelige en onomkeerbare of onherstelbare effecten zijn maatgevend voor de kwaliteit van een multifunctioneel te achten bodem. Ten aanzien van directe, mens-gerichte, vormen van bodemgebruik is het volgen van deze benadering in zekere mate mogelijk. De aan te houden, getalsmatig uit te drukken, randvoorwaarden voor de betreffende bodemeigenschappen kunnen worden ontleend aan het inzicht in de samenhang tussen die eigenschappen en het resultaat (kwantitatief zowel als kwalitatief) van de betreffende vormen van bodemgebruik. Voor een deel der stoffen en vormen van bodemgebruik kan de mate van beïnvloeding gekwantificeerd (niet altijd voorspeld) worden, direct of indirect met behulp van bijvoorbeeld producteisen of normen voor de kwaliteit van drinkwater, voedingsmiddelen etc.. Ten aanzien van het functioneren van het bodem-ecosysteem of van het handhaven van specifieke gemeenschappen van planten en dieren in en op de bodem is een dergelijke benaderingswijze nog nauwelijks mogelijk. Waar dit al geldt voor de vraag bij welke stofgehalten er sprake zal zijn van effecten, geldt dat te meer voor de vraag inzake het aanvaardbaar en het omkeerbaar of herstelbaar zijn. Om desondanks over een, voorlopig, referentiekader te kunnen beschikken dient derhalve een andere benaderingswijze gevolgd te worden.

#### Benaderingswijze

De in de discussienotitie Bodemkwaliteit beschreven benaderingswijze gaat in hoofdlijn uit van de huidige kwaliteit van de bodem in het landelijk gebied (natuurterreinen en cultuurgronden). De voorgestelde referentiewaarden worden gevormd door de bovengrens van het "normale" traject van de aldaar waargenomen stofgehalten, zonodig bijgesteld op grond van de beschikbare kennis over de voor specifieke vormen van bodemgebruik noodzakelijke bodemkwaliteit. De commissie kan zich zeer wel in deze benaderingswijze vinden, met dien verstande dat zij een voorbehoud maakt ten aanzien van de betekenis van de aldus verkregen referentiewaarden. In de discussienotitie wordt de vooronderstelling gemaakt dat de beschouwde bodems (in het landelijk gebied) multifunctioneel zijn, en dat het via de gevolgde werkwijze verkregen referentiekader derhalve een eerste benadering vormt voor stofgehalten die de grens tussen een al dan niet multifunctionele bodem aangeven. De geldigheid van deze vooronderstelling kan evenwel nog onvoldoende aanneemelijk gemaakt worden, met name voor de bodems waarin de relatief hoge stofgehalten worden aangetroffen die aan de voorgestelde referentie-

waarden ten grondslag liggen. Dit laat de mogelijkheid onverlet de bovengrens van de huidige achtergrondgehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems vooreerst als referentiewaarden in het bodembeschermingsbeleid te hanteren. Het ligt daarbij in de rede de referentiewaarden frequent bij te stellen op grond van nieuw verkregen inzichten in de risico's die verbonden zijn aan het in een zekere mate voorkomen van de stoffen in de bodem en het grondwater.

De voorgestelde referentiewaarden zijn beduidend hoger dan de stofgehalten die in niet anthropogeen beïnvloede bodems verwacht mogen worden, en zij beogen ook niet dergelijke "natuurlijke" gehalten aan te geven. In dit licht bezien dient er voor gewaakt te worden dat zij een rechtvaardiging gaan vormen om de stofgehalten in de bodem zonder restricties te doen toenemen tot de door de referentiewaarden beschreven niveaus. Tenslotte dient nadrukkelijk gesteld te worden dat, voor zover daar inzicht in bestaat, de stofgehalten die uit het oogpunt van uiteenlopende effecten als kritische grens beschouwd moeten worden voor veel van de beschouwde stoffen qua grootte-orde gelijk zijn aan de voorgestelde referentiewaarden. Er mag dan ook niet verwacht worden dat een nadere invulling van het referentiekader in de naaste toekomst op grond van de samenhang tussen stofgehalten en effecten zal resulteren in aanmerkelijk hogere waarden dan nu worden voorgesteld. Dit betekent tevens dat de beeldvorming ten aanzien van de maatschappelijke consequenties van het willen behouden of bereiken van een multifunctionele bodem reeds op grond van de nu voorgestelde referentiewaarden kan plaatsvinden.

#### Voorgestelde referentiewaarden

De commissie heeft de voor het afleiden van de referentiewaarden gevolgde werkwijze alsmede de wijze van differentiatie van de referentiewaarden naar bodemkenmerken bezien. Zij spreekt haar waardering uit voor de vorm waarin de referentiewaarden voor de zware metalen en de organische verbindingen gerelateerd worden aan de samenstelling van de beschouwde bodem, en onderschrijft de noodzaak zulks te doen. Zij plaatst daarbij de kanttekening dat nog zal moeten blijken of een vergelijkbare vorm van differentiatie toepasbaar is indien de referentiewaarden niet ontleend worden aan de (bovengrens van de) huidige achtergrondgehalten, maar aan stofgehalten die uit oogpunt van uiteenlopende effecten kritisch geacht moeten worden. De commissie stelt voor een aantal stoffen een wijziging van de referentiewaarden voor. Deze wijzigingen zijn voor een belangrijk deel terug te voeren op het consequent volgen van het uitgangspunt dat de referentiewaarden ontleend worden aan de bovengrens van de nu in niet-duidelijk verontreinigde bodems aan te treffen stofgehalten. De belangrijkste wijzigingen betreffen de referentiewaarden voor zware metalen en arseen in bodems met een hoog gehalte aan organische stof, alsmede de referentiewaarden van enkele van de overige beschouwde anorganische verbindingen (macroconstituenten).

De commissie meent dat in de voorgestelde vorm van differentiatie van de referentiewaarden voor gehalten zware metalen en arseen in de bodem naar bodemkenmerken, de vastleggingscapaciteit van de bodem voor deze elementen (de CEC) te zeer centraal is gesteld. Het motief zulks te doen hangt samen met het belang dat aan deze bodemeigenschap wordt toegekend voor de mate waarin bepaalde stofgehalten in de bodem zullen resulteren in nadelige gevolgen voor vormen van bodemgebruik en voor het functioneren van het bodem-ecosysteem. Hoewel de vastleggingscapaciteit voor bepaalde metalen onder bepaalde omstandigheden en voor bepaalde effecten een belangrijke regulerende factor vormt, meent de commissie een generalisatie in deze vooralsnog te moeten afwijzen. Zij stelt voor de wijze van differentiatie direct te ontleen aan de samenhang tussen enerzijds de bovengrens van het traject van de huidige stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems, en anderzijds de bodemkenmerken die daarop van invloed blijken te zijn. Deze samenhang blijkt te verschillen voor de individuele elementen.

Uit het oogpunt van eenvoud en praktische bruikbaarheid van het stelsel referentiewaarden kan een zekere mate van uniformering van de te hanteren relaties overwogen worden. Naarmate het stelsel verder vereenvoudigd wordt neemt evenwel de afwijking tussen de referentiewaarde en de bovengrens van het nu waargenomen achtergrondgehalte voor de individuele metalen toe. De voorgestelde vorm van differentiatie zoals beschreven in de discussienotitie kan als een mogelijke uitwerking gezien worden, waarbij nog slechts één stof-specifieke parameter resteert. Als gevolg echter van de wijze van differentiatie overschrijden de huidige metaalgehalten in humus- en kleiarne zandgronden voorgestelde referentiewaarden voor deze bodems, en zijn de voorgestelde referentiewaarden voor bodems die rijk zijn aan organische stof vele malen hoger dan de gehalten die nu worden aangetroffen. De commissie geeft in haar advies een voorbeeld van een vorm van differentiatie waarmee deze afwijkingen in belangrijke mate worden voorkomen. In het voorbeeld blijven de referentiewaarden voor de overige bodems min of meer ongewijzigd. De afweging tussen enerzijds de eenvoud van het stelsel referentiewaarden en anderzijds de afwijking tussen de referentiewaarden en de (bovengrens van de) huidige achtergrondgehalten verdient nader aandacht.

Met betrekking tot de referentiewaarden voor gehalten zware metalen in grondwater beveelt de commissie aan deze ook te ontleen aan de bovengrens van het traject van nu waargenomen gehalten in het ondiepe grondwater in niet-duidelijk verontreinigde bodems. De samenhang tussen stofgehalten in de vaste en vloeibare fase van de bodem is dermate variabel, afhankelijk van een complex van specifieke milieuomstandigheden, dat het leggen van een direkt verband tussen de referentiewaarden voor metaalgehalten in de bodem en in het grondwater vooralsnog niet zinvol geacht moet worden. De in het kader van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit gerapporteerde informatie geeft de commissie aanleiding voor enkele metalen een wijziging van de referentiewaarde voor gehalten in het grondwater voor te stellen.

Met name ten aanzien van een aantal macro-constituenten rijst de vraag in hoeverre de nu waargenomen gehalten in het grondwater nog een niet-duidelijk verontreinigde situatie betreffen. Op basis van de gerapporteerde gegevens uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit kan een dergelijk onderscheid slechts globaal gemaakt worden. Op grond van een voorlopige beschouwing stelt de commissie enkele wijzigingen voor. Zij beveelt aan de beschikbare informatie nader te evalueren. Daarbij dienen de waarnemingen die evident antropogeen beïnvloed grondwater betreffen te worden uitgesloten. Als referentiewaarde kan het gehalte worden aangehouden dat in slechts een beperkt aantal gevallen (5 à 10%) overschreden wordt. Voor zover de aldus verkregen referentiewaarden de uit oogpunt van effecten kritische gehalten te boven gaan, hetgeen bijvoorbeeld voor nitraat het geval is, dienen de laatste als referentiewaarden te worden aangehouden.

De commissie kan zich tenslotte vinden in de werkwijze die voor het verkrijgen van referentiewaarden voor de organische verbindingen is gevolgd. Zij acht de referentiewaarde voor de polycyclische aromatische koolwaterstoffen in de vaste fase van de bodem laag ten opzichte van de nu waargenomen gehalten. Een nadere beoordeling van de hierover beschikbare kennis zal moeten uitwijzen of een dergelijke waarde uit oogpunt van effecten gemotiveerd kan worden.

#### Effect-georiënteerde benadering

De commissie heeft bezien op welke wijze en in hoeverre de voorgestelde referentiewaarden beoordeeld kunnen worden uit het oogpunt van mogelijke effecten. Met betrekking tot de mogelijke gevolgen voor het bodem-ecosysteem is dit nauwelijks mogelijk. Tot op zekere hoogte kan (voor een beperkt deel van de stoffen) beoordeeld worden of (specifieke) organismen schade zullen ondervinden. De beschikbare kennis indiceert no-effect-levels voor effecten onder laboratorium-omstandigheden die soms beneden de voorgestelde referentiewaarden liggen. No-effect-levels die ontleend zijn aan veldwaarnemingen zijn in het algemeen hoger. De commissie concludeert dat de voorgestelde referentiewaarden in elk geval qua grootte-orde overeenstemmen met nu bekende no-effect-levels. Als belangrijk probleem signaleert de commissie dat het voor eerst niet duidelijk is aan de hand van welke grootheden kan worden vastgesteld of er sprake is van nadelige gevolgen van stoffen voor het bodemleven en het functioneren van het bodem-ecosysteem. Het vaststellen van een beïnvloeding als zodanig dient haars inziens te geschieden aan de hand van de respons op de blootstelling van individuele, gevoelige, organismen, terwijl voor veranderingen in het functioneren van het bodem-ecosysteem de respons van functioneel belangrijke groepen organismen in aanmerking komt. Over de vraag welke soorten organismen in aanmerking komen en welke parameters indicaties omtrent mogelijke effecten geven is een nadere gedachtenvorming gewenst. Op basis hiervan kan de beschikbare informatie worden geïnterpreteerd en kunnen ge-

richt aanvullende waarnemingen gedaan worden. Eerst daarna zal het mogelijk zijn in te gaan op de "aanvaardbaarheid" en "herstelbaarheid" van de door menselijk ingrijpen geïnduceerde veranderingen. Wat dit laatste betreft is tevens een voortzetting gewenst van de gedachtenvorming over de doelstellingen van het bodembeschermingsbeleid met betrekking tot de ecologische functie van de bodem en het bodem-ecosysteem in engere zin.

Voor wat betreft de gezondheidkundige effecten van een bodemkwaliteit als beschreven door de referentiewaarden geeft de commissie aan langs welke weg tot een beoordeling gekomen kan worden. De beschreven benaderingswijze is tevens bruikbaar in het kader van de gewenste integrale normstelling. De benaderingswijze gaat uit van de aan de totale blootstelling van de mens te stellen randvoorwaarde zoals de ADI, en brengt deze via alle relevante blootstellingswegen in verband met de kwaliteit van bodem en grondwater. Op deze wijze wordt inzicht verkregen in het relatieve belang van de verschillende blootstellingswegen, en in de globale bijdrage vanuit het compartiment bodem aan de totale blootstelling van een beschouwde stof. Tevens kan een indicatie worden verkregen van de betekenis van kennisleemten, onzekerheden en noodzakelijk te maken vereenvoudigingen voor het beoordelingsresultaat. De benaderingswijze is ter illustratie toegepast voor een tweetal stoffen. De commissie acht de werkwijze dermate veelbelovend dat een nadere uitwerking hiervan, en een toepassing op andere, uit oogpunt van de volksgezondheid vermoedelijk kritische stoffen, wordt aanbevolen. Als globale beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden meent de commissie dat deze uit het oogpunt van risico's voor de volksgezondheid niet te hoog zijn, maar dat aanmerkelijk hogere waarden, behoudens voor enkele individuele metalen en een deel van de organische verbindingen, vermoedelijk onaanvaardbaar zullen blijken.

Voor het beoordelen van de voorgestelde referentiewaarden uit oogpunt van landbouwkundige vormen van bodemgebruik kon worden uitgegaan van de door de LAC gerapporteerde signaalwaarden. Aan deze signaalwaarden liggen enerzijds overwegingen ten grondslag met betrekking tot mogelijke gezondheidkundige risico's verbonden aan de consumptie van gecontamineerd plantaardig en dierlijk voedsel. Anderzijds kunnen de signaalwaarden stofgehalten betreffen waarboven zich ziekten van gewas of vee kunnen gaan voordoen en/of er mogelijk sprake kan zijn van opbrengstderving.

Voor de zware metalen liggen de voorgestelde referentiewaarden voor zandgrond iets beneden, en voor veengronden beduidend boven de kleinste signaalwaarden. De betekenis van het laatste kan niet goed beoordeeld worden. Daar er voor de meeste metalen geen duidelijke afhankelijkheid bestaat tussen het organische stofgehalte van de bodem en de metaalopname door planten, ligt een verlaging van de voorgestelde re-

ferentiewaarden voor bodems met een hoog gehalte organische stof in de rede. Met betrekking tot de organische verbindingen is een beoordeling van de referentiewaarden uit oogpunt van landbouwkundige vormen van bodemgebruik slechts beperkt mogelijk. Vooral gezondheidskundige risico's kunnen in dit verband maatgevend geacht worden. De via voedsel verlopende blootstellingswegen dragen in belangrijke mate bij aan de totale opname door de mens van organische verbindingen die in de bodem aanwezig zijn. De stofgehalten in de bodem die corresponderen met een grens voor de aanvaardbare belasting van de mens lopen sterk uiteen voor de individuele verbindingen, zodat een "grenswaarde" in deze zin voor groepen verbindingen zoals in de discussienotitie worden onderscheiden zonder betekenis is. Voor sommige individuele verbindingen benaderen dergelijke "kritische" stofgehalten de voorgestelde referentiewaarden. Voor het merendeel van de organische verbindingen die in de discussienotitie zijn gespecificeerd mag evenwel verwacht worden dat de uit oogpunt van landbouwkundige vormen van bodemgebruik kritisch te achten stofgehalten ruim boven de voorgestelde referentiewaarden zullen liggen.

#### Onderwaterbodems

In het rapport Normering Onderwaterbodems wordt een normstelling voorgesteld voor de kwaliteit van sedimenten en zwevende stof in oppervlaktewateren in de vorm van advies-streef-, -richt- en -grenswaarden. De commissie heeft slechts beperkt aandacht kunnen besteden aan dit rapport. Zij meent dat de voor de bodem voorgestelde referentiewaarden ook voor onderwaterbodems gebruikt kunnen worden, en stelt voor de advies-streefwaarden in deze zin te wijzigen. Meer nog dan voor terrestrische bodems speelt uit oogpunt van differentiatie het organische stofgehalte voor de zware metalen een ten opzichte van het lutumgehalte ondergeschikte rol, en deze factor komt haars inziens niet als differentiërend bodemkenmerk in aanmerking. Alleen indien het relatieve belang van het organische stofgehalte voor de differentiatie van de referentiewaarden voor gehalten metalen in de (droge) bodem wordt beperkt, zoals het geval is in een in het advies gegeven voorbeeld, kan indien gewenst volstaan worden met één stelsel referentiewaarden die zowel op terrestrische bodems als op onderwaterbodems van toepassing zijn.

Ook voor onderwaterbodems dienen de referentie- of streefwaarden gezien te worden als bovengrens voor stofgehalten in niet-duidelijk door puntbronnen verontreinigde bodems, en de relatie met (het ontbreken van) mogelijke effecten kan vooreerst niet, of slechts met het grootst mogelijke voorbehoud, gelegd worden. Dit geldt temeer voor de voorgestelde advies-richtwaarden, die zijn ontleend aan de huidige kwaliteit van het sediment in het IJsselmeer. De commissie maakt bezwaar tegen het motief dat aan de keuze van de richtwaarden ten grondslag ligt: het (nog) niet waargenomen zijn van effecten impliceert niet dat deze

afwezig zijn. De commissie is niet in staat aan te geven of er in het IJsselmeer al dan niet sprake is van effecten voor het aquatische ecosysteem. Zij kan slechts wijzen op de zorg die hieromtrent leeft ten aanzien van bijvoorbeeld de Waddenzee, waar de huidige gehalten zware metalen in het sediment aanmerkelijk kleiner zijn dan in het IJsselmeer. Effect-gericht onderzoek, waarbij zowel chemische als biologische methoden voor monitoring naast elkaar worden gebruikt, zal hierover uitsluitsel moeten geven. Behalve de oordeelsvorming inzake de mogelijke effecten spelen tenslotte bij het vaststellen van de richtwaarden tevens overwegingen een rol met betrekking tot de, maatschappelijke, haalbaarheid van het kwaliteitsniveau op middellange termijn. De commissie laat deze invalshoek krachtens haar taakstelling buiten beschouwing.

### Herstel

De commissie besteedt in haar advies aandacht aan het vraagstuk van de herstelbaarheid van de door menselijk handelen veroorzaakte veranderingen in de abiotische en biotische kenmerken van de bodem. Zij meent dat herstel van de kwaliteit van bodem en grondwater tot het niveau als beschreven met de referentiewaarden in het geval van een, substantiële, overschrijding daarvan slechts zeer beperkt mogelijk is. Natuurlijke processen, waaronder begrepen afbraak en omzetting, vervluchtiging, uitspoeling, en de opname door en afvoer met planten, zijn met name voor de macro-constituenten van betekenis. Voor de genoemde organische verbindingen dragen (microbiële) afbraak en omzettingen in de bodem bij aan het herstel, maar de benodigde termijnen voor herstel tot of beneden de referentiewaarden, zo deze al gehaald worden, bedragen tenminste tientallen jaren. Voor de zware metalen tenslotte dient een overschrijding van de referentiewaarden als onherstelbaar beschouwd te worden, althans wanneer het herstel langs natuurlijke weg en binnen een "redelijke" termijn moet plaatsvinden.

De toepassing van saneringstechnieken, wellicht met uitzondering van biologische in-situ reinigingstechnieken, zal beperkt blijven tot gevallen van lokale verontreiniging. De commissie meent dat bij de huidige stand der techniek slechts bij uitzondering stofgehalten in de gereinigde grond of bodem verkregen kunnen worden die de referentiewaarden benaderen. De technieken, nu gericht op het behalen van de A-waarden, kunnen verder ontwikkeld worden, waardoor het reinigingsresultaat zal verbeteren. Het verwijderen van organische verbindingen tot de voorgestelde referentiewaarden met behulp van thermische technieken moet in beginsel mogelijk geacht worden. Het behalen van de referentiewaarden met behulp van extractietechnieken en biologische reinigingstechnieken dient als onwaarschijnlijk te worden aangemerkt. De referentiewaarden zijn in dit verband letterlijk "richting gevend", en kunnen vooreerst niet als haalbare kwaliteitsniveaus na reiniging beschouwd worden.

De termijnen tenslotte die benodigd zijn voor het herstel van biotische bodemkenmerken kunnen oplopen tot honderden jaren. Het verkrijgen van een gestabiliseerde leeftijdsstructuur voor een populatie organismen behoeft in het algemeen 5 generaties, en de duur van deze periode varieert van minder dan een jaar voor schimmels tot honderd jaar en meer voor boomsoorten. De ontwikkeling van stabiele ecosystemen strekt zich over nog langere perioden uit. Met betrekking tot het herstel van ecosystemen ontbreken criteria waarmee het al dan niet hersteld zijn beoordeeld kan worden. Een ecosysteem vormt geen onveranderlijke grootheid, maar reflecteert een bepaalde fase in een successie. Zo het al mogelijk zou zijn de randvoorwaarden te specificeren die de richting van de successie bepalen, is het uit oogpunt van het beoordelen van de mogelijkheden voor herstel na ingrepen tevens noodzakelijk aan te geven wanneer, d.w.z. in welk successiestadium, het ecosysteem hersteld geacht wordt. Ten aanzien van beide factoren is een nadere gedachtenvorming gewenst.

#### Bemonstering en beoordeling

De commissie heeft de voorgestelde procedure voor het beoordelen van de actuele bodemkwaliteit aan de hand van de referentiewaarden bezien. Vooruitlopend op de richtlijnen die voor deze procedure in voorbereiding zijn, wijst de commissie op een mogelijk daaraan verbonden consequentie. Het vergelijken van het gemiddelde gehalte in een mengmonster met de betreffende referentiewaarde, op zich al een bovengrens voor een "goede" bodemkwaliteit, houdt de mogelijkheid in dat de gewenste bodemkwaliteit voor bijvoorbeeld de helft van een beschouwd bodemareaal overschreden wordt, terwijl dit areaal als geheel wel het predicaat "goed" verkrijgt. Naarmate de beoordelingsmaatstaf meer betekenis verkrijgt in de zin van kritische stofgehalten uit oogpunt van effecten nemen de bezwaren tegen een dergelijke procedure toe. De commissie beveelt in dit verband aan de te volgen beoordelingsprocedure nader te bezien, en het resultaat van een beoordeling te baseren op het nog aanvaardbaar zijn van een overschrijding van de referentiewaarden in een (beperkt), nader te bepalen, gedeelte van een beschouwd areaal.

Tenslotte wijst de commissie op de betekenis van gradiënten in stofgehalten in de bodem in verticale richting. Krachtens de voorgestelde procedure wordt uitgegaan van gehalten die het gemiddelde vormen voor de bovenste 20 cm van de bodemkolom. Een dergelijke gemiddelde waarde kan in het geval van ongeroerde bodems (natuurterrein, stabiel grasland-ecosysteem) niet zondermeer in verband gebracht worden met de stofgehalten waaraan bodemorganismen in de bovenste (strooisel-)laag van de bodem worden blootgesteld. Deze discrepantie heeft niet zozeer betekenis voor de beoordeling van de bodemkwaliteit op grond van de nu voorgestelde referentiewaarden (achtergrondgehalten), als wel voor de beoordeling op grond van mogelijke effecten voor bodemorganismen en het bodem-ecosysteem. Ook dit aspect zal in de nabije toekomst nadere aandacht behoeven.



### Relatie met het brongerichte beleid

De commissie acht de in de discussienotitie beschreven betekenis van de referentiewaarden voor met name de diffuse bronnen van verontreiniging juist en in overeenstemming met de in het bodembeschermingsbeleid gehanteerde uitgangspunten. Zij wijst er in dit verband op dat de beschikbare marges klein zijn. Het uitgangspunt "aanvoer = afvoer" zou ten aanzien van de zware metalen bij het huidige niveau van atmosferische depositie nauwelijks ruimte laten om metalen langs andere weg op of in de bodem te brengen. De productnormen en doseringsregels die in de bijlagen van de discussienotitie ter indicatie worden gegeven voor zuiveringsslib en compost, tezamen met de mogelijke aanvoer van metalen in meststoffen en vanuit de atmosfeer, houden voor een aantal van de metalen een relatief snelle accumulatie in. In een ongunstig geval is een verdubbeling van een initieel gehalte tot de referentiewaarde in enkele tientallen jaren mogelijk (Zn, Cu, Hg). Voor zandgrond is de betreffende periode kleiner, en voor kleigrond, en uiteraard ook voor alle relatief weinig belaste bodems, is deze groter dan de gegeven indicatie. Dergelijke inzichten onderstrepen het belang van overwegingen met betrekking tot de haalbaarheid en handhaafbaarheid van, en de maatschappelijke consequenties verbonden aan, een zekere gewenste bodemkwaliteit. Dit geldt vooral wanneer het gaat om het vaststellen van grens- en richtwaarden, maar in mindere mate ook al ten aanzien van de referentiewaarden.

### Onderzoek

In haar advies heeft de commissie helaas maar al te vaak moeten constateren dat de voor een oordeelsvorming benodigde kennis vooralsnog ontbreekt. De gesignaleerde leemten en de aspecten die nadere aandacht behoeven zijn hier beknopt, en niet uitputtend, weergegeven. Een belangrijk deel van de genoemde onderwerpen zijn eerder gesignaleerd en als onderzoekslijnen in het kader van het Speerpuntprogramma Bodemonderzoek genoemd.

### Achtergrondgehalten

Het verdient aanbeveling een systematische evaluatie uit te voeren van de beschikbare informatie over de huidige gehalten van stoffen in bodem en grondwater (natuurterreinen, cultuurgrond, onderwaterbodems, grondwater). Met behulp van een statistische analyse dient een beeld gevormd te worden van o.a. frequentieverdelingen, de correlaties tussen stofgehalten en bodemkenmerken, overschrijdingskansen bij een gegeven niveau voor te onderscheiden deelverzamelingen van de waarnemingen (grondsoorten, bodemgebruik, marien-beïnvloede gebieden etc.). Voor stofgehalten in löss- en laagveen-bodems, alsmede voor onderwaterbodems in niet-Rijkswateren dient aanvullende informatie verzameld te worden, evenals voor de gehalten van organische verbindingen (met name PAK's) in alle typen bodems.

## **Speciatie**

Het zoeken naar mogelijkheden om de verdeling van met name metalen over de vaste en vloeibare fase van de bodem alsmede van de vorm waarin zij voorkomen te beschrijven (voorspellen), als functie van een zomogelijk beperkt aantal relevante milieufactoren, dient te worden voortgezet. Op korte termijn zou een combinatie van veld-, kolom- en modelonderzoek kunnen resulteren in een systematische beschrijving van de belangrijkste milieufactoren en regulerende mechanismen die het gedrag van de afzonderlijke metalen bepalen, in terrestrische zowel als in aquatische milieus.

## **Ecologie**

Er dient een gedachtenvorming plaats te vinden ten aanzien van de wijze waarop de effecten van de milieukwaliteit op het ecosysteem kunnen worden vastgesteld. Dit geldt zowel voor terrestrische als aquatische ecosystemen. In dit verband verdient de relatie tussen structuurkenmerken en functionele kenmerken van levensgemeenschappen nadere aandacht, en moeten experimentele procedures voor het toetsen van effecten in specifieke ecosystemen ontwikkeld worden. Een bij voorkeur te volgen benaderingswijze omvat de gelijktijdige toepassing van zowel biologische als chemische methoden, zodat op den duur biotische zowel als abiotische parameters gebruikt kunnen worden voor het voorspellen of vaststellen en het beoordelen van mogelijke effecten. Aparte aandacht behoeven het vraagstuk van de aan te houden veiligheidsfactoren in relatie tot de variabiliteit in gevoeligheden van soorten organismen, en het vraagstuk van herstel, en herstelperiode, van verstoorde populaties en levensgemeenschappen. De betekenis van (veranderingen in) andere milieufactoren dan stofgehalten in de bodem dient wat het laatste betreft mede in beschouwing genomen te worden zoals veranderingen in bodemstructuur of vochthuishouding.

## **Landbouw en volksgezondheid**

Het verdient aanbeveling de gewenste bodemkwaliteit systematisch te beoordelen uit het oogpunt van de humane blootstelling aan stoffen afkomstig uit bodem en grondwater. De te volgen benaderingswijze is in het advies beschreven, maar behoeft een nadere uitwerking ten aanzien van de betekenis die uit oogpunt van het bodembeschermingsbeleid gehecht moet worden aan variaties in consumptiepatronen, aan bevolkingsgroepen met een verhoogd risico, en aan onzekerheden in algemene zin. De via voedsel verlopende blootstellingswegen zijn veelal overheersend, zodat het inzicht in de overdracht van stoffen vanuit bodem en grondwater naar consumptiegewassen en dierlijke voedingsmiddelen van groot belang is. De opname van metalen en organische verbindingen uit de bodem, als functie van de stofgehalten in de bodem, speciatie en bodemkenmerken, verdient daarbij nadere aandacht.

### **Beoordeling van de bodemkwaliteit**

De procedure voor het beoordelen van de bodemkwaliteit behoeft een nadere uitwerking, met name ten aanzien van de mate waarin (c.q. het areaal waarvoor) een overschrijding van de gewenste bodemkwaliteit nog aanvaardbaar geacht wordt. De betekenis van de beoordelingsmaatstaf, referentiewaarden in de zin van achtergrondgehalten dan wel in de zin van kritische stofgehalten uit oogpunt van effecten, zou daarin expliciet aan de orde gesteld moeten worden. Ook de ruimtelijke variatie van stofgehalten in de bodem (in horizontale zowel als verticale richting) verdient in dit verband nadere aandacht.

## 1. Inleiding

Bij de behandeling van het wetsontwerp bodembescherming, en bij de behandeling van het IMP-M 1986-1990 in de Tweede Kamer is toegezegd om van rijkszijde een indicatieve lijst met waarden voor stofgehalten in een goede, dat wil zeggen multifunctionele, bodem op te stellen. De noodzaak te komen tot een voorlopig getalsmatig uitgewerkt standpunt inzake de kwaliteit van een multifunctioneel te achten bodem wordt enerzijds ingegeven door de achterstand die normstelling voor het milieucompartiment bodem heeft ten opzichte van andere compartimenten, en anderzijds door de grote maatschappelijke vraag naar indicaties ten aanzien van de gewenste bodemkwaliteit. Ter voorbereiding van bij AMvB vast te stellen milieukwaliteitseisen voor de bodem wordt een nadere, met name ecotoxicologische, onderbouwing noodzakelijk geacht, en dient inzicht verkregen te zijn in de maatschappelijke consequenties van de te handhaven c.q. te bereiken bodemkwaliteit. Daarom is een voorlopig te hanteren lijst van referentiewaarden voor een goede bodemkwaliteit opgesteld, die in de loop der tijd op grond van nieuw verkregen inzichten kan worden bijgesteld. Met het uitbrengen van de discussienotitie Bodemkwaliteit (1), waarin de voorlopige referentiewaarden worden gepresenteerd en toegelicht, wordt een ronde van discussie en advisering gestart. De discussienotitie is volledigheidshalve als bijlage 3 bij het voorliggende advies gevoegd. De behandeling van de notitie door de Voorlopige technische commissie bodembescherming vormt een onderdeel van deze discussieronde. De discussieronde dient ter voorbereiding van een standpuntsbepaling inzake de milieuhygiënisch gewenste bodemkwaliteit, en zal naar verwachting eind 1986 worden afgerond.

Specifiek voor onderwaterbodems is de gedachtenvorming over normstelling verwoord in het rapport "Normering onderwaterbodems" (2), opgesteld door een ambtelijke werkgroep van de Ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, en van Verkeer en Waterstaat. Dit rapport bevat ondermeer indicaties voor een goede (onderwater)bodemkwaliteit die blijkens de adviesaanvraag vergelijkbaar zijn aan die welke in de notitie Bodemkwaliteit worden gegeven. Daar de normstelling voor bodems in algemene zin tevens betrekking heeft op onderwaterbodems, zijn de relevante delen van het voornoemde rapport mede beschouwd bij het opstellen van het voorliggende advies.

Bij brief kenmerk BWS/0156429, d.d. 12 mei 1986, verzocht de Minister de Voorlopige technische commissie bodembescherming om advies over de technisch-wetenschappelijke aspecten van de in de discussienotitie gepresenteerde voorlopige referentiewaarden en de benaderingswijze die voor het afleiden daarvan gevolgd is. De advies-

aanvraag is als bijlage 1 bij dit advies opgenomen. Met het oog op de geëntameerde bespreking van de discussienotitie door externe deskundigen over met name de technisch-wetenschappelijke aspecten, heeft de commissie de periode van advies-voorbereiding beperkt gehouden.

In het voorliggende advies gaat de commissie in op de betekenis van de voorgestelde referentiewaarden in het licht van de doelstellingen en uitgangspunten van het bodembeschermingsbeleid, en beschouwt zij de werkwijze waarmee de voorgestelde referentiewaarden zijn verkregen. Volgend op een algemene beschouwing gaat zij in op een aantal deelaspecten, waaronder de huidige achtergrondgehalten van stoffen in relatief schone bodems, de betekenis van stofgehalten in de bodem uit oogpunt van uitlopende effecten, en de mogelijkheden voor herstel van bodems waarvan de kwaliteit niet aan het gewenste niveau voldoet. Zij geeft daarbij zomogelijk een globaal oordeel over de hoogte van de voorgestelde referentiewaarden.

## 2. Afbakening en werkwijze

Het advies werd voorbereid in de periode van februari tot april 1986, en bouwde voort op de gedachtenvorming binnen de commissie over normstelling in het kader van de bodembescherming, welke plaatsvond naar aanleiding van het advies inzake de beoordeling van gevallen van bodemverontreiniging (3). Ten behoeve van de adviesvoorbereiding kon al in een vroeg stadium worden beschikt over concepten van de discussienotitie Bodemkwaliteit. Het rapport Normering onderwaterbodems kwam medio maart beschikbaar. De behandeling hiervan is derhalve minder diepgaand en volledig geweest dan de behandeling van de discussienotitie, en beperkt tot de uitgangspunten en werkwijze voor het afleiden van de in het rapport beschreven advies-richtwaarden en -streefwaarden. De tevens beschreven adviesgrenswaarden zijn krachtens de adviesaanvraag buiten beschouwing gelaten.

De commissie heeft zich in grote lijnen beperkt tot de inhoud van de discussienotitie, en een aantal aandachtsvelden met betrekking tot de bodem(kwaliteit) bleven onaangeroerd. In brede zin betreft dit de normstelling voor andere bodemkenmerken dan stofgehalten. In samenhang met de bodemkwaliteit in engere zin kunnen genoemd worden de depositie van zuurvormende alsmede van radioactieve stoffen, en de randvoorwaarden die hieraan te stellen zijn uit oogpunt van effecten die via de bodem i.c. het grondwater tot stand komen. Deze vraagstukken verkrijgen in andere kaders aandacht, en de commissie heeft ze vooreerst buiten beschouwing moeten laten.

Om in de beperkte termijn voor de adviesvoorbereiding voldoende diepgang te verkrijgen, en mede gezien het brede scala deelaspecten dat met de normstelling voor de bodem samenhangt, heeft de commissie het advies doen voorbereiden door een zestal werkgroepen. In deze werkgroepen, die elk onder voorzitterschap stonden van een commissielid, namen terzake van het deelaspect deskundige niet-commissieleden zitting. Het merendeel der werkgroepen kwam in de periode van de adviesvoorbereiding drie maal bijeen. Voor een tweetal werkgroepen bleef het overleg beperkt tot één bijeenkomst. De aard van de beschouwde onderwerpen en de samenstelling van de werkgroepen is in het navolgende aangegeven.

De werkgroepen werden secretariaeel ondersteund door dr. P.B. Smoor, verbonden aan het Studie- en informatiecentrum voor Milieu-Onderzoek van TNO. De secretaris van de commissie, ir. P.J. de Bruijn, fungeerde als algemeen secretaris, en werd belast met het integreren van de bevindingen van de werkgroepen en het concipiëren van het advies.

### Werkgroep referentiewaarden

#### Samenstelling:

- prof.dr.ir. F.A.M. de Haan (voorzitter en lid van de commissie);
- dr.ir. A. Breeuwsma, verbonden aan de Stichting voor Bodemkartering;
- dr. W. van Driel, verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid;
- ir. Th. Edelman, verbonden aan de Dienst Milieuhygiëne van de Provincie Gelderland;
- ir. Th.M. Lexmond, verbonden aan de vakgroep Bodemkunde en Plantvoeding van de Landbouwhogeschool Wageningen;
- prof.dr. R. Schuiling, verbonden aan het Instituut voor Aardwetenschappen van de Rijksuniversiteit Utrecht; en
- drs. R.C.C. Wegman, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

De werkgroep werd verzocht de discussienotitie te bezien uit het oogpunt van de huidige achtergrondgehalten van stoffen in de Nederlandse bodem. Daarbij zou aandacht besteed moeten worden aan de voor het afleiden van de voorgestelde referentiewaarden gevolgde werkwijze, de voorgestelde differentiatie naar grondsoort, en de grootte van de voorgestelde referentiewaarden.

### Werkgroep Ecologie

#### Samenstelling:

- prof.dr. E.N.G. Joosse-van Damme (voorzitter en lid van de commissie);
- drs. H. van Capelleveen, verbonden aan de vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie van de Vrije Universiteit Amsterdam;
- prof.dr. W.H.O. Ernst, verbonden aan de Vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie van de Vrije Universiteit Amsterdam;
- dr. H.J.P. Eijsackers, verbonden aan het Rijksinstituut voor Natuurbeheer;
- prof.dr. S.A.L.M. Kooijman, verbonden aan de afdeling Theoretische Biologie van het Biologisch Laboratorium van de Vrije Universiteit Amsterdam;
- dr. H.A.M. de Kruijf, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne; en
- dr. N.M. van Straalen, verbonden aan de vakgroep Oecologie en Oecotoxicologie van de Vrije Universiteit Amsterdam.

De werkgroep werd verzocht de discussienotitie te bezien uit het oogpunt van de ecologie, en met name aandacht te schenken aan de betekenis van de voorgestelde referentiewaarden voor het functioneren van het ecologische systeem van de bodem.

### Werkgroep Volksgezondheid

#### Samenstelling:

- prof.dr. H. van Genderen (voorzitter en lid van de commissie);
- prof.dr. K. Biersteker, verbonden aan de vakgroep Gezondheidsleer van de Landbouwhogeschool Wageningen;
- dr. H.J. Kool, verbonden aan het Water Laboratorium Oost te Doetinchem;
- prof.dr. B. Sangster, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- mevr.ir. A. Wijbenga, verbonden aan de Provinciale Waterstaat van Zuid Holland; en
- drs. J.H. van Wijnen, arts, verbonden aan de GG & GD te Amsterdam.

De werkgroep werd verzocht de discussienotitie te bezien uit het oogpunt van de volksgezondheid, en met name in te gaan op de mogelijkheden om de voorgestelde referentiewaarden te beoordelen op grond van gezondheidskundige effecten.

### Werkgroep Landbouw

#### Samenstelling:

- dr. A.J. de Groot (voorzitter en lid van de commissie);
- dr. A.J. Baars, verbonden aan het Centraal Diergeneeskundig Instituut;
- dr.ir. T. Breimer, verbonden aan het Consulentschap voor Bodem-, Water- en Bemestingszaken in de Akker- en Tuinbouw;
- ir. Th.M. Lexmond, verbonden aan de vakgroep Bodemkunde en Plan- tevoeding van de Landbouwhogeschool Wageningen;
- de heer P. van Lune, verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid;
- dr.ir. K.W. Smilde, verbonden aan het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid; en
- drs. R.C.C. Wegman, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne.

De werkgroep werd verzocht de voorgestelde referentiewaarden te bezien uit het oogpunt van de betekenis voor het landbouwkundig bodemgebruik. Voor zover er sprake zou zijn van effecten die de kwaliteit van producten betroffen dienden deze bij voorkeur in overleg met de werkgroep Volksgezondheid te worden beoordeeld.



### Werkgroep Onderwaterbodems

#### Samenstelling:

- dr. A.J. de Groot (voorzitter en lid van de commissie);
- drs. P.C.M. Boers, verbonden aan het Limnologisch Instituut;
- dr. W.A. Bruggeman, verbonden aan de Dienst Binnenwateren/RIZA van de Rijkswaterstaat;
- drs. P. Fuchs, verbonden aan het Rijksinstituut voor Natuurbeheer;
- dr. A.H.L. Huiskes, verbonden aan het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek;
- drs. J.M. Marquenie, verbonden aan het Laboratorium voor toegepast marien onderzoek van TNO; en
- dr. W. Salomons, verbonden aan het Waterloopkundig Laboratorium.

De werkgroep werd verzocht de discussienotitie Bodemkwaliteit, alsmede de relevante delen van het rapport Normering onderwaterbodems, te bezien uit het oogpunt van de betekenis van stofgehalten voor het aquatische ecosysteem. Daarbij werd verzocht aandacht te schenken aan de voor het afleiden van streef- en richtwaarden voor stofgehalten in onderwaterbodems gevolgde werkwijze, en aan te geven of er aanleiding is de wijze van differentiatie van streefwaarden naar bodemkenmerken voor onderwaterbodems afwijkend te doen zijn van die voor bodems in algemene zin.

### Werkgroep Herstel

#### Samenstelling:

- prof.dr.ir. F.B. de Walle (voorzitter en lid van de commissie);
- dr.ir. P. Doelman, verbonden aan het Rijksinstituut voor Natuurbeheer;
- ir. J.F. de Kreuk, verbonden aan de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO;
- dr.ir. M. Leistra, verbonden aan het Instituut voor Onderzoek van Bestrijdingsmiddelen;
- dr.ir. J.P.G. Loch, verbonden aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne;
- dr. F.H. Mischgofsky, verbonden aan het Laboratorium voor Grondmechanica;
- ir. A. Nijdam, voorzitter van de Nederlandse Vereniging van Procesmatige Grondreinigingsbedrijven;
- W.H. Rulkens, verbonden aan de hoofdgroep Maatschappelijke Technologie van TNO; en
- ir. P.P.A.J. van Zuilen, verbonden aan de Dienst Weg- en Waterbouw van de Rijkswaterstaat.

De werkgroepleden werden verzocht te reageren op het betreffende gedeelte van het concept-advies. Daarbij zou zomogelijk moeten worden aangegeven welke de mogelijkheden zijn voor herstel van de bodemkwaliteit voor bodems met stofgehalten die boven de in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden gelegen zijn. Tevens werd verzocht om eventuele randvoorwaarden aan te geven die uit oogpunt van de toepasbaarheid aan de verschillende methoden verbonden zijn, alsmede indicaties voor de benodigde tijd die het herstel zou vergen.

### 3. Uitgangspunten en begrippen

#### 3.1 Inleiding

Het begrip multifunctionaliteit van de bodem als hoeksteen voor het bodembeschermingsbeleid ligt verankerd in de (ontwerp) Wet bodembescherming. De praktische betekenis van dit begrip hangt samen met de mogelijkheden om multifunctionaliteit ook in operationele, hanteerbare termen te definiëren. De discussienotitie Bodemkwaliteit, en derhalve ook het voorliggende advies, handelt over het hanteerbaar maken van het begrip multifunctionaliteit voor zover dat in verband staat met (een beperkt deel van) de betrokken eigenschappen van de bodem, en wel met die gehalten van stoffen in de vaste en vloeibare fase van de bodem waarvoor getalsmatige indicaties mede ten behoeve van het brongerichte bodembeschermingsbeleid noodzakelijk worden geacht.

Om een beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden te kunnen plaatsen in het perspectief van de doelstellingen en uitgangspunten van het bodembeschermingsbeleid worden deze in de navolgende paragrafen beknopt weergegeven.

#### 3.2 Doelstellingen van het bodembeschermingsbeleid

De doelstelling van het effect gerichte milieubeleid is in het IMP-M 1986-1990 (4) verwoord als het bereiken dan wel behouden van een zodanige milieukwaliteit (de zgn. algemene milieukwaliteit) dat "de gezondheid en het welbevinden van mensen en de instandhouding van dieren, planten, goederen en vormen van gebruik in algemene zin zijn gewaarborgd". Specifiek voor de bodem is de doelstelling het behouden van "de eigenschappen van de bodem die voor zijn verschillende mogelijke functies van belang zijn", waaraan in het V-IMP-Bodem 1984-1988 (5) is toegevoegd "en het realiseren van een extra bescherming van bepaalde gebieden (de zogenaamde beschermingsgebieden) in verband met de kwetsbaarheid van bepaalde functies (zoals waterwinning of bepaalde vormen van landbouw) of een lagere risico-acceptatie in verband met bepaalde onvervangbaar geachte waarden".

In de Memorie van Toelichting bij het ontwerp van de Wet bodembescherming (6) wordt gesteld dat de bodem beschermd dient te worden "met het oog op de mens, de flora en de fauna, tegen de achtergrond van de inpasbaarheid van het menselijk handelen in een stelsel van evenwicht van mens en natuurlijk milieu. Voor de bescherming van de milieucomponent bodem houdt dit in: het geheel van maatregelen, zowel gericht op het voorkomen, respectievelijk beperken of ongedaan maken van nadelige beïnvloeding van de kwaliteit van de bodem als gevolg van menselijke activiteiten, als gericht op het behoud van een gewenste kwaliteit van de bodem". Daarbij wordt onder nadelige beïnvloeding begrepen "iedere veran-

dering van materie of van - fysische, chemische of biologische - hoedanigheden die een vermindering of bedreiging betekent van de functionele eigenschappen die de bodem voor mens, plant en dier heeft: in het bijzonder iedere afnemng van de kwaliteit van de bodem in zodanige mate dat bedoelde functionele eigenschappen teniet worden gedaan of ernstig worden verstoord".

In de Memorie van Toelichting wordt vervolgens ingegaan op de betekenis van de begrippen "functionele eigenschappen" en "functie". Allereerst wordt de dragersfunctie onderscheiden: de bodem is drager van gebouwen, infrastructuurle voorzieningen, recreatievoorzieningen etc.. Naast deze functie worden "nog een drietal andere belangrijke functionele eigenschappen onderscheiden, waaraan directe menselijke (gebruiks)belangen verbonden zijn en die van belang zijn bij het stellen van kwaliteitseisen aan de bodem of bepaalde bestanddelen daarvan. Dit betreft de betekenis van een vruchtbare en gezonde bodem voor de voedsel- en gewasproductie in land- en tuinbouw, de betekenis van zuiver en betrouwbaar grondwater voor de diverse gebruiksdoeleinden, ....., en de betekenis van de (ongestoorde) ondergrond als vind- en winplaats van een groot aantal delfstoffen ...". Tenslotte worden genoemd "de meer algemene ecologische en esthetische functies die de bodem vervult". Deze functies worden in de Memorie van Toelichting genoemd in relatie met de bodem welke "voorziet in het, al dan niet in combinatie met lucht en water, verschaffen van een woonplaats voor een groot aantal organismen, waaronder de mens" (ecologische functie), en in relatie met de bodem "als element van natuur en landschap" (esthetische functie).

Er zij opgemerkt dat in de Memorie van Toelichting de begrippen functie en functionele eigenschappen naast elkaar en zonder duidelijk onderscheid gebruikt worden. In de Nota naar aanleiding van het eindverslag behorende bij het wetsontwerp bodembescherming wordt het begrip functie zoals dat gehanteerd wordt nader toegelicht. "In het kader van de ruimtelijke ordening is dit begrip (het begrip "functie") gerelateerd aan een concrete, actuele bestemming. In het kader van de bodembescherming heeft dit begrip echter betrekking op een verzameling van bodemeigenschappen die van belang zijn voor een bepaald functioneren van de bodem. In deze betekenis is het begrip "functie" geabstraheerd van het concrete gebruik van bodem op een bepaald moment". Hieruit mag worden opgemaakt dat met het begrip "functie" wordt aangeduid de complexe relatie tussen enerzijds bepaalde vormen van bodemgebruik resp. het functioneren van het bodem-ecosysteem, en anderzijds alle eigenschappen van de bodem die daarop van invloed zijn (de zgn. wezenlijke of functionele eigenschappen). Uit het feit dat ook gesproken wordt over "functies die de bodem vervult" mag worden opgemaakt dat het begrip ofwel met een verschillende betekenis wordt gebruikt, ofwel dat de begripsinhoud in de loop der tijd gewijzigd is.

In de Memorie van Toelichting bij de Wet bodembescherming wordt onderkend dat "bij het benutten van de verschillende functionele eigenschappen van de bodem er meer dan eens een conflict kan ontstaan als het gaat om het stellen van kwaliteitseisen op korte en lange termijn. Gegeven de verschillende functionele eigenschappen van de bodem gaat het bij het beschermen van de bodem zoals dat wordt voorgestaan om het zoveel mogelijk handhaven van de kwaliteit van de bodem ten behoeve van alle aan de bodem verbonden belangen. De beschermingsmaatregelen zullen als eerste uitgangspunt de algemene ecologische functie van de bodem moeten hebben, terwijl afhankelijk van de gebruiksdoeleinden specifieke eisen worden gesteld". Dat er geen primaat gelegd wordt op de ecologische functie blijkt uit de Nota naar aanleiding van het eindverslag, waarin wordt gesteld dat er geen sprake is van een hiërarchische verhouding tussen de ecologische functie en de overige functies van de bodem, maar van een nevenschikking. "Wel is het zo dat de eigenschappen die met deze (de ecologische) functie samenhangen, veelal het meest kwetsbaar zijn. Wanneer deze eigenschappen derhalve in voldoende mate beschermd zijn, zullen in het algemeen ook de eigenschappen van de overige functies van de bodem, die zoals eerder gesteld ten dele overlappend zijn, in voldoende mate beschermd zijn. Het is echter geenszins uitgesloten dat de eigenschappen die specifiek zijn voor een andere functie, bijvoorbeeld de teeltfunctie, het meest kwetsbaar zijn voor een bepaalde stof. In dat geval zal de kwaliteitsdoelstelling primair aan het handhaven van die eigenschappen gerelateerd worden".

### 3.3 Het uitgangspunt van de multifunctionaliteit van de bodem

In het Voorlopig IMP-Bodem wordt het begrip multifunctionaliteit omschreven als "het specifieke uitgangspunt van het wetsontwerp bodembescherming dat de bodem in beginsel de potentie moet behouden om zijn verschillende mogelijke functies naar behoren te kunnen blijven vervullen. Hiertoe dienen de voor de verschillende functies wezenlijke functionele eigenschappen beschermd te worden". In de Memorie van Toelichting bij het wetsontwerp bodembescherming wordt het uitgangspunt genoemd in relatie met het algemeen beschermingsniveau: "Het behoud van de capaciteit van de bodem om nu en in de toekomst vele functies (tegelijk) te blijven vervullen - .... - ligt aan de bodembescherming ten grondslag en kan men aanduiden als het streven naar het bereiken van een algemeen beschermingsniveau, dat wil zeggen het niveau waarboven een of meer functies van de bodem niet meer naar behoren kunnen worden vervuld".

In de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt het begrip multifunctionaliteit nader omschreven. "De multifunctionaliteit als uitgangspunt voor het bodembeschermingsbeleid houdt evenwel in dat het huidige gebruik van de bodem de functies en daarmee samenhangende gebruiksmogelijkheden van de bodem, die afhankelijk van de bodemgesteldheid (grondsoort, bodemprofielen, type waterhuishouding) van nature aanwezig zijn, niet onomkeerbaar of onherstelbaar mag aantasten". In een tweetal opzichten worden er belangrijke nuances aangebracht die niet eerder zo duidelijk omschreven waren. Ten eerste wordt voor het beoordelen van het al dan niet mul-

tifunctioneel zijn van een bodem de situatie zonder menselijke beïnvloeding als referentie gehanteerd. Het gaat er niet om dat elke vorm van bodemgebruik overal mogelijk zou moeten zijn, maar dat de bodem die functies kan blijven vervullen die de bodem zonder door de mens veroorzaakte veranderingen in bodemeigenschappen vervuld zou kunnen hebben. Ten tweede worden veranderingen in bodemeigenschappen, die een gevolg zijn van een (actuele) vorm van bodemgebruik en waardoor andere (potentiële) functies van de bodem uitgesloten of nadelig beïnvloed worden, niet strijdig geacht met het uitgangspunt van de multifunctionaliteit indien deze veranderingen omkeerbaar of herstelbaar zijn. In dit verband wordt gesproken van een "redelijke" termijn waarbinnen de verandering in bodemgebruik gerealiseerd moet kunnen worden en waarbinnen herstel derhalve mogelijk moet zijn. De lengte van de termijn hangt samen met de aard van de verandering in bodemgebruik en met name met het tempo waarin die verandering zich gewoonlijk voltrekt.

#### 3.4 Status van de voorlopige referentiewaarden

Volgens het IMP-M wordt de algemene milieukwaliteit, voor de bodem het algemeen beschermingsniveau, geformuleerd in de vorm van eisen, bij wet vastgelegd, waaraan de milieukwaliteit in Nederland ten minste moet voldoen. Deze eisen worden gegeven als grenswaarden, die in normale omstandigheden niet mogen worden overschreden, dan wel zo spoedig mogelijk moeten worden bereikt. Daarnaast kunnen kwaliteitseisen worden vastgesteld met de strekking van richtwaarden, welke een betere kwaliteit inhouden dan omschreven door middel van de grenswaarden, en waarmee door de betrokken overheidsorganen rekening gehouden moet worden. Tenslotte worden in het IMP-M streefwaarden genoemd, waaronder verstaan wordt de uiteindelijk beoogde milieukwaliteit.

In de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt gesteld dat het tot stand brengen van een algemeen beschermingsniveau, hoofddoel van het milieubeleid ten aanzien van de bodem, gericht is "op het voorkomen van een onomkeerbare en onherstelbare aantasting van de multifunctionaliteit van de bodem door stoffen of mechanische ingrepen". Hieruit kan worden opgemaakt dat het algemeen beschermingsniveau op den duur een milieukwaliteit zou moeten gaan inhouden waarbij de multifunctionaliteit van de bodem in stand gehouden wordt. Dit betekent niet zondermeer dat de stofgehalten waaraan een als multifunctioneel te beschouwen bodem ten minste moet voldoen in de toekomst als grens- of streefwaarde zullen gaan fungeren. Aan de grenswaarden ligt immers een afweging ten grondslag waarin naast milieuhygiënische ook andere overwegingen een rol spelen, hetgeen tot resultaat kan hebben dat de grenswaarden voor eerst boven de stofgehalten die behoren bij een multifunctionele bodem liggen. Streefwaarden, de uiteindelijk beoogde milieukwaliteit, kunnen op hun beurt een situatie reflecteren waarin in het geheel geen sprake is van een nadelige beïnvloeding van vormen van bodemgebruik of van het functioneren van het bodemecosysteem, en derhalve lager liggen dan stofgehalte waarbij een dergelijke beïnvloeding, zij het omkeerbaar of herstelbaar, zich wel voordoet.

In de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt gesteld dat het ontwikkelen van bodemkwaliteitseisen in de zin van grens-, richt- en streefwaarden zal plaatsvinden in het kader van het geïntegreerde effectgerichte milieubeleid, na een nadere, met name ecotoxicologische onderbouwing door stofgerichte basisdocumenten en mede op grond van nader inzicht in de maatschappelijke betekenis van de voorgenomen grenswaarden. De nu voorgestelde voorlopige referentiewaarden hebben een beperktere werkingssfeer en vormen een voorlopig referentiekader voor het milieubeleid voor de bodem ten aanzien van ondermeer diffuse bronnen van bodemverontreiniging en het saneren van de bodem. Deze beperkte werkingssfeer, en het vooruitzicht dat in de komende jaren een bijstelling van de voorlopig te hanteren stofgehalten kan plaatsvinden wanneer de feitelijke milieukwaliteitseisen voor de bodem zullen worden vastgesteld, vormen een belangrijk perspectief voor het beoordelen van de voorgestelde referentiewaarden.

#### 4. De gevolgde benaderingswijze

##### 4.1 Algemeen

Zoals in het voorgaande werd gesteld dient de getalsmatige invulling van stofgehalten die behoren bij een (nog juist) multifunctioneel te achten bodem uit te gaan van vormen van bodemgebruik en het functioneren van het bodem-ecosysteem. Op grond van kennis over dosis-effect relaties, in de meest brede zin des woords, dienen voor elke vorm van bodemgebruik, en voor de relevante interrelaties tussen abiotische en biotische factoren binnen het bodem-ecosysteem, waarden te worden vastgesteld voor (onder andere) stofgehalten in de bodem waarboven er van een al dan niet omkeerbare of herstelbare nadelige beïnvloeding sprake is. De kleinste van de voornoemde waarden voor elk der beschouwde stoffen omschrijft dan de kwaliteit van de nog multifunctionele bodem. Een dergelijke benadering kan evenwel nog niet volledig gevolgd worden, of, zoals in de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt gesteld: "De kennis over de natuurlijke herstelcapaciteit van de bodem en het complexe gedrag van stoffen in dit milieucompartiment is thans nog te beperkt om alleen op grond van (eco)toxicologische onderzoeksresultaten, die vaak onder laboratorium-omstandigheden worden verkregen, tot toelaatbare gehalten aan potentieel effect veroorzakende stoffen in de bodem te komen".

In plaats van een benadering die expliciet uitgaat van de te voorkomen effecten is een andere benadering gevolgd. Er is van uitgegaan dat een groot deel van de Nederlandse bodem niet zodanig onherstelbaar belast is dat de multifunctionaliteit reeds in het geding is. Het merendeel van het landelijk gebied (landbouwgronden en natuurterreinen) wordt verondersteld nog multifunctioneel te zijn, en alle wijzigingen in het bodemgebruik die daar van oudsher tot de mogelijkheden behoorden worden binnen een redelijke termijn nog steeds mogelijk geacht. Met deze vooronderstelling laat de huidige situatie van de Nederlandse bodem in het landelijke gebied de mogelijkheid toe om op grond van veldgegevens over concentraties van bepaalde stoffen tot voorlopige referentiewaarden te komen. Hiertoe is het concentratieniveau bepaald voor elke stof, rekening houdend met verschillen in grondsoort, dat in vrijwel alle beschouwde bodems niet werd overschreden. Het basismateriaal bestond daarbij uit onderzoeksgegevens over concentraties van milieuhygiënisch relevante stoffen in landbouwgebieden en natuurterreinen, enkele relatief onbelaste onderwaterbodems en gegevens uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit.

Eenzelfde benadering is gevolgd ten behoeve van het afleiden van de advies-streefwaarden voor onderwaterbodems. Het motief voor de gevolgde benaderingswijze en de werkwijze als zodanig worden in het rapport Normering onderwaterbodems als volgt samengevat. "Milieukwaliteitsnormen moeten gebaseerd worden op een effectgerichte benadering. Momenteel is de wetenschappelijke kennis nog onvoldoende om vanuit de eigenschappen van afzonderlijke stoffen onder

experimentele omstandigheden tot normering te komen voor complexe veldomstandigheden. Wel is het mogelijk om op grond van huidige inzichten met betrekking tot het afwezig zijn van effecten in veldsituaties te komen tot een voorlopig standpunt ten aanzien van normering. Deze wijze van normering wordt in dit rapport gevolgd".

Vooraleer de aldus verkregen gehalten in multifunctioneel veronderstelde bodems het predicaat voorlopige referentiewaarde verkregen zijn ze getoetst aan literatuurgegevens met betrekking tot effecten die, rekening houdend met de bodemgesteldheid, mogelijkwijs op zouden kunnen treden. In dit verband worden genoemd directe toxische effecten op mens, dier en plant, alsmede mogelijke effecten op de teeltfunctie, de waterwinfunctie en de wisselwerking met andere milieucompartimenten. Met uitzondering van prioritaire organische microverontreinigingen in relatie tot de waterwinfunctie wordt in de discussienotitie niet nader aangegeven hoe de toetsing is uitgevoerd, noch in welke bijstelling de toetsing resulteerde. In algemene zin wordt geconcludeerd dat de stofgehalten in de meeste gevallen bleken te liggen onder het niveau waarbij sprake zou kunnen zijn van duidelijke effecten op de verschillende bodemfuncties. Voorzichtigheidshalve wordt gesteld dat, gezien de schaarse informatie die er met betrekking tot effecten op het ecologisch functioneren van de bodem en het behoud van de bodemvruchtbaarheid op lange termijn voorhanden is, het gewenst lijkt om het zekere voor het onzekere te nemen en geen hogere waarden te hanteren dan de maximale gehalten die nu worden aangetroffen.

De commissie onderschrijft de stelling dat het vooreerst nog niet volledig mogelijk is stofgehalten die behoren bij een multifunctionele bodem af te leiden uit kennis en inzicht met betrekking tot de samenhang tussen enerzijds stofgehalten in de bodem en anderzijds (de gevolgen voor) vormen van bodemgebruik en het functioneren van het bodem-ecosysteem. Zij acht een benaderingswijze waarbij de huidige stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigd veronderstelde bodems als uitgangspunt genomen zijn een verdedigbaar en praktisch uitvoerbaar alternatief om te komen tot voorlopig te hanteren referentiewaarden voor een "goede" bodemkwaliteit. Het resultaat van een dergelijke benaderingswijze bestaat uit een bovengrens voor de huidige achtergrondwaarden van stoffen in de Nederlandse bodem, dat wil zeggen stofgehalten die de resultante zijn van enerzijds natuurlijke processen (aanvoer, aard en herkomst bodemmateriaal, bodemvormende processen), en anderzijds van "diffuse" vormen van bodemverontreiniging als gevolg van menselijke activiteiten (atmosferische depositie, gebruik van meststoffen op landbouwgronden). Daar er geen scherpe grens te trekken is tussen niet-duidelijk verontreinigde bodems en duidelijk verontreinigde bodems, en het onderscheid vooralsnog niet op grond van effecten gemaakt kan worden bevat de benaderingswijze noodzakelijkerwijs een aantal subjectieve elementen.



Indien het voor de beschouwde gronden aannemelijk gemaakt kan worden dat deze "multifunctioneel" zijn, met inachtneming van de randvoorwaarden die deze gronden van nature aan de daar mogelijke vormen van bodemgebruik stellen, liggen de voornoemde achtergrondwaarden beneden de waarden van stofgehalten in een nog juist multifunctionele bodem. Er zijn geen duidelijke redenen om te veronderstellen dat het merendeel van de beschouwde gronden niet multifunctioneel is. Evenmin echter is er voldoende kennis om het omgekeerde met zekerheid aan te tonen, in het bijzonder uit oogpunt van het al dan niet op lange termijn optreden van veranderingen in het bodem-ecosysteem en het functioneren daarvan. Het ontbreken van duidelijke indicaties dat er zich, bijvoorbeeld ten aanzien van het ecosysteem, onherstelbare veranderingen voltrekken hoeft niet in te houden dat deze veranderingen zich niet voordoen, maar kan evenzeer het gevolg zijn van een, nog, niet adequate wijze van waarnemen, van een onjuiste inschatting van de ernst en omvang van veranderingen of van het, nog, niet voldoende lang gevolgd hebben van de ontwikkelingen. Dit geldt met name voor de gronden met de hoogste stofgehalten, dat wil zeggen de gronden waarvan de kwaliteit als bovengrens van de huidige achtergrondwaarden, en dus als referentiewaarde is aangehouden. Evenals gesteld wordt in de discussienotitie meent de commissie dat de bovengrens van de huidige achtergrondwaarden, gezien de wenselijkheid de verbale beleidsdoelstellingen getalsmatig te concretiseren, vooreerst als referentiewaarden in het bodembeschermingsbeleid gehanteerd kunnen worden. In betekenis zijn deze referentiewaarden dan echter veel-  
eer vergelijkbaar met de A-waarden zoals beschreven in de Leidraad Bodemsanering, dan dat deze zonder voorbehoud in verband gebracht mogen worden met het al dan niet multifunctioneel zijn van de bodem.

De keuze om de bovengrens van de huidige achtergrondwaarden als voorlopig te hanteren referentiewaarden aan te houden draagt enig risico in zich. Ten eerste kunnen de waarden lager zijn dan uit oogpunt van effecten noodzakelijk is. Dit is zeker het geval voor bepaalde vormen van verontreiniging in relatie tot bepaalde vormen van bodemgebruik. De commissie acht dit echter niet waarschijnlijk uit oogpunt van effecten op het bodem-ecosysteem, en als gevolg daarvan uit oogpunt van de multifunctionaliteit van de bodem in algemene zin. Ten tweede kunnen de voorlopige referentiewaarden juist hoger zijn dan de uiteindelijk gewenste, op effecten gebaseerde, randvoorwaarden. In dit geval wordt het risico van (het induceren van) effecten op langere termijn vooreerst aanvaard. Het is in dit licht van belang dat een bijstelling van de referentiewaarden op grond van nadere inzichten in de samenhang tussen stofgehalten in de bodem en effecten reeds op afzienbare termijn wordt voorzien. Tenslotte wijst de commissie er op dat een toename van het areaal "niet-multifunctionele" bodem, vastgesteld op grond van de voorgestelde referentiewaarden, bij het huidige emissiebeleid niet voorkomen zal kunnen worden. Juist de diffuse belasting van de bodem als gevolg van menselijk handelen gaat voort en is slechts geleidelijk te verminderen. Als gevolg daarvan mag verwacht worden dat de stofgehalten in de bodems nog zullen toenemen,

en dat derhalve het areaal bodem waarvan de kwaliteit het niveau als beschreven door de referentiewaarden overschrijdt, in de toekomst toeneemt. Daar niet verwacht mag worden dat de betreffende bodems ook - op grote schaal - gesaneerd zullen gaan worden, zal het areaal "niet-multifunctionele" bodem, uitgaande van de voorgestelde waarden, vooreerst nog onafwendbaar toenemen.

#### 4.2 Getalsmatige uitwerking van referentiewaarden en differentiatie naar grondsoort

De gevolgde werkwijze voor het afleiden van voorlopige referentiewaarden is in het voorgaande in algemene zin besproken. In het navolgende wordt hierop nader ingegaan. De commissie betreurt dat de gevolgde werkwijze, het gebruikte basismateriaal en de motieven en criteria op grond waarvan keuzen gemaakt zijn in de discussienotitie Bodemkwaliteit slechts summier zijn beschreven en in bepaalde gevallen geheel ontbreken. Het verdient aanbeveling dergelijke uitgangspunten op enigerlei wijze vast te leggen. Niet alleen verlicht dat het werk van de commissie, die geacht wordt de technisch-wetenschappelijke aspecten kritisch te bezien, maar bovenal wordt de mogelijkheid tot interpretatie en beoordeling van het gepresenteerde aanmerkelijk vergroot, hetgeen de effectiviteit van de daarover gewenste discussie ten goede komt.

##### 4.2.1 Zware metalen en arseen

In de discussienotitie worden twee overwegingen voor een differentiatie van stofgehalten naar grondsoort gegeven. De eerste is het voorkomen van relatief hoge gehalten van bepaalde stoffen in sommige gebieden. De tweede, belangrijker, overweging vormt de invloed van de verschillende grondsoorten op de mogelijke gevolgen van bepaalde stofgehalten. Voor de wijze van differentiatie is gekozen voor een continue schaal waarmee de referentiewaarde gerelateerd wordt aan de waarde van een aantal relevant geachte bodemkenmerken.

Voor zware metalen zijn als relevante bodemkenmerken gekozen het lutumgehalte (deeltjes  $< 2 \mu\text{m}$ ) en het organische stofgehalte. Gesteld wordt dat deze in belangrijke mate bepalend zijn voor de bindingscapaciteit van de bodem voor zware metalen, en daardoor voor de (biologische) beschikbaarheid van zware metalen en de kans op effecten. Andere factoren, waarvan worden genoemd de zuurgraad en het zuurstofgehalte, zijn hierop ook van invloed, maar ze worden niet in de differentiatie betrokken omdat ze sterk afhangen van het actuele bodemgebruik, over korte afstanden sterk variëren, en veranderen onder invloed van c.q. na beëindiging van de actuele vorm van bodemgebruik. In feite wordt als differentierend kenmerk (een benadering voor) de kation-uitwisselingscapaciteit (CEC) van de bodem aangehouden, dat is het vermogen van de bodem om positieve ionen, voornamelijk electrostatisch, te binden. In de discussienotitie gevolgde benadering

dragen de twee beschouwde bodemkenmerken volgens een bepaalde verhouding bij aan de CEC. De gekozen verhouding geldt voor een pH van circa 7. Vooreerst is het verband tussen referentiewaarde en bindingscapaciteit lineair en voor alle zware metalen identiek verondersteld. De aldus verkregen relatie tussen stofgehalte en bodemkenmerken, in combinatie met de in het landelijk gebied aangetroffen gehalten, vormt de basis voor de getalsmatige uitwerking van de referentiewaarden voor gehalten zware metalen in de vaste bodemfase.

Voor gehalten zware metalen in de het grondwater zijn, afhankelijk van het beschouwde metaal, twee benaderingen gevolgd. In de eerste benadering wordt de referentiewaarde voor de vaste fase van de bodem met behulp van een verdelingscoëfficiënt omgerekend in een corresponderend gehalte voor het grondwater. In lijn met het in de discussienotitie gestelde mag worden aangenomen dat de verdelingscoëfficiënt uitgaat van een evenwichtsinstelling en dat deze een relatief ongunstige situatie reflecteert. De gehalten voor zware metalen in grondwater zijn niet naar lutumgehalte of organische stofgehalte gedifferentieerd. In de tweede benadering zijn de waargenomen gehalten in grondwater volgens het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit beschouwd, en zijn relatief hoge gehalten onder cultuurgrond en natuurterreinen als referentiewaarde aangehouden, onafhankelijk van grondsoort. Hoewel niet nader aangegeven houdt de referentiewaarde in dit geval het midden tussen het gemiddelde waargenomen gehalte en het gehalte waaraan in 90% van de waarnemingen wordt voldaan. In vrijwel alle gevallen is de grootste waarde volgens de twee benaderingen uiteindelijk als referentiewaarde voor het gehalte metaal of arseen in grondwater voorgesteld.

#### 4.2.2 Organische verbindingen

De referentiewaarden voor organische verbindingen in grondwater stemmen overeen met de normen voor de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. Voor een groot aantal individuele organische verbindingen is de evenwichtsverdeling tussen gehalten in de vloeibare en vaste bodemfase onderzocht. Voor de verbindingen waarvan het gehalte in de vaste fase, in evenwicht met de referentiewaarde in het grondwater (drinkwaternorm) beneden de gangbare detectielimieten ligt worden geen referentiewaarden voor stofgehalten in de vaste fase gegeven. Voor deze, niet bij name genoemde, stoffen zijn uitsluitend de gehalten in het grondwater maatgevend. De evenwichtsconcentraties voor de overige beschouwde organische verbindingen, met name gechloreerde koolwaterstoffen en polycyclische aromaten, liggen net tot ver boven de detectielimiet, en lopen in het geval van sterk hydrofobe verbindingen zeer hoog op. Voor deze stoffen zijn referentiewaarden voor gehalten in de vaste fase, naast die voor het grondwater, relevant, en deze worden gegeven per groep (soort) verbinding. De referentiewaarden gelden voor elke individuele verbinding afzonderlijk, waarbij voor het totaal per groep apart een referentiewaarde is aangegeven. De gekozen referentiewaarde voor de gehalten in de bodem zijn ontleend aan de huidige gehalten in het landelijk gebied.

Met betrekking tot de differentiatie naar grondsoort wordt alleen het organische stofgehalte van de bodem beschouwd. De instelling van het evenwicht tussen stofgehalten in de vloeibare en vaste fase wordt gereguleerd door het organische stofgehalte. In de voorgestelde benadering wordt dit benaderd door een lineaire relatie die strekt over de gehele range van waarden van het organische stofgehalte in de bodem. Daarbij wordt tevens verondersteld dat de kans op het optreden van effecten bij een bepaald stofgehalte evenredig is met het gehalte organische stof in de bodem.

#### 4.2.3 Macro-constituenten

De voorgestelde referentiewaarden voor anorganische verontreinigingen zijn bovenal ontleend aan de nu waargenomen gehalten volgens het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit. Juist ten aanzien van enkele van deze stoffen doet de vraag zich voor in hoeverre de nu aangetroffen gehalten onder met name landbouwgronden een "niet-duidelijk" verontreinigde situatie reflecteren. De verschillen tussen gehalten die aangetroffen worden onder natuurterreinen, grasland en bouwland zijn soms aanmerkelijk, waardoor het belang van de selectie van de informatie op basis waarvan de referentiewaarde is vastgesteld toeneemt. In de discussienotitie wordt niet aangegeven op welke overwegingen de voorgestelde referentiewaarden gestoeld zijn. Wel kan worden opgemerkt dat deze soms betrekking hebben op gehalten in relatief weinig en soms in relatief sterk belast grondwater, en in enkele gevallen duidelijk aan effecten gerelateerd zijn. Voor deze groep stoffen wordt een gebiedsgewijze differentiatie gevolgd. Daarbij wordt in een aantal gevallen een onderscheid gemaakt tussen zand- resp. klei- en veengebieden, en is in de overige gevallen de referentiewaarde beperkt tot gebieden met zoet grondwater. Op deze wijze kan met name een mogelijke mariene invloed op de kwaliteit van het grondwater tot uitdrukking worden gebracht.

## 5. Huidige achtergrondwaarden in het landelijk gebied

### 5.1 Zware metalen en arseen in de vaste fase van de bodem

Het huidige gehalte van stoffen in de bodem wordt bepaald door de oorspronkelijke samenstelling van het moedermateriaal en door de wijzigingen die daarin zijn opgetreden onder invloed van bodemvormende processen en menselijke activiteiten. De invloed van de mens kan van plaats tot plaats sterk in betekenis variëren. Door het gebruik van meststoffen en bodemverbeterende middelen en door de toepassing van bepaalde gewasbeschermingsmiddelen is de samenstelling van de cultuurgrond gewijzigd. In natuurgebieden is de invloed van de mens wellicht kleiner, maar zeker niet verwaarloosbaar. Depositie van stoffen die door tussenkomst van de mens in de atmosfeer zijn geraakt, heeft ook in natuurgebieden de samenstelling van de grond beïnvloed.

#### 5.1.1 Betekenis van de mineralogische samenstelling van de bodem

In Nederland bestaat het moedermateriaal vrijwel uitsluitend uit klastische sedimenten, die door water, wind of landijs zijn afgezet. Tijdens het transport heeft veelal een sortering naar korrelgrootte plaatsgevonden en daarmee tevens een differentiatie naar mineralogische samenstelling. De korrelgroottefracties zand en silt bestaan grotendeels uit primaire mineralen die in meer of mindere mate resistent zijn tegen verwerking (kwarts, alkaliveldspaten, mica's), de lutumfractie bestaat daarentegen grotendeels uit secundaire mineralen die bij de verwerking van weinig resistente primaire mineralen zijn ontstaan (kleimineralen, ijzer- en aluminiumoxiden). Deze verschillen in mineralogische samenstelling zijn van grote betekenis voor de chemische samenstelling van de verschillende korrelgroottefracties. Zo bevat kwarts, het hoofdbestanddeel van de zand- en siltfractie, in vergelijking met andere mineralen slechts zeer geringe hoeveelheden zware metalen en arseen. Daarom mag worden verwacht dat er een negatieve correlatie bestaat tussen het gehalte van deze elementen en het kwartsgehalte van het moedermateriaal. Omdat het kwartsgehalte in de zand- en siltfractie aanmerkelijk hoger is dan dat in de lutumfractie, mag tevens worden verwacht dat het elementgehalte in het moedermateriaal positief is gecorreleerd met de grootte van de lutumfractie.

#### 5.1.2 Verband met het lutumgehalte

Om inzicht te verkrijgen in de samenhang tussen achtergrondwaarden van stoffen in niet-duidelijk verontreinigde bodems en bodemkenmerken, is het door Edelman verzamelde materiaal met betrekking tot stofgehalten in natuurterreinen nader geanalyseerd (7). De bevindingen zijn in bijlage 4 uitvoerig weergegeven, en worden hier samengevat.

De gevolgde werkwijze bestond uit het opstellen van een lineaire regressielijn tussen de waargenomen gehalten zware metalen en het lutumgehalte voor alle door Edelman beschreven bodems. Voor het vaststellen van de bovengrens voor de huidige achtergrondwaarden is uitgegaan van een overschrijdingskans van 2,5%. De aldus gevonden grenswaarden zijn getoetst aan het door Van Driel et al. verzamelde materiaal voor cultuurgronden, hetgeen voor met name koper aanleiding geeft tot een bijstelling. Voor Cr, Ni, Cu, Zn en As wordt een sterke samenhang met het lutumgehalte gevonden. Voor Pb, Hg en Cd is het verband zwakker, maar nog aantoonbaar. De gevonden relaties tussen stofgehalten (bovengrens) en lutumgehalte zijn in tabel 1 samengevat. In de tabel is tevens weergegeven het verband tussen referentiewaarde en lutumgehalte dat uit de discussienotitie Bodemkwaliteit valt af te leiden, indien voor het gehalte organische stof in de bodem 5% wordt aangehouden.

element	uitgevoerde analyse (1)			Notitie Bodemkwaliteit (2)		
Cr	50	+ 2	* L	30	+ 2	* L
Ni	10	+ 1	* L	15	+ 1	* L
Cu	12	+ 0,6	* L (3)	8	+ 0,6	* L
Zn	50	+ 3	* L	50	+ 3	* L
Cd	0,6	+ 0,006	* L	0,3	+ 0,02	* L
Hg	0,15	+ 0,002	* L	0,08	+ 0,006	* L
Pb	35	+ 1	* L	30	+ 2	* L
As	8	+ 0,4	* L	8	+ 0,6	* L

- (1) onafhankelijk van het organische stofgehalte  
 (2) voor bodems met 5% organische stof  
 (3) vóór aanpassing voor cultuurgronden  $6 + 0,6 * L$

**Tabel 1** Het verband tussen de bovengrens (95% interval) van gehalten zware metalen en arseen in de bovengrond van natuurterreinen en het lutumgehalte L, en het verband tussen de referentiewaarden en het lutumgehalte als voorgesteld in de notitie Bodemkwaliteit (gehalten in mg/kg droge stof; L in gew. %)

De verschillen tussen de in tabel 1 weergegeven samenhangen tussen stofgehalte en lutumgehalte zijn in belangrijke mate terug te voeren op de standaardisatie die aan de in de discussienotitie gegeven samenhang ten grondslag ligt. De verhouding tussen de constante en de coëfficiënt voor het lutumgehalte verschilt in werkelijkheid voor de individuele elementen, terwijl terwille van een uniforme beschrijving in de benadering volgens de discussienotitie voor alle elementen uitgegaan wordt van dezelfde verhouding.

### 5.1.3 Verband met het organische stofgehalte

Wanneer de samenhang tussen achtergrondgehalten en het organische stofgehalte beschouwd wordt moet onderscheid gemaakt worden tussen het deel van de aanwezige stof (metaal) van natuurlijke herkomst (vooral samenhangend met de fractie klei in de bodem), en het deel dat toegevoerd is als gevolg van menselijke activiteiten.

Behoudens door uitloging verandert de hoeveelheid metaal die met het oorspronkelijke bodemmateriaal is aangevoerd niet wanneer het gehalte organische stof in de betreffende bodem toeneemt. Het gehalte per eenheid gewicht neemt evenwel af, daar er sprake is van een "verduunning" van het oorspronkelijke moedermateriaal met organische stof: een gewichtseenheid bodem bevat naarmate het organische stofgehalte toeneemt steeds minder klei en zand, en derhalve steeds minder van met die bodemcomponenten aangevoerde elementen. Dit effect wordt echter geheel tot uitdrukking gebracht door het elementgehalte aan het gewichtsaandeel lutum te relateren. Het zou onjuist zijn om daarnaast óók het organische stofgehalte afzonderlijk als verklarend bodemkenmerk in rekening te brengen.

De toevoer van de zware metalen en arseen, voor zover van antropogene herkomst, is in het algemeen te beschouwen als een toevoer per oppervlakte-eenheid (depositie, bemesting etc.). Als gevolg van vastlegging en menging (waarvan zeker sprake is wanneer voor de analyse uitgegaan wordt van mengmonsters voor b.v. 20 cm bodemkolom) wordt de toegevoerde c.q. geaccumuleerde hoeveelheid verdeeld over een zeker volume bodem. Het resulterende stofgehalte, uitgedrukt per gewichtseenheid, neemt toe naarmate het soortelijk gewicht van de bodem afneemt. Om deze reden bestaat er een evenredigheid tussen de achtergrondwaarden en het organische stofgehalte in het geval dat een (aanmerkelijk) deel van de betreffende stof antropogeen van herkomst is. Het verband wordt sterker naarmate het relatieve aandeel van de antropogene bijdrage aan de totale hoeveelheid metaal in de bodem toeneemt. In bijlage 4 is de invloed van het organische stofgehalte op de achtergrondgehalten nader beschreven.

Het beschikbare gegevensmateriaal m.b.t. metaalgehalten in natuurterreinen en landbouwgronden is gezien op de samenhang tussen het achtergrondgehalte en het organisch stofgehalte. De gehalten chroom en nikkel blijken geheel met het lutumgehalte te kunnen worden verklaard, hetgeen een aanwijzing vormt voor een relatief geringe antropogene invloed. Voor de overige zware metalen en arseen zijn de gehalten hoger dan op grond van alleen het lutumgehalte verwacht mag worden. Voor koper en arseen worden weliswaar verhoogde gehalten in bodems met een hoog gehalte organische stof aangetroffen, maar een significant verband met het gehalte organische stof wordt niet gevonden. Dit is wel het geval voor zink, lood, cadmium en kwik. Het relatieve belang van het organische stofgehalte ten opzichte van het lutumgehalte als

bodemkenmerken voor differentiatie van achtergrondwaarden varieert van een verhouding van 1 : 2 à 3 voor kwik en zink, via 1 : 1 voor lood, tot 3 : 1 voor cadmium (organische stof, resp. lutum). In de discussienotitie is voor deze gewichtsverhouding voor alle metalen een verhouding van 3 : 1 voorgesteld. Er is dus voor een aantal elementen, met name voor die waarvan de anthropogene bijdrage aan het gehalte in de bodem relatief groot is, een reden om de referentiewaarden, opgevat in de zin van achtergrondwaarden, ook naar het organische stofgehalte te differentiëren. Het relatieve belang dat in de discussienotitie Bodemkwaliteit om reden van de bijdrage aan de CEC aan de factor organische stof wordt toegekend is in dit perspectief evenwel overschat. Dit blijkt ook uit tabel 2, waarin de voorgestelde referentiewaarden voor een veenbodem (org. stofgehalte 59%), en voor de hypothetische bodem die uitsluitend uit organische stof bestaat (org. stofgehalte 100%; overigens worden bodems met meer dan 90% organische stof aangetroffen!), zijn weergegeven naast de gevonden bovengrens voor de gehalten in het geanalyseerde materiaal.

element	org. stofgehalte 59%		org. stofgehalte 100% (1)	
	waargenomen bovengrens	voorgestelde referentiewaarde	waargenomen bovengrens	voorgestelde referentiewaarde
Cr	56	480	50	740
Ni	13	170	10	275
Cu	42	100	40	165
Zn	148	600	200	990
Cd	2,0	3	2,7	5,5
Hg	0,3	1	0,35	1,6
Pb	137	330	175	550
As	26	100	25	165

(1) geëxtrapoleerde waarden

**Tabel 2** De voorgestelde referentiewaarden voor bodems met een organische stofgehalte van 59% en 100%, vergeleken met de bovengrens van de waargenomen gehalten in de bovengrond van natuurterreinen (in mg/kg droge stof).

De voorgestelde referentiewaarden voor bodems met een hoog organisch stofgehalte zijn hoog in vergelijking met de huidige achtergrondwaarden. Ook indien rekening gehouden wordt met overwegingen inzake mobiliteit, biologische beschikbaarheid en effecten dienen de voorgestelde referentiewaarden te worden afgewezen (zie b.v. landbouw). Het verdient derhalve aanbeveling het voorgestelde verband tussen de referentiewaarden voor het gehalte zware metalen en arseen in de vaste bodemfase en het organische stofgehalte ofwel af te zwakken, ofwel de referentiewaarden te begrenzen. In het eerste geval zou het relatieve belang van de



factor organische stof ten opzichte van de factor lutum in een voor alle elementen geldende, uniforme, relatie teruggebracht kunnen worden van de voorgestelde verhouding van 3 : 1 tot een verhouding van ten hoogste 1 : 2. Een andere mogelijkheid vormt het gebruik van de feitelijk waargenomen samenhang, die dan evenwel van metaal tot metaal verschilt.

In de navolgende paragraaf wordt hierop ingegaan. Indien voor de referentiewaarde een maximum gesteld zou worden kunnen de hoogste gevonden gehalten zoals in tabel 2 zijn weergegeven voor klei-arme gronden als maximum worden aangehouden.

#### 5.1.4 Standardisatie van referentiewaarden voor metaalgehalten in de bodem

Indien het, bijvoorbeeld om reden van de eenvoud van de methode, wenselijk is de differentiatie naar bodemkenmerken, met één, voor alle zware metalen en arseen te hanteren, relatie te omschrijven, dienen de in tabel 1 beschreven, op veldwaarnemingen gebaseerde, relaties te worden gestandaardiseerd. Voor de voorgestelde referentiewaarden is een dergelijke standardisatie uitgevoerd, hetgeen een belangrijk deel van de in tabel 1 te constateren verschillen verklaart. De commissie kan zich voorstellen dat een zekere mate van vereenvoudiging (standardisatie) uit oogpunt van het praktische gebruik van het stelsel referentiewaarden voordelen biedt. Dit voordeel zal evenwel afgewogen moeten worden tegen de met die vereenvoudiging geïntroduceerde onnauwkeurigheden. Zij beperkt dit oordeel evenwel tot referentiewaarden in de zin van de bovengrens voor gehalten in niet-duidelijk verontreinigde gronden. Of een vergelijkbaar gestandaardiseerd verband ook nog van betekenis is voor referentiewaarden die uit oogpunt van effecten kritische stofgehalten reflecteren zal in de toekomst blijken.

Ten aanzien van de vorm van het verband tussen elementgehalte en de beschouwde bodemkenmerken kan het volgende worden opgemerkt. Een algemene beschrijving van een lineair verband tussen het elementgehalte (achtergrondwaarde, referentiewaarde) en de bodemkenmerken lutumgehalte (L) en organische stofgehalte (OS) luidt:

$$G_{ij} = a_i + b_1 * L_j + c_1 * OS_j \quad (1)$$

waarin  $G_{1j}$  het gehalte voor stof 1 in bodem j in mg/kg aangeeft,  $a_i$ ,  $b_1$  en  $c_1$  stofspectifieke constanten representeren en  $L_j$  en  $OS_j$  het gewichtspercentage L en OS in bodem j aangegeven. Er is hierbij aangenomen dat het gegeven verband geldt voor de gehele range van waarden voor L en OS, hetgeen niet voor alle metalen het geval is. In tabel 12 van bijlage 4 worden de coëfficiënten voor elk der zware metalen en arseen gegeven. Om redenen van

uniformiteit kan het stofspecifieke verband worden herleid tot een voor alle metalen te gebruiken verband. Daarbij kan gekozen worden voor het behoud van één of twee stof-specifieke parameters. Als voorbeeld wordt hier het verband met één vrijheidsgraad nader belicht.

Na standaardisatie is het verband:

$$G_{1j} = C_{01} * ( a + b * L_j + c * OS_j ) \quad (2)$$

De coëfficiënten a, b en c zijn nu voor alle elementen gelijk, en met de keuze van de stofspecifieke constante  $C_{01}$  wordt zorggedragen voor de afstemming op het per stof gewenste niveau.

Zoals werd opgemerkt lopen de waarden van de constanten uiteen. Het eerste deel van vergelijking 1,  $a_1 + b_1 * L_j$ , werd al in tabel 1 gegeven. Na standaardisatie op een gelijke waarde voor b, waarvoor conform de discussienotitie de waarden 0,5 is aangehouden, blijkt de waarde van  $a_i$  te variëren tussen 5 (nikkel) en 40 à 50 (kwik resp. cadmium). Voor de overige metalen ligt de waarde rond de 10, welke waarde vooreerst als gemiddelde kan worden aangehouden.

In de voorgaande paragraaf werd er op gewezen dat de gevonden samenhang tussen het metaalgehalte en het organische stofgehalte sterk wisselt. Voor nikkel en chroom wordt geen samenhang gevonden. Voor cadmium is het verband het sterkst aanwezig. Het relatieve belang van de factor organische stof ten opzichte van de factor lutum loopt uiteen van geen (Cr en Ni:  $c_1$  in vergelijking 1 is gelijk 0), via gering (Cu en As:  $c_1 \ll b_1$ ; Hg en Zn:  $c_1 = b_1/2$  à 3), tot groot (Pb:  $c_1 = b_1$ ; Cd:  $c_1 = 3 * b_1$ ).

Er werd aanbevolen het relatieve gewicht van de factor organische stof terug te brengen tot ten hoogste de helft van dat voor het lutumgehalte. Met  $b = 0,5$  in vergelijking 2 wordt c in dat geval 0,25. Vergelijking 2 luidt dan:

$$G_{1j} = C_{01} * ( 10 + 0,5 * L_j + 0,25 * OS_j ) \quad (3)$$

Deze relatie kan vergeleken worden met het verband dat in de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt gegeven:

$$G^*_{1j} = C^*_{01} * ( 0,5 * L_j + 1,5 * OS_j ) \quad (4)$$

De, stofspectifieke, constante  $C_{O_1}$  resp.  $C^*_{O_1}$  vormt de referentiewaarde voor een standaardbodem. De grootte hiervan wordt gegeven door het achtergrondgehalte  $G_{1j}$  voor de diverse beschouwde bodems en de waarde van de "C-factor", het tussen haakjes weergegeven gedeelte van de vergelijkingen 3 en 4. In tabel 3 wordt de waarde van de C-factor in beide benaderingen vergeleken. De waarden van  $C_{O_1}^*$  zijn in de discussienotitie gegeven (stofgehalten standaardbodem). De waarden voor  $C_{O_1}$  zijn in tabel 4 opgenomen.

De vergelijkingen 3 en 4 geven inzicht in de reden dat de voorgestelde referentiewaarden voor bodems met lage gehalten aan lutum én organische stof, alsmede voor bodems met een hoog gehalte organische stof afwijken van de bovengrens van huidige stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde gronden. Het ontbreken van de constante in vergelijking 4 veroorzaakt de eerstgenoemde, en de relatief grote waarde van de coëfficiënt voor het organische stofgehalte de laatstgenoemde discrepantie.

Ook de benadering als gegeven met vergelijking 3 resulteert in een afwijking tussen de daarmee beschreven stofgehalten en de nu waargenomen bovengrens van het "normale" traject van stofgehalten in het landelijk gebied, zoals blijkt uit tabel 4. De afwijkingen betreffen in dit geval met name de gehalten in bodems met een hoog organische stofgehalte. Voor de elementen waarvoor de samenhang tussen het gehalte organische stof en de waargenomen gehalten ontbreekt of zwak is (Cr, Ni), zijn de met vergelijking 3 beschreven stofgehalten hoger dan de waargenomen bovengrens. Voor de elementen waarvoor het organische stofgehalte, ten opzichte van het lutumgehalte, een relatief grote rol speelt (Cd, Pb) is het omgekeerde het geval. Een tweede stofspectifieke parameter in het algemene verband, waarvoor de coëfficiënt voor het organische stofgehalte in aanmerking komt, zou de afwijking opheffen, maar de eenvoud van de beschrijvingswijze verminderen.

bodem (1)	C-factor discussienotitie	C-factor voorbeeld
standaardbodem	27	25
zand	9	13
klei	36	40
veen	90	27
100% OS	150	35

(1) als gedefinieerd in de discussienotitie

Tabel 3 C-factor volgens de discussienotitie Bodemkwaliteit en volgens het gegeven voorbeeld

	Cr	Ni	Cu (1)	Zn	Cd	Hg	Pb	As
<u>Standaardbodem</u>								
notitie Bodemkwaliteit	125	50	30	180	1	0,3	100	30
voorbeeld benadering	100	40	30	120	0,8	0,2	65	20
<u>zand</u>								
waargenomen bovengrens	56	13	14	59	0,6	0,2	38	9
ref. waarde not. Bodemkw.	42	17	10	62	0,3	0,1	33	10
voorbeeld benadering	52	21	16	60	0,3	0,1	34	10
<u>klei</u>								
waargenomen bovengrens	164	67	46	221	0,9	0,3	92	31
ref. waarde not. Bodemkw.	170	67	40	240	1,2	0,4	133	40
voorbeeld benadering	160	64	48	192	1,0	0,3	104	32
<u>veen (59% org. stof)</u>								
waargenomen bovengrens	56	13	42	148	2	0,3	137	26
ref waarde not Bodemkw.	480	170	100	600	3	1	330	100
voorbeeld benadering	108	43	32	129	0,9	0,2	70	22
<u>veen (100% org. stof)</u>								
waargenomen bovengrens (2)	50	10	40	200	2,7	0,35	175	25
ref. waarde not. Bodemkw.	690	275	165	990	5,5	1,7	550	165
voorbeeld benadering	140	56	42	170	1,1	0,3	91	28

(1) waargenomen bovengrens verhoogd i.v.m. gehalten in landbouwgronden

(2) op basis van extrapolatie

**Tabel 4** Waargenomen bovengrens van gehalten zware metalen en arseen in natuurterreinen, referentiewaarden als beschreven in de discussienotitie, en gewijzigde waarden volgens het gegeven voorbeeld (in mg/kg droge stof)

De commissie beveelt aan om als referentiewaarden voor de gehalten zware metalen en arseen in de bodem uit te gaan van de bovengrens van de huidige achtergrondwaarden in natuurterreinen en landbouwgronden. Het gestandaardiseerde verband tussen metaalgehalte en lutum- resp. organische stofgehalte kan een vorm als beschreven in vergelijking 3 verkrijgen. De juiste waarden voor de coëfficiënten, alsmede voor de stofspectifieke constante  $C_{O1}$  zijn in het voorgaande globaal aangegeven, maar kunnen met behulp van een verdere analyse van het beschikbare informatiemateriaal (optimalisatie) desgewenst nog worden bijgesteld. De betekenis van deze bewerking voor de afstemming van referentiewaarden op de nu waargenomen achtergrondgehalten zal beperkt zijn. Die afstemming kan voor individuele metalen wél verbeterd worden indien niet één, maar twee stofspectifieke coëfficiënten in het verband tussen metaalgehalte (referentiewaarde) en lutum- resp. organische stofgehalte gebruikt zouden gaan worden. Het belang van de eenvoud en uniformiteit van de te hanteren relaties uit oogpunt van het gebruik in de praktijk zal in dit verband afgewogen moeten worden tegen het belang van de nauwkeurigheid waarmee de relaties de huidige achtergrondwaarden (bovengrens) beschrijven. Een verdere bewerking van het beschikbare informatie-materiaal kan inzicht verschaffen in de mate waarin de huidige bodemkwaliteit in het landelijk gebied resulteert in een overschrijding van de met de verschillende mogelijke benaderingswijzen te beschrijven stofgehalten (benaderde bovengrens van achtergrondgehalten, referentiewaarden).

## 5.2 Zware metalen en arseen in het grondwater

Uit een mondelinge toelichting op de voorgestelde referentiewaarden voor gehalten zware metalen en arseen in grondwater bleek dat voor het afleiden van de referentiewaarden een tweetal invalshoeken gevolgd zijn. Ten eerste zijn de nu waargenomen gehalten in het (ondiepe) grondwater zoals gerapporteerd in het kader van het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) beschouwd. Ten tweede zijn de theoretisch te verwachten gehalten in het grondwater (bodemvocht) berekend uit de referentiewaarden voor stofgehalten in de vaste fase (standaardbodem).

In het Eindrapport van de inrichtingsfase van het LMG (8) wordt voor een beperkt aantal metalen het gemiddelde waargenomen gehalte gegeven, gesplitst naar diepte, grondsoort en actuele vorm van bodemgebruik. Voor een groot aantal spoorelementen, waaronder de zware metalen en arseen, is bovendien het gemiddelde gehalte, de bovengrens waaraan 90% van de onderzochte monsters voldeed, en het maximaal aangetroffen gehalte weergegeven, evenwel niet gesplitst naar grondsoort en bodemgebruiksvorm. Deze informatie heeft overigens betrekking op een beperkt aantal meetpunten, en is soms niet consistent met de eerstgenoemde gehalten. De voorgestelde referentiewaarden, voor zover ontleend aan de waargenomen gehalten, reflecteren een waarde die ligt tussen het gemiddelde gehalte en het gehalte dat in 90% van de gevallen niet wordt overschreden. De waargenomen gehalten en de voorgestelde referentiewaarden zijn in tabel 5 weergegeven.

In tabel 5 zijn tevens weergegeven de "theoretisch" te verwachten evenwichtsconcentraties in het bodemvocht behorende bij concentraties in de vaste fase ter grootte van de voorgestelde referentiewaarde in een standaardbodem. De gebruikte distributie-coëfficiënten voor de gehalten in de vaste fase en het bodemvocht zijn ontleend aan een literatuurstudie die werd uitgevoerd door studenten van de Rijksuniversiteit Utrecht (9). Uit tabel 5 blijkt dat de aldus verkregen evenwichtsconcentraties voor chroom en lood iets boven, en voor kwik ver boven de nu waargenomen gehalten in ondiep grondwater liggen. De distributiecoëfficiënten die afgeleid zijn uit achtergrondgehalten van metalen in de bodem en het grondwater zouden, uiteraard, niet in een dergelijke discrepantie resulteren (10). Voor kwik en chroom zijn deze concentraties bepalend geweest voor de keuze van de voorgestelde referentiewaarden. Voor de overige metalen en arseen zijn de evenwichtsconcentraties ongeveer gelijk aan het gemiddelde waargenomen gehalte volgens het LMG. Er zij daarbij opgemerkt dat de referentiewaarden voor gehalten in vaste fase betrekking hebben op niveau's die slechts in 5 à 10% van de gevallen worden overschreden, en niet op de gemiddelde gehalten in de vaste fase.

Stof	gemiddelde gehalte en 90%-range volgens LMG (1)		theoretische evenwichtsconcentratie bij ref. waarde standaardbodem	voorgestelde referentiewaarde voor grondwater
	gemiddeld	90% range		
Cr	0,7 (0,9)	1,0	4	5
Ni	3,2	16	3	10
Cu	5	14	4	10
Zn	30	150	26	70
Cd	0,4	2,4	0,7	1
Hg	0,02	0,03	0,3	0,2
Pb	4,8 (6,8)	7 (15)	25	15
As	3,0 (5,3)	5,4 (7)	7	10

(1) tussen haakjes het gemiddelde gehalte in diep grondwater (> 25 m - m.v.) indien dit hoger is

**Tabel 5** Waargenomen gehalten, theoretische evenwichtsconcentraties en voorgestelde referentiewaarden voor zware metalen en arseen in grondwater (in µg/l)

De commissie plaatst de volgende kanttekeningen bij de gevolgde werkwijze en het resultaat daarvan. Naar analogie met de werkwijze voor het afleiden van referentiewaarden voor metalen en arseen in de vaste fase van de bodem meent de commissie dat de gehalten in het grondwater onder niet-duidelijk verontreinigde bodems primair ten grondslag dienen te liggen aan de referentiewaarden voor het

grondwater. Daarbij kan worden uitgegaan van het gehalte behorende bij een overschrijdingskans van bijvoorbeeld 10%, zodat de bovengrens van de huidige achtergrondgehalten maatgevend is. Evenals voor de stofgehalten in de vaste fase geldt, mag de keuze van de referentiewaarde als bovengrens voor een "normaal" traject niet leiden tot het zonder restricties opvullen tot de "norm". Uit een nadere analyse van de informatie die in het kader van het LMG is verzameld kan blijken of een differentiatie naar grondsoort van betekenis is. Indien het uit oogpunt van specifieke effecten wenselijk is een lager gehalte aan te houden kan van het voornoemde uitgangspunt worden afgeweken.

De waargenomen gemiddelde gehalten in het ondiepe grondwater stemmen qua grootte-orde overeen met concentraties die onder de aannahme van conservatief gedrag in de bodem uit het huidige niveau van atmosferische depositie afgeleid kunnen worden. Dit is in tabel 6 weergegeven. De gemiddelde gehalten in regenwater reflecteren het landelijke gemiddelde (droge én natte depositie) (11). Bij afwezigheid van andere bron- en verliestermen (aanvoer met meststoffen resp. vastlegging aan de vaste fase etc.), zouden als gevolg van verdamping en evapotranspiratie, gehalten in het grondwater worden aangetroffen die globaal 3 x het gehalte in het regenwater belopen. Voor de meeste metalen ligt het waargenomen gehalte beneden deze waarde, hetgeen een indicatie vormt voor vastlegging in de bodem. Voor arseen is de situatie afwijkend. De relatief hoge gehalten in het grondwater duiden op een aanvoer vanuit de ondergrond, hetgeen vooral in kwelgebieden op zandgronden plaatsvindt. Overwogen kan worden hiervoor een gebiedsgewijze differentiatie voor de referentiewaarde te volgen.

Stof	gem. gehalte in regenwater	gem. gehalte na indikking	gem. gehalte LMG (1)
Cr	0,5	1,5	0,7 (0,9)
Ni	1,5	4,5	3,2
Cu	7,5	22,5	5
Zn	53	160	30
Cd	0,4	1,2	0,4
Hg	0,02	0,06	0,02
Pb	13	39	4,8 (6,8)
As	0,8	2,4	3,0 (5,3)

(1) zie voetnoot tabel 5

**Tabel 6** Gemiddelde gehalten zware metalen en arseen in regenwater, de gehalten na indikking en de waargenomen gehalten in grondwater (in µg/l)

Ten aanzien van de relatie tussen gehalten in de vaste en vloeibare bodemfase merkt de commissie op dat er voor metalen, in tegenstelling tot organische verbindingen, geen sprake is van een eenduidige relatie. De verhouding tussen stofgehalten in de vaste en vloeibare fase wordt gereguleerd door pH, redoxpotentiaal, microbiële activiteit en andere factoren, waaronder het voorkomen van adsorberende en complexerende componenten (11). Bovendien worden de gehalten van metalen in het grondwater mede bepaald door de oplosbaarheid van de betrokken verbindingen. De waarde van de "evenwichts"-verhouding tussen de gehalten van een metaal in de vaste en vloeibare fase kan een factor 1000 verschillen, afhankelijk van de milieumomstandigheden. Zelfs indien voor een aantal factoren van een relatief ongunstige standaardsituatie wordt uitgegaan, zoals in de discussienotitie wordt voorgesteld is de range te groot om zinvol gebruik te maken van één evenwichtsconstante (een factor 10 tot 100 in de referentiewaarde). Het is mogelijk de relatie tussen de activiteit van een metaal in de bodemoplossing en de vastgelegde hoeveelheid te beschrijven met relatief eenvoudige vergelijkingen. De coëfficiënten van deze vergelijkingen kunnen experimenteel worden bepaald, en op deze wijze kan de evenwichtsconstante gerelateerd worden aan bodemkenmerken als het lutum- en organische stofgehalte en andere milieufactoren. Voor cadmium is een dergelijke exercitie uitgevoerd (13). Voor de andere metalen is dat niet of slechts gedeeltelijk het geval. De commissie beveelt aan voor de beschouwde metalen een vergelijkbare analyse te doen uitvoeren als voor cadmium heeft plaatsgevonden, zodat in de toekomst de samenhang tussen stofgehalten in de verschillende bodemfasen, in afhankelijkheid van bodemkenmerken en milieumomstandigheden, beter dan nu het geval is in de beschouwingen betrokken kan worden.

Indien de referentiewaarden voor gehalten zware metalen en arseen in het grondwater en de bodem in samenhang bezien worden verdient het aanbeveling de gehalten in het grondwater maatgevend te doen zijn. Ten eerste vormen deze gehalten veelal de eerste stap in de causale keten waarlangs effecten tot stand komen. Ten tweede is de hoeveelheid metaal in een zeker volume bodem voornamelijk gebonden aan de vaste fase aanwezig. Een (te) hoog gehalte in de vaste fase kan derhalve resulteren in zeer langdurige overschrijding van een gewenst gehalte in het bodemvocht en het grondwater, hetgeen andersom niet het geval is.

Samenvattend beveelt de commissie aan als referentiewaarden voor gehalten zware metalen en arseen in grondwater voorlopig de bovengrens van de huidige achtergrondgehalten aan te houden (5 à 10% overschrijding). Deze gehalten zijn naast de voorgestelde referentiewaarden in tabel 7 weergegeven. Een nadere analyse van de gegevens van het Meetnet Grondwaterkwaliteit zal kunnen uitwijzen of deze waarden bijstelling behoeven resp. naar grondsoort gedifferentieerd dienen te worden. Voor arseen dient te worden nagegaan of een gebiedsdifferentiatie zinvol en praktisch hanteerbaar is.



Stof	voorgestelde referentiewaarde grondwater	geadviseerde referentiewaarde o.g.v. bovengrens waargenomen gehalten
Cr	5	1
Ni	10	15
Cu	10	15
Zn	70	150
Cd	1	2
Hg	0,2	0,05
Pb	15	15
As	10	10

**Tabel 7** Referentiewaarden volgens de discussienotitie Bodemkwaliteit en geadviseerde gewijzigde waarden op grond van een overschrijdingskans van 5 à 10% voor nu waargenomen gehalten (in µg/l)

De commissie beveelt tevens aan vooreerst af te zien van het leggen van een relatie tussen de referentiewaarden voor gehalten in de bodem resp. in het grondwater. Vooraleer dit zinvol geacht kan worden moet worden nagegaan op welke wijze het verdelingsevenwicht van een beschouwd metaal tussen bodem en bodemvocht samenhangt met bodemkenmerken en milieuomstandigheden, zoals voor cadmium reeds is gedaan. Hierbij dienen in elk geval het lutumgehalte, het organische stofgehalte, de CEC, de pH en de redoxpotentiaal beschouwd te worden.

Tenslotte verdient het aanbeveling te streven naar de integratie van resultaten van het meetnet regenwaterkwaliteit, grondwaterkwaliteit en, indien gerealiseerd, bodemkwaliteit. Het is op dit moment slechts beperkt mogelijk de resultaten van waarnemingen m.b.t. de kwaliteit van neerslag, grondwater en bodem onderling met elkaar in verband te brengen. Als gevolg daarvan wordt de waarde van de informatie uit het oogpunt van het analyseren van de samenhang tussen belasting, kwaliteit en milieuomstandigheden beperkt.

### 5.3 Organische verbindingen

Voor organische verbindingen kan de samenhang tussen het stofgehalte in de vaste fase van de bodem en het gehalte in het bodemvocht beschreven worden met behulp van een lineair verband, waarin de evenwichtsconstante de factor organische stof, of organisch koolstof, bevat (14). Deze relatie voldoet binnen een relatief groot bereik van concentraties zowel als van gehalten organische

stof. Het is voor deze groep verontreinigingen dan ook beter dan voor de zware metalen mogelijk de referentiewaarden voor de bodem en het grondwater in samenhang vast te stellen.

Als referentiewaarden voor organische verbindingen in het grondwater wordt voorgesteld de normen voor de kwaliteit van drinkwater te hanteren. De impliciet gemaakte aanname daarbij is dat de betrokken gebruiksvorm, de winning van grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening, maatgevend is voor de kwaliteit van grondwater in een nog multifunctionele bodem. Met het voorbehoud dat het inzicht in de gevolgen van de betreffende gehalten voor het functioneren van het bodemecosysteem nog slechts beperkt is, meent de commissie dat deze aanname terecht is gemaakt. Voor de belangrijkste groepen, en individuele, verbindingen kunnen de referentiewaarden voor het grondwater met behulp van de voornoemde relatie herleid worden tot referentiewaarden voor de vaste fase. Het organische stofgehalte als enig differentiërend bodemkenmerk volgt uit de aard van die relatie.

De commissie merkt in dit verband op dat voor de te hanteren normen verwezen wordt naar het Waterleidingbesluit van 1984. De hierin voor organische verbindingen opgenomen normen zijn toxicologisch slecht onderbouwd, en verbindingen met een sterk uiteenlopende giftigheid zijn in enkele groepen samengenomen. De commissie wijst op de door de WHO aanbevolen grenswaarden voor gehalten organische verbindingen in drinkwater, zoals weergegeven in de "Guidelines for drinkingwater quality" van 1984. De hierin opgenomen normvoorstellen voor een aantal belangrijke organische verbindingen zijn wel op grond van een toxicologische beoordeling vastgesteld en verdienen uit dit oogpunt de voorkeur.

Voor verbindingen die relatief slecht gebonden worden aan vaste bestanddelen in de bodem liggen de gehalten in de vaste fase, die corresponderen met de referentiewaarde voor het grondwater (bodemvocht), beneden de huidige detectielimieten. Voor deze verbindingen zijn referentiewaarden voor de vaste fase van de bodem niet zinvol, en zijn uitsluitend de referentiewaarden voor de vloeibare fase van de bodem maatgevend. Het verdient aanbeveling de belangrijkste verbindingen in deze categorie ook in toekomstige notities inzake de bodemkwaliteit te noemen. Voor verbindingen die relatief goed gebonden worden aan vaste bestanddelen in de bodem liggen de gehalten in de vaste fase, die corresponderen met de referentiewaarde voor het grondwater, boven de gehalten die nu in niet-duidelijk verontreinigde bodems worden aangetroffen. Voor deze groep verbindingen is een referentiewaarde voor de bodem, naast die voor het grondwater, zinvol. In de discussienotitie worden deze verbindingen gespecificeerd, en worden referentiewaarden voorgesteld voor gehalogeneerde koolwaterstoffen, voor polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), en voor minerale olie en enkele samenstellende bestanddelen daarvan.

Er is slechts zeer beperkt informatie voorhanden over de gehalten van organische verbindingen in bodems. Door Edelman voor natuurterreinen gerapporteerde gehalten van individuele gehalogeneerde koolwaterstoffen bedragen circa 1 (detectielimiet) tot maximaal 30 (drins, DDT, DDE, heptachloorepoxide), resp. 75 µg/kg (lindaan, HCB). Het gehalte waaraan meer dan 90% van de geanalyseerde mons-

ters voldoet varieert van minder dan 1 (DDT) tot 15 à 20 µg/kg (drins). De voorgestelde referentiewaarde voor deze verbindingen belooft 1 tot 50 µg/kg voor bodems met een organische stofgehalte van 1 resp. 50%. De voorgestelde referentiewaarden voor gechlorreerde koolwaterstoffen stemmen derhalve globaal overeen met de bovengrens voor de huidige achtergrondwaarden in niet-duidelijk verontreinigde gebieden.

Voor de PAK's is dit vermoedelijk niet het geval. De voorgestelde referentiewaarden belopen 2,5 tot 125 µg/kg voor bodems met een organisch stofgehalte van 1 resp. 50% (n.b. detectielimiet 20 - 50 µg/kg). In landbouwgronden in Duitsland wordt in meer dan 25% van de gevallen een gehalte benzo(a)pyreen van meer dan 50 µg/kg aangetroffen, in tuingrond in Nederland gehalten van 100 - 800 µg/kg, langs snelwegen gehalten tot 3000 µg/kg, en in een willekeurige kleimonster 150 µg/kg. Er is evenwel onvoldoende informatie beschikbaar om een volledig beeld te vormen van de huidige mate van verontreiniging door PAK's in relatief schone gebieden, en in deze lacune dient gericht te worden voorzien. De commissie vindt geen aanleiding om op dit moment een andere referentiewaarde voor deze groep verbindingen voor te stellen.

Samenvattend meent de commissie de in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden voor gehalten organische verbindingen in bodem en grondwater, de benadering voor de samenhang daartussen, alsmede de wijze van differentiatie naar bodemkenmerken te kunnen onderschrijven. Met name voor de groep polycyclische aromatische koolwaterstoffen beveelt zij aan de huidige achtergrondgehalten in de Nederlandse bodem nader te onderzoeken.

#### 5.4 Macro-constituenten

De voorgestelde referentiewaarden voor gehalten van macro-constituenten (anorganische verbindingen excl. zware metalen en arseen) zijn voor een belangrijk deel ontleend aan de in het kader van het IMG gerapporteerde waarden. Incidenteel hangen de voorgestelde referentiewaarden samen met grenswaarden die uit oogpunt van specifieke effecten voor de (grond)waterkwaliteit gesteld moeten worden. Evenals voor de zware metalen zou ook voor deze groep verbindingen kunnen worden uitgegaan van een bovengrens voor de gehalten in grondwater zoals nu in niet-duidelijk verontreinigde bodems worden aangetroffen. Er doen zich daarbij enkele complicaties voor.

Ten eerste kan een belangrijk deel van het landelijk gebied voor een aantal van de beschouwde stoffen niet als "niet-duidelijk verontreinigd" aangemerkt worden. De bemesting van landbouwgronden, en de grote toevoer van stikstof-verbindingen vanuit de atmosfeer in vrijwel het gehele landelijke gebied, hebben tot gevolg dat de huidige gehalten niet zonder meer maatgevend kunnen zijn voor referentiewaarden voor stofgehalten in een "goede" of "multifunctionele" bodem. Dit betekent dat er een selectie zou moeten plaatsvinden van de lokaties waarvan de waargenomen gehalten in het grondwater mede in beschouwing genomen worden bij het vaststellen van de referentiewaarden.

Ten tweede lopen de gehalten in het grondwater naar plaats en diepte uiteen, afhankelijk van fysische, chemische en (micro)biologische lokatiekenmerken. Dit is een gevolg van bijvoorbeeld omzettingen in de bodem (nitrificatie, denitrificatie, sulfaatvorming door oxidatie van sulfiden), of van aanvoer via de ondergrond (mariene beïnvloeding). In deze afhankelijkheid kan gedeeltelijk worden voorzien met behulp van een differentiatie naar bodemkenmerk, gebied of bijvoorbeeld chloride-gehalte. Om evenwel een relatie te kunnen leggen tussen referentiewaarden en nu waargenomen gehalten in het ondiepe grondwater dient de plaats (diepte) van het grondwater waarop de referentiewaarden van toepassing zijn expliciet gemaakt te worden. Deze is in de discussienotitie niet precies aangegeven, maar heeft betrekking op het bovenste deel van de permanent verzadigde zone. De waarnemingen in het kader van het LMG betreft grondwater op een diepte van 8 à 10 m - m.v., en ten minste 5 m beneden de grondwaterspiegel. Ook indien de referentiewaarden voor grondwater gezien moeten worden in samenhang met een toelaatbare belasting aan het bodemoppervlak (bron-gerichte maatregelen), of met een toelaatbaar gehalte in onttrokken grondwater c.q. geproduceerd drinkwater (effecten), is de plaats (diepte) van het grondwater waarop de referentiewaarden van toepassing moeten zijn van groot belang.

De voorgestelde referentiewaarden en de gemiddelde gehalten in ondiep grondwater volgens het LMG zijn in tabel 8 weergegeven. De voorgestelde referentiewaarden worden in het navolgende stofsgewijs besproken.

		gemiddeld gehalte LMG, ondiep zoet grondwater (8-10 m - m.v.)			voorgestelde referentiewaarden voor grondwater conform de discussienotitie	
		zand	klei	veen	zand	klei/veen
NH <sub>4</sub> -N	natuurgebied	0,4	1,5	2,4	2,0	10
	landbouwgrond (1)	3,7	12	6,5		
NO <sub>3</sub> -N	natuurgebied	1,5	2,3	0,1	5,6	2,0
	landbouwgrond	19	2,1	3,2		
tot.-P	natuurgebied	0,1	0,6	0,2	0,4	3,0 (2)
	landbouwgrond	0,6	1,3	0,5		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	natuurgebied	40	54	17	150	150
	landbouwgrond	99	61	44		
Cl <sup>-</sup>	natuurgebied	20	29	45	100	100 (3)
	landbouwgrond	62	95	50		
Br <sup>-</sup>		gem. 0,26			0,3	0,3 (3)
F <sup>-</sup>					0,15	0,15 (3)

(1) weergegeven is het grootste van de gemiddelde gehalten voor bouwland en grasland

(2) LMG. totaal-P, ref.waarde totaal PO<sub>4</sub>-P

(3) voor gebieden met zoet grondwater

**Tabel 8** Waargenomen gemiddelde gehalten van macro-constituenten in ondiep grondwater en voorgestelde referentiewaarden (in mg/l).

### Ammonium

De voorgestelde referentiewaarden liggen een factor 4 à 5 boven de gemiddelde gehalten in grondwater onder natuurgebieden. De marge tussen de gemiddelde gehalten voor niet-duidelijk verontreinigde bodems (natuurgebieden) en de referentiewaarden kan voldoende groot geacht worden om de referentiewaarden als bovengrens voor huidige achtergrondgehalten te kunnen beschouwen. De bijbehorende overschrijdingskans is niet bekend maar kan ongetwijfeld uit de in het kader van het LMG verzamelde informatie worden afgeleid.

De onder landbouwgronden aangetroffen gehalten liggen veelal boven de voorgestelde referentiewaarden. De commissie acht dit geen reden om de referentiewaarden te verhogen, maar wijst er op dat de betekenis die aan een overschrijding gehecht moet worden beoordeeld dient te worden op grond van de lokale omstandigheden en de met de betreffende gehalten samenhangende effecten. Deze laatste zullen, gezien de grote mate van vastlegging en omzetting van ammoniumverbindingen in de bodem, met name voor klei- en veengebieden gering zijn.

In het geval er sprake zou zijn van een volledige nitrificatie van het ammonium corresponderen de referentiewaarden voor  $\text{NH}_4\text{-N}$  met nitraatgehalten die boven het niveau van 5,6 mg  $\text{NO}_3\text{-N/l}$  liggen. Een dergelijke extreme situatie zal zich in werkelijkheid niet voordoen. Het verdient desalniettemin aanbeveling de samenhang tussen de verschillende stikstofverbindingen in bodem en grondwater in uiteenlopende veldsituaties nader te bezien en de referentiewaarden voor  $\text{NH}_4\text{-N}$  en  $\text{NO}_3\text{-N}$  zonodig onderling op elkaar af te stemmen.

De toelaatbare concentratie van  $\text{NH}_4\text{-N}$  in drinkwater ligt krachtens EG-richtlijnen beduidend beneden de voorgestelde referentiewaarden (max. toelaatbare concentratie 0,5, richtniveau 0,05 mg  $\text{NH}_4\text{-N/l}$ ). Door de afname van het gehalte bij de passage van de bodem en van het (eventueel) toegepaste zuiveringssysteem zullen de voorgestelde referentiewaarden in het algemeen niet in een overschrijding van de maximaal toelaatbare concentratie resulteren.

### Nitraat

De voor zandgrond voorgestelde referentiewaarden stemt overeen met het richtniveau volgens de EG-richtlijn drinkwaterkwaliteit van 25 mg  $\text{NO}_3\text{/l}$  of 5,6 mg  $\text{NO}_3\text{-N/l}$ . Het voornemen zulks te doen werd in het IMP-M 1986 - 1990 opgenomen voorzien van de kanttekening dat het (voorlopig) beoogde gehalte lager zou zijn in "gevoelige" gebieden. Het is aannemelijk dat een dergelijk gehalte voor landbouwgronden niet gerealiseerd kan worden, zelfs niet indien de mestgiften in belangrijke mate beperkt zouden worden (zie o.a. 15). Indien in de toekomst grenswaarden voor gehalten in het grondwater vastgesteld worden, in de zin die het IMP-M hieraan geeft, zal met dit gegeven rekening gehouden moeten worden. Vooreerst beveelt de commissie aan de voor zandgrond voorgestelde referentiewaarde te handhaven. De voor ammonium gemaakte opmerking ten aanzien van een overschrijding van de referentiewaarde is ook op nitraat van toepassing.

De voor klei- en veenbodems voorgestelde referentiewaarde bedraagt 2 mg  $\text{NO}_3\text{-N/l}$ . Dit stemt globaal overeen met de waargenomen gemiddelde gehalten voor natuurgebieden en landbouwgronden op klei. De waargenomen gehalten voor veenbodems liggen voor natuurgebieden en grasland beduidend lager en voor bouwland iets hoger dan de voorgestelde referentiewaarde. De commissie meent dat zandgronden in het algemeen gevoeliger geacht moeten worden voor een verontreiniging van het grondwater met nitraat-stikstof dan klei- en veenbodems. Aan de in het IMP-M geplaatste kanttekening bij het beoogde nitraat-gehalte (minder dan 5,6 mg  $\text{NO}_3\text{-N/l}$  voor gevoelige bodems) kan zij geen motief ontleen de referentiewaarde voor klei- en veenbodems lager te doen zijn dan voor zandbodems. Ook de nu waargenomen gehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems motiveren een dergelijk voorstel niet, en de commissie stelt derhalve voor ook voor klei- en veenbodems 5,6 mg  $\text{NO}_3\text{-N/l}$  als referentiewaarde aan te houden.

Zoals eerder gesteld werd is het voor een aantal van de hier beschouwde stoffen, waaronder nitraat, vrijwel ondoenlijk om een eenvoudig en algemeen geldend verband te leggen tussen de aanvoer van een stof door het bodemoppervlak, de gehalten van de stof in bodemvocht en grondwater op verschillende diepten, en gehalten in onttrokken of uittredend grondwater. Als gevolg daarvan kan de betekenis van een bepaald gehalte, zoals de referentiewaarde, niet zonder meer beoordeeld worden, noch uit oogpunt van de mogelijk geïnduceerde effecten (bijvoorbeeld ten aanzien van de drinkwatervoorziening of de eutrofiëring van voedselarme natuurgebieden en oppervlaktewateren), noch uit oogpunt van de aan menselijke activiteiten te stellen randvoorwaarden (bijvoorbeeld voor het gebruik van meststoffen of de emissie van stoffen in de atmosfeer). De commissie beveelt aan deze samenhang onder de in Nederland aangetroffen omstandigheden nader te beschouwen. Ten aanzien van de nitraatverontreiniging van grondwater en van de eutrofiëring van oppervlaktewateren kan aangesloten worden bij lopend en recent geïnitieerd onderzoek. Voor wat betreft de eutrofiëring van voedselarme, terrestrische, natuurgebieden vormt het werk van de Studiegroep toekomstverkenning oligotrofe milieus (STOM) een belangrijke aanzet.

De commissie meent dat de voorgestelde gehalten, voor klei- en veenbodems gewijzigd als aangegeven, vooreerst als algemene referentiewaarde gehanteerd kunnen worden. In het geval de voorgestelde waarde in een specifieke situatie te laag blijkt (onnodig laag of onhaalbaar laag), zal dit blijken bij het beoordelen van de betekenis van een overschrijding van de referentiewaarde. Evenzeer kan voor specifieke situaties de voorgestelde referentiewaarde te hoog blijken, in welk geval het betrokken object (grondwateronttrekking, voedselarm natuurgebied) een aanvullende bescherming behoeft die bijvoorbeeld met behulp van een bijzonder beschermingsgebied gerealiseerd kan worden.

### Fosfaat

De voorgestelde referentiewaarden voor  $PO_4$ -P liggen een factor 4 à 5 boven de gemiddelde gehalten tot.-P die in natuurgebieden worden aangetroffen, en kunnen beschouwd worden als bovengrens van de gehalten voor niet-duidelijk verontreinigde bodems. De bij deze waarde behorende overschrijdingskans is niet bekend. Behoudens in het geval van fosfaatverzadiging van de bodem zullen de referentiewaarden in het algemeen ook onder landbouwgronden niet worden overschreden.

De maximaal toelaatbare concentratie conform de EG-richtlijn drinkwaterkwaliteit bedraagt 1,1 mg tot.-P/l (richtniveau 0,09 mg tot.-P/l). Na bodempassage en zuivering zal bij de voorgestelde gehalten aan deze grenswaarde voldaan zijn. Het in het IMP-M genoemde beoogde gehalte van 0,15 mg  $PO_4$ -P/l betreft grondwater in zandgebieden en grondwater dat in contact staat met eutrofiëringsgevoelig oppervlaktewater. Er is geen aanleiding een dergelijke lage waarde als algemeen geldende referentiewaarde aan te houden, vermits in specifieke gevallen in daartoe in aanmerking komende gebieden een bijzonder beschermingsniveau gerealiseerd kan worden.

### Sulfaat

De voorgestelde referentiewaarde voor sulfaat ligt een factor 3 à 4 boven de onder natuurgebieden aangetroffen gemiddelde gehalten (zoet grondwater), en kan beschouwd worden als bovengrens voor gehalten in niet-duidelijk verontreinigd grondwater. De bij deze waarde behorende overschrijdingskans is niet bekend (ca. 5% van de waarnemingen overschrijdt 250 mg/l).

De onder landbouwgronden aangetroffen gemiddelde gehalten liggen onder de voorgestelde referentiewaarde, maar de marge tussen het gemiddelde gehalte en de referentiewaarde is kleiner dan voor natuurgebieden. In gebieden waar sprake is van mariene beïnvloeding liggen de sulfaat-gehalten hoger dan elders en zijn deze gecorreleerd met het chloride-gehalte. De commissie beveelt aan de voorgestelde referentiewaarde in elk geval alleen op zoet grondwater van toepassing te doen zijn, en eventueel voor marien beïnvloede gebieden een afzonderlijke referentiewaarde vast te stellen. Tenslotte wijst de commissie er op dat hoge sulfaatgehalten van nature kunnen voorkomen als gevolg van de oxidatie van sulfiden. Dit vormt haars inziens geen reden de referentiewaarde te verhogen, maar zal van betekenis zijn indien een geconstateerde overschrijding van de referentiewaarde beoordeeld moet worden.

### Chloride

Als referentiewaarde voor het chloride-gehalte voor zoet grondwater wordt 100 mg/l voorgesteld voor alle bodemtypen. Deze waarde is hoog in vergelijking met de waargenomen gehalten voor natuurgebieden in zand-, rivierklei- en veenbodems, maar relatief laag ten opzichte van de waargenomen gehalten in zeekleigebieden. Het ligt in de rede dit verschil ook in de referentiewaarde tot uitdrukking te brengen. De aan te houden waarden kunnen op een nadere analyse van de informatie van het IMG worden gebaseerd.

Als bovengrens voor het chloride-gehalte in gietwater wordt wel 100 mg/l aanbevolen, hetgeen mede een motief voor de keuze van de voorgestelde referentiewaarde geweest is. Dit vormt evenwel geen beletsel voor gebieden, waar als gevolg van een mariene beïnvloeding van nature reeds hogere gehalten voorkomen, ook een hoger gehalte als referentiewaarde vast te stellen.

De onder landbouwgronden aangetroffen gemiddelde gehalten zijn hoger dan die voor natuurgebieden, hetgeen vooral een gevolg is van de extra toevoer van chloriden met kunstmest en dierlijke mest. Evenmin als in het geval van stikstofverbindingen, fosfaat en sulfaat mag dit gegeven een motief vormen de referentiewaarde, opgevat als bovengrens voor gehalten in niet-duidelijk verontreinigd grondwater, belangrijk te verhogen. Bij het te zijner tijd vaststellen van grenswaarden, alsmede bij het beoordelen van de betekenis van een overschrijding van de referentiewaarden in specifieke gevallen, zal hier wel rekening mee gehouden moeten worden.

#### Bromide

De voorgestelde referentiewaarde voor het bromide-gehalte stemt globaal overeen met het gemiddelde waargenomen gehalte in een beperkt deel van de meetnetputten van het LMG (0,26 mg/l 10 - 25 m - m.v.). Het voor deze groep putten gerapporteerde chloride-gehalte is hoog (465 mg/l), hetgeen op een belangrijke mariene beïnvloeding duidt. Het gemiddelde bromide-gehalte in zoet grondwater zal vermoedelijk lager zijn dan het gerapporteerde gemiddelde, daar behalve het chloride-gehalte ook het bromide-gehalte als gevolg van mariene effecten verhoogd wordt. Dit kan mogelijk nagegaan worden aan de hand van de meetnet-informatie, en aanleiding zijn de voorgestelde referentiewaarde aan te passen, dan wel voor de marien beïnvloede gebieden en de overige gebieden verschillende referentiewaarden vast te stellen. Het verdient daarbij aanbeveling een marge aan te houden tussen het waargenomen gemiddelde gehalte en de referentiewaarde die vergelijkbaar is met die voor de andere beschouwde stoffen (een factor 3 à 5).

#### Fluoride

Voor het fluoride-gehalte worden referentiewaarden voorgesteld voor zowel grond als grondwater. Over de huidige gehalten in bodem en grondwater is slechts beperkt informatie beschikbaar. Uit onderzoek van grondmonsters van landbouwgronden bleek dat het totaal-F-gehalte lineair met het lutumgehalte varieert. De gevonden gehalten bedroegen 40 - 679 mg/kg grond (16). De commissie geeft in overweging de referentiewaarde voor het stofgehalte in de bodem ook voor fluoride afhankelijk te stellen van het lutumgehalte. Het verband kan ontleend worden aan de voornoemde publicatie.

Uit een inventarisatie van het fluoride-gehalte in grondwater uit particuliere bronnen, uitgevoerd in de 50'er jaren, blijkt dat destijds in de kustprovincies het gehalte voor ca. 15 - 30% van de geanalyseerde monsters meer dan 500 µg/l bedroeg, en in de overige provincies voor ca. 2 - 8% van de monsters (17). De commissie be-



schikt over onvoldoende informatie om te kunnen beoordelen of grondsoort of mariene effecten van betekenis zijn voor het vaststellen van referentiewaarden (achtergrondgehalten), maar acht dit zeer waarschijnlijk. Zij meent wel dat de voorgestelde waarde van 150 µg/l aan de lage kant is, en stelt voor deze te verhogen tot 500 µg/l.

Samenvattend beveelt de commissie het volgende aan. Voor alle beschouwde stoffen dient een nadere analyse van de informatie uit het LMG te worden uitgevoerd, gericht op het verkrijgen van inzicht in de bovengrens van gehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems. De bovengrens kan betrekking hebben op een overschrijdingskans van bijvoorbeeld 10%. Voor de stoffen waarvoor de gehalten sterk variëren met grondsoort, of naar grondsoort te kenmerken gebied, dient de analyse voor de onderscheiden grondsoorten afzonderlijk te worden uitgevoerd. Voor stikstofverbindingen, fosfaat, sulfaat en chloride verdient het tevens aanbeveling landbouwgronden afzonderlijk, naast natuurgebieden, te beschouwen. Deze analyse kan aanleiding vormen de referentiewaarden, opgevat als bovengrens voor de huidige gehalten in niet-duidelijk verontreinigd grondwater bij te stellen. Daarop vooruitlopend stelt de commissie wijzigingen voor met betrekking tot de referentiewaarden voor nitraat en fluoride. Voor de stoffen waarvoor een mariene invloed op de gehalten in het grondwater, nu of in het verleden, aannemelijk is, dient te worden nagegaan of een differentiatie in deze zin wenselijk en mogelijk is. Een dergelijke differentiatie zou vorm kunnen krijgen door de referentiewaarden gebiedsgewijs, of voor zeekei apart, vast te stellen, dan wel door deze afhankelijk te stellen van het chloride-gehalte. Uit oogpunt van eenvoud en eenduidigheid verdient de laatste werkwijze de voorkeur.

Er dient nader te worden aangegeven op welk grondwater (van welke diepte) de referentiewaarden van toepassing moeten zijn. Dit is een noodzakelijke voorwaarde om enerzijds de referentiewaarden te kunnen relateren aan de informatie uit het LMG, en anderzijds om de betekenis van de referentiewaarden voor bijvoorbeeld commissies als gevolg van landbouwactiviteiten of atmosferische depositie te kunnen beoordelen. Wat het laatste betreft wijst de commissie er op dat deze betekenis vooral aan de orde is wanneer grenswaarden, als omschreven in het IMP-M, vastgesteld gaan worden, en bij het beoordelen van de noodzaak tot het nemen van maatregelen gericht op het voorkomen van een overschrijding van de referentiewaarden. Voor het vaststellen van voorlopig te hanteren referentiewaarden speelt dit een minder zwaarwegende rol.

Om tenslotte inzicht te verkrijgen in de betekenis van de nu voorgestelde referentiewaarden uit oogpunt van mogelijke effecten stelt de commissie voor de samenhang tussen grondwaterkwaliteit (referentiewaarde) en de kwaliteit van onttrokken grondwater resp. geproduceerd leidingwater, alsmede die tussen grondwaterkwaliteit en de belasting van voedselarme natuurgebieden en oppervlaktewateren met eutrofiërende stoffen, nader te onderzoeken. Dit ware bij voorkeur te doen aan de hand van een aantal uiteenlopende reële situaties die kenmerkend zijn voor de in Nederland aan te treffen omstandigheden.

## 6. Normstelling en ecologie

### 6.1 Inleiding

Bij het formuleren en uitwerken van het bodembeschermingsbeleid wordt de algemene ecologische functie van de bodem van groot belang geacht. Gesteld wordt dat de eisen die vanuit deze invalshoek aan de bodem moeten worden gesteld veelal bepalend zijn voor de kwaliteit van een multifunctionele bodem. Daartoe dienen minimumgrenzen te worden aangegeven waarbij het bodemleven kan functioneren, en de processen in het ecosysteem derhalve ongestoord kunnen blijven verlopen. Om de invloed van menselijke ingrepen op de bodemkwaliteit te kunnen beoordelen zijn parameters nodig die het stelsel van eigenschappen beschrijven dat de ontwikkeling en het behoud van een evenwichtig bodemleven mogelijk maakt, en die als kwaliteitskenmerk in aanmerking komen. In de navolgende paragrafen wordt hierop nader ingegaan. Bijlage 5 bevat een vollediger en gedetailleerder beschouwing over deze problematiek.

De getalsmatige uitwerking van referentiewaarden voor de bodem in de discussienotitie is gebaseerd op de aanname dat het merendeel van het landelijk gebied (landbouwgronden en natuurterreinen) nog als multifunctioneel (goed) beschouwd kan worden. Daarmee wordt een duidelijke keuze gemaakt en wordt de toestand van nu tot de gewenste standaard verheven, hoewel inzicht in mogelijke wijzigingen in de processen ontbreekt. Overigens is het maken van een keuze noodzakelijk voor de standpuntsbepaling. Gedurende de evolutie van natuurlijke biologische systemen vinden voortdurende veranderingen plaats, successies naar complexe stabiele systemen, maar ook destructies door catastrofes. Natuurbescherming is er vaak op gericht een, op een bepaald moment, algemeen gewaardeerd systeem blijvend in stand te houden (verg. bijvoorbeeld heidevelden). Specifieke maatregelen moeten dan worden genomen om de natuurlijke of andere ongewenste ontwikkelingen af te remmen. De aard van de maatregelen, zowel als de mate waarin deze noodzakelijk zijn om een bepaald systeem in stand te houden, kunnen niet in algemene milieuhygiënische zin omschreven worden, en zijn direct afhankelijk van de kenmerken van het betrokken systeem. Een, uit oogpunt van het bodemecosysteem, tenminste gewenste bodemkwaliteit kan weliswaar in algemene zin worden geformuleerd, zoals ook wordt voorgesteld, maar resulteert niet in het behoud van de bodemecosystemen in alle specifieke verschijningsvormen zoals nu worden aangetroffen.

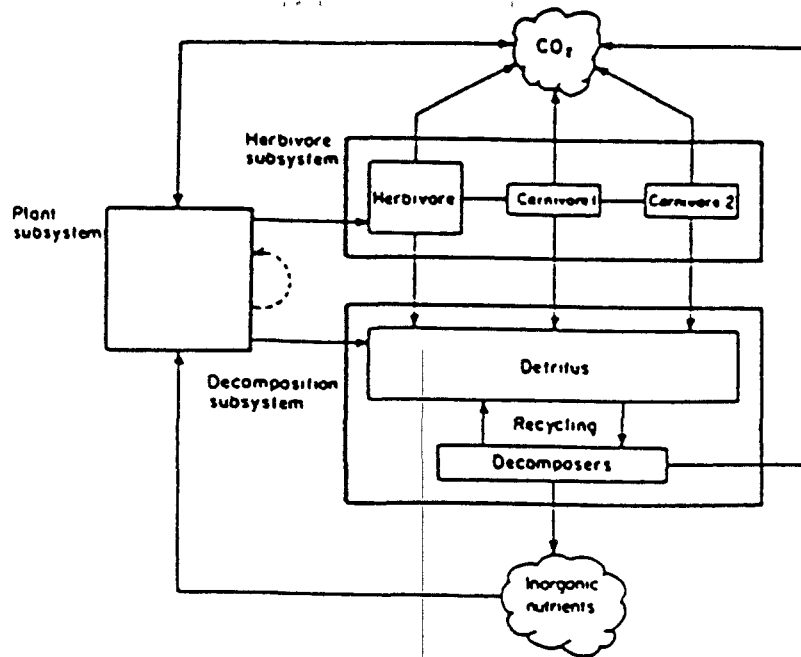
Deze constatering moet leiden tot een zorgvuldig geplande en onderbouwde keuze van bijzondere beschermingsniveaus. Voor die keuze dienen de doelstellingen van het beschermingsbeleid verder uitgewerkt te worden. Als doelstelling wordt in het natuurbeschermingsbeleid nogal eens gekozen voor instandhouding van een grote soortendiversiteit. Dit kan evenwel voor zeer uiteenlopende bodemsoorten en levensgemeenschappen niet als het enige criterium gelden omdat niet in alle gevallen een hoge diversiteit essentieel is en omdat deze parameter relatief ongevoelig is. Belangrijker is dat men de handhaving, c.q. het adequaat functioneren, van zeldzame

soorten, kwetsbare soorten of functioneel belangrijke soorten, die representatief zijn voor het systeem, centraal stelt. Daarbij dient men te bedenken dat bescherming ook eisen stelt ten aanzien van de omvang van "reservaten". Een bodembeschermingsbeleid dient bij voorkeur op meerdere uitgangspunten gestoeld te zijn. De gekozen uitgangspunten leveren daarbij toetsingscriteria op voor het bepalen van richtlijnen voor bijvoorbeeld de aanvaardbare stofbelasting.

Er moet tenslotte rekening mee gehouden worden dat wanneer een benadering voor het vaststellen van kwaliteitseisen gevolgd wordt die uitgaat van de te voorkómen effecten, een uniforme, voor alle bodems geldende, omschrijving van de gewenste bodemkwaliteit niet zinvol zal blijken. Bodem-ecosystemen kunnen sterk verschillen ook wanneer de bodem op gelijke wijze met behulp van parameters als het lutum- en het organische stofgehalte gekenmerkt kan worden. De verschillen tussen uiteenlopende vormen en functioneren van de ecosystemen hangen samen met een complex van verschillen in de abiotische en biotische samenstelling. Er dient te worden nagegaan of uit oogpunt van het beschrijven van de relatie tussen bodemkwaliteit en effecten op de bodemecologie een indeling van de bodem in hoofdtypen te zijner tijd wenselijk is. Daarbij kan gedacht worden aan een indeling in een 7-tal bodemtypen waarmee de aanwezige bodemvariatie van Nederland beschreven wordt: zee-afzettingen, rivierafzettingen, zandgronden, löss- en leembodems, kalkverweringen, alsmede hoog- en laagveen.

## 6.2 Effecten in het bodem-ecosysteem

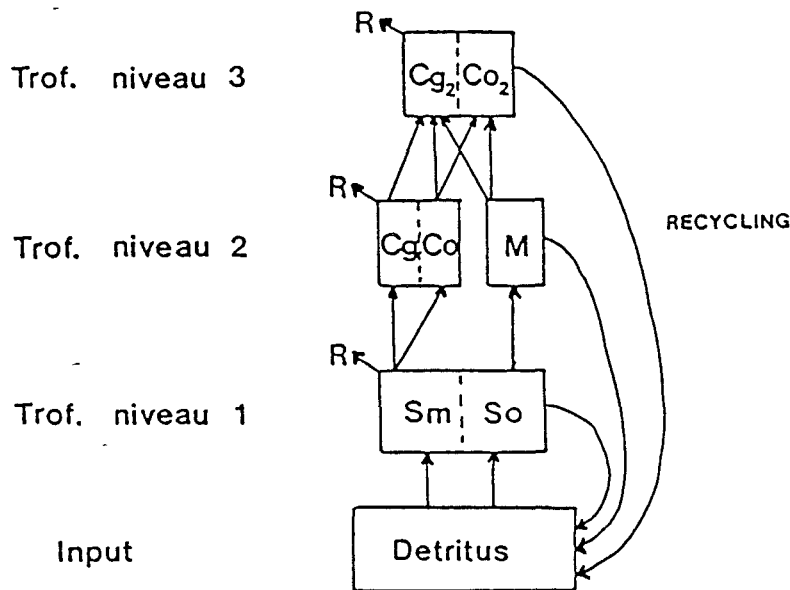
In de gedachtenvorming over bodembescherming uit oogpunt van de ecologie van de bodem wordt een functiebenadering gevolgd waarbij de ecologische functie gezien wordt als een optelsom van deelfuncties. Het behoud van de ecologische functie betekent in dat verband het behoud van de capaciteit van de bodem om vele functies tegelijk te blijven vervullen met oog op de instandhouding van mens, dier en plant. Hierin zijn begrepen het, in voldoende mate, in stand houden van de belangrijkste stof- en energiekringlopen, en het, in voldoende mate, beschermen van levensgemeenschappen in de bodem. De ecologische functie omvat dus die deelfuncties die essentieel zijn voor het in stand houden van het leven op de bodem, en derhalve alle ecologische processen die de basis vormen voor nutriëntencycli en voedselketens vormen. De belangrijkste processen hierbij zijn decompositie (de fragmentatie van organisch materiaal waarbij chemische en fysische veranderingen optreden) en mineralisatie (het omzetten van een element van organische naar anorganische vorm). In een vereenvoudigd structuurmodel van een ecosysteem, zoals in figuur 1 is weergegeven, kunnen de processen decompositie en mineralisatie geplaatst worden in het decompositie sub-systeem.



**Figuur 1** Een algemeen model van de structuur van een ecosysteem (18)

Door de activiteiten in het decompositie subsysteem vindt recycling van essentiële elementen in voor planten beschikbare anorganische vorm plaats uit de niet voor primaire productie beschikbare organische vorm. Het evenwicht tussen de primaire productie en de decompositiesnelheid bepaalt zo de hoeveelheid geaccumuleerde organische stof in het ecosysteem en daarmee de beschikbaarheid van de nutriënten. Daardoor is de recyclesnelheid van essentiële elementen in het bodemecosysteem een belangrijke regulator van de primaire productie en indirect ook van de secundaire productie van het ecosysteem.

Om de ecologische functie van de bodem operationeel te maken kan de bodem opgebouwd gezien worden uit een aantal compartimenten. De compartimenten binnen het decompositie-subsysteem bestaan uit biologisch-functionele en met elkaar samenhangende elementen zoals in figuur 2 is weergegeven.



**Figuur 2** Onderverdeling van het decompositie-subsysteem (19)

Symbolen:

- R = respiratie verlies
- Sm = saprophage micro-organismen: b.v. bacteriën, fungi
- So = saprophage ongewervelden: regenwormen, pissebedden, springstaarten e.d.
- Cg = carnivore gewervelden: b.v. spitsmuizen, mollen
- Co = carnivore ongewervelden: b.v. spinnen
- M = microbivoren: protozoa
- Cg<sub>2</sub>+Co<sub>2</sub> = secundaire carnivoren, gewerveld en ongewerveld

In een dergelijk model is sprake van een aantal trophische niveaus (1, 2 en 3), waarbij de niveaus elkaar over en weer reguleren. Intern wordt onderscheid gemaakt tussen gewervelde consumenten, ongewervelde consumenten en micro-organismen. In elk compartiment is een bijzonder diverse levensgemeenschap aanwezig, opgebouwd uit verschillende taxonomische groepen. Deze levensgemeenschappen lopen voor verschillende bodems sterk uiteen.

Binnen elk compartiment zou onderscheid tussen diverse groepen organismen gemaakt kunnen worden op basis van hun taak (20). Dit kan geïllustreerd worden met de categorie der saprophage ongewervelden waarbinnen in grote lijnen twee taken te onderscheiden zijn. Een taak om (geholpen door fysische processen) de organische materie te fragmenteren (pissebedden, regenwormen, miljoenpoten) en een taak om de groei van microflora te reguleren via begrazing van de schimmels en bacteriën (springstaarten, mijten, protozoa, nematoda). De microflora speelt op haar beurt een essentiële rol in de enzymatische afbraakprocessen.

Veranderingen in het aandeel van één of meer functionele groepen in het geheel kunnen dan duiden op een biologische activiteitsverandering van de bodem onder invloed van beheersmaatregelen of bodemverontreiniging. Veranderingen in het ecologisch functioneren van het bodemecosysteem kunnen zo gesignaleerd worden aan veranderingen in kwantitatieve of kwalitatieve eigenschappen van een representatief organisme uit één of meerdere compartimenten. In hoeverre een organisme representatief is voor een functionele groep of zelfs een geheel compartiment, zal moeten worden onderzocht. De ecologische relevantie in het algemeen kan blijken uit een zeer grote geografische range en het voorkomen in diverse ecosystemen in relatief grote aantallen, waarbij de soort een aanzienlijk deel van de biomassa van bodemorganismen van de betrokken groep voor zijn rekening neemt. Functioneel kan de relevantie blijken uit het feit dat de populatie van het organisme een significante bijdrage levert aan decompositieprocessen.

Veranderingen in het bodem-ecosysteem kunnen zich voordoen voordat de effecten op bodemprocessen zoals decompositie en mineralisatie waarneembaar worden, bijvoorbeeld in de vorm van veranderingen in soortendiversiteit, veranderingen op individu-niveau (fysiologie), en in de vorm van accumulatie van stoffen in organismen en voedselketens. Tevens moet rekening gehouden worden met de mogelijkheid van een genetische aanpassing van organismen aan de chemische belasting van het milieu (21). Directe of indirecte kwantitatieve of kwalitatieve wijzigingen in de structuur van de bodemlevensgemeenschap kunnen tenslotte ook veroorzaakt worden door veranderingen in de fysische structuur (bodemprofiel, dichtheid, deeltjesgrootte, vochtinhoud, gasdiffusie etc.) of de chemische eigenschappen (organische stof, humus, pH, CEC etc.) van de bodem als gevolg van bodemverontreiniging of -aantasting.

Veranderingen in bodem-ecosystemen als gevolg van menselijke activiteiten hoeven op korte termijn niet noodzakelijkerwijze een bedreiging te vormen voor het gebruik van de bodem door de mens of voor de volksgezondheid. Het blijkt echter dat wijzigingen in flora- en faunasamenstelling of in het functioneren op microschaal op de lange termijn wel kunnen resulteren in nadelige of schadelijke gevolgen voor de mens. Zo is een afname van de bodemproductiviteit geconstateerd als gevolg van een stagnatie in de decompositie (en nutriëntenkringloop), waardoor de beschikbaarheid van nutriënten afnam (22). Zowel veranderingen in soortendiversiteit als wijzigingen van de levensverrichtingen van individuele soorten kunnen op lange termijn tot dergelijke effecten leiden.

### 6.3 Parameters ten behoeve van het vaststellen van effecten

Op termijn dienen de aan de bodem te stellen kwaliteitseisen mede te zijn ontleend aan effecten, c.q. gebaseerd te zijn op no-effect-levels. Ten behoeve van het richten van het onderzoek dat een op effecten gebaseerde normstelling mogelijk moet maken, dient een beeld te worden gevormd van de specifieke relaties tussen milieu-kwaliteit en biotische kenmerken van het bodemecosysteem die uit oogpunt van normstelling veelbelovend geacht kunnen worden. In de vorige paragraaf is al aangegeven dat wat betreft de belangrijke kringlopen het decompositie-subsysteem een centrale plaats inneemt. In het navolgende wordt nader ingegaan op de parameters die voor nader onderzoek in aanmerking komen. Bijlage 5 bevat een kritische beschouwing van de diverse parameters.

Parameters die moeten aangeven of er sprake is van bedreiging van de ecologische functie zullen met name gericht moeten zijn op het signaleren en voorspellen van twee effecten:

1. vermindering van de afbraak van organisch materiaal als substraat voor biologische activiteit; en
2. selectieve onderdrukking en selectieve vergiftiging van flora en fauna in de bodem.

Beide effecten leiden tot een aantasting van het functioneren van het bodemecosysteem. Naast de praktische bruikbaarheid vormt de gevoeligheid van een parameter een belangrijk geschiktheids criterium, dat wil zeggen de mate waarin een parameter verandert met een vast te stellen wijziging van het beschouwde systeem. Het bezwaar van ongevoeligheid kan worden ingebracht tegen een groot aantal van de in de literatuur genoemde structuurkenmerken, waarvan in tabel 9 een aantal genoemd worden. Voor de parameter reproductie en groei geldt dit het minst.

<u>Structuurkenmerken bodemfauna</u>
dichtheid
reproductie en groei
migratie
predatie
diversiteit
aggregatie
verdeling micro-, meso- en macrofauna

**Tabel 9** Structuurkenmerken die als biologische bodemparameters zouden kunnen dienen (23, zie ook bijlage 5)

Veranderingen ten gevolge van menselijke beïnvloeding dienen bij voorkeur in een zo vroeg mogelijk stadium te worden gesignaleerd. Aangezien elke verandering in abiotische milieufactoren aangrijpt op het niveau van het individuele organisme (voor zover er individuen te onderscheiden zijn), zal de respons op die veranderingen dáár het eerst kunnen worden gesignaleerd, al vóórdat effecten op-

treden op het niveau van populaties en/of levensgemeenschappen. Immers, een verandering in de soortsaanstelling zoals wel als maatstaf wordt geprogageerd, is op zich het gevolg van het afsterven en verdwijnen van organismen resp. populaties. Een bijkomend voordeel van het aan bodemorganismen zelf meten van de effecten van een verontreiniging is de directe manier van meten van het effect: het effect van de biologisch beschikbare fractie wordt gemeten, terwijl het chemisch bepaalde gehalte door speciatie niet biologisch actief hoeft te zijn, of niet kan worden vastgesteld als gevolg van detectiële meten (zie ook hoofdstuk 9).

Bij deze keuze van parameters zijn in eerste instantie vooral die parameters van belang die direct informatie geven over het behoud van de ecologische functie d.w.z. over het functioneren van het bodemleven in het decompositiesubstelsysteem. De parameters die de invloed van een toxische stof op het functioneren van een populatie in het decompositieproces vooral weergeven zijn de consumptie (in het laboratorium te bepalen), strooiselfragmentatie, en eventueel optredende effecten daarvan zoals accumulatie en concentratiefactoren (in het veld te bepalen).

Op het niveau van de populatie van een soort kunnen in het veld demografische kenmerken, c.q. de leeftijdsaanstelling van een populatie worden gebruikt. Een afnemende populatie-omvang wordt gekenmerkt door een (te) gering aantal jonge organismen, een snel groeiende populatie door veel juvenielen, als volgt te illustreren:



Met behulp van de parameters reproductie en groei is het mogelijk om in het laboratorium informatie te verkrijgen over mogelijke effecten t.a.v. de continuïteit van het functioneren van de populatie onder invloed van verontreiniging.

Veranderingen van structuurkenmerken (zie tabel 9, zie ook bijvoorbeeld 25 en 26), functionele kenmerken zoals bijvoorbeeld nitrificatie of bodemademhaling (zie bijvoorbeeld 27) of de leeftijdsaanstelling van een populatie kunnen in principe in veldomstandigheden worden bepaald, maar ook semi-natuurlijke systemen (micro-kosmos) kunnen voor de vaststelling en toetsing van effecten worden toegepast. Aan microkosmos-systemen kan men bijvoor-



beeld biomassaproductie, nitrificatie, enzymproductie en bodemademhaling meten. Sommige van de parameters, zoals bodemademhaling en enzymproductie, zijn zeer complex en moeilijk te interpreteren, nitrificatie geeft een redelijk betrouwbare afspiegeling van de toestand in de bodem. De experimentele vaststelling van effecten van stoffen op ecosysteemniveau is voor terrestrische systemen echter nog nauwelijks ontwikkeld.

Zoals eerder werd betoogd, kan men gevoeliger toxiciteitstoetsen verwachten wanneer men zich richt op individuele responsen van functioneel belangrijke en gevoelige soorten (life-cycle toetsen). Men dient zich dan met name te richten op de eigenschappen die samenhangen met de continuïteit van het functioneren van de populaties der soorten, zoals groei en reproductie en/of op functiegerichte eigenschappen zoals consumptie resp. strooiselfragmentatie. Op het niveau van individuele organismen en populaties kan in een zo vroeg mogelijk stadium worden vastgesteld of er sprake is van veranderingen als gevolg van menselijke beïnvloeding. Op het niveau van de structuur van en processen in het ecosysteem kan vervolgens worden vastgesteld of die veranderingen ook in een, belangrijke, verandering in het functioneren van het bodemecosysteem resulteert. Het is momenteel nog zelden kwantitatief duidelijk hoe effecten op individuen doorwerken op het niveau van hun populatie en van het ecosysteem als geheel. Er is derhalve dringend behoefte aan de ontwikkeling van procedures voor het kwantitatief vaststellen van effecten van stoffen in bodems, die als richtlijn kunnen dienen voor de uitwerking van het bodembeschermingsbeleid.

#### 6.4 Beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden

Hoewel er slechts fragmentarisch gegevens beschikbaar zijn over de effecten van stofgehalten op groei, reproductie en consumptie van functioneel belangrijke en representatieve soorten, kan gesteld worden dat no-effect-niveaus die verkregen zijn uit LC-50 experimenten (laboratorium; acute toxiciteit, geen extrapolatie m.b.v. veiligheidsfactor) in grootte-orde gelijk zijn aan of lager liggen dan de voorgestelde referentiewaarden. De nu bekende no-effect-niveaus (veldwaarnemingen) voor zware metalen liggen in het algemeen boven de referentiewaarden of stemmen daarmee overeen (Cd: 2-20 mg/kg, Cu: 60 mg/kg, Zn: 1500-2000 mg/kg; zie bijlage 5). Er zij opgemerkt dat het onderzoek dat tot nu toe heeft plaatsgevonden algemene, en wellicht minder gevoelige, soorten betrof. Ter bescherming van ook de gevoelige soorten, en mede uit oogpunt van lange termijn effecten, synergismen etc., verdient het aanbeveling ruime veiligheidsmarges te hanteren. De grootte hiervan vormt een belangrijke factor voor het vaststellen van kritische niveaus voor stofgehalten in de bodem, en behoeft zeker nadere aandacht. Het voor een levensgemeenschap aan te houden no-effect-niveau zou lager moeten zijn dan die voor de meest gevoelige soort, waarbij men dient te bedenken dat de variatie in gevoeligheid tussen soorten bijzonder groot is (een factor  $10^5$  à  $10^6$ , zie o.a. 28 en 29). Het verdient daarom aanbeveling om naar een flexibel systeem van aanpassing van referentiewaarden, in de zin van kritische gehalten uit oogpunt van effecten, te streven, deze waarden zeer regelmatig te bezien, en het onderzoek dat gericht is op verbetering en aanvulling van deze waarden actief te stimuleren.

Er zij op gewezen dat de blootstelling van bodemorganismen aan toxicanten in het algemeen plaatsvindt in de bovenste bodemlagen, waaronder de strooisellaag. De stofgehalten die daar worden aangetroffen kunnen aanmerkelijk hoger zijn dan de gemiddelde gehalten in de bovenste 20 cm van de bodem (zie ook hoofdstuk 11). De referentiewaarden zijn in belangrijke mate gebaseerd op de gehalten in de bovengrond van natuurterreinen zoals gerapporteerd door Edelman, welke betrekking hebben op de gemiddelde gehalten (in de bovenste 10 cm van de grond) ná verwijdering van de strooisellaag.

Dit betekent dat de waargenomen gemiddelde gehalten, of de daarvoor te stellen referentiewaarden, niet zondermeer overeenstemmen met de gehalten die uit het oogpunt van effecten beoordeeld zouden moeten worden. De referentiewaarden zijn op te vatten als het gehalte voor grond. Voor de strooisellaag dient ofwel een aparte benadering gevolgd te worden, ofwel de procedure van beoordeling van een waargenomen, gemiddeld, gehalte dient expliciet rekening te houden met het voorkomen van gradiënten in stofgehalten in verticale richting.

Voor het functioneren van bodem-ecosystemen zijn meer stoffen van belang dan die in de discussienotitie worden genoemd. Als voorbeeld kunnen worden genoemd ijzer en mangaan. Hoewel minder relevant uit oogpunt van volksgezondheid is op grond van effecten op bodemdieren gebleken dat no-effect-levels al liggen bij 2200 (Fe) resp. 1250 mg/kg (Mn) in de strooisellaag. Dit zijn niveaus die in de strooisellaag regelmatig overschreden worden. Voor aquatische systemen kan (organo-)tin als "verdachte" stof genoemd worden, over welks werking nog onvoldoende bekend is. Het is vooreerst niet duidelijk welke gehalten voor deze elementen als referentiewaarde zouden kunnen gelden. De voorgestelde regelmatige herziening van de referentiewaarden dient derhalve niet alleen de grootte van de waarden, maar tevens de opgenomen stoffen te betreffen.

Tenslotte verdient de speciatie van metalen nadere aandacht. Deze is in belangrijke mate bepalend voor de toxische werking van een metaal. Er kan aansluiting gezocht worden bij het onderzoek dat wat dit aspect betreft voor aquatische (sediment-) systemen is en wordt uitgevoerd.

## 7. Normstelling en volksgezondheid

### 7.1 Inleiding

De vormen van bodemgebruik die van belang zijn voor de volksgezondheid hangen samen met de dragersfunctie (huizen, wegen, recreatieterreinen enz.), de voedsel- en gewasproductie en de grondwatervorming (drinkwater, irrigatiewater en proceswater voor de levensmiddelenindustrie). Deze vormen van bodemgebruik brengen met zich mee dat de mens kan worden blootgesteld aan stoffen die in de bodem aanwezig zijn. Als deze blootstelling de gezondheid van de mens in gevaar brengt dan houden de betrokken stofgehalten een vermindering van de "functionele eigenschappen" van de bodem in, en zijn deze strijdig met het uitgangspunt van de multifunctionaliteit. De bepaling van de grensconcentratie van een toxische stof in de bodem, die de gezondheid van de mens nog juist niet nadelig zou beïnvloeden, levert grote moeilijkheden op door de vele onzekerheden in de mate waarop de stof de mens langs verschillende opnamewegen kan bereiken. De veronderstelling dat de A- of de B-waarden voor verschillende stoffen uit de Leidraad Bodemsanering deze functie zou hebben is onjuist. Zij zijn volgens de Leidraad alleen bedoeld als indicaties voor onderzoek of nader onderzoek.

De discussienotitie Bodemkwaliteit geeft voorlopige referentiewaarden die zijn gebaseerd op de veronderstelling dat een bodem met gehalten gelijk aan of beneden die waarden multifunctioneel geacht mag worden. De commissie ziet zich voor de vraag gesteld of dit juist is en in het navolgende wordt deze vraagstelling uit oogpunt van het deelaspect volksgezondheid behandeld.

Een mogelijkheid van toetsing van de voorgestelde referentiewaarden is deze te vergelijken met bestaande normen voor drinkwater en voedings- en voedermiddelen. Het bezwaar van een dergelijke toetsing is dat de daarbij te hanteren normen niet of niet uitsluitend gebaseerd zijn op de toxicologische eigenschappen van de stof, zoals het geen nadelig effect niveau of de daarvan direct afgeleide advieswaarden als de aanvaardbare dagelijkse opname (ADI). Bovendien wordt bij deze toetsingen steeds slechts één opnameweg beoordeeld. Er wordt daarom de voorkeur gegeven aan een toetsing waarbij alle opnamewegen worden samengevoegd, en de hieruit berekende totale opname door de mens wordt vergeleken met de primaire toxiciteitsgegevens van de stof of de hiervan afgeleide ADI. Een dergelijke integrale beoordeling is o.m. door Van Wijnen toegepast bij de afweging van het gezondheidsrisico voor de omwonenden van de Volgermeer (30).

De hier bedoelde toetsing heeft niet het oogmerk weer een nieuwe lijst met bodemconcentraties van allerlei stoffen te maken. Het gaat allereerst om de beschrijving van een methode voor de berekening van de totale blootstelling van de mens aan stoffen uit de

bodem als gevolg van de overdracht langs verschillende wegen. Hierbij is in belangrijke mate gebruik gemaakt van de publicatie van Rosenblatt e.a. (31), die ook genoemd wordt in de RIVM-nota van Verwey en Luijten (32) en in het Advies inzake uitgangspunten voor normstelling van de Gezondheidsraad (33). Het gebruik van de methode zou beperkt kunnen blijven tot het nagaan of de voorgestelde referentiewaarden voldoen uit oogpunt van het beoordelingscriterium volksgezondheid.

Gezien de voor een volledige toetsing vereiste tijd en deskundigheid op verschillend terrein en het ontbreken van belangrijke informatie kon er in het kader van het opstellen van het voorliggende advies geen sprake zijn van een volledig uitgewerkte toepassing van de methode voor alle te beschouwen stoffen. Er wordt volstaan met het geven van enkele rekenvoorbeelden waarvan de uitkomsten niet voldoende onderbouwd zijn om als echte toetsing te kunnen gelden. De commissie acht de benaderingswijze echter van zodanig belang dat zij aanbeveelt de referentiewaarden op termijn zomogelijk op de aangegeven wijze te doen toetsen. Zij merkt daarbij op dat een dergelijke benadering juist in het kader van de integrale normstelling van grote waarde kan blijken te zijn.

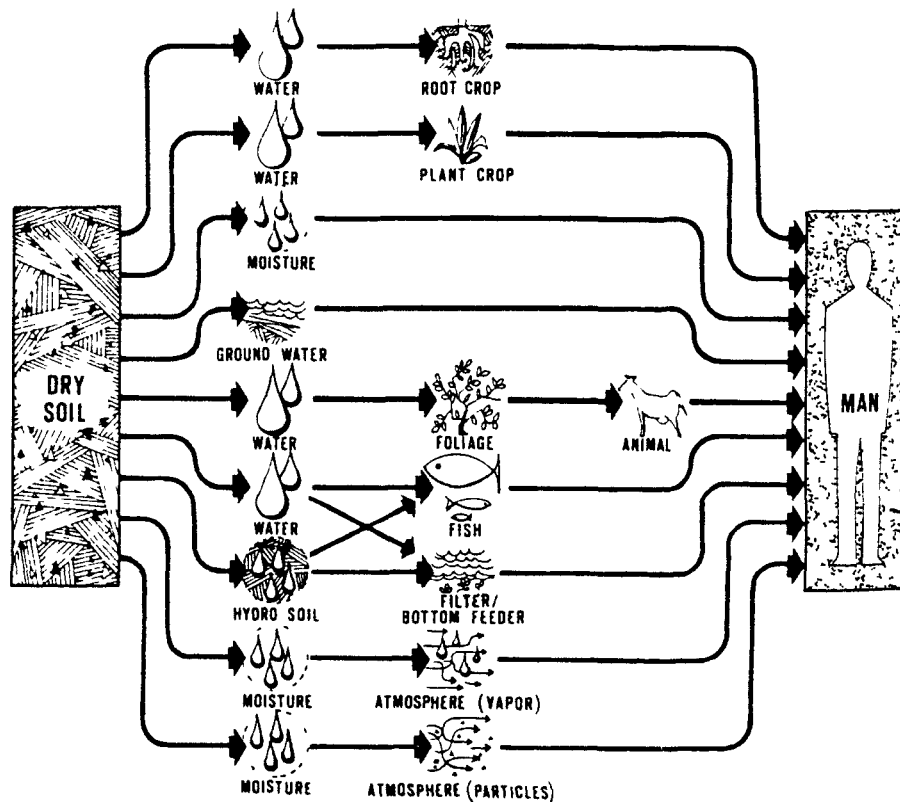
## 7.2 Een modelmatige benadering

De wegen waarlangs stoffen uit de bodem de mens kunnen bereiken vormen een onderdeel van het netwerk van relaties tussen de compartimenten bodem, water, lucht en biota en de invloeden die stoffen in die compartimenten ondergaan. Er zijn verschillende pogingen gedaan om met behulp van modellen voor dit netwerk de concentratieverhoudingen voor een stof in de verschillende compartimenten te berekenen op grond van uitsluitend fysisch-chemische eigenschappen van de stof, aangevuld met de specifieke invloed van planten en dieren op het lot van de stof in het biotische compartiment. Een belangrijke overweging hierbij is of uitgegaan moet worden van het bestaan of bereiken van een evenwichtssituatie, waarin de fugaciteit van de stof in alle compartimenten gelijk is (34). In dat geval is de berekening relatief eenvoudig als de verschillende verdelingscoëfficiënten bekend zijn. In de praktijk is de situatie ingewikkelder omdat er stroming ("flow") in het systeem bestaat: de stof wordt aan de bodem met een bepaalde hoeveelheid per m<sup>2</sup> en per jaar toegevoerd, er vindt afvoer en eventueel afbraak plaats, de overdracht naar de andere compartimenten ondervindt weerstand (vertraging) en in de andere compartimenten treden ook verliezen op en vindt veelal verdunning plaats. Het resultaat is dat de "steady state" concentraties in de compartimenten worden benaderd die behoren bij een dynamische evenwichtssituatie. De modelmatige aanpak die uitsluitend gebaseerd is op fysisch-chemische parameters, stroming, ("flow") en biogene invloeden, levert nog grote moeilijkheden op maar verdient zeker meer aandacht.

Voorlopig moet worden volstaan met een meer pragmatisch multi-media model, waarbij massastromen door het systeem ("flow") in de berekeningen buiten beschouwing blijven, en waarbij de "steady state" concentraties slechts ten dele bepaald worden op grond van fysisch-chemische parameters, maar overwegend op grond van metingen en schattingen. In ons land zijn dergelijke modellen gebruikt door Akveld c.s. (35) en Verwey en Luijten (32). Ze zijn ook enige malen toegepast bij de beoordeling van lokale situaties van bodemverontreiniging met het oog op de wenselijkheid van sanering. Deze benadering sluit aan bij de discussienotitie, waarin de concentraties van stoffen behorende bij een goede bodemkwaliteit gegeven zijn, en niet is ingegaan op de eventueel daarbij behorende omvang van de aanvoer van stoffen naar de bodem onder invloed van menselijke activiteiten. Deze flow, bijvoorbeeld door neerslag of het gebruik van meststoffen op landbouwgronden, zal t.z.t. echter wel in de beschouwing betrokken moeten worden.

### 7.3 Te beschouwen opnamewegen

De volgende opnamewegen zijn voor deze berekeningen in overweging te nemen (figuur 3).



Figuur 3 Opnamewegen van bodem tot mens (31)

In dit schema ontbreken de opname met drinkwater na permeatie van (kunststof)leidingen, en de directe ingestie van grond door spelende kleuters in de tuinen en op straat. Deze laatste opnameweg is vooral in gevallen van loodverontreiniging onderzocht. Ook de mogelijke overdracht via huidcontact met grond en met via de bodem verontreinigd oppervlaktewater (zwemwater) zouden er volledigheidshalve aan kunnen worden toegevoegd.

De bijdragen aan de totale blootstelling van sommige van deze wegen kan onder bijzondere omstandigheden, zoals in gevallen van ernstige bodemverontreiniging, belangrijk genoeg zijn om in beschouwing te nemen. Bij de hier te toetsen relatief lage concentraties kan de aandacht worden geconcentreerd op de volgende 6 opnamewegen:

1. de directe ingestie van grond door spelende kinderen, samen met de ingestie van stof in huis (via het voedsel e.d.) afkomstig van grond die vooral met de schoenen is binnengebracht;
2. de passage via grondwater of oppervlaktewater naar het drinkwater, inclusief permeatie van kunststofleidingen;
3. de overdracht via consumptiegewassen direct naar de consument;
4. de overdracht via voedergewassen en voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong;
5. de overdracht via water naar consumptie-vis; en
6. (bij vluchtige stoffen) de overdracht via de binnenhuislucht.

#### 7.4 Uitgangspunten voor uitwerking

Voor het kwantificeren van de zes opnamewegen zijn vereenvoudigde modellen gekozen. Daarbij geldt als uitgangspunt dat voor elke aparte opnameweg (en voor alle wegen samen) de opnamegrootte evenredig is met de bodemconcentratie binnen één bodemtype c.q. voor één grondsoort. Er is dus geen rekening gehouden met de mogelijkheid van een meer gecompliceerde relatie zoals die wordt weergegeven door de adsorptieïsotherm van een stof die de binding aan sorberende bodembestanddelen beschrijft. Hierdoor zullen de uitkomsten van de berekeningen slechts geldig zijn in een nauw gebied rondom de concentraties waarbij de metingen zijn verricht en gelden voor de milieuomstandigheden ter plaatse. Deze beperking geldt in nog sterkere mate voor extrapolaties naar andere bodemtypes en/of milieuomstandigheden.

Het probleem van de invloed van grondsoort en lokaal heersende milieuomstandigheden is van uitermate groot belang bij de overdracht van stoffen vanuit de bodem naar planten. Uit de beperkte informatie kan worden afgeleid dat de opname door verschillende gewassen niet zonder meer uit de mobiliteit van de stof of de vrije concentratie in het bodemvocht voorspeld kan worden. Zo dit het geval zou zijn zou het ook mogelijk zijn om bijvoorbeeld naar lutum- en organische stofgehalte gedifferentieerde referentiewaarden vast te stellen die uitsluitend op effecten of effect-mechanismen gebaseerd zijn, in dit geval verlopend langs de weg van blootstelling van de mens via voedsel. Dergelijke invloeden kunnen thans nog

slechts zeer beperkt, en zeker niet op eenvoudige wijze, in rekening gebracht worden. Voor een aantal elementen, zoals arseen en kwik, is de speciatie van de stof, dat is de chemische verbinding waarin zij in de bodem aanwezig zijn, van groot belang. Dit geldt niet alleen voor de mobiliteit, maar ook voor de opname door planten en de toxiciteit voor zowel planten als dieren en de mens. Ook wat dit aspect betreft schiet de beschikbare informatie te kort.

Een tweede uitgangspunt is dat referentiewaarden, te zijner tijd normen, bestemd zijn om over lange termijn en grote arealen bescherming te bieden. Hieruit volgt dat er rekening mee moet worden gehouden dat een verontreinigende stof in een toegelaten concentratie de tijd krijgt om alle compartimenten, inclusief de biota, te "vullen" in overeenstemming met zijn fysisch-chemische eigenschappen. Waartoe dit kan leiden wordt duidelijk gedemonstreerd in het vóórkomen van stoffen als de PCB's en PCDD's. Deze situatie verschilt in belangrijke mate van die van lokale gevallen van bodemverontreiniging met een beperkt invloedsgebied.

Tenslotte wordt opgemerkt dat de gekozen benadering bedoeld is voor toepassing op één stof tegelijk. In de praktijk gaat het steeds om combinaties van verontreinigende stoffen in de bodem. De vraag is of een combinatie van stoffen, waarvan elke component ter hoogte van de referentiewaarde aanwezig is, de volksgezondheid in gevaar zou brengen. Voor zover het stoffen betreft met eenzelfde werkingsmechanisme (bijv. cholinestraseremming) kan de berekening, en ook de normstelling, op basis van additiviteit plaatsvinden.

Bij combinaties van ongelijk werkende stoffen, zoals meestal het geval is, kan de toxiciteit van het mengsel (op het niveau van de aanvaardbare dagelijkse dosis per stof) niet zonder meer berekend worden bij gebrek aan inzicht in het combinatie-effect. Voor een nadere bespreking van deze problematiek zij verwezen naar het advies van de Gezondheidsraad inzake uitgangspunten voor normstelling (37).

## 7.5 Uitwerking van de benaderingswijze

Blijkens het uitgangspunt van evenredigheid geldt voor elke opnameweg:

$$X_p = a_p * Y \quad (1)$$

Hierin is  $X_p$  de (partiële) bijdrage tot de opname van de stof langs de betreffende opnameweg in mg/persoon/dag,  $a_p$  de (partiële) bijdragefactor voor die opnameweg en  $Y$  de bodemconcentratie in mg/kg (droge) grond.

**Voorbeeldberekening ingestie van grond**

De bijdragefactor geldt voor alle beschouwde stoffen, dus voor cadmium zowel als dieldrin is  $a_1 = 0,001$ .



In deze paragraaf wordt per opnameweg in algemene zin ingegaan op deze relatie en de te hanteren grootheden. De (beknopte) algemene beschouwing wordt steeds gevolgd door een tweetal rekenvoorbeelden die betrekking hebben op cadmium resp. dieldrin. De voorbeeldberekeningen zijn uitsluitend illustratief bedoeld.

#### 7.5.1 Ingestie van grond

De directe ingestie van grond door spelende kleuters kan volgens een redelijke schatting op 200 mg per kind per dag worden gesteld (36). Daar de berekeningen verder alle op de lichaamsgrootte van volwassenen zijn gebaseerd wordt voor de verhouding van de lichaamsgewichten een correctiefactor ingevoerd gelijk aan 5. Er is voor gewichtsbasis gekozen boven calorie-basis om rekening te houden met de mogelijkheid dat kleine kinderen in de snelle groeifase extra gevoelig zijn.

Vooraf bij de zware metalen is de biologische beschikbaarheid van stoffen in de ingeslikte grond in het algemeen slecht bekend. Er dient vooreerst te worden uitgegaan van het totale gehalte, zoals ook in het geval van de opname uit voedingsmiddelen wordt gedaan, daar dit uitgangspunt ook ten grondslag ligt aan de bepaling van de ADI.

Over de grootte van de bijdrage door de opname van binnenhuisstof bestaan geen schattingen. Deze bijdrage zal in de meeste gevallen relatief gering zijn en blijft hier verder buiten beschouwing.

Als  $X_1$  de bijdrage aan de totale opname is via de ingestie van grond en  $a_1$  de bijdragefactor, dan is:

$$X_1 = a_1 * Y \quad \text{en:}$$

$$a_1 = 0,0002 * 5 = 0,001$$

**Voorbeeldberekening opname met drinkwater**

Cadmium

Voor zandgronden bedraagt de waargenomen overdrachtsfactor bodemwater voor cadmium 0,002 (10). Bij een waterconsumptie van 2 l/pers/dag is de bijdragefactor  $a_2 = 0,004$ .

Dieldrin

Voor zandgronden met een organische stofgehalte van 5% bedraagt de overdrachtsfactor bodemwater voor dieldrin, benaderd met een vereenvoudigde adsorptie-isotherm, ca. 0.0006 (14). De bijdragefactor  $a_2$  is in dit geval ca. 0,001.

### 7.5.2 Drinkwater

Bij de overdracht naar het drinkwater kan bij organische verbindingen gebruik gemaakt worden van verdelingsevenwichten en eventueel worden gecorrigeerd voor verliezen onderweg door verdamping of afbraak. Bij anorganische stoffen zullen vooreerst waargenomen gehalten of bijvoorbeeld de oplosbaarheid in het bodemvocht als uitgangspunt moeten dienen.

De bijdrage aan de totale opname en de bijdragefactor zijn:

$$X_2 = a_2 * Y \quad \text{en:}$$

$$a_2 = (\text{verhoudingsfactor bodem-drinkwater}) * (\text{correctiefactor}) * (\text{drinkwater consumptie/pers./dag})$$

De opname is in navolging van vele anderen gebaseerd op een consumptie van 2 l water/pers./dag. Blijkens een landelijke enquête is de gemiddelde consumptie voor volwassen mannen 1,19 l (extremen: 0,1 - 9,8 l) en voor volwassen vrouwen 1,09 l (0,1 - 8,0 l) water per dag (zie o.a. 36).

De toetsing kan in eerste instantie ook plaats vinden door vergelijking met bestaande drinkwaternormen, waarbij al dan niet rekening gehouden wordt met de verwijdering van een deel van de stof bij de zuivering.

De passage van lipofiele organische verbindingen door kunststofleidingen vanuit de grond naar het drinkwater heeft in enkele gevallen van lokale bodemverontreiniging een meetbare bijdrage tot de opname geleverd. Voor een berekening zijn de lokale omstandigheden van zo groot belang dat het niet goed mogelijk is om hiervoor overdrachtsfactoren aan te geven. Daar de relatieve bijdrage zeer gering wordt geacht is zij verder buiten beschouwing gelaten.

**Voorbeeldberekening opname met plantaardige voedingsmiddelen**

De in verschillende studies vermelde overdrachtsfactoren van bodem naar plant voor cadmium lopen sterk uiteen, voor dieldrin is slechts spaarzaam informatie beschikbaar (zie b.v. 38). Er is uitgegaan van de volgende factoren, uitgedrukt als de verhouding tussen het gehalte versgewicht plant en het gehalte drooggewicht bodem:

	Cadmium	Diieldrin
groenten en peulvruchten	0,05	0,05
aardappelen	0,1	0,024
granen	0,1	0,01
fruit, noten	0,02	0,01

De bijdragefactor  $a_3$  voor beide stoffen wordt, uitgaande van een consumptie volgens het standaardpakket voedingsmiddelen:

	Cadmium	Diieldrin
groenten en peulvruchten	$0,157 * 0,05 = 0,0079$	$0,157 * 0,05 = 0,0079$
aardappelen	$0,165 * 0,1 = 0,0165$	$0,165 * 0,024 = 0,0040$
granen en peulvruchten	$0,161 * 0,1 = 0,0161$	$0,161 * 0,01 = 0,0016$
fruit en noten	$0,170 * 0,02 = \underline{0,0034}$	$0,170 * 0,01 = \underline{0,0017}$
bijdragefactor $a_3$ totaal	0,0439	0,0152

### 7.5.3 Consumptie van gewassen en voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong

De overdracht via gewassen is voor vele stoffen de belangrijkste weg waarlangs verontreinigende stoffen uit de bodem de mens bereiken. De overdracht via de opnamewegen consumptie van plantaardige voedingsmiddelen resp. van voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong kan als volgt worden weergegeven:

$$X_3 = a_3 * Y \text{ en:}$$

$$a_3 = (\text{verhoudingsfactor bodem-gewas}) * (\text{gewasconsumptie/pers./dag}); \text{ resp.}$$

$$X_4 = a_4 * Y \text{ en:}$$

$$a_4 = (\text{verhoudingsfactor bodem-voedergewas}) * (\text{verhoudingsfactor voedergewas-dier}) * (\text{vleesconsumptie/pers./dag})$$

In beide formules zou begrepen kunnen worden dat niet alleen het gewas gegeten wordt maar dat ook (bij vee) aanhangende grond wordt geconsumeerd en (bij mens en dier) het opgewaaide stof dat niet door wassen is verwijderd. De inwendige en uitwendige besmetting zouden dan samen door één verhoudingsfactor worden weergegeven. Dit versluisert echter het inzicht in de fysiologische relatie tussen bodem en gewas. Daar ook de bijdrage van het mede opnemen van grond bij grazend vee niet onbelangrijk is wordt er de voorkeur aan gegeven, waar mogelijk, de inwendige en uitwendige besmetting te splitsen.

In de praktijk levert het hanteren van verhoudingsfactoren van stoffen tussen bodem en gewas grote moeilijkheden op omdat nog onvoldoende bekend is in welke mate bodemeigenschappen, zoals kleigehalte, organische stofgehalte, soort organische stoffen, pH enz. hierop van invloed zijn. Meer fundamenteel onderzoek op dit gebied is zeker gewenst. Daarnaast is uit vele metingen gebleken dat er grote verschillen bestaan tussen het opnamevermogen van stoffen uit de bodem door verschillende soorten planten (zie aspect landbouw). Deze metingen zijn door de Landbouw Advies Commissie Milieukritische Stoffen (LAC) benut voor het vaststellen van "signaalwaarden" voor het gehalte van stoffen in de bodem "als indicatie van het laagste gehalte van een stof in de bodem, waarbij problemen met één of meerdere bodemfuncties (akker- en tuinbouw, grondgebonden veehouderij) als gevolg van die stof kunnen optreden" (37). De beoordeling door de LAC berust op:

- a) de keuze van het meeste gevoelige criterium: in de meeste gevallen is dit het gevaar voor de volksgezondheid als gevolg van de contaminatie van gewassen door de stof, in andere gevallen is het de fytotoxiciteit; en
- b) de keuze van het meeste gevoelige product: bijvoorbeeld in het geval van cadmium andijvie omdat dit gewas de stof het sterkst van de onderzochte planten aan de bodem onttrekt.

**Voorbeeldberekening opname met dierlijke voedingsmiddelen**

Cadmium

De ingestie van grond door grazend vee wordt gesteld op 0,5 kg grond per dag voor een rund van 500 kg, dat is 0,001 kg grond/kg dier/dag. Onder aanname van een retentie van 2%, volledig cumulatie van de opgenomen verontreiniging en een gemiddelde levensduur van 5 jaar wordt de verhoudingsfactor bodem-vlees via deze opnameweg:

$$0,001 * 0,02 * 5 * 365 = 0,037$$

De ruwvoederconsumptie is gesteld op 15 kg (drooggewicht) per dag voor een rund van 500 kg, dat is 0,03 kg gewas/kg dier/dag (drooggewicht), en ca. 0,15 kg gewas/kg dier/dag (versgewicht). Ook nu is gerekend met 2% retentie, volledige cumulatie en een gemiddelde levensduur van 5 jaar. Met een verhoudingsfactor bodem-gewas (versgewicht) van 0,02 wordt de verhoudingsfactor bodem-vlees via deze weg:

$$0,02 * 0,15 * 5 * 365 = 0,110$$

Beide opnamewegen tezamen resulteren in een overdrachtsfactor van: 0,147. De dagelijkse consumptie van dierlijke producten volgens het standaardpakket bedraagt 279 g/pers. (vlees + lever + nier + 1/4 melk + eieren + kaas). De bijdragefactor  $a_4$  wordt dan:

$$a_4 = 0,147 * 0,279 = 0,0411$$

Diieldrin

De totale verhoudingsfactor gewas-dier (ingestie van grond en opname uit voedsel) is door Rosenblatt gesteld op 5 op basis van drooggewicht van beiden. Omgerekend met een vochtgehalte van 80% voor ruwvoer en 65% voor vlees is de verhoudingsfactor op basis van versgewicht ca. 9. Met een verhoudingsfactor bodem-gewas van 0,02 is de totale verhoudingsfactor bodem-vlees 0,175. De bijdragefactor  $a_4$  voor diieldrin op basis van het standaardpakket wordt dan:

$$a_4 = 0,175 * 0,279 = 0,0498$$

Er zij op gewezen dat een berekeningswijze als voor cadmium is gevolgd in beginsel ook voor diieldrin mogelijk is. De retentie van diieldrin is veel groter dan voor cadmium, terwijl evenwel de cumulatie onvolledig is. De onvolledige cumulatie compliceert de berekening, waarvoor nu ook gegevens over de biologische halfwaardetijd van een stof benodigd zijn. Dergelijke verschillen dienen bij toepassing van de methode nadere aandacht te verkrijgen.

Het is van belang er nota van te nemen, dat de signaalwaarden alleen betrekking hebben op de opnamewegen 3 en 4. De opnamewegen 1, 2, 5 en 6 zijn niet in de beschouwing betrokken.

Voor de grootte van de consumptie van voedingsmiddelen die in de verschillende berekeningen moeten worden toegepast kan gebruik gemaakt worden van het "standaardpakket" van de Hoofdinspectie van de Volksgezondheid, waarin de voedingsmiddelen voor de mens in 19 rubrieken (+ drinkwater) zijn ingedeeld met in elk een opgaaf van het gemiddelde dagelijks gebruik per persoon in Nederland. De groep groenten en peulvruchten is nader onderverdeeld in 21 onderrubrieken.

Als er geen gegevens beschikbaar zijn over het gehalte van een stof in alle rubrieken dan moet bepaald worden hoe de wel beschikbare gegevens gebruikt kunnen worden voor de niet onderzochte rubrieken. Als er bijvoorbeeld een gehalte in spinazie beschikbaar is dan kan dit gebruikt worden voor spinazie alleen, zonedig voor alle bladgroenten, en eventueel ook voor kool, verse peulvruchten, knol- en bolgewassen enz.. Hetzelfde geldt voor de voedingsmiddelen van dierlijke oorsprong. Hierin ligt een element van onzekerheid en willekeur, en de werkwijze dient met voorzichtigheid en verstand van zaken te worden gevolgd.

Per geval zal overwogen moeten worden op welke wijze door een ruime schatting rekening kan worden gehouden met de gevarieerde voedselvoorkeur van consumenten, zonder tot een buitensporige "worst-case" te geraken.

Een verdere complicatie is dat een groot deel van het veevoeder niet van Nederlandse bodem afkomstig is. Voor de berekeningen moet er echter van uit gegaan worden dat de voedergewassen wel op onze bodem geteeld moeten kunnen worden.

### Voorbeeldberekening opname met vis

#### Cadmium

Volgens gegevens van het CIVO is het cadmiumgehalte in vis gemiddeld 0,015 mg/kg vis. Gesteld dat dit is onttrokken aan water met een gehalte van 0,0025 mg/l (basiskwaliteit), dan is de verhoudingsfactor water-vis 6. Als verhoudingsfactor bodem-water is 0,002 aangehouden (zie opname via drinkwater). Voor een consumptie van vis en schaaldieren van 14 g/pers./dag wordt de bijdragefactor  $a_5$ :

$$a_5 = 0,002 * 6 * 0,014 = 0,0002$$

#### Diieldrin

Volgens Rosenblatt is de verhoudingsfactor water-vis ca. 3000 (EPA: 4500). De verhoudingsfactor bodem-water bedraagt 0,0006 (zie opname via drinkwater). De bijdragefactor  $a_5$  voor Diieldrin wordt dan:

$$a_5 = 0,0006 * 3000 * 0,014 = 0,0252$$

Deze bijdragefactor is niet onaanzienlijk maar zal wanneer rekening gehouden wordt met de in werkelijkheid optredende verdunning van verontreinigd water met relatief schoon water aanmerkelijk kleiner zijn. Dit is met name van toepassing voor de bijdrage via de consumptie van zeevis.

### Voorbeeldberekening opname met ademlucht

Uitgaande van metingen van diieldringehalten in de bodem van tuinen (60 - 120 cm diepte, 95 percentiel = 1,5 mg/kg grond), in de lucht van kruipruimten onder de woningen (gem. 13,4 ng/m<sup>3</sup>) en in woonkamers (gem. 0,6 ng/m<sup>3</sup>) in de Steendijkpolder (36) is een globale schatting gemaakt van de concentratieverhoudingen in deze media. Deze bedragen voor bodem naar kruipruimte  $9 * 10^{-6}$  en voor kruipruimte naar woonkamer 0,05. Hierbij wordt opgemerkt dat deze verhoudingscijfers berusten op metingen die niet bedoeld waren om deze verhoudingen te bepalen; de uitkomsten hebben geen algemene geldigheid, alleen al omdat de invloed van het organische stofgehalte van de bodem buiten beschouwing is gelaten en omdat de grondmonsters afkomstig zijn uit de tuinen en niet uit de grond onder de huizen. De verhoudingsgetallen zijn alleen berekend ten behoeve van het onderstaande rekenvoorbeeld. Het ademvolumen is hier gerekend op 12 m<sup>3</sup> per persoon per dag. Daarmee wordt de bijdragefactor  $a_6$  voor diieldrin:

$$a_6 = 9 * 10^{-6} * 0,05 * 12 = 5,4 * 10^{-6}$$

Deze bijdrage kan verwaarloosd worden. Voor cadmium is deze blootstellingsweg niet relevant.



#### 7.5.4 Consumptie van vis

Het betreft hier de overdracht via de consumptie van vis afkomstig uit oppervlaktewater dat bijvoorbeeld door afstroming in relatie staat met de gecontamineerde bodem. In overeenstemming met de benadering van de EPA (39) kan de berekening gebaseerd worden op de instelling van een evenwicht tussen de concentraties in de bodem, het grondwater, het oppervlaktewater en de vissen. Reëel inschatbare verliezen onderweg zouden evenals bij de berekening van de opname via drinkwater in rekening gebracht kunnen worden. In dat geval zou het begrip "steady state" concentratie van toepassing zijn.

Om de bijdragefactor voor deze opnameweg te kunnen bepalen moet de grootte van de visconsumptie worden vastgesteld. Het Nederlandse standaardpakket noemt voor de rubriek vis en schaaldieren 14 g. Daar in Nederland weinig zoetwatervis wordt gegeten bestaat deze rubriek grotendeels uit zeevis. Daar uiteindelijk ook het (kustnabije) zeewater bedreigd wordt lijkt het juist voor deze berekening de totale consumptie van 14 g aan te houden. De voor zoete en zoute wateren aan te houden verhoudingsfactor bodem-water behoeft dan evenwel nadere aandacht. De bijdrage aan de totale opname en de bijdragefactor zijn:

$$X_5 = a_5 * Y \text{ en:}$$

$$a_5 = (\text{verhoudingsfactor bodem-water}) * (\text{correctiefactor}) * (\text{verhoudingsfactor water-vis}) * (\text{visconsumptie/pers. dag})$$

Bij sterk lipofiele stoffen kan deze bijdrage groter zijn dan die via het drinkwater.

#### 7.5.5 Opname met ademlucht

De overdracht van organische verbindingen in de dampfase naar de lucht in woonhuizen wordt sterk beïnvloed door ventilatieverduunningen (ventilatievoud) in de ruimtes onder de huizen en in het bewoonde gedeelte. Er bestaan hierover enkele meetgegevens. De bijdrage langs deze weg aan de totale opname en de bijdragefactor zijn:

$$X_6 = a_6 * Y \text{ en}$$

$$a_6 = (\text{verhoudingsfactor bodem-(water)-lucht}) * (\text{verduunningsfactor}) * (\text{ademvolume})$$

Het verdient vermelding dat de bijdrage van vluchtige stoffen, zoals oplosmiddelen, vanuit een verontreinigde bodem naar de erboven gelegen huizen als regel in het niet valt bij de daar reeds aanwezige concentraties van deze stoffen afkomstig uit verf, stofferings, meubilair en andere voorwerpen. Dit betekent dat deze weg alleen in speciale gevallen aandacht verdient. In die gevallen zal nagegaan moeten worden of en hoe de opname van de stof langs inhalatoire weg opgeteld kan worden bij die langs de orale weg (zie hierover het advies van de Gezondheidsraad).

**Voorbeeldberekening optelling, Cadmium**

Het totaal der bijdragefactoren bedraagt:

bijdragefactor	$a_1 = 0,0010$
"	$a_2 = 0,0040$
"	$a_3 = 0,0439$
"	$a_4 = 0,0411$
"	$a_5 = 0,0002$
"	$a_6 = \underline{0,0}$

totale bijdragefactor  $a_t = 0,090$

De aanvaardbare opname voor cadmium bedraagt volgens de WHO 0,4 - 0,5 mg/week, dat is 0,064 mg/pers./dag. Voor kinderen zou een lagere waarde moeten worden aangehouden. In verband met de bijdrage aan de opname langs andere wegen (roken levert bijvoorbeeld gemiddeld 40% van de totale opname, zie lit. 40) wordt gerekend met 50% van de ADI voor de bijdrage van de bodem, dus 0,032 mg/pers./dag. Deze proefberekening resulteert in een "advieswaarde" (aspect volksgezondheid) voor de bodemconcentratie van:

$$Y_g = 0,032/0,09 = 0,36 \text{ mg/kg grond}$$

Een onzekerheidsmarge kan niet gegeven worden daar de mate van betrouwbaarheid van de gebruikte informatie en de gevolgde benaderingen niet bekend is. Bij een onzekerheidsfactor 2 zouden de grenzen afgerond 0,2 en 0,7 mg/kg grond bedragen. Deze waarde stemt qua grootte-orde overeen met de voor een zandbodem voorgestelde referentiewaarden van 0,3 mg/kg grond.

## 7.6 Optelling van afzonderlijke opnamen

Door optelling van de opnamen langs de verschillende wegen verkrijgt men voor een gegeven bodemconcentratie de ermee corresponderende totale opname van de stof vanuit de bodem  $X_t$ .

$$X_t = a_t * Y \quad \text{en:}$$

$$a_t = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

De factor  $a_t$  vormt de som van de bijdragefactoren voor de verschillende opnamewegen. Wanneer als waarde voor  $Y$  de voorgestelde referentiewaarde wordt aangehouden kan de daarmee corresponderende totale opname berekend worden en vergeleken worden met de toxiciteitsgegevens voor de betreffende stof. Evenzeer kan voor een gegeven bovengrens voor de totale opname de daarmee corresponderende grenswaarde voor het stofgehalte in de bodem bepaald worden.

Als de totale opname van een stof in de bodem beperkt moet worden tot een grens  $X_g$  die bijvoorbeeld overeenkomt met de ADI of een nader vastgesteld deel van de ADI (zie onder), dan wordt:

$$Y_g = X_g / a_t \quad \text{of:}$$

$$\frac{1}{Y_g} = \frac{a_1}{X_g} + \frac{a_2}{X_g} + \dots = \frac{1}{Y_{g1}} + \frac{1}{Y_{g2}} + \dots$$

Hierin is  $Y_g$  de berekende bodemconcentratie die met de afgesproken opnamegrens overeenkomt. Deze concentratie vormt een uit oogpunt van de volksgezondheid te stellen advieswaarde voor de kwaliteit van de bodem die, wat dit aspect betreft, nog als multifunctioneel beschouwd mag worden. Uit de bovengegeven reciproke vorm van de vergelijking, welke door Rosenblatt gehanteerd wordt, blijkt het verband tussen de, in een consistent systeem van normstelling, te stellen advieswaarden voor de bodemconcentratie uit oogpunt van de afzonderlijke opnamewegen. Het verband herinnert aan de berekening van de totale elektrische weerstand van een aantal parallel geplaatste weerstanden.

De term advieswaarde wordt hier gebruikt zoals bedoeld in het "Advies inzake normstelling" van de Gezondheidsraad. De advieswaarde is de eerste stap in het proces van de normstelling. Zij berust uitsluitend op toxiciteitsgegevens, en/of milieuchemische gegevens, veiligheidsfactoren en dergelijke. De tweede stap is de eigenlijke vaststelling van de norm die op grond van beleidsoverwegingen in positieve of negatieve zin van de advieswaarde kan afwijken. De eerste stap zal in het algemeen tot de taak van wetenschappelijke adviescolleges behoren, de tweede heeft het karakter van een politieke beslissing, waarbij bijvoorbeeld aspecten van maatschappelijke acceptatie kunnen zijn betrokken.

**Voorbeeldberekening optelling, Dieldrin**

Het totaal der bijdragefactoren bedraagt:

bijdragefactor	$a_1 = 0,0010$
"	$a_2 = 0,0012$
"	$a_3 = 0,0152$
"	$a_4 = 0,0498$
"	$a_5 = 0,0252$
"	$a_6 = \underline{0,0}$

totale bijdragefactor  $a_t = 0,092$

Er is eerder op gewezen dat de bijdragefactor  $a_5$  (visconsumptie) overschat is. Wanneer deze opnameweg verwaarloosd wordt bedraagt de totale bijdragefactor ca. 0,07.

De ADI voor dieldrin bedraagt 0,0001 mg/kg lichaamsgewicht/dag. Er wordt van uitgegaan dat voor dieldrin de volledige ADI voor rekening van de bodem mag komen daar er thans in Nederland buiten de directe omgeving van Pernis geen andere bronnen meer voorkomen. Uitgaande van een lichaamsgewicht van 65 kg resulteert de proefberekening in een "advieswaarde" (aspect volksgezondheid) voor de bodemconcentratie van:

$$Y_g = 0,0065/0.092 = 0,07 \text{ mg/kg grond}$$

Ook voor dieldrin kan geen onzekerheidsmarge gegeven worden. Voor een onzekerheidsfactor 2 bedragen de grenswaarden 0,035 en 0,14 mg/kg grond. De voorgestelde referentiewaarde voor een zandbodem bedraagt 0,005 mg/kg grond.

De afstemming van de advieswaarde voor de bodemconcentraties op de ADI van de stof ligt voor de hand. Men moet er echter rekening mee houden dat de stof ook langs geheel andere wegen de mens kan bereiken, bijvoorbeeld door de blootstelling tijdens de arbeid, de aanwezigheid van vele vluchtige verbindingen in de binnenhuislucht afkomstig van verf en stoffering, bij het gebruik van tabak, de verontreiniging van voedingsmiddelen die vóór (residu's van bestrijdingsmiddelen) en na de oogst plaats vindt enz.. In verband met het huidige streven naar een integrale normstelling is het dus niet juist te rekenen op een volledige "beschikbaarheid" van een ADI voor de bodem. Hoe met andere exposities rekening moet worden gehouden zal van stof tot stof verschillen. Een verdeling op basis van 90% voor de voeding, 9% voor de lucht en 1% voor het drinkwater is niet ongebruikelijk maar sluit niet aan op een verdeling tussen bodem en andere bronnen. Een nadere gedachtenvorming over dit aspect is wenselijk.

Als er geen ADI is vastgesteld, dan zal een benaderde waarde hiervan moeten worden berekend, uitgaande van de toxiciteitsgegevens, met gebruik van een passende veiligheidsfactor. In het voornoemde advies van de Gezondheidsraad wordt hierop uitgebreid ingegaan. Het gebruik van de MAC-waarde levert moeilijkheden op, ondermeer omdat deze betrekking heeft op de opname via de ademhaling en beperkt is tot een selecte groep van gezonde werknemers gedurende alleen de arbeidstijd. De berekende dagelijkse dosis als product van concentratie en ademvolume is in veel gevallen niet bruikbaar voor de bepaling van een gelijkwaardige orale dosis. Ook deze problematiek heeft aandacht gekregen in het advies van de Gezondheidsraad.

#### 7.7 Onzekerheden en fouten

De berekening berust op metingen met een beperkte geldigheid door de variaties in bodemtype, soorten gewas en onzekerheden bij de extrapolaties. Er bestaat ook onzekerheid over de juiste waarde voor verdelingscoëfficiënten, oplosbaarheden enz. en bovendien zijn er de onvermijdelijke meetfouten. Tenslotte kan de beoordeling gericht worden op de belasting van een "gemiddelde" persoon, of juist op specifieke risicogroepen als kinderen, volkstuin-bezitters etc.. De berekende advieswaarde voor de stof in de bodem zal dus te groot of te klein kunnen zijn en dit kan zichtbaar gemaakt worden door het aangeven van grenzen met behulp van een onzekerheidsfactor. De grootte van deze factor zal van stof tot stof verschillen en is moeilijk te bepalen. Het verdient aanbeveling om de variatie-grenzen in de advieswaarden tot uitdrukking te brengen in één, bij gebrek aan beter, geschatte onzekerheidsfactor. De verhouding tussen de afzonderlijke bijdragefactoren geeft een waardevol inzicht in het relatieve belang van de verschillende opnamewegen. Door de onzekerheidsmarge per onderdeel van de berekening te expliciteren kan inzicht verkregen worden in het relatieve belang van de verschillende factoren alsmede van leemten in kennis voor de beoordeling van risico's van een zekere bodemkwaliteit voor de volksgezondheid.

#### 7.8 Beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden

De commissie geeft in overweging de beschreven benaderingswijze toe te passen op die stoffen waarvoor gezondheidkundige effecten mogelijk maatgevend kunnen zijn voor effect-georiënteerde grenswaarden voor de bodemkwaliteit. Langs deze weg kunnen de voorgestelde referentiewaarden beoordeeld worden uit het oogpunt van risico's voor de volksgezondheid. Een beoordeling van de referentiewaarden is nu slechts zeer globaal mogelijk. De commissie meent dat de gezondheidkundige risico's die verbonden zijn aan een kwaliteit van de bodem en het grondwater als beschreven met de referentiewaarden klein te achten zijn, en dat er derhalve vooreerst geen aanleiding is om in dit verband lagere referentiewaarden voor te stellen.

## 8. Normstelling en landbouw

Uit oogpunt van landbouwkundige vormen van bodemgebruik kunnen randvoorwaarden aan stofgehalten in de bodem gesteld worden ter voorkoming van opbrengst-reductie (m.b.t. plantaardige zowel als dierlijke producten), alsmede om redenen van volksgezondheidskundige aard. Beide factoren zijn beschouwd in het rapport van de Landbouw Advies Commissie Milieukritische Stoffen (LAC) waarin voor een aantal stoffen zgn. signaalwaarden voor stofgehalten in de bodem beschreven worden (37). De commissie acht dit rapport van bijzonder belang. Zij is zich bewust van de kanttekeningen die in het LAC-rapport zijn opgenomen met betrekking tot de betekenis van de daarin gegeven signaalwaarden, en onderschrijft de in de verantwoording opgenomen waarschuwing tegen het foutief interpreteren van de signaalwaarden wanneer de noodzaak om maatregelen te nemen beoordeeld moet worden.

De commissie heeft in voorgaande hoofdstukken reeds gewezen op het feit dat de problematiek van het beoordelen van de betekenis van een overschrijding van referentiewaarden, en van de noodzaak maatregelen te nemen ter voorkoming daarvan of ten behoeve van het herstellen van de gewenste situatie, van een andere orde is dan die van het vaststellen van de referentiewaarden (niet: grenswaarden in de zin van het IMP-M) als zodanig. In dit licht bezien acht de commissie de signaalwaarden een goede basis om de voorgestelde referentiewaarden te beoordelen uit oogpunt van landbouwkundige effecten.

In tabel 10 zijn de voorgestelde referentiewaarden voor de drie voorbeeldsgewijs onderscheiden bodemtypen weergegeven naast de kleinste signaalwaarde per stof volgens het LAC-rapport (voor uiteenlopende vormen van landbouwkundig bodemgebruik zijn de signaalwaarden afzonderlijk gespecificeerd). Bij de signaalwaarde is aangegeven of deze samenhangt met een mogelijk productieverlies dan wel met mogelijke effecten van gezondheidskundige aard. In hoofdstuk 5 is ingegaan op de differentiatie van de referentiewaarden naar het organische stofgehalte. Voor zover de beschreven wijziging resulteert in referentiewaarden die belangrijk afwijken van de waarden volgens de discussienotitie (verschil > 20%) zijn deze gewijzigde waarden tussen haakjes in de tabel opgenomen (zie ook tabel 4).

stof	kleinste signaalwaarde			voorgestelde referentiewaarde		
	zand/dalgrond	klei/veengrond	overweging (1)	zand	klei	veen
Cd	0,5	1,0	consumptie	0,3	1,2	3 (0,9)
Cu	30	30	opbrengst	10 (16)	40	100 (32)
Pb	100	150	consumptie, opbrengst	33	133 (104)	330 (70)
Hg	2	2	consumptie	0,1	0,4 (0,3)	1 (0,2)
Zn	100	350	opbrengst	60	240 (192)	600 (129)
$\beta$ -HCH (2)	15	-	consumptie	5	5	60
drin's	80	-	consumptie	5	5	60
pcb's (3)	200 - 4800	-	consumptie	5	5	60

(1) consumptie overweging volksgezondheid, opbrengst overweging derving gewasopbrengst, groei en gezondheid vee etc.

(2) signaalwaarde afhankelijk te stellen van org stofgehalte

(3) signaalwaarde afhankelijk van het beschouwde type pcb

**Tabel 10** Voorgestelde referentiewaarden en kleinste signaalwaarden voor stofgehalten in landbouwgronden volgens de LAC (gehalten zware metalen in mg/kg grond; gehalten org. verbindingen in  $\mu$ g/kg grond)

Uit de tabel blijkt dat de voorgestelde referentiewaarden voor de beschouwde zware metalen voor zandbodems iets beneden, voor kleibodems op globaal hetzelfde niveau, en voor veenbodems beduidend boven de (kleinste) signaalwaarden liggen. Voor kwik zijn de voorgestelde referentiewaarden voor alle bodemtypen lager dan de signaalwaarde, en de referentiewaarde voor deze stof zouden, gezien uitsluitend uit oogpunt van landbouwkundige effecten, verhoogd kunnen worden. De betekenis van overschrijding van de (kleinste) signaalwaarde door de voorgestelde referentiewaarde voor bodems met een hoog gehalte organische stof kan niet goed worden beoordeeld. De benodigde kennis om tot een oordeel te komen ontbreekt vooralsnog, hetgeen ook mag blijken uit het niet nader gemaakte onderscheid tussen de signaalwaarden voor klei- en veenbodems. Behoudens voor koper kan geen éénduidig verband gelegd worden tussen het organische stofgehalte van de bodem en de opname door planten (en dieren), en het verdient aanbeveling ook uit oogpunt van landbouwkundig bodemgebruik de referentiewaarden voor gehalten zware metalen in veenbodems te verlagen. Een mogelijke, gewijzigde vorm van differentiatie naar het organische stofgehalte die hierin voorziet is eerder besproken. Voor de niet in het LAC-rapport besproken zware metalen (Ni, Cr) en arseen vindt de commissie geen aanleiding om, uit oogpunt van landbouwkundig bodemgebruik, (grens)waarden voor gehalten in de bodem te hanteren die in belangrijke mate afwijken van de in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden, met inachtneming van de voornoemde verlaging van gehalten voor veenbodems.



Voor de organische verbindingen is een beoordeling van de voorgestelde referentiewaarden uit oogpunt van landbouwkundig bodemgebruik slechts beperkt mogelijk. In algemene zin zullen stofgehalten in de bodem vooral om redenen van de volksgezondheid begrensd moeten worden. De in dat verband aanvaardbare gehalten lopen voor de verschillende individuele verbindingen sterk uiteen, en kunnen niet zinvol gegeven worden voor de groepen verbindingen zoals die in de discussienotitie onderscheiden worden. Voor een aantal van de verbindingen is de opname uit de bodem door planten van ondergeschikt belang in vergelijking met andere wegen van contaminatie (atmosferische depositie, uitwendige contaminatie met bestrijdingsmiddelen etc.).

Voor de polycyclische koolwaterstoffen zijn de voorgestelde referentiewaarden uit oogpunt van effecten voor en via landbouwkundig bodemgebruik laag te achten. De opname van PAK's door gewassen is nog weinig onderzocht, maar van benzo(a)pyreen is bijvoorbeeld bekend dat bij gehalten beneden 1000 ug/kg grond nauwelijks opname via de wortel plaats vindt. Om een onderbouwde uitspraak te kunnen doen zal de beschikbare informatie evenwel zorgvuldig geëvalueerd moeten worden.

Een mogelijk te volgen benaderingswijze om inzicht te verkrijgen in de grootte van aanvaardbare gehalten is in het vorige hoofdstuk beschreven. De benadering betreft uitsluitend het aspect volksgezondheid, en niet het aspect opbrengstderving. Het resultaat van de uitgevoerde proefberekening voor cadmium en dieldrin stemt goed overeen met de signaalwaarden van deze stoffen voor zandgrond (cadmium 0,36 mg/kg, dieldrin 70 µg/kg) en vermoed mag worden dat dezelfde benadering (ondermeer) gevolgd is voor het afleiden van de signaalwaarden.

Wat betreft de macro-constituenten zijn bij gehalten volgens de voorgestelde referentiewaarden geen effecten voor landbouwkundige vormen van bodemgebruik te voorzien.

Tenslotte wijst de commissie er nogmaals op dat een min of meer uniforme beschrijving van de relatie tussen stofgehalten in de bodem en bodemkenmerken als het lutum- en het organische stofgehalte niet zondermeer gevolgd kan worden indien die stofgehalten kritische concentraties beogen aan te geven uit oogpunt van de opname van de stof door planten of uit oogpunt van effecten voor plant, dier of mens die een gevolg zijn van die opname. Dit geldt voor het beschrijven van kritische stofgehalten (grenswaarden) uit het oogpunt van de mogelijke gevolgen voor het landbouwkundig bodemgebruik, de volksgezondheid en het functioneren alsmede de hoedanigheid van het bodem-ecosysteem. De opname van stoffen door planten is specifiek voor combinaties stof, plant en milieuomstandigheden en afhankelijk van de activiteit van de stof in het bodemvocht, de speciatie, de aanwezigheid van sorberende en complexerende bestanddelen in bodem en bodemvocht, het vermogen van een plant de milieuomstandigheden, en met name de chemie in de rhizosfeer, te beïnvloeden, alsmede de fysiologische respons van de plant op de bloot-

stelling. Uiteraard kan in algemene zin gesteld worden dat factoren als pH, lutumgehalte en organische stofgehalte ook ten aanzien van de opname van stoffen door planten belangrijk zijn. De mate waarin deze factoren de opname van een stof beïnvloeden evenwel is stofspecifiek. Zo vertoont de opname van Zn en Cd een duidelijk verband met het lutumgehalte, maar die van Cr, Cu, Ni en Pb niet. Voor Cu is het gehalte organische stof een overheersende factor, terwijl deze voor andere metalen niet tot nauwelijks een rol speelt en dan soms opname-remmend en soms opname-bevorderend is. Hoewel uniformiteit in het beschrijven van de samenhang tussen referentiewaarden, in de zin van kritische concentraties, en bodemkenmerken praktische voordelen kan bieden, meent de commissie dat dit niet ten koste mag gaan van de juistheid, of beter plausibiliteit, van die samenhang. Om inzicht te verkrijgen in de mogelijkheden te komen tot een zekere mate van uniformiteit in de wijze van differentiatie van met name kritische gehalten zware metalen in de bodem, is nader onderzoek gewenst. De commissie beveelt in dit verband aan de betekenis van de omgevingsfactoren voor de opname van stoffen door planten op grond van de beschikbare kennis nader te evalueren. Dit onderzoek dient in nauwe samenhang te worden uitgevoerd met het beschrijven van de betekenis van diezelfde omgevingsfactoren voor de speciatie van stoffen en de verdeling van stoffen over de vaste en vloeibare bodemfase, zoals voorgesteld in hoofdstuk 5.

## 9. Onderwaterbodems

### 9.1 Inleiding

Het bodembeschermingsbeleid in Nederland heeft behalve op terrestrische (droge) bodems ook betrekking op de bodems van aquatische systemen (onderwaterbodems) en de overgangsvormen tussen beide typen bodems. Als gevolg van de gekozen uitgangspunten zijn de doelstellingen en regelingen voor "de bodem" in het algemeen ook van toepassing op onderwaterbodems. Als gevolg van de vele overgangen die zich tussen "droge" en "natte" bodems kunnen voordoen (inpolymering, baggeren, uiterwaarden, droogvallende vennen etc.), wordt het wenselijk geacht de uitwerking van het bodembeschermingsbeleid zomogelijk uniform te doen zijn voor alle bodems. Men dient zich daarbij evenwel rekenschap te geven van het feit dat terrestrische en aquatische milieus verschillen, naar aard en respons op een beïnvloeding door menselijke activiteiten. Deze verschillen kunnen gedeeltelijk tot uitdrukking gebracht worden door bepaalde factoren te expliciteren, zoals bijvoorbeeld gebeurt voor lutum en organische stof in het geval van de voorgestelde referentiewaarden. De vraag of de kenmerkende verschillen daarmee voldoende tot uitdrukking gebracht kunnen worden dient dan wel uitdrukkelijk aan de orde te worden gesteld.

De commissie werd verzocht haar advies mede te richten op de hoogte van de voor onderwaterbodems voorgestelde advies-streef- en -richtwaarden, in relatie tot mogelijke effecten van stoffen in het aquatische milieu. De commissie kon pas in een laat stadium van de adviesvoorbereiding beschikken over het rapport "Normering onderwaterbodems". Gezien de rol die het voorliggende advies zou kunnen spelen in de beoogde discussie over de technisch-wetenschappelijke aspecten van de problematiek van normstelling voor de bodemkwaliteit, meende de commissie de termijn van de adviesvoorbereiding beperkt te moeten houden. Noch de desbetreffende werkgroep, noch de commissie heeft derhalve uitvoerig kunnen ingaan op het deelaspect onderwaterbodems. De voorlopige bevindingen, voorzien van kanttekeningen, zijn in het navolgende samengevat. De commissie is voornemens het onderwerp nader te behandelen nadat het voorliggende advies is uitgebracht, en zal hierop terugkomen bij gelegenheid van het voorgenomen symposium inzake normstelling voor de bodemkwaliteit.

### 9.2 Achtergrondgehalten van stoffen in onderwaterbodems

Over stofgehalten in onderwaterbodems in Nederland is ten aanzien van de Rijkswateren veel informatie beschikbaar (41). In de niet-Rijkswateren zijn fragmentarisch en incidenteel metingen verricht, en de beschikbare informatie is nog slechts gedeeltelijk geïnventariseerd en geanalyseerd. De onderwaterbodems waarover gegevens voorhanden zijn, zijn in vergelijking met terrestrische bodems

veelal sterk verontreinigd. Een exercitie als voor terrestrische bodems, waarbij achtergrondwaarden voor stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems worden vastgesteld, is voor onderwaterbodems wenselijk maar vermoedelijk slechts gedeeltelijk mogelijk.

#### 9.2.1 Zware metalen

Op basis van analyses van sedimentmonsters uit het verleden, en van recent verzamelde monsters in (vermoedelijk) niet-verontreinigde sedimenten zijn zgn. base-line levels voor gehalten zware metalen in Nederlandse sedimenten voorgesteld (42). Deze stemmen overeen met de in het rapport Normering onderwaterbodems gegeven natuurlijke achtergrondgehalten (bijlage C-1). De base-line levels gelden in feite alleen voor mariene sedimenten, maar worden tevens geacht een goede benadering voor riviersedimenten te zijn. Inzicht in de bruikbaarheid van deze referentiewaarden voor stofgehalten in onderwaterbodems in de niet-Rijkswateren ontbreekt. De voorgestelde referentiewaarden voor zware metalen volgens de discussienotitie Bodemkwaliteit reflecteren een bovengrens voor stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems. De verhouding tussen deze waarden en de gemiddelde gehalten bedraagt voor de standaardbodem een factor 1.5 à 2 (zie hfdst. 5 en bijlage 4). De verhouding tussen de advies-referentiewaarden voor onderwaterbodems, zoals voorgesteld in het rapport Normering onderwaterbodems, en de eerder genoemde base-line levels bedraagt voor de standaardbodem een factor 1 tot 2. De verhouding tussen de in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden en de base-line levels bedraagt een factor 1.5 tot 4. Het verschil is gedeeltelijk terug te voeren op de bijdrage van de (diffuse) antropogene belasting van bodems, die in de referentiewaarden wel, en in de base-line levels niet inbegrepen is. Indien de referentiewaarden voor onderwaterbodems, evenals die voor terrestrische bodems, afgestemd worden op een bovengrens van stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems, en niet op gemiddelde gehalten, kan volstaan worden met één stelsel referentiewaarden. Gezien de betekenis van de referentiewaarden, het voorlopige karakter daarvan, en de onzekerheid ten aanzien van de referentiewaarden voor de niet-Rijkswateren, ondersteunt de commissie het streven naar een uniforme uitwerking van de referentiewaarden voor zowel terrestrische bodems als onderwaterbodems, en beveelt zij aan vooreerst de in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden ook van toepassing te doen zijn op onderwaterbodems.

De commissie maakt daarbij bezwaar tegen de voorgestelde wijze van differentiatie van de referentiewaarden voor zware metalen naar bodemkenmerken, zoals eerder voor de referentiewaarden van gehalten zware metalen in de (droge) bodem werd uiteengezet. De gehalten metalen in onderwaterbodems, al dan niet verontreinigd, zijn in het algemeen sterk gecorreleerd met de korrelgrootteverdeling van het sediment, die bijvoorbeeld in het lutum- of slibgehalte tot uitdrukking komt. De aard en samenstelling van het oorspronkelijke sediment (het moedermateriaal) is in dit verband

van betekenis, maar wordt overschaduwd door de rol die fijne sedimentdeeltjes vervullen in de wijze waarop metalen "ingevangen" worden uit het bovenstaande water. Als gevolg van de binding van de metalen in de waterfase aan kleideeltjes is de belasting van het sediment min of meer evenredig met de daar aanwezige hoeveelheid (opwervend en weer sedimentierend) fijne bestanddelen, en dit geldt ook voor de gehalten in het sediment. Organische stof speelt in deze slechts incidenteel een rol van betekenis (bijv. voor koper). Het effect van hoge gehalten organische stof op de dichtheid van de bodem, welke in het geval van een oppervlakte-belasting van terrestrische bodems aanleiding geeft tot een (zwakke) differentiatie van referentiewaarden naar organische stofgehalte, is voor onderwaterbodems van ondergeschikt belang. De commissie beveelt derhalve aan de referentiewaarden voor gehalten zware metalen in onderwaterbodems in beginsel alleen afhankelijk te stellen van de korrelgrootteverdeling, c.q. het lutum-gehalte. Zij maakt geen bezwaar tegen het handhaven van een beperkte invloed van het organische stofgehalte op de referentiewaarden, zoals het geval is voor de in hoofdstuk 5 beschreven, gewijzigde, vorm van differentiatie.

Tenslotte wijst de commissie op de discrepantie tussen de voorgestelde vorm van "standaardisatie" van stofgehalten, gebaseerd op het lutumgehalte (fractie  $< 2 \mu\text{m}$ ), en de vorm die van oudsher in het onderzoek van sedimenten gevolgd wordt (fractie  $< 16 \mu\text{m}$ ). In internationaal verband worden de fractiegrenzen  $2 \mu\text{m}$  en  $63 \mu\text{m}$  aangehouden. De fractiegrens van  $2 \mu\text{m}$  is een in de veldbodembodemkunde veel gebruikte en eenvoudig toepasbare maat, en de commissie geeft hieraan de voorkeur. Het hanteren van deze maat voor sedimenten kan evenwel gepaard gaan met een verlies van de, toch al beperkte, beschikbare informatie. Het verdient aanbeveling na te gaan of voor Nederlandse omstandigheden de omrekening van gehalten die zijn gebaseerd op de fractie  $< 16 \mu\text{m}$  naar gehalten die zijn gebaseerd op de fractie  $< 2 \mu\text{m}$  kan plaatsvinden met behulp van (een beperkt aantal) constante omrekeningsfactoren. De keuze van de te gebruiken fractiegrens behoeft in dit verband nadere aandacht, waarbij een viertal overwegingen van belang zijn: (i) de uniformiteit in differentiatie van metaalgehalten in terrestrische en aquatische afzettingen; (ii) de relatie tussen de aan een zekere fractie gebonden hoeveelheid metaal en de totale hoeveelheid resp. de biologisch werkzame hoeveelheid; (iii) het eventueel verloren gaan van beschikbare informatie t.a.v. metaalgehalten in sedimenten; en (iv) de afstemming op nationaal, en met name internationaal, gebruikelijke waarden voor een te gebruiken fractiegrens.

### 9.2.2 Organische verbindingen

Organische verontreinigingen worden bij voorkeur gebonden aan organische stof. De rol die de fijne, minerale bestanddelen spelen bij het invangen van zware metalen uit het bovenstaande oppervlaktewater, vervullen zwevende organische bestanddelen in het geval van organische verbindingen. De commissie ondersteunt het voornemen de referentiewaarden voor de gehalten aan organische verbindingen in onderwaterbodems afhankelijk te doen zijn

van het organische stofgehalte, of, na omrekening het gehalte organisch koolstof. De voorgestelde advies-streefwaarden hebben betrekking op een standaardbodem met een organische stofgehalte van 10%, en zijn voor andere bodems op basis van evenredigheid daaruit af te leiden. De in de discussienotitie voorgestelde referentiewaarden zijn voor de gechloreerde koolwaterstoffen hoger, en voor de polycyclische aromatische koolwaterstoffen lager dan de voorgestelde advies-streefwaarden voor onderwaterbodems. De afstemming tussen beiden verdient nadere aandacht. Het ligt in de rede om als referentiewaarde voor gehalten gechloreerde koolwaterstoffen in onderwaterbodems een waarde van 10 µg/kg aan te houden, zoals voor terrestrische bodems wordt voorgesteld. De consequenties hiervan voor de overige geadviseerde waarden (adviesgrens- en -richtwaarden, gehalten zwevend materiaal) konden in het kader van de voorbereiding van het onderhavige advies niet worden beoordeeld, evenmin als de betekenis van een dergelijk niveau uit oogpunt van de huidige gehalten van deze stoffen in onderwaterbodems van niet-duidelijk verontreinigde oppervlaktewateren, in het bijzonder de niet-Rijkswateren. Hetzelfde geldt voor de referentiewaarde voor gehalten PAK's, waarvoor voor terrestrische bodems een waarde van 25 µg/kg grond wordt voorgesteld. De commissie heeft er eerder op gewezen dat een dergelijke waarde laag is in vergelijking met de nu aangetroffen gehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems. Een nadere evaluatie van het beschikbare gegevensmateriaal zal moeten uitwijzen of dit ook voor onderwaterbodems geldt.

### 9.3 Normstelling uit oogpunt van effecten

#### 9.3.1 Advies-richtwaarden

In het rapport "Normering onderwaterbodems" worden naast advies-referentiewaarden tevens advies-richtwaarden gegeven (de advies-grenswaarden blijven hier buiten beschouwing). Als uitgangspunt voor het vaststellen van deze waarden is een situatie gekozen waarin geen onaanvaardbare effecten van de te normeren stoffen waarneembaar zijn. Gesteld wordt dat, met de beperkte kennis die hierover aanwezig is, voor het zoete aquatische milieu het IJsselmeer aan dit criterium voldoet. Er wordt onderkend dat er sprake is van een aantoonbare belasting van het IJsselmeer, maar "ten aanzien van het functioneren van het ecosysteem zijn geen gegevens bekend die wijzen op schadelijke effecten in de vorm van beïnvloeding van populaties van organismen die in of van het gebied leven. Evenmin worden toelaatbare niveaus van zware metalen of organische microverontreinigingen in consumptiedieren (zoals baars, snoekbaars en aal) in dit gebied overschreden". De voorgestelde advies-richtwaarden stemmen overeen met de huidige stofgehalten in IJsselmeersediment.

De richtwaarden beogen een kwaliteitsniveau te omschrijven dat, gelegen tussen de grenswaarden en streefwaarden, maatschappelijk gezien op middellange termijn (b.v. 15 - 20 jaar) acceptabel wordt geacht en dat als richtpunt kan dienen voor het verder terugdringen van de belasting van oppervlaktewateren. Dit niveau wordt gemotiveerd in termen van de maatschappelijke aanvaardbaarheid (haalbaarheid?). Uit het rapport blijkt niet of in de beoordeling naast milieuhygiënische ook andersoortige overwegingen een rol spelen. Voor de getalsmatige invulling van de richtwaarden worden uitsluitend milieuhygiënische motieven aangevoerd. Het aangehouden criterium, "geen onaanvaardbare effecten", lijkt overigens sterk op één der criteria waar op de referentiewaarden gestoeld zijn: "geen ongewenste effecten". Het al dan niet aanvaardbaar zijn van een op zich ongewenst effect dient beoordeeld te worden op grond van de aard en intensiteit van het effect én van de maatschappelijke kosten die ter voorkoming van het effect gemaakt dienen te worden. De commissie meent dan ook dat richtwaarden, evenals grenswaarden, uit de afweging van beide factoren dienen te volgen, en beschouwt de onderbouwing zoals die in het rapport gegeven is als onjuist en ongewenst.

De gehalten van stoffen in het IJsselmeersediment kunnen niet gezien worden als achtergrondwaarden voor stofgehalten in niet-duidelijk verontreinigde onderwaterbodems. Men kan zich evenwel afvragen of deze gehalten gezien kunnen worden als stofgehalten waarbij de bodem nog multifunctioneel geacht kan worden, dus zodanig dat er geen sprake is van een nadelige en onherstelbare beïnvloeding, noch uit oogpunt van gebruiksvormen, noch uit oogpunt van het functioneren van het bodem-ecosysteem. In de context van terrestrische systemen, waarvan na drooglegging of baggeren en het op land storten van baggerspecie sprake kan zijn, is dit niet het geval. Hiervoor zij verwezen naar de hoofdstukken 6 en 8. De eerder geciteerde passage uit het rapport over het afwezig zijn van (gegevens over) schadelijke effecten wekt de suggestie dat de vraag in de context van aquatische ecosystemen bevestigend beantwoord zou kunnen worden. De commissie wijst nogmaals met nadruk op het gevaar van omkering: het niet aangetoond zijn van effecten betekent niet dat deze afwezig zijn. In dit verband is het illustratief de huidige sedimentkwaliteit in de (westelijke) Waddenzee en in het IJsselmeer te vergelijken. De gehalten kwik, lood en koper zijn voor het IJsselmeer ca. 2 x hoger, voor zink meer dan 3 x, en voor cadmium ca. 5 x hoger dan voor de Waddenzee, terwijl er - terecht - zorg bestaat voor de ecologische gevolgen van de kwaliteit van water en sediment in de Waddenzee, ook ten aanzien van de zware metalen. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen onder welke omstandigheden en in welke mate toxische stoffen uit het sediment door biota worden opgenomen, in de voedselketen accumuleren, en op korte of lange termijn resulteren in veranderingen in het ecosysteem. Op dit moment is de kennis onvoldoende om onderbouwd uitspraken te doen over de samenhang tussen deze stofgehalten en effecten.

### 9.3.2 Chemische en biologische methoden voor normstelling

In veldsituaties zijn in een aantal gevallen effecten waargenomen die gerelateerd konden worden aan de aanwezigheid van bepaalde contaminanten. Ernstige effecten hebben vrijwel steeds betrekking op toppredatoren (vogels en zeehonden). Uit onderzoeksresultaten wordt afgeleid dat de concentraties van verontreinigingen in het voedsel van deze dieren bepalend zijn voor het optreden van effecten. Dit betekent tevens dat de concentraties in voedseldieren een sleutelfactor kunnen vormen voor het ontstaan van effecten, en dat deze als uitgangspunt kunnen dienen voor een normering die gericht is op het voorkomen van die effecten (43, zie tevens hoofdstuk 6 en bijlage 5). De bedoelde normering kan vergeleken worden met het vaststellen van kwaliteitseisen voor voedingsmiddelen op grond van een nog aanvaardbaar te achten opname door de mens, en staat naast een normering van gehalten van (persistente en accumulerende) toxicanten in organismen die bestemd zijn voor menselijke consumptie.

Voor onderwaterbodems zijn tot nu toe de chemische mogelijkheden voor het bepalen van de beschikbaarheid van toxische stoffen voor de biota beperkt, en verkrijgt het gebruik van biologische methoden (bio-assays) sterk de aandacht. Voor terrestrische bodems is de situatie min of meer omgekeerd. In beide gevallen verdient het aanbeveling beide benaderingswijzen naast elkaar te gebruiken.

De "biologische beschikbaarheid" van contaminanten in sediment wordt gevormd door de fractie van een stof die kan worden opgenomen door levende organismen. Deze grootte kan niet eenduidig gemeten worden: zowel bio-assays als chemische extractiemethoden geven aan wat onder zeer bepaalde omstandigheden opgenomen wordt resp. kan vrijkomen. Dit hangt af van de gehalten in het sediment, het type sediment (gehalten lutum, slib, organische stof, ijzer- en mangaan(hydro)oxyden), de fysische en chemische omstandigheden (pH, redox, kationen, complexerende stoffen), het organisme (soort, conditie, levensstadium, leefwijze), alsmede de wijze en tijdsduur van expositie. Slechts een zeer beperkt deel van deze factoren is als meetbare bodemeigenschap te kwalificeren. De biotische en abiotische factoren interageren dermate subtiel dat voor met name de zware metalen eenvoudige relaties voor de samenhang tussen concentraties van contaminanten in organismen en die in de leefomgeving niet te verwachten zijn.

Voor een aantal organische microverontreinigingen blijkt het goed mogelijk om relaties vast te stellen voor de overgang van deze stoffen van sediment via water naar vissen. De gevonden relaties bieden aanknopingspunten voor de normstelling van onderwaterbodems (44). Voor zware metalen blijkt de bindingsvorm (speciatie) van groot belang. Alleen specifieke fracties van een metaal, vaak slechts promillen en minder van de totale concentratie, blijken opneembaar. De aanwezigheid van dergelijke, bio-



logisch actieve, bindingsvormen kan tot op zekere hoogte als functie van relevante milieuumstandigheden beschreven worden. Een duidelijk verband tussen het voorkomen van bepaalde bindingsvormen en de opname door of gehalten in organismen is nog slechts incidenteel vastgesteld, en beperkt zich tot vergelijkbare organismen in overeenkomstige situaties. Voor de zware metalen is een op effecten gebaseerde normstelling, uitsluitend met behulp van een chemische benaderingswijze, vooreerst nog niet mogelijk (43).

Technieken om de biologische beschikbaarheid van contaminanten met behulp van organismen direct te meten zijn met succes toegepast en blijken soms tot reproduceerbare resultaten te leiden. De bruikbaarheid van tweekleppigen als de driehoeksmossel en het nonnetje is door o.a. TNO aangetoond. Onderzoek naar de bruikbaarheid van planten (zeeaster, zeekraal) en wormen is in uitvoering. De toepassing van deze technieken ten behoeve van het beoordelen van de bodemkwaliteit kan zowel aquatische, semiaquatische (schorren) als terrestrische milieus betreffen. Een voordeel van deze benaderingswijzen is dat inzicht verkregen wordt in de feitelijke biologische beschikbaarheid, en niet de potentiële beschikbaarheid zoals in het geval van de chemische benaderingswijze. Een hieraan verbonden nadeel betreft evenwel het ontbreken van inzicht in de mechanismen die een rol spelen bij de opname, en daarmee het niet zondermeer onderscheidbaar zijn van verschillende opnamewegen (opname van verontreinigingen uit het sediment resp. uit de waterfase). De mate van accumulatie hangt samen met de opname- en uitscheidingsmechanismen en de compartimentering van metalen in dieren. De opnamecapaciteit blijkt voor verschillende diersoorten zeer sterk te verschillen. De factoren die de opname reguleren hangen samen met de voedingsfysiologie en daarbij speelt de plaats van een soort in de voedselketen geen doorslaggevende rol (24). Een bijkomend nadeel vormt het probleem van de interpretatie van de bevindingen uit oogpunt van het brongerichte beleid. De vertaling van een geconstateerde (te grote) opname door de basale componenten van het ecosysteem in een te bewerkstelligen verbetering van de milieukwaliteit en de daarvoor benodigde reductie van de belasting van het systeem, is niet zonder meer mogelijk. Ten behoeve van het vaststellen van normen voor stofgehalten in het milieu die mede gebaseerd zijn op de te voorkómen effecten zullen beide benaderingswijzen dan ook naast elkaar verder tot ontwikkeling gebracht moeten worden.

## 10. Herstel

### 10.1 Herstel van abiotische milieufactoren

#### 10.1.1 Natuurlijke herstelprocessen

Aan het herstel van bodems waarvan de kwaliteit niet aan een beoogd niveau voldoet, bijvoorbeeld gegeven door de referentiewaarden, dragen verschillende processen bij. Die processen resulteren in een afname van de concentratie van een stof in de bodem door afbraak of omzetting (micro-biologische processen en incidenteel ook chemische processen), door verdunning (convectief en diffusief transport), of door de overgang naar andere milieucompartmenten (vervluchtiging, opname door planten, uitspoeling). Alleen in het eerste geval neemt de totale hoeveelheid van de stof af, maar de daarbij gevormde intermediairen zijn soms niet minder schadelijk dan de oorspronkelijke verbindingen. De mate waarin en de snelheid waarmee een bepaald proces verloopt is afhankelijk van de aard en concentratie van de betrokken stof, en de milieu-omstandigheden, waaronder begrepen het aanwezig zijn van bepaalde micro-organismen, planten etc.. Door gerichte (beheers)maatregelen kunnen de laatste worden beïnvloed met als doel de processen versneld te doen verlopen. In-situ saneringsmethoden zijn hiervan uitgesproken voorbeelden. Door immobilisatie, precipitatie etc. kan de invloed van een stof op bodemfuncties dermate beperkt worden dat er sprake is van het herstel van een multifunctionele bodem (onder de heersende specifieke omstandigheden). Deze vorm van herstel kan evenwel niet afgemeten worden aan een maatstaf die door stofgehalten in de bodem gegeven wordt.

#### Biologische afbraak en omzetting

Deze categorie processen is van belang voor de organische microverontreinigingen en enkele van de macro-constituenten. De biodegradatie van organische microverontreinigingen is voornamelijk onderzocht in het kader van onderzoek naar het gedrag van bestrijdingsmiddelen en, meer recent, onderzoek naar biotechnologische bodemsaneringstechnieken. In beginsel zijn vrijwel alle organische verbindingen afbreekbaar. De afbraaksnelheid hangt af van de eigenschappen van de stof, waaronder begrepen de verdeling over de vaste en vloeibare bodemfase. Verbindingen die aan de vaste bestanddelen van de bodem zijn geadsorbeerd zijn in het algemeen minder beschikbaar voor biodegradatie. De aanwezigheid van chlooratomen in een verbinding zal in het algemeen een stof eveneens moeilijker afbreekbaar maken. Dit zijn juist die stoffen welke in de discussienotitie genoemd zijn. Daarnaast zijn de milieuomstandigheden van groot belang. Deze bepalen welke groepen micro-organismen actief zijn en de snelheid waarmee omzettingen verlopen. De onder laboratoriumomstandigheden waargenomen afbraaksnelheden blijken onder veldomstandigheden aanmerkelijk kleiner, soms evenwel groter, te zijn. Ook ten aanzien van de afbraak van organische verbindingen kan sprake zijn van een synergisme: de afbraaksnelheid

van organische (gechloreerde) verontreinigingen kan afnemen door de aanwezigheid van zware metalen! Een aantal limiterende factoren kunnen met behulp van maatregelen beïnvloed worden (tabel 11), gedeeltelijk ook in veldomstandigheden (45).

parameters	maatregelen
zuurstof nutriënten microbiol.activiteit	beluchten, ploegen, nitraattoediening bemesten toevoegen van actief slib, geadapteerde grond of laboratorium-cultures
temperatuur vochtgehalte pH	verwarmen draineren, irrigeren toevoegen van kalk etc.

**Tabel 11** Mogelijke maatregelen ter bevordering van microbiologische afbraak van organische verbindingen

Tabel 12 geeft een indruk van de groepen verbindingen die als relatief goed en slecht afbreekbaar worden aangemerkt (45).

"makkelijk" afbreekbaar	"moeilijk" afbreekbaar
<ul style="list-style-type: none"> <li>- alifatische koolwaterstoffen</li> <li>- aromatische koolwaterstoffen, waaronder o.a. benzeen, toluen, en, xyleen</li> <li>- gesubstitueerde benzenen</li> <li>- enkele industriële bulkchemicaliën zoals o.a. fenol, naftaleen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gechloreerde oplosmiddelen</li> <li>- chloorfenolen en sommige chloorbenzenen</li> <li>- lindaan en isomeren</li> <li>- drins</li> <li>- polycyclische aromaten</li> </ul>

**Tabel 12** Microbiologische afbreekbaarheid van verschillende verontreinigingen

Gechloreerde alifatische verbindingen worden onder aerobe omstandigheden slecht afgebroken. Mits in hoge concentratie aanwezig vindt afbraak plaats, maar bij lagere concentraties is de beschikbaarheid als substraat beperkt (adsorptie). Onder anaërobe condities vindt ook afbraak bij lage concentraties plaats. De meeste aromatische verbindingen worden alleen onder aerobe condities afgebroken (46). De halfwaarde-tijd (halvering van de initiële concentratie) onder laboratoriumomstandigheden voor de afbraak van organische microverontreinigingen varieert van één à enkele maanden tot een jaar (47, 48). Gehalten ter grootte van de referentiewaarden worden in het algemeen niet bereikt. Onder veldomstandigheden dient rekening gehouden te

worden met aanzienlijk grotere halfwaarde-tijden en met rest-concentraties die boven de referentiewaarden liggen. De hardnekkige, wereldwijde aanwezigheid van DDT in het milieu vormt in deze een treffende illustratie. De experimenten betreffen veelal saneringssituaties, dus hoge initiële concentraties. Landbouwkundig onderzoek naar het gedrag van bestrijdingsmiddelen richt zich veelal op lagere concentratie-ranges, maar is naar de aard van de onderzochte stoffen beperkt (49). Door de introductie van goed-afbreekbare bestrijdingsmiddelen zijn recent verkregen gegevens minder bruikbaar voor het schatten van afbraaksnelheden van persistente organische microverontreinigingen. Het onderzoek van de biodegradatie van organische microverontreinigingen, onder laboratorium- en veldomstandigheden, dient met kracht te worden voortgezet.

### Vervluchtiging

Deze categorie processen is van belang voor een beperkt deel van de organische microverontreinigingen en voor  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Vervluchtiging speelt een rol voor vluchtige verbindingen die op het bodemoppervlak aanwezig zijn. Klimatologische factoren en fysisch-chemische eigenschappen van de stof zowel als van de bodem bepalen de mate waarin en snelheid waarmee het proces verloopt. Deze beide grootheden zijn nog slecht inschatbaar of voorspelbaar. In het algemeen is dit proces uit oogpunt van herstel van ondergeschikt belang voor zover betrokken op de in de discussienotitie genoemde organische verbindingen, met uitzondering van de vluchtige componenten van minerale olie.

### Uitspoeling

De mate van uitspoeling van stoffen uit de (bovenste laag van de) bodem wordt in belangrijke mate bepaald door de verdeling van de stoffen over de vaste en vloeibare bodemfase. Deze hangt samen met de aard van de stof, bodemkenmerken en de milieu-omstandigheden ter plaatse. Daarnaast is uiteraard het vochttransport van belang. Het bevorderen van uitspoeling om een versneld herstel van de bodemkwaliteit te bewerkstelligen is, in theorie, mogelijk. Daarbij zij opgemerkt dat uitspoeling naar het grondwater veelal niet als wezenlijk herstelproces gezien mag worden, daar ook het behoud van een gewenste grondwaterkwaliteit een belangrijk onderdeel van het bodembeschermingsbeleid vormt.

De mobiliteit van zware metalen wordt bepaald door redoxpotentiaal, pH, en de aanwezigheid van bindingsplaatsen, met name kleideeltjes, ijzer- en magneet(hydr)oxyden en organische stof. De binding aan (complexvorming met) organische stof kan de mobiliteit zowel verhogen, bijvoorbeeld in het geval van opgeloste organische stof, als verlagen. Ook kan complexvorming met anorganische anionen plaatsvinden, zoals met chloride in brakke milieus, waardoor de mobiliteit toeneemt. Onder veldomstandigheden, in terrestrische zowel als aquatische systemen, is de mobiliteit van de meeste zware metalen zeer beperkt. Uit de verhouding tussen de waargenomen gehalten van zware metalen in de vaste en vloeibare bodemfase volgt een grootte-orde voor

de halfwaardetijd van enkele honderden jaren, betrokken op het uitloggen van de bovenste 20 cm bodem bij een neerslag-overschot van 300 mm/jaar. Gegeven het niveau van de atmosferische depositie van zware metalen in Nederland kan gesteld worden dat uitloging voor deze groep verontreinigingen uit oogpunt van het herstel van de bodemkwaliteit, binnen wat nog een redelijke termijn genoemd kan worden, geen rol van betekenis speelt.

Ten aanzien van de organische verbindingen kan gesteld worden dat uitspoeling met name voor de minder lipofiele verbindingen een rol van betekenis speelt. De in de discussienotitie genoemde stoffen zijn juist op deze eigenschap geselecteerd, en de uitspoeling is derhalve voor die verbindingen van ondergeschikt belang uit oogpunt van herstel.

Wat betreft de macro-constituenten kunnen nitraat, sulfaat en halogeen-ionen als mobiel worden aangemerkt. Voor fosfaat, dat tot het verzadigingspunt vrijwel volledig wordt vastgelegd, en ammonium-stikstof, dat weinig mobiel is, is uitspoeling uit oogpunt van herstel minder relevant.

#### **Opname door planten**

De opname uit de bodem van voedingsstoffen, spore-elementen en organische verbindingen door planten kan bijdragen aan het herstel van de bodemkwaliteit tot een gewenst niveau. Een voorwaarde is dat het plantenmateriaal verwijderd wordt, en dat de onttrokken stoffen niet indirect, bijvoorbeeld met mest, weer teruggevoerd worden. Voor de zware metalen zijn gegevens beschikbaar over de onttrekking door (landbouw)gewassen (zie o.a. 11.). De tijd die benodigd is een gehalte in de bodem van twee maal de referentiewaarde (voor zand) terug te brengen tot de referentiewaarde, varieert in het gunstigste geval van één à enkele honderden jaren tot meer dan 1000 jaar. Evenmin als uitloging vormt de opname door planten een weg waarlangs het herstel van de bodemkwaliteit met betrekking tot zware metalen binnen een redelijk te achten termijn mogelijk is.

Voor enkele van de macro-constituenten biedt deze weg meer perspectief. Met behulp van (snelgroeiende) planten die vervolgens verwijderd worden (maaien, afplaggen) kan het gehalte voedingsstoffen in de bodem op een lager niveau gebracht worden. De betrokken termijnen belopen enkele tot vele tientallen jaren.

Wat betreft de organische verbindingen tenslotte zijn weinig gegevens beschikbaar. Er mag evenwel niet verwacht worden dat, voor de in de discussienotitie genoemde verbindingen, een relatief snelle vermindering van stofgehalten in de bodem zal plaatsvinden als gevolg van de opname van die stoffen door planten.

Samenvattend kan het volgende overzicht gegeven worden van de mogelijkheden voor het herstel van de bodemkwaliteit tot een door de referentiewaarden gegeven niveau, met behulp van natuurlijke processen en binnen een nog redelijk te achten termijn (tabel 13).

proces	zware metalen	macro-constituenten	org.verbindingen (1)
afbraak en omzetting	-	++ N-verb. - overig	-/+
vervluchtiging	-	+ NH <sub>4</sub> -N - overig	-
uitspoeling	-	++ N,Cl,Br SO <sub>4</sub> - P	-
opname door planten	-	+ P,N - overig	-

(1) als genoemd in de discussienotitie Bodemkwaliteit

**Tabel 13** Mogelijkheden tot herstel van de bodemkwaliteit tot het door de referentiewaarden gegeven niveau langs natuurlijke weg en binnen een redelijke termijn (-: niet tot gering; +: matig; ++: goed)

In bepaalde gevallen kunnen de betrokken processen bevorderd worden door gerichte beheersmaatregelen. De toepassingsmogelijkheden in het kader van de bodembescherming zijn voornamelijk gering te achten en slechts incidenteel van betekenis. Het in tabel 13 gegeven beeld wijzigt niet wanneer die mogelijkheden in beschouwing genomen worden. Dit oordeel is gebaseerd op de kennis van de mogelijkheden op dit moment. Het onderzoek naar in-situ technieken en herstel-bevorderende maatregelen dient met kracht te worden voortgezet. Vooreerst moet evenwel geconcludeerd worden dat er in het geval van een (substantiële) overschrijding van de referentiewaarden voor de zware metalen sprake is van een onherstelbare situatie, en dat er voor de andere categorieën stoffen rekening gehouden moet worden met hersteltermijnen van tientallen jaren vooraleer niveaus ter grootte van de referentiewaarden bereikt worden.

#### 10.1.2 Herstel door sanering

Het toepassen van bodemsaneringstechnieken zal om praktische en economische redenen beperkt zijn en blijven tot situaties waarin sprake is van lokale bodemverontreiniging. Indien een beoogde kwaliteit in grote arealen wordt overschreden bieden alleen in-situ behandelingstechnieken een mogelijk perspectief. De betrokken processen zijn in de voorgaande paragraaf besproken.

Een voor alle technieken relevante vraag betreft de haalbaarheid van de referentiewaarden in het geval van bodemsanering. In de discussienotitie Bodemkwaliteit wordt hierover opgemerkt dat, zo tot sanering besloten wordt, de referentiewaarden richtinggevend zijn voor de mate waarin de bodem dient te worden gereinigd. De tot nu verkregen ervaring leidt tot de volgende beschouwing.

Allereerst dient te worden opgemerkt dat de huidige saneringstechnologie tot ontwikkeling is gebracht gericht op het behalen van de A-waarden, en dat de voorgestelde referentiewaarden aanmerkelijk lager zijn (referentiewaarde voor zandgrond: zware metalen 2 tot 5 maal lager; organische verbindingen 5 tot 10 maal lager). Voor nagenoeg alle technieken geldt dat de opgedane praktijkervaring en doelgerichte onderzoeksinspanningen zullen leiden tot betere reinigingsresultaten. De vraag of de referentiewaarden behaald kunnen worden betreft derhalve gedeeltelijk een toekomstverwachting. Daarbij dient te worden opgemerkt dat de vraag als zodanig onvolledig gesteld is. Reiniging tot een gewenste kwaliteit is in theorie altijd mogelijk, ongeacht de hoogte van het te behalen kwaliteitsniveau. De met de reiniging gemoeide kosten nemen evenwel (exponentieel) toe naarmate dat niveau lager is, en de voorliggende vraag zou derhalve moeten luiden of de referentiewaarden behaald kunnen worden tegen "nog aanvaardbare" kosten.

Organische verbindingen kunnen met behulp van thermische technieken worden verwijderd. Afhankelijk van de temperatuur kunnen olie, PAK's en gechloreerde koolwaterstoffen in belangrijke mate worden verwijderd. Voor olie en de vluchtige PAK's kan de referentiewaarde behaald worden, voor hoog moleculaire PAK's zal dat niet in alle omstandigheden het geval zijn. Met betrekking tot de verwijdering van gechloreerde koolwaterstoffen wordt nog onderzoek verricht naar de vereiste temperatuur en de verkregen verbrandingsproducten. Verwacht mag worden dat ook voor deze groep verbindingen reiniging tot het niveau van de referentiewaarde op den duur mogelijk is. Zware metalen kunnen met deze technieken niet tot nauwelijks worden verwijderd, met uitzondering van vluchtige elementen als kwik.

Extractietechnieken zijn toepasbaar voor het verwijderen van vrijwel alle voorkomende verontreinigingen uit zand en lemig zand. Bij gronden met een hoog gehalte klei doen zich problemen voor ten aanzien van de procesbeheersing. Afhankelijk van de aard van de grond, het gebruikte extractiemiddel en de aard en hoeveelheid van de te verwijderen stoffen kan een rendement van 90 tot 95% verwijdering bereikt worden, en soms zelfs meer. De resterende gehalten zware metalen zijn veelal hoger dan de referentiewaarden. Dit wordt mede veroorzaakt door het feit dat

voor de gereinigde grond (arm aan klei en organische stof) juist relatief lage referentiewaarden van toepassing zouden zijn. PAK's en gechloreerde koolwaterstoffen kunnen verwijderd worden tot beneden de huidige A-waarden, maar het behalen van de referentiewaarden langs deze weg is hoogst onwaarschijnlijk.

Biologische reinigingstechnieken lijken veelbelovend voor het verwijderen van genoemde organische verbindingen maar zijn nog volop in ontwikkeling. Het meest succesvolle voorbeeld vormt de biologische afbraak van huisbrandolie door middel van landfarming, waarbij niveaus tot ca. 500 mg/kg behaald kunnen worden (referentiewaarde standaardbodem 50 mg/kg). De mogelijkheid ten aanzien van de verwijdering van HCH wordt onderzocht, en voor PAK's is inmiddels aangetoond dat zij biologisch afbreekbaar zijn. Het behalen van de referentiewaarden met behulp van deze technieken is onwaarschijnlijk te achten.

Geconcludeerd kan worden dat het met behulp van thermische technieken (organische verbindingen) wel, en met behulp van extractietechnieken of biologische reinigingstechnieken (zware metalen en organische verbindingen) in het algemeen niet mogelijk zal zijn om verontreinigde grond tot het niveau van de referentiewaarden te reinigen. Het begrip "richting gevend" dient dan ook letterlijk te worden opgevat, en de referentiewaarden kunnen niet zondermeer als "terug-saneernorm" gezien worden. De overwegingen op grond waarvan de na sanering beoogde kwaliteit voor bodem of grond vastgesteld moet gaan worden verdienen nadere aandacht. Naast de mogelijke milieuhygiënische consequenties vormen ook de nog aanvaardbaar te achten kosten voor grondreiniging een belangrijke factor. Gezien de betrokken criteria moeten dergelijke kwaliteitseisen bijvoorkeur bezien worden in samenhang met de vast te stellen grens- en richtwaarden voor de bodemkwaliteit.

## 10.2 Herstel van biotische milieufactoren

Terecht wordt in de discussienotitie groot belang gehecht aan de criteria herstelbaarheid en omkeerbaarheid. De commissie acht dit een waardevol en bruikbaar uitgangspunt. Zij tekent daarbij aan dat het vanuit ecologisch oogpunt niet denkbaar is dat elke vorm van een bodem-ecosysteem, dat afhangt van de specifieke aanwezigheid van soorten organismen met specifieke eigenschappen en van de samenstelling van de levensgemeenschap als geheel, kan volgen op elke vorm van bodemgebruik. Bodemgebruik dat resulteert in een



verstoring, verwijdering of wijziging van een belangrijk deel van het bodemprofiel kan zodanig ingrijpend zijn dat het herstel van de oorspronkelijke situatie a priori onmogelijk is. In zo'n geval komt een andere vorm van een bodem-ecosysteem tot ontwikkeling, hetgeen als "herstel" van "de ecologische functie" beschouwd zou kunnen worden. De discussienotitie geeft evenwel aan dat het criterium van herstelbaarheid betrokken moet worden op de eerder, voor de ingreep, aanwezige situatie (potenties voor functies van de bodem).

Op het herstel van een deel van de abiotische factoren, de stofgehalten in de bodem, is in de voorgaande paragrafen ingegaan. De betrokken termijnen belopen tientallen tot honderden jaren. Van een volledig herstel is echter eerst sprake indien het gehele spectrum van o.a. microorganismen, behorende bij de betreffende bodem, weer aanwezig is. Bodemvormende en bijbehorende biotische processen strekken zich in het algemeen uit over honderden jaren, zodat voor herstel van specifieke bodemstructuren en -levensgemeenschappen in dezelfde orde van grootte gedacht moet worden. Voor populaties van bodemorganismen is de herstelperiode afhankelijk van de generatietijd van de organismen. In het algemeen zijn 5 generaties nodig om een verstoorde leeftijdstructuur van de populatie te herstellen tot een gestabiliseerde populatie (50). De duur van deze periode kan variëren van minder dan één jaar voor bijvoorbeeld schimmels tot perioden van vele tientallen jaren voor boomsoorten (60 jaar voor naaldbomen, 100 - 120 jaar voor loofbomen) tot enkele honderden jaren voor stabiele grasland ecosystemen.

Tenslotte zij opgemerkt dat met betrekking tot de mogelijkheden tot herstel van het functioneren van het bodem-ecosysteem situaties kunnen ontstaan die nog onvoldoende voorspelbaar zijn. Onderzoek aan hogere planten en evertebraten heeft aangetoond dat bodemverontreiniging tot lokale tolerante populaties aanleiding kan geven (zie bijv. 24, 51). Hierbij zijn dus in principe onomkeerbare processen aangetroffen die mogelijk tot nivellerings kunnen leiden. De niveau's voor stofgehalten in de bodem waarbij dit optreedt, de frequentie waarmee dit gebeurt en de soort-gebondenheid daarvan zijn nog onbekend. Daar bij diverse planten- en diersoorten is gebleken, dat de aanpassing aan stoffen (als zware metalen) zeer vaak ten koste gaat van andere levensverrichtingen en definitief kan leiden tot een verminderde prestatie, en daardoor dus ook tot een verminderde bijdrage aan bodemprocessen, verdient het verschijnsel van adaptatie zeer nadrukkelijk nadere aandacht.

## 11. Bemonstering en beoordeling

In de bijlagen 1 en 2 van de discussienotitie wordt ingegaan op de bemonsteringstrategie en de analyse van bodemonsters. Behalve de analyse-methoden als zodanig behoeven de gewenste nauwkeurigheid, en ook de onderlinge vergelijkbaarheid van analyseresultaten verkregen door verschillende laboratoria, nadere aandacht. De commissie gaat er van uit dat dit in het huidige overleg over de toe te passen analysemethoden voldoende aandacht zal verkrijgen. Met betrekking tot de strategie voor bemonstering en beoordeling wordt voorgesteld de kwaliteit van de kleinste onderscheiden ruimtelijke eenheid (voor landbouwgronden en natuurterreinen ca. 100 m<sup>2</sup>) te beoordelen op grond van de stofgehalten in een mengmonster dat representatief is voor het beschouwde oppervlak. Het mengmonster is samengesteld uit een groot aantal (ca. 40) steekmonsters van de bovenste bodemlaag van 20 cm dikte. De beoordeling van de bodemkwaliteit in grotere gebieden zal gebaseerd gaan worden op de verdeling van de verschillende mengmonsters uit dat gebied die al dan niet voldoen aan de beoogde kwaliteit (de referentiewaarden). Voorlopige richtlijnen voor de te volgen procedure zijn in voorbereiding.

De commissie vraagt aandacht voor de samenhang tussen de wijze van monsternamen en beoordeling, de betekenis van de stofgehalten op grond waarvan beoordeeld wordt en het doel van de beoordeling. Wanneer beoordeeld wordt aan de hand van referentiewaarden die het gemiddelde huidige gehalte in niet-duidelijk verontreinigde bodems reflecteren, met als doel te signaleren of er voor het beschouwde gebied sprake is van een grotere mate van verontreiniging, kan het gemiddelde waargenomen gehalte (mengmonster) vergeleken worden met de referentiewaarde. Naarmate het waargenomen gehalte verder boven de referentiewaarde ligt neemt de kans dat de betreffende bodem meer dan "niet-duidelijk" verontreinigd is toe. In het onderhavige geval zijn de referentiewaarden niet op de nu waargenomen gemiddelde gehalten in niet-duidelijk verontreinigde bodems gebaseerd, maar op een bovengrens. Het direct vergelijken van de voor het mengmonster bepaalde gehalten met deze referentiewaarden, met als oordeel "goed" indien die gehalten op of beneden de referentiewaarden liggen, impliceert dat een overschrijding van de referentiewaarden voor 50% van het areaal aanvaardbaar is (50% in geval van een normale verdeling). Dit wordt sterker indien een bepaald deel van de mengmonsters voor grotere gebiedseenheden niet aan de beoogde kwaliteit behoeft te voldoen. In extremo kan deze handelwijze leiden tot het aanvaardbaar zijn van een "niet-multifunctionele" bodem voor meer dan de helft van het bodemoppervlak in Nederland!

Indien de beoordelingsmaatstaf gebaseerd is op de stofgehalten die uit oogpunt van bodemgebruik of van het functioneren van het bodem-ecosysteem kritisch geacht worden, nemen de bezwaren tegen de bovenbeschreven procedure toe, enigszins afhankelijk van de veiligheidsfactoren die bij het vaststellen van een dergelijke beoordelingsmaatstaf zijn gehanteerd. De commissie beveelt aan de te volgen procedure voor het beoordelen van de bodemkwaliteit nader te bezien met het oog op de hier geïllustreerde consequentie. De

inzichten in de vorm van kansverdelingsfuncties van stofgehalten in de bodem kunnen daarin expliciet betrokken worden. Het resultaat van de beoordeling dient bij voorkeur een probabilistische component te verkrijgen, bijvoorbeeld in de zin dat een overschrijding van de referentiewaarden nog aanvaardbaar is voor een nader te bepalen deel van het areaal en met een nader te bepalen overschrijdingskans.

Tenslotte wijst de commissie er op dat het beoordelen van de bodemkwaliteit uit oogpunt van mogelijke effecten voor bodemorganismen en het bodem-ecosysteem niet zondermeer gebaseerd kan worden op het stofgehalte in een monster van de bovenste bodemlaag van ca. 20 cm diep. Een dergelijke beoordeling dient uit te gaan van het niveau van blootstelling van organismen aan toxische stoffen in het leefmilieu. In het geval van natuurlijke, niet-geroerde, bodems (natuurterreinen en graslanden) wordt dat leefmilieu voor een belangrijk deel gevormd door de bovenste organische bodemlaag van variabele dikte (voornamelijk strooisellaag), waar tevens de belangrijkste bodemvormende processen plaatsvinden. In dit deel van de bodem worden de verontreinigingen in belangrijke mate vastgelegd, en hier worden in de regel relatief hoge concentraties van verontreinigingen aangetroffen. Tabel 14, ontleend aan nog ongepubliceerde gegevens van Stiboka, geeft hiervan een illustratie.

horizont	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Cr
Ao: strooisellaag	1,3	161	27	122	8,5	13
A1: humushoudende bovengrond	0,31	23	3,2	14	2,2	13
B2: inspoelingslaag van humus, Al e.a.	0,12	4,8	1,4	7,0	2,1	9,5
B3: idem	0,08	2,7	1,4	7,0	3,1	9,0
C : moedermateriaal	0,07	3,1	1,8	7,1	4,2	8,8

**Tabel 14** Gehalten zware metalen in de meest voorkomende bodemhorizonten in natuurlijke, pleistocene zandgronden (in mg/kg grond)

In de organische bovenlaag (A-horizont) worden sterk verhoogde gehalten aangetroffen, een gevolg van de "normale" atmosferische depositie. In bodems die bloot staan aan een verhoogde depositie als gevolg van nabijgelegen industriële activiteiten of trein- en wegverkeer worden gehalten in de organische bovenlaag aangetroffen die veel hoger liggen en die de bekende no-effect niveaus (vergelijk paragraaf 6.4) ruim overschrijden. Na menging van de bovenste 20 cm bodem zou evenwel geconstateerd kunnen worden dat de bodem aan de beoogde kwaliteit voldoet. De werkelijke blootstelling van organismen is in het geval dat de voorgestelde bemonstering wordt gevolgd niet te achterhalen, en de resultaten van toxiciteitsproeven in laboratoriumomstandigheden kunnen niet in verband gebracht

worden met de verkregen "gemiddelde" gehalten. Dit aspect is van ondergeschikt belang met betrekking tot de voorgestelde referentiewaarden, die immers gebaseerd zijn op nu waargenomen, veelal ook gemiddelde, gehalten. Indien echter in de toekomst de beoordeling van de bodemkwaliteit mede plaatsvindt op grond van effecten, dus aan de hand van kritische stofgehalten in de bodem uit oogpunt van bodemgebruik en het bodem-ecosysteem, dient voor het vaststellen van een beoordelingsprocedure terdege rekening gehouden te worden met de hier gesignaleerde variatie van stofgehalten in verticale richting.

## 12. Relatie met het brongerichte beleid

De voorgestelde referentiewaarden zijn in het bijzonder van belang voor randvoorwaarden die ten aanzien van de diffuse bronnen van verontreiniging gesteld gaan worden. Het uitgangspunt daarbij is dat er, binnen een zekere termijn, een evenwicht moet bestaan tussen de aanvoer en afvoer van stoffen mits daarbij een niet te hoge steady-state concentratie ontstaat: de totale aanvoer mag uiteindelijk niet groter zijn dan de totale afvoer via de hydrologische kringloop, door vervluchtiging, met geoogste gewassen en door afbraak en omzetting in de bodem. Met behulp van de te stellen kwaliteitseisen kan daarbij voorkomen worden dat er in een dergelijke situatie van evenwicht sprake is van te hoge stofgehalten in bodem en grondwater (steady-state concentraties). De commissie acht dit uitgangspunt van groot belang, en in het perspectief van bodembescherming op langere termijn, het enig juiste.

Met betrekking tot de diffuse belasting van de bodem vanuit andere milieucompartmenten (oppervlaktewater, lucht) is voorzien dat de beoogde bodemkwaliteit één der factoren vormt in het proces van integrale normstelling. De referentiewaarden kunnen in dat proces als voorlopig uitgangspunt dienen en bezien worden op de gevolgen voor de gewenste milieukwaliteit in andere compartimenten en voor de maatschappelijke activiteiten die daarop van invloed zijn. Met betrekking tot de overige, voor de bodem belangrijke, diffuse bronnen van verontreiniging wordt een directe relatie met de gewenste bodemkwaliteit gelegd. Deze bronnen hangen samen met het op of in de bodem brengen van diverse categorieën materialen, afvalstoffen, daaruit afgeleide producten, meststoffen en bestrijdingsmiddelen. De uit oogpunt van de bodemkwaliteit te stellen randvoorwaarden worden tot uitdrukking gebracht in productnormen of in een combinatie van productnormen en doseringsregels.

Productnormen worden vastgesteld voor stoffen die éénmalig en in grote hoeveelheden op de bodem gebracht worden, en die als zodanig als "bodem" aangemerkt kunnen worden (zwarte grond, baggerspecie, grond afkomstig van grondreinigingsinstallaties). De kwaliteit van de, nieuw verkregen, bodem moet in beginsel voldoen aan de beoogde bodemkwaliteit, vooreerst omschreven door de referentiewaarden. Het is daarbij van belang dat niet alleen de situatie direct na het opbrengen beoordeeld wordt, maar ook de min of meer stabiele situatie die na verloop van tijd, bijvoorbeeld enkele jaren, bereikt wordt. Indien het materiaal niet aan de gewenste kwaliteit voldoet zal in het algemeen een tweede beoordeling volgen, waarbij de aan het gebruik van het materiaal verbonden milieuhygiënische consequenties worden afgewogen tegen andere maatschappelijke gevolgen van het al dan niet toepassen van het materiaal.

Productnormen en doseringsregels worden vastgesteld voor stoffen die frequent en in relatief geringe hoeveelheden worden gebruikt, en die als zodanig als "bodembestanddelen" kunnen worden aangemerkt (compost, zuiveringsslib, meststoffen etc.). In dit geval wordt de kwaliteit van de bodem, na menging, als beoordelingsmaatstaf gehanteerd. In het geval van niet of moeilijk afbreekbare, weinig mobiele verontreinigingen dient het eerder genoemde uit-

gangspunt ten grondslag te liggen aan de uitwerking van de te stellen randvoorwaarden. Voor verontreinigingen die een bedreiging vormen voor de kwaliteit van grond- of oppervlaktewater zijn tevens daarmee samenhangende overwegingen van belang.

De commissie acht de in de discussienotitie beschreven, en in het bovenstaande samengevatte, benaderingswijze in hoofdlijn correct en in overeenstemming met de gekozen uitgangspunten. Zij wijst er evenwel op dat het inzicht in de (maatschappelijke) gevolgen van het strikt volgen van de benaderingswijze nog ontbreekt en dat daarbij de beschikbare marges in bepaalde gevallen bijzonder klein zijn. Zij licht dit toe aan de hand van de onderstaande tabel, waarin bij wijze van voorbeeld de mogelijke belasting van bouwland met zware metalen is weergegeven (zie b.v. ook 52). In de tabel zijn opgenomen de aanvoer van zware metalen door atmosferische depositie (globaal gemiddelde), met zuiveringsslib en compost (maximale belasting conform de in bijlage 4 van de discussienotitie weergegeven aanbevelingen) en met dierlijke mest (varkensmest op bouwland, maxima voor fasen 1 - 3 conform het besluit gebruik dierlijke meststoffen). Daarnaast is een indicatie gegeven van de afvoer door uitspoeling en met het geoogste gewas. De uitspoeling is afgeleid uit de globale verdelingscoëfficiënt vaste bodemgrondwater voor een gehalte in de vaste fase ter grootte van de voorgestelde referentiewaarde voor de standaardbodem. De marge indiceert verschillende waarden voor zand- en kleibodems (zie 10). Als indicatie voor de afvoer door het gewas is de range gegeven voor de opname van zware metalen uit de bodem door planten. Bij alle vermelde waarden zijn een groot aantal kanttekeningen te plaatsen, maar deze zijn in het kader van dit voorbeeld minder relevant. Uit de kolommen aanvoer en afvoer in de tabel kan worden afgeleid dat het strikt toepassen van het uitgangspunt "aanvoer = afvoer", bij het huidige niveau van atmosferische depositie, nauwelijks ruimte laat voor bijvoorbeeld een aan het landbouwkundige bodemgebruik verbonden extra toevoer.

Tenslotte is in de tabel een globale schatting opgenomen van de tijd die, bij de gegeven jaarlijkse aan- en afvoer, benodigd is om het gehalte zware metalen in de bovenste 20 cm van de bodem te doen toenemen van een niveau van de helft van de referentiewaarde (standaardbodem) tot de referentiewaarde. Deze belooft enkele tientallen tot honderden jaren (Zn, Cu, Hg, resp. Ni, Cd, Cr). Voor zandbodems zijn de betrokken termijnen een factor 2 tot 3 kleiner, voor kleibodems, en voor minder sterk belaste bodems in algemene zin, groter dan de in de tabel gegeven periode.

Uit dit voorbeeld mag blijken dat de nu toegestane of aanvaarde stofbelasting voor de beschouwde bronnen van verontreiniging c.q. aanvoerwegen niet strookt met de beleidsuitgangspunten. Een beperking van de belasting via de diffuse bronnen van verontreiniging kan dan worden overwogen, maar zal vrijwel steeds resulteren in milieuhygiënische gevolgen elders (bodem of andere compartimenten)

of een, kostbaar en nog soms nog niet oplosbaar, afvalstoffenprobleem. De gedachtenvorming over de betekenis van de beoogde bodemkwaliteit voor de diffuse bronnen van verontreiniging dient te worden voortgezet, juist ook met het oog op andere, niet direct aan de bodemkwaliteit gerelateerde, gevolgen van de maatregelen die het behoud of het bereiken van de gewenste bodemkwaliteit tot doel hebben.

metaal	referentie waarde (mg/kg) (1)	aanvoer (g/ha/jr)			afvoer (g/ha/jr)		periode waarin concentratie verdubbelt (jaar) (4)
		depositie	slib en compost (2)	dierlijke mest (3)	uitspoeling	opname door planten	
Zn	180	400	4000	1080	300 - 350	100 - 500	50 - 60
Cu	30	60	1200	625	20 - 70	30 - 150	25 - 30
Pb	100	100	1000	20	30 - 60	1 - 80	120 - 160
Cr	125	4	1000	-	10 - 15	1 - 10	190
Ni	50	10	200	35	45 - 70	10 - 30	500 - 700
Cd	1	3	10	2	2	0,3 - 8	120 - 300
Hg	0,3	0,2	10	0,12	0,2	0,2 - 1,5	45 - 50

(1) standaardbodem

(2) aanbevolen maximale dosering op bouwland en maximaal gehalte

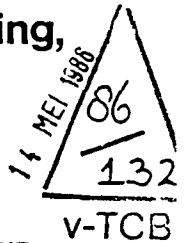
(3) varkensdrijfmest op bouwland, maximale hoeveelheid conform fasen 1 - 3 besluit gebruik dierlijke meststoffen

(4) periode waarin het gehalte in 20 cm bodem toeneemt van de helft van de referentiewaarde tot de referentiewaarde (standaardbodem)

**Tabel 15** Indicaties voor aan- en afvoer van zware metalen op bouwland, en de periode benodigd om een initiële concentratie ter grootte van de helft van de referentiewaarde (standaardbodem) te verdubbelen (voor toelichting zie tekst)



# Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer



DIRECTORAAT GENERAAL VOOR DE MILIEUHYGIENE

Postbus 20951  
2500 EZ 's-Gravenhage  
telefoon 070-264201, tst  
telex 34429

Directie: BWS  
Hoofdafdeling: BO

Aan: de Voorzitter van de Voorlopige  
technische commissie bodembe-  
scherming  
de heer ir. H. Haverkate  
Postbus 450  
2260 MB LEIDSCHENDAM

Uw kenmerk

Uw brief van

Kenmerk

Datum

BWS/ 0156429 12 MEI 1986

Onderwerp

Bodemkwaliteit

verzonden 14 mei 1986

Geachte voorzitter,

Tijdens de behandeling door de Tweede Kamer van het wetsontwerp bodembescherming en van het IMP-M 1986-1990 heb ik de Tweede Kamer een lijst met voorlopige waarden voor een goede bodemkwaliteit in het vooruitzicht gesteld.

Thans is een notitie over de bodemkwaliteit, waarvan deze lijst onderdeel uitmaakt, gereed voor een discussie met externe deskundigen over met name de technisch-natuurwetenschappelijke aspecten. In verband hiermede moge ik u verzoeken mij te adviseren over genoemde aspecten van de notitie. Ik verzoek u hierbij tevens te betrekken het rapport "Normering onderwaterbodems", waarvan de inhoud nauw met de onderhavige discussienotitie samenhangt. Dit rapport is door een ambtelijke werkgroep van de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer en van Verkeer en Waterstaat gezamenlijk opgesteld.

Uw advisering zou zich met name dienen te richten op de volgende onderwerpen:

- de keuze van parameters;
- de hoogte van de voorgestelde referentiewaarden voor een multifunctionele bodem en de advies-streefwaarden onderwaterbodem in relatie tot mogelijke effecten van de betreffende stoffen in terrestrisch zowel als aquatisch (marien en zoet) milieu;

Bijlagen

Bezoekadres  
van Alkemadeaan 85  
Bereikbaar met de buslijnen 18 (stations HS - CS) en 23  
NZH-bus vanuit Amsterdam 89 en vanuit Leiderdorp 64 of 65

Verzoeken bij beantwoording onderwerp datum en kenmerk van deze brief te vermelden

VROM 11



- de hoogte van de advies-richtwaarden onderwaterbodem in relatie tot mogelijke effecten van stoffen in onderwaterbodems onder zoete oppervlaktewateren;
- de hoogte van de voorlopige referentiewaarden in relatie tot het doel waarvoor zij zijn ontwikkeld, te weten een voorlopige en gedeeltelijke omschrijving van een multifunctionele bodem, en binnen de restricties die aan de toepasbaarheid van deze waarden in de discussie notitie zijn gesteld;
- De wijze waarop getalsmatige invulling van parameters heeft plaatsgevonden en de wijze waarop de voorlopige referentiewaarden c.q. advies waarden onderwaterbodem zijn gerelateerd aan bepaalde bodem eigenschappen of gedifferentieerd naar gebied;
- De onderlinge verhouding tussen de voorgestelde referentiewaarden voor grond en voor grondwater.

Ik stel het op prijs dat u, naar ik vernomen heb, voornemens bent om mede in het licht van deze discussie een symposium te organiseren dat gewijd is aan het onderwerp van de discussienotitie. Dit symposium zou voor wat betreft de technische aspecten in eerste aanleg als een afronding van de discussie kunnen worden beschouwd.

Tot slot kan ik u mededelen dat ik de discussienotitie met het rapport "Normering onderwaterbodems" voor commentaar heb toegezonden aan de provincies en aan de Vereniging van Nederlandse Gemeenten en ter kennisneming aan de Centrale Raad voor de Milieuhygiëne. Een afschrift van deze brief heb ik gezonden aan de Voorzitter van de Tweede Kamer der Staten-Generaal, de Voorzitter van de CRMH, de provincies en de VNG.

Hoogachtend,  
De Minister van Volkshuisvesting,  
Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer,



Dr. P. Winsemius

**Referenties**

1. Discussienotitie Bodemkwaliteit,  
Ministerie van VROM,  
Leidschendam, april 1986 (opgenomen als bijlage 3).
2. Normering onderwaterbodems,  
Interdepartementale werkgroep RWS-DGMH,  
's-Gravenhage, maart 1986.
3. Advies benaderingswijze voor het afleiden van toetsingswaarden  
voor de beoordeling van bodemverontreiniging,  
V-TCB advies A85/02,  
Leidschendam, oktober 1985.
4. Indicatief meerjarenprogramma milieubeheer 1986 - 1990,  
Tweede Kamer vergaderjaar 1985 - 1986 nr. 19 204/2,  
's-Gravenhage, september 1985.
5. Voorlopig indicatief meerjarenprogramma Bodem 1984 - 1988,  
Tweede Kamer zitting 1982 - 1983 nr. 17 600/130,  
's-Gravenhage, september 1983.
6. Wet bodembescherming, ontwerp van wet en memorie van toelichting,  
Tweede Kamer zitting 1980 - 1981 nr. 16 529/1 - 4,  
's-Gravenhage, december 1980.
7. Achtergrondgehalten van een aantal anorganische en organische  
stoffen in de bodem van Nederland, een eerste verkenning,  
Th. Edelman,  
Reeks Bodembescherming nr. 34,  
's-Gravenhage, 1984.
8. Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit, Eindrapport van de inrich-  
tingsfase,  
W. van Duijvenbouden, L.F.L. Gast en J. Taat,  
Reeks Bodembescherming nr. 46<sup>a</sup>,  
's-Gravenhage, april 1984.
9. Grondwaterverontreiniging door industriële bedrijvigheid,  
B. van Heck en W. Wassenberg,  
doctoraalscriptie Rijksuniversiteit Utrecht,  
Utrecht, juni 1984.
10. Toepassing EG-Grondwaterrichtlijn,  
A. Tukkers en S. Roelofs,  
Reeks Bodembescherming nr. 49,  
's-Gravenhage, september 1985.

11. Meetnet Regenwater, Samenvatting en statistische bewerking van de meetresultaten,  
RIVM,  
Leidschendam,  
maart 1984.
12. Aspecten van normstelling voor Cd, Cu en Zn in de bodem,  
J.C.M. de Wit,  
werknotitie V-TCB M85/43,  
Wageningen, juli 1985.
13. Mobiliteit van Cadmium in de bodem,  
W.J. Chardon,  
Reeks Bodembescherming nr. 36,  
's-Gravenhage, februari 1984.
14. Normstelling bodem en het fysisch-chemisch evenwicht tussen grond en grondwater voor organische verbindingen,  
DHV-dossier 1-3611-41-05,  
Amersfoort 1986.
15. Advies gebruik dierlijke meststoffen,  
V-TCB advies A86/01,  
Leidschendam, maart 1986.
16. De opname van fluoride door de wortel en de gevolgen daarvan voor diverse gewassen,  
J.P.N.L. Roorda van Eijsinga,  
proefschrift LH-Wageningen,  
Wageningen, 1974.
17. Sporenelementen in de landbouw,  
J.J. Lehr, J. Grashuis en D. Mulder,  
Uitgeverij Meppel, 1965.
18. Decomposition in terrestrial ecosystems,  
M.J. Swift, O.W. Heal en J.M. Anderson,  
Uitg. Blackwell Scientific Publications,  
Oxford, 1979.
19. Comparative productivity in ecosystems, Secondary productivity,  
O.W. Heal en S.F. Maclean,  
zie lit. 18.

20. Functionele classificatie van bodemdieren en de ecologische functie van de bodem,  
N.M. van Straalen, H.A. Verhoef en E.N.G. Joosse,  
Vakbl. Biol. 65, 1985.
21. Het gebruik van dieren als indicatoren van milieuverontreiniging,  
F.Nottrot en E.N.G. Joosse,  
Vakbl. Biol. 65, 1985.
22. Heavy metals pollute nature, may reduce productivity,  
G. Tyler,  
Ambio 1, 1972.
23. Kwaliteitskenmerken ten behoeve van de bodembescherming,  
E.H. Hueck-van der Plas, D. Barug, D.H. Eikelboom, J.M. Marquenie, G.J. Vink en J.W. Vonk,  
Reeks bodembescherming nr. 26,  
's-Gravenhage, maart 1983.
24. Bijdrage aan de ecologische normstelling van bodembescherming,  
W.D. Denneman, H.E. van Capelleveen en N.M. van Straalen,  
doctoraalscriptie VU-Amsterdam,  
werknotitie V-TCB M85/59,  
Amsterdam, november 1985 (opgenomen als bijlage 5).
25. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil-organisms,  
K.H. Domsch, G. Jagnow en T.H. Andersson,  
Residue Reviews 86, 1983.
26. Bodembologisch onderzoek in het kader van bodemverontreiniging,  
H. Eijssackers,  
Tijdschr. voor Milieukunde, 1986
27. De invloed van zware metalen op de bodemmicroflora,  
P. Doelman en L. Haanstra,  
Reeks Bodembescherming nr. 20,  
's-Gravenhage, 1983.
28. Onderzoek naar een geschikte combinatie toetsmethoden ter bepaling van de aquatische toxiciteit van milieugevaarlijke stoffen,  
D.M. Adema, G.H. Canton, W. Slooff en A.O. Hanstveit,  
Report C1 81/100, RIV 62 7905-001, RID/CBH 87/77,  
Leidschendam, 1981.

29. Toxicity at population level,  
S.A.L.M. Kooijman,  
TNO-publicatie P83/27,  
Delft, 1983.
  
30. Beoordeling van het gezondheidsrisico bij een geval van bodem  
verontreiniging (Volgermeer),  
J.H. van Wijnen,  
Tijdschr. Soc. Geneeskunde 60, 1982.
  
31. An environmental fate model leading to preliminary pollutant  
limit values for human health effects,  
D.H. Rosenblatt, J.C. Dacre en D.R. Gogly,  
in: Environmental risk analysis for chemicals (ed. R.A. Con-  
way),  
Uitg. Van Nostrand Reinhold Cy,  
New York, 1982
  
32. Betekenis en gebruik van referentiekader, concentratiemetingen  
en stoffeigenschappen bij de beoordeling van bodem-verontreini-  
gingsgevallen,  
G.C.G. Verwey en J.A. Luiten,  
RIVM-rapport 840224002,  
Leidschendam, september 1984.
  
33. Advies inzake uitgangspunten voor normstelling,  
Gezondheidsraad,  
december 1985.
  
34. Calculating fugacity,  
D. Mackay en S. Paterson,  
Env. Sci. & Techn. 15, 1981,  
(zie ook Env. Sci. & Techn. 16, 1982, en Chemosphere 14, 1985).
  
35. Een gezondheidkundige benadering van bodemverontreiniging,  
deel I, een multi-media model,  
F. Akveld, H. de Baas, P. Meulenbroeks en L. Wijnen,  
verslag 1982 - 123 LH-Wageningen,  
Wageningen, september 1982.
  
36. Beoordeling van het gezondheidsrisico van de bodemverontreini-  
ging, Steendijkpolder-Zuid, Maassluis,  
J.H. van Wijnen en A. Stijkel,  
Amsterdam, 1985.

37. Signaalwaarden voor de gehalten van milieukritische stoffen in de grond met het oog op landbouwkundige gebruiksmogelijkheden van verontreinigde bodems (concept),  
Landbouw Advies Commissie Milieukritische Stoffen,  
Den Haag, 1985.
38. Uptake of organic chlorines by plants growing on river- and basinsediment,  
R.C.C. Wegman, A.W.M. Hofstee en P.A. Greve,  
Med. Fac. Landbouwwetensch. Gent, meded. nr. 46,  
Gent, 1981.
39. Priority toxic pollutants,  
M. Sittling (Ed.),  
Uitg. Noyes Data Corporation,  
Park Ridge N.Y., 1980.
40. Cadmium expositie en dagelijkse opname in Nederland,  
P. de Voogt en B. van Hattum,  
Tijdschr. Soc. Geneeskunde 59, 1981.
41. Inventarisatie kwaliteit onderwaterbodems Rijkswateren,  
H. Kerdijk,  
Verslag van onderzoek R 2121, Waterloopkundig Laboratorium,  
Delft, 1985.
42. Voorlopige base-line voor Cd, Ni, Pb, Cr en Cu in Nederlandse sedimenten,  
W. Salomons,  
Verslag van onderzoek R 1703, Waterloopkundig Laboratorium,  
Delft, 1983.
43. Biologisch relevante normstelling,  
J.M. Marquenie,  
werknotitie V-TCB M86/22,  
Den Helder, april 1986.
44. Organische microverontreinigingen in onderwaterbodems: verspreiding en bio-accumulatie,  
W.A. Bruggeman, M.A.T. Kerkhoff, R.C.C. Wegman,  
Paper KNCV-symposium Onderwaterbodems,  
Rotterdam, 1985.

45. De ontwikkeling van biotechnologische bodemsaneringstechnieken,  
E.R. Soczó en K. Visscher,  
Afvalbeheer 1, 1986.
46. Gedrag van bodemverontreinigingen,  
L.A.H.M. Verheyen,  
KIWA-mededeling nr. 86,  
Nieuwegein, 1985.
47. Het zelfreinigend vermogen van grond ten aanzien van  $\beta$ -HCH,  
P. Doelman en J. Slange,  
Milieutechniek/Land en Water 24 (10), 1984.
48. Remedial of hydrocarbons by subsurface biodegradation,  
P. Geldner,  
Verslag Colloquium Bodemreinigingstechnieken, 1984.
49. Bestrijdingsmiddelen in de bodem,  
M. Leistra,  
in: Handboek voor milieubeheer, Deel IV Bodembescherming,  
Uitg. Vermande en zonen, 1980.
50. Ecology,  
C.J. Krebs,  
Uitg. Harper & Row, 1982.
51. Copper resistance in higher plants,  
P.C. Lolkema,  
Proefschrift VU-Amsterdam,  
Amsterdam, 1985.
52. De effecten van organische mest doseringen op de zware metaalgehalten in de bouwvoor van akkerbouwgronden,  
T. Breimer en K.W. Smilde,  
in: Themadag "Organische stof in de akkerbouw",  
themaboekje nr. 7, Proefstation en Cons. in Alg. Dienst voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond,  
Lelystad, februari 1986.