

---

MILIEUBEHEERGERIEDEN

---

---

## MILIEUBEHEERGEBIEDEN

### Deel A:

Indeling van Nederland in ecoregio's  
en ecodistricten.

### Deel B:

Gevoeligheid van de ecodistricten  
voor verzuring, vermesting,  
verontreiniging en verdroging.

Frans Klijn, 1988

Centrum voor Milieukunde  
Rijksuniversiteit Leiden  
Postbus 9518  
2300 RA Leiden  
071- 277486

Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieuhygiëne  
Postbus 1  
3720 BA Bilthoven  
030- 749111

CML mededelingen 37 (tevens verschenen als RIVM rapport 758702001)

---

---

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Klijn, Frans

Milieubeheergebieden : Deel A: Indeling van Nederland in  
ecoregio's en ecodistricten : Deel B: Gevoeligheid van de  
ecodistricten voor verzuring, vermisting, verontreiniging  
en verdroging / Frans Klijn. - Leiden : Centrum voor  
Milieukunde, Rijksuniversiteit Leiden ; Bilthoven :  
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne. -  
(CML mededelingen ; nr. 37)

Met set kaarten

RIVM rapport 758702001. - Met lit. opg.

ISBN 90-5191-006-1

SISO 570.3 UDC 504(492)

Trefw.: milieukartering ; Nederland / ecologie ; Nederland /  
milieubeheer ; Nederland.

---

---

WOORD VOORAF

Het voorliggende rapport is het eindverslag van het onderzoeksproject 'Gebiedsstandaardisatie'. Het onderzoek is uitgevoerd door het Centrum voor Milieukunde Leiden (CML) onder verantwoordelijkheid van het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM) in opdracht van de Directie Bestuurszaken van het Directoraat-Generaal Milieubeheer (DGM) van het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM).

Het onderzoek is op 1 maart 1987 gestart en medio juli 1988 afgesloten met dit eindrapport. Aanvankelijk had het project een beperkte doelstelling, namelijk het selecteren c.q. vervaardigen van een indeling van Nederland in milieubeheergebieden.

In de loop van het onderzoek is de doelstelling verruimd door ook de gevoeligheid van 'ecodistricten' voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging te bepalen. Met deze verruiming werd beoogd de toepassingsmogelijkheden van de gebiedsindeling in het nationale milieubeleid te vergroten en een concrete bijdrage te leveren aan de RIVM-nota 'Zorgen voor Morgen', die als achtergronddocument bij het Nationaal Milieubeleidsplan zal verschijnen.

Het onderzoek is begeleid door een commissie bestaande uit vertegenwoordigers van VROM, Landbouw en Visserij (L&V), Rijkswaterstaat (RWS), CML en RIVM. De commissie had de volgende samenstelling:

ir P.K. Koster (voorzitter)	RIVM
drs F.Klijn (secretaris)	CML
prof. dr H.A. Udo de Haes	CML
drs E.M.J. Meijers	VROM/DGM/Bestuurszaken
drs P.W.M. Veelenturf (tot 1/10/87)	VROM/Rijksplanologische Dienst
ing. C.P. den Herder (vanaf 1/10/87)	VROM/Rijksplanologische Dienst
drs A. Don (tot 1/12/87)	L&V/Natuur, Milieu en Faunabeheer
drs J.J.C. Karres (vanaf 1/12/87)	L&V/Natuur, Milieu en Faunabeheer
drs C.F. van de Watering	RWS/Dienst Weg- en Waterbouwkunde
ir A.H.M. Bresser	RIVM
dr F.I. Kappers	RIVM
dr H.A.M. de Kruijf	RIVM
drs R.J.M. Maas	RIVM

Met dank aan dr ir F.J. van Zadelhoff (L&V/ Natuur, Milieu en Faunabeheer) en drs F. Hoekstra (L&V/ Staatsbosbeheer) voor hun adviezen omtrent de indeling in gebieden en de indelingscriteria daarbij. Tevens dank aan ir W. van Duijvenbouden (RIVM) voor het geven van waardevolle adviezen bij de beoordeling van de gevoeligheid van ecodistricten voor verzuring en vermisting.

Ir P.K. Koster  
Bilthoven, juli 1988

---

## INHOUDSOPGAVE

---

### INHOUDSOPGAVE

WOORD VOORAF

INHOUDSOPGAVE

SAMENVATTING

### DEEL A:

#### 1 INLEIDING

1.1 Achtergrond van het onderzoek	1
1.2 Probleemschets	1
1.3 Probleemstelling	3
1.4 Doelstellingen	4
1.5 Werkwijze	4
1.6 Opzet	6

#### 2 ECOSYSTEEMBENADERING EN MILIEUPROBLEMATIEK

2.1 Algemeen milieukundig kader	9
2.2 Ecosysteembenadering	9
2.3 Landschappen als (complexen van) ecosystemen	12
2.4 Ruimtelijke processen en sleutelvariabelen	13
2.5 Gevoeligheid, betekenis en kwetsbaarheid van ecosystemen	14
2.6 Milieuproblemen, inperking	15

#### 3 ECOLOGISCHE LAND(SCHAPS)CLASSIFICATIES

3.1 Inleiding: schaalniveaus en het ecosysteem	19
3.1.1 Systeemniveaus	19
3.1.2 Organisatieniveaus	20
3.1.3 Schaalniveaus	21
3.2 Ecologische land(schaps)classificatie	22
3.3 Schaal in relatie tot bruikbaarheid	24
3.4 Kaartschaal en indelingskenmerken	27
3.5 Hiërarchische classificatie	29

#### 4 KEUZE VAN INDELINGSKENMERKEN IN RELATIE TOT MILIEUTHEMA'S

4.1 Inleiding	35
4.2 Verzuuring	35
4.3 Vermesting	37
4.4 Verontreiniging	40
4.5 Verdroging/verziltting	42

---

## INHOUDSOPGAVE

---

4.6	Keuze indelingskenmerken	43
5 BRUIKBAARHEID VAN BESTAANDE INDELINGEN		
5.1	Inleiding	47
5.1.1	Soorten kaarten	47
5.1.2	Toetsingskader	47
5.2	Abiotische facetkaarten	48
5.2.1	Klimaat	49
5.2.2	Gesteente/geologie	50
5.2.3	Reliëf/geomorfologie	50
5.2.4	Grondwater/geohydrologie	52
5.2.5	Oppervlaktewater	56
5.2.6	Bodem	57
5.3	Abiotische integratiekaarten	60
5.4	Biotische facetkaarten	62
5.4.1	Landgebruik	62
5.4.2	Plantegroei	63
5.4.3	Fauna	65
5.5	Abiotisch-biotische integratiekaarten	67
5.6	Geografische Informatie Systemen	69
5.7	Conclusies	69
6 INDELING IN MILIEUBEHEERGEBIEDEN		
6.1	Voorstel voor een gestandaardiseerde terminologie	71
6.2	Indelingsprincipes	74
6.3	Ecoregio's: typen en kaart	76
6.4	Ecodistricten: typen en kaart	79
6.5	De lagere niveaus	84
6.5.1	Ecosecties	84
6.5.2	Ecoseries	85
6.5.3	Ecotopen	86
6.5.4	Eco-elementen	87
7 DISCUSSIE		
7.1	Algemeen	89
7.2	Bestaande situatie	89
7.3	Hiërarchische indeling van Nederland in milieubeheergebieden	90
7.4	Bruikbaarheid van de ecodistrictenkaart	91
7.5	Vervolgonderzoek	92

---

## INHOUDSOPGAVE

---

### DEEL B:

1	INLEIDING	
1.1	De bruikbaarheid van de ecoregio- en ecodistrictenkaart in een knelpuntenanalyse voor gebiedsgericht milieubeleid	93
1.2	Doelstelling	95
1.3	Gevoeligheidsbepalingen: werkwijze	95
1.4	Opzet	97
2	VERZURING	
2.1	Inleiding	99
2.1.1	Protonenbronnen	100
2.1.2	Protonenputten	102
2.2	Gevoeligheid voor verzuring van bodem en ondiep grondwater	103
2.2.1	Methode 1	104
2.2.2	Methode 2	108
2.2.3	Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindbeoordeling	111
3	VERMESTING	
3.1	Inleiding	117
3.2	Gevoeligheid voor uitspoeling van nitraat naar het grondwater	118
3.2.1	Methode 1	119
3.2.2	Methode 2	121
3.2.3	Vergelijking van de resultaten volgens beide methoden en eindoordeel	124
3.3	Gevoeligheid voor doorslag van fosfaat/ eutrofiëring van oppervlaktewateren	127
3.3.1	Methode 1	128
3.3.2	Methode 2	132
3.3.3	Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindoordeel	132
4	VERONTREINIGING	
4.1	Inleiding	137
4.2	Organische microverontreinigingen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond en voor verontreiniging van het grondwater	139
4.2.1	Methode 1	141
4.2.2	Methode 2	142
4.2.3	Vergelijking van de uitkomsten van beide methoden en eindbeoordeling	144
4.3	Zware metalen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond en voor verontreiniging van het grondwater	150

---

## INHOUDSOPGAVE

---

4.3.1 Methode 1	152
4.3.2 Methode 2	155
4.3.3 Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindbeoordeling	156
5 VERDROGING	
5.1 Inleiding	161
5.2 Gevoeligheid voor het optreden van locale effecten als gevolg van een grondwaterstandsverlaging	163
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	
6.1 Conclusies	169
6.1.1 Verzuring	169
6.1.2 Vermesting	170
6.1.3 Verontreiniging	171
6.1.4 Verdroging	172
6.1.5 Samenvatting milieuthematiek per ecodistrict	172
6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek	174
LITERATUUR	177
<u>BIJLAGEN:</u>	
1 Overzicht bestaande indelingen die voor dit onderzoek gebruikt zijn	
2 Ecoregio's	
3 Ecodistricten	
4 Losse set kaarten	

---

---

**MILIEUBEHEERGEBIEDEN**

**Samenvatting**

---

INLEIDING

In 1988 zal voor de eerste maal een Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) worden uitgebracht waarin de strategie van het nationale milieubeleid voor de komende 10 jaar is vastgelegd. Een belangrijk aspect van het plan is dat het milieubeleid op een probleemgerichte wijze wordt geordend, namelijk naar de zogenaamde milieuthema's.

Per thema wordt gestreefd naar een tweeledig beleid. Het effectgerichte of kwaliteitsbeleid heeft als doel vanuit de verschillende functies die het milieu voor de mens heeft, de eigenschappen van het milieu hiervoor geschikt te houden c.q. te maken. Het brongerichte beleid richt zich op de maatschappelijke activiteiten die verantwoordelijk zijn voor ongewenste veranderingen in deze milieu-eigenschappen.

De eisen die aan de milieu-eigenschappen worden gesteld kunnen voor het gehele land hetzelfde zijn, maar kunnen ook verschillen per gebied. Een dergelijke differentiatie vloeit zowel voort uit verschillen in gevoeligheid als uit verschillen in gebruiksfuncties van de gebieden. De onderhavige studie richt zich op de onderbouwing van een gebiedsdifferentiatie voor het nationaal milieubeleid, voorzover deze samenhangt met verschillen in gevoeligheid met betrekking tot de diverse milieuthema's.

De gevoeligheid van een gebied wordt bepaald door de ecologische eigenschappen in brede zin; dat wil zeggen eigenschappen van klimaat, gesteente, reliëf, water, bodem, vegetatie en fauna. Met betrekking tot deze eigenschappen zijn op dit moment vele indelingen van ons land voorhanden, die afzonderlijk, maar ook naast elkaar, binnen het milieubeleid worden gebruikt. Voor een deel is dit begrijpelijk, omdat de doelstellingen van de betreffende kaarten sterk kunnen verschillen, maar voor een ander deel is er sprake van een onnodige variatie aan indelingen. Dit heeft geleid tot de volgende centrale vraag voor het project 'Gebiedsstandaardisatie':

Is een ecologisch gefundeerde indeling van Nederland aanwezig respectievelijk te maken, die relevant is voor het nationale milieubeleid inzake de verschillende milieuthema's ?

Uit een analyse van de vraag is geconcludeerd dat er behoefte bestaat aan:

- een standaardgebiedsindeling op ecologische grondslag die in het bijzonder bruikbaar is voor een bepaling van de gevoeligheid van gebieden voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging;
  - een indeling die niet meer grenzen geeft dan nodig voor deze beoordeling, maar ook niet te weinig (kleinste gemene veelvoud): per milieuthema kan op een andere wijze worden gegeneraliseerd, waarbij ten opzichte van de basiskaart slechts grenzen verdwijnen en er geen nieuwe bij kunnen komen;
  - een indeling die tegelijkertijd relevant is voor alle functies van het milieu, incl. natuurbehoud, en daarmee een kader kan vormen voor een beoordeling van de kwaliteit van de gebieden voor de verschillende functies en waarden;
-

- een globale indeling (A4-formaat) ten behoeve van het landelijke milieubeleid;
- een indeling die detaillering op lagere schaalniveaus mogelijk maakt;
- een indeling die ook op langere termijn geldigheid heeft: de indeling mag niet gevoelig zijn voor snelle veranderingen in het milieu (geldigheidsduur enige tientallen jaren);
- een indeling die gebruikt kan worden bij scenariostudies met betrekking tot de milieuthema's.

#### BEHOEFTE AAN EEN NIEUWE INDELING

Uit de vraagstelling volgt dat de indeling primair bruikbaar zou moeten zijn voor een bepaling van de gevoeligheid van gebieden in relatie tot de milieuthema's. De gevoeligheid is afhankelijk van verschillende milieueigenschappen, die beschouwd kunnen worden als ecologische parameters in brede zin.

Dit impliceert dat bijvoorbeeld bestuurlijk-juridische indelingen, zoals in provincies, gemeenten, COROP-gebieden, bosdistricten of gebieden ingevolge het Structuurschema Natuur- en Landschapsbehoud (Nationale Parken e.d.) niet in aanmerking komen. Slechts ecologische en ecologisch relevante indelingen kunnen als potentieel bruikbaar worden beschouwd.

Analyse van bestaand kaartmateriaal heeft geleid tot de conclusie dat op dit moment voor het landelijk milieubeleid geen geheel geschikte indeling voorhanden is. Wel zijn er zeer veel bruikbare elementen in bestaand kaartenmateriaal aanwezig. Daarom is besloten een nieuwe indeling te ontwerpen die zoveel mogelijk tegemoet komt aan de gestelde eisen en wensen en daarnaast toch zoveel mogelijk aansluit bij al bestaande indelingen.

Bij het ontwerp is tevens aansluiting nagestreefd aan een tweetal lopende onderzoeksprojecten. Dit betreft ten eerste de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN), een onderzoeksproject van de Rijksplanologische Dienst in samenwerking met de Stichting Bodemkartering en het Centrum voor Milieukunde Leiden. Dit project zal uiteindelijk een geografisch gegevensbestand opleveren, waar naar believen gegevens betreffende allerlei abiotische en biotische aspecten van ecosystemen aan ontleend kunnen worden. De gegevensopslag geschiedt per roostercel (Veelenturf et al., 1987).

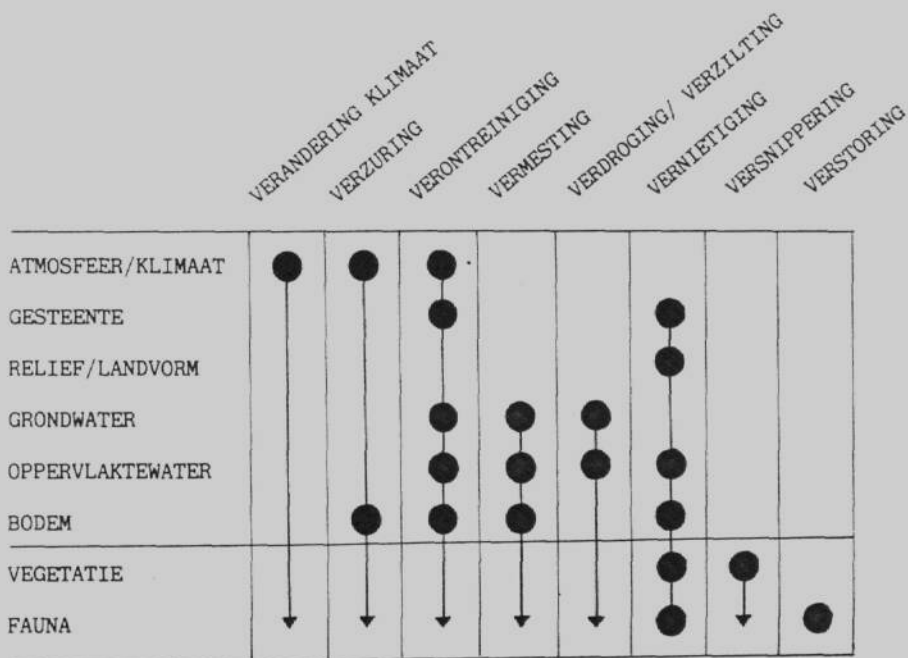
Ten tweede is er een project betreffende de integratie van bodemkaarten, geogenetisch gegevens en grondwateraspecten. Hieraan wordt gewerkt door zowel het Rijksinstituut voor Natuurbeheer als door Staatsbosbeheer. Dit project is echter qua schaal (1: 250.000) en qua opzet (sterk gericht op natuurontwikkeling) niet meteen bruikbaar voor algemener milieubeleid op landelijke schaal. Wel is aangesloten bij een hieraan voorafgaand deelonderzoek bij Staatsbosbeheer (Middelburg et al., 1988).

---

## ECOSYSTEEMMODEL EN MILIEUTHEMA'S

Bij het ontwerpen van een nieuwe indeling is het ecosysteem als centraal concept gekozen. Hiervoor is een bestaand, enigszins aangepast model gebruikt. In dit model worden de volgende componenten onderscheiden: atmosfeer/klimaat, gesteente, reliëf/landvorm, grondwater, oppervlaktewater, bodem, vegetatie en fauna. Deze componenten staan in een zekere hiërarchische verhouding van belangrijkheid tot elkaar (Van der Maarel & Dauvellier, 1978; Bakker et al., 1981). Zo zijn bijvoorbeeld klimaat, gesteente en waterhuishouding bepalend voor de bodemvorming.

Het gebruikte ecosysteemmodel wordt vooral operationeel voor het milieubeleid als processen die samenhangen met de verschillende milieuthema's ermee worden geconfronteerd (FIGUUR 1).



FIGUUR 1: Aangrijpingspunt (●) en doorwerking (→) in het ecosysteemmodel bij verschillende milieuthema's.

De componenten van het ecosysteem zijn elk op een andere ruimte- en tijdschaal ecologisch relevant ofwel relevant voor het milieubeleid. Gesteente-eigenschappen veranderen zeer langzaam vanuit menselijk tijdspectief, bodemeigenschappen veranderen in enkele tientallen jaren tot eeuwen, de vegetatie kan reeds binnen enkele jaren sterke veranderingen vertonen.

Parallel aan deze variatie op de tijdschaal loopt een ruimtelijke schaal: klimaatverschillen spelen op wereldschaal een rol, namelijk via klimaat-zones; geologische verschillen zijn relevant op grote schalen waar zij de landvormen (reliëf), hydrologie en bodenvorming voor een deel bepalen; diepe, vaak langzame grondwaterstromingen betreffen grote gebieden en zijn weer van invloed op bodemeigenschappen; en bodems tenslotte vertonen patronen waarop weer verschillende landgebruiksvormen en vegetaties voorkomen.

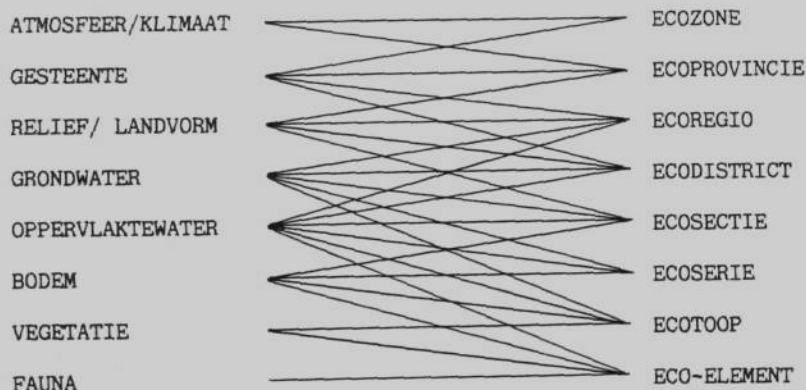
Het gebruikte model van een ecosysteem biedt zo, naast een aansluiting aan de milieuthema's, tevens aansluiting aan deze ruimte-en tijdschaal.

#### HIERARCHISCH SYSTEEM VAN ECOLOGISCHE LAND(SCHAPS)CLASSIFICATIES

Bovenstaande brengt met zich mee dat voor de classificatie en kartering van ecosystemen op verschillende schaalniveaus ook verschillende karteringskenmerken (differentiërende kenmerken) moeten worden gekozen. Hiermee rekening houdend is de volgende hiërarchische reeks van milieubeheereenheden op verschillende schaalniveaus ontwikkeld:

- ECOZONE	(1: > 50.000.000)
- ECOPROVINCIE	(1:10.000.000 - 50.000.000)
- ECOREGIO	(1: 2.000.000 - 10.000.000)
- ECODISTRICT	(1: 500.000 - 2.000.000)
- ECOSECTIE	(1: 100.000 - 500.000)
- ECOSERIE	(1: 25.000 - 100.000)
- ECOTOOP	(1: 5.000 - 25.000)
- ECO-ELEMENT	(1: < 5.000)

In FIGUUR 2 is aangegeven welke ecosysteemcomponenten op welke schaal het meest geëigend zijn om indelingskenmerken aan te ontleen.



FIGUUR 2: Verband tussen ecosysteemcomponenten waaraan indelingskenmerken dienen te worden ontleend en schaalniveaus.

Voor eenheden los van ieder schaalniveau wordt de term milieubeheereenheid gebruikt: dit is een ruimtelijke eenheid aan het aardoppervlak, gekarakteriseerd door een specifieke homogeniteit van ecosysteemkenmerken, die hierdoor en door de dichtheid aan ecologische relaties ten opzichte van zijn omgeving als eenheid kan worden beschouwd. Deze eenheden zijn de legenda-eenheden, waarvan de naamgeving zo is gekozen dat een bepaalde (combinatie van) eigenschap(pen) wordt aangeduid; bijvoorbeeld kustduinen of polders.

Daarnaast is de term milieubeheergebied gebruikt: dit is een geografisch aaneengesloten gebied dat tot een bepaalde legenda-eenheid behoort en met een regionale naam (toponym) wordt aangeduid. Zo wordt bijvoorbeeld de milieubeheereenheid 'polders' - op het niveau van ecodistricten - verdeeld in de milieubeheergebieden Wieringermeer, Noordoostpolder, Oostelijk Flevoland en Zuidelijk Flevoland. In het algemeen bestaat een milieubeheereenheid dus uit één of meer milieubeheergebieden.

Bij het ontwerpen van de terminologie is primair aangesloten bij Anglo-Amerikaanse systemen, in het bijzonder het Canadese en dat van de Verenigde Staten (Wiken & Ironside, 1977; Bailey, 1981). Daarnaast is gestreefd naar een goede aansluiting bij in ons land gangbare begrippen en concepten, zoals het ecotoopbegrip en de plantengeografische, hydrobiologische en broedvogeldistricten.

Binnen deze reeks is de term ecotoop reeds bekend; deze wordt inmiddels algemeen geaccepteerd als de geografische basiseenheid voor landschaps-ecologisch onderzoek (zie Van der Maarel en Dauvellier, 1978). Een bruikbare definitie is die van Stevers et al. (1987): 'Een ecotoop is een ruimtelijk eenheid die homogeen is ten aanzien van vegetatiestructuur, successiestadium en de voornaamste abiotische standplaatsfactoren die voor de plantengroei van belang zijn'.

Hieronder ligt het schaalniveau van het eco-element, dat gedefinieerd is als een element in het landschap met bepaalde ecologische kenmerken, zoals een mestvaalt, een bosje, een slootkant of een beverdam, maar dat slechts op zeer gedetailleerde kaartschalen gekarteerd kan worden.

Een schaalniveau boven dat van de ecotoop kan qua definitie op die van de ecotoop aansluiten. Een ecoserie is dan een ruimtelijke eenheid die homogeen is voor wat betreft de belangrijkste abiotische standplaatsfactoren die voor de plantengroei van belang zijn.

Binnen een dergelijke eenheid kunnen vegetatietypen voorkomen die verschillen in successiestadium, leeftijd of vegetatiestructuur en soortensamenstelling door verschillende landgebruiksvormen of -intensiteit. De homogeniteit wordt hier dus gevonden in onder natuurlijke omstandigheden relatief stabiele abiotische kenmerken: die standplaatsfactoren die niet snel reageren op veranderingen in de vegetatie.

Een ecosectie, op het niveau boven dat van een ecoserie, is gedefinieerd als een ruimtelijke eenheid die gekenmerkt wordt door een eenheid in dominante geomorfogenetische (landschapsvormende) processen, en een

---

ruimtelijk functioneel verband door relatief snelle abiotische relaties (bijvoorbeeld oppervlaktewater en ondiep grondwater).

Ecoseries zijn zo als het ware karakteristieke combinaties van ecoseries die 'altijd' in elkaars nabijheid voorkomen. Homogeen zijn dan abiotische kenmerken op een niveau boven dat van de directe standplaatsfactoren.

Een ecodistrict is een ruimtelijke eenheid die homogeen is voor wat betreft in de tijd slechts zeer langzaam veranderende abiotische kenmerken. Het betreft hier veelal geologische, geomorfologische en mesoklimatologische kenmerken en kenmerken van de diepe grondwaterstromen (met verblijftijden van enkele tientallen tot enkele honderden jaren).

Het ecoregio-niveau tenslotte vormt het hoogste schaalniveau waarop binnen Nederland een indeling mogelijk is. De ruimtelijke homogeniteit wordt hier gevormd door reliëf/ landvorm en grote geologische eenheden.

Voor grotere gebieden dan Nederland, bijvoorbeeld een indeling van continenten of werelddelen (Europa) of de gehele wereld kunnen nog ecoprovincies en ecozones worden onderscheiden. Deze zijn hier niet van belang.

#### ECOREGIO'S EN ECODISTRICTEN

In het project Gebiedsstandaardisatie zijn ten behoeve van het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) vooralsnog alleen de twee hoogste schaalniveaus waarop voor Nederland een indeling mogelijk is, nader uitgewerkt. Zie de ecoregio- en ecodistrictenkaart met bijbehorende legenda in BIJLAGEN 2 en 3.

De ecoregio-kaart toont 6 ecoregiotypen. Vier hiervan zijn landregio's en twee waterregio's. Zie BIJLAGE 2.

De ecodistrictenkaart geeft een fijnere opdeling van deze 6 ecoregio's in 26 land-ecodistricttypen en 11 water-ecodistricttypen (totaal 37 ecodistricttypen). Zie BIJLAGE 3.

Binnen de ecoregio's heeft geen verdere splitsing naar milieubeheergebieden plaatsgevonden, in tegenstelling tot de ecodistricten waar in totaal 99 milieubeheergebieden zijn onderscheiden.

De volgorde in de lijst ecoregio's is zo gekozen dat de hoogliggende ecoregio's bovenaan staan en de lagere onderaan. Dit geeft een indicatie van de onderlinge beïnvloeding van de ecoregio's, namelijk via het oppervlaktewater (afstroming, bewegingsrichting stofstromen) en het grondwater (inzijgingsgebieden boven en kwelgebieden onder). Binnen de ecoregio's zijn de ecodistricten op een zelfde wijze geordend.

In de ecodistrictenkaart zijn ook de belangrijkste waterscheidingen aangegeven en zijn de daarmee samenhangende relaties tussen de gebieden met behulp van pijltjes aangeduid. De waterscheidingen geven enige informatie over de afstroomrichting van het grondwater (in het eerste watervoerende pakket).

De feitelijke inhoudelijke legenda is in tekstvorm. Deze bestaat uit 'ecologische karakterisering' van de milieubeheereenheden. Hierin worden de kenmerken van de ecosysteemcomponenten kort behandeld. Deze

---

legenda is volledig ingevuld voor de abiotische componenten. De overige kenmerken, zoals begroeiing, fauna, en eventuele bijzonderheden kunnen in vervolgonderzoek aan de orde komen Zie BIJLAGEN 2 en 3.

#### GEVOELIGHEID VAN DE ECODISTRICTEN VOOR VERZURING, VERMESTING, VERONTREINIGING EN VERDROGING

Van de kaarten met milieubeheereenheden kunnen op elk schaalniveau door interpretatie gevoeligheidskaarten gemaakt worden. Op het niveau van de ecodistricten zijn hiervan voorbeelden uitgewerkt voor verzuring, vermessing, verontreiniging en verdroging. De gevoeligheid is daarbij aangegeven in vier klassen; deze klassen geven een indicatie van de omvang van te verwachten effecten in een gebied bij een gegeven belasting of ingreep, zonder rekening te houden met de waarden of functies van dit gebied. Met de belasting of ingrepen in verleden en heden is daarbij evenmin rekening gehouden.

Voor de gevoeligheidsbepaling is allereerst nagegaan welke processen optreden met betrekking tot een bepaald milieuthema. Met deze kennis van de processen (oorzaak-effect relaties) zijn de relevante processen geselecteerd die tot verschillen in gevoeligheid per gebied kunnen leiden.

Op basis hiervan zijn vervolgens relevante parameters geselecteerd en is de bijdrage aan (de voorkoming van) de effecten geschat. Tenslotte is, na een schatting van het relatieve belang van de verschillende parameters, een eendoordeel betreffende de gevoeligheid geformuleerd. Dit eendoordeel heeft betrekking op de relatieve gevoeligheid van de verschillende gebieden en is geen absolute maat.

Met de eindbeoordeling per ecodistrictstype zijn uiteindelijk gevoeligheidskaarten getekend.

Voor verzuring is een kaart gemaakt die de gevoeligheid voor verzuring van bodem en ondiep grondwater aangeeft. Het belangrijke proces met betrekking tot verzuring is protonenconsumptie ( $H^+$ -consumptie). Dit treedt op door zogenaamde bufferende stoffen, die uit de bodem worden vrijgemaakt door chemische processen (verwerking) of door grond- of oppervlaktewater van elders worden aangevoerd. Daarnaast kunnen nog protonen uit het systeem verdwijnen doordat zij bij chemische omzettingen worden verbruikt. Dit treedt onder andere op bij het denitrificatieproces.

Op grond van deze processen zijn de volgende parameters als relevant beschouwd voor verschillen in verzuringsgevoeligheid: primair kalkgehalte van het gesteente, ontkalkingsdiepte, gehalte verweerbare silicaatmineralen, klei- en organische stofgehalte, Fe-hydroxydegehalte, aard en bewegingsrichting van grond- en oppervlaktewater, chemische samenstelling van dit water en de grondwaterstand.

Uit de gevoeligheidsbeoordeling en de bijbehorende gevoeligheidskaart blijkt dat met name de zandgronden gevoelig zijn, zij het dat hierbinnen nog wel enige differentiatie optreedt (zie BIJLAGE 4).

Voor vermesting zijn kaarten gemaakt van de gevoeligheid voor een belasting met nitraat en fosfaat.

---

Nitraat vormt vooral een probleem voor de drinkwaterwinning vanuit het grondwater. Tevens kan met nitraat verontreinigd grondwater elders, via grondwaterstromingen, effecten hebben. Voor deze stof is de gevoeligheid voor uitspoeling naar het grondwater bepaald.

Het bepalende proces is denitrificatie, waarbij nitraat in relatief onschadelijke vluchtige verbindingen wordt omgezet. Tevens is de verticale grondwaterbeweging van belang voor het gevaar op verspreiding van ondiep grondwater naar diepere lagen.

Op grond van deze processen zijn de volgende parameters als relevant beschouwd voor de gevoeligheid op uitspoeling van nitraat naar het grondwater: stromingsrichting van het grondwater, textuur van de bodem, grondwaterstand en organische stofgehalte.

Uit de gevoeligheidsbeoordeling en de bijbehorende gevoeligheidskaart blijkt dat de zandgronden met diepe grondwaterstand het gevoeligst zijn (zie BIJLAGE 4).

Fosfaat leidt voornamelijk tot ongewenste effecten in oppervlaktewateren. Hierin kan het direct of via bodem en grondwater terecht komen. Voor deze stof is het gevaar op doorslag van de bodem gekoppeld aan hieruit voortvloeiende eutrofiëring van grond- en oppervlaktewater.

Het bepalende proces met betrekking tot fosfaat is fosfaatbinding in de bodem. Hiervoor zijn de volgende parameters relevant: gehalte Fe- en Al-hydroxyden, kleigehalte, kalkgehalte, gehalte organo-ijzer- en -aluminiumverbindingen en grondwaterstand.

Uit de eindbeoordeling blijkt dat vooral de zandgronden met ondiepe grondwaterstanden en de oppervlaktewateren gevoelig zijn (zie BIJLAGE 4).

Verontreiniging met toxische stoffen is een ingewikkeld thema, waarvoor gevoeligheidskaarten van weinig nut lijken. Toxische stoffen vormen namelijk overal een milieuprobleem. Verschillen tussen gebieden vloeien voort uit enerzijds de verschillende eigenschappen van stoffen, en anderzijds verschillen in het milieu. Er is in dit rapport onderscheid gemaakt tussen zware metalen die zich als kation gedragen, organische microverontreinigingen die in water oplosbaar zijn en overige stoffen.

Voor de zware metalen en organische microverontreinigingen zijn zowel de kans op doorslag naar het grondwater als de kans op accumulatie in de bovengrond/waterbodem bepaald. Immers, in beide gevallen vormen de stoffen een potentieel gevaar: in het eerste voor de drinkwaterbereiding en voedselketens via planten, in het tweede geval omdat dit tot verontreinigde bodems aanleiding kan geven. Voor het thema verontreiniging resulteren aldus vier gevoeligheidskaarten: zware metalen - grondwater, zware metalen - bodem, organische microverontreinigingen - grondwater en organische microverontreinigingen - bodem.

Uitspoeling van zowel organische microverontreinigingen als zware metalen is afhankelijk van de bindingscapaciteit van de bodem en de bewegingsrichting van het grondwater. Als belangrijkste parameters voor de organische microverontreinigingen kunnen worden genoemd: stromingsrichting grondwater, organische stofgehalte en dikte van de onverzadigde laag. Voor zware metalen komen daar nog het klei- en siltgehalte en het kalkgehalte bij.

---

Accumulatie van deze verontreinigingen is grotendeels van dezelfde parameters afhankelijk, zij het dat de dikte van de onverzadigde laag niet meer relevant is, omdat de binding in de bovengrond en dus per eenheid van dikte wordt beoordeeld.

Het blijkt dat doorslag van beide typen verontreiniging naar het grondwater vooral kan optreden op de zandgronden, terwijl accumulatie kan plaatsvinden in de klei en laagveengebieden, alsook in oppervlaktewateren (waterbodems) (zie BIJLAGE 4).

De gevoeligheid voor verdroging is bepaald door de directe en indirecte effecten van verdroging samen te nemen. Hiertoe behoren vochttekorten in de bovengrond, de verstoring van lucht-, temperatuur- en nutriëntenhuishouding in de bovengrond, het droogvallen van oppervlaktewateren (beken en bronnen), vermindering van kwel en waterkwaliteitsveranderingen, en tenslotte inklinking en oxydatie van organische stof met de bijkomende eutrofiëring.

Het aantal relevante parameters voor verschillen in gevoeligheid is dienovereenkomstig: textuur van de bovengrond, grondwaterstand, de aanwezigheid van beken, bronnen, vennen en soortgelijke oppervlaktewateren, de richting van de grondwaterstroming, en het gehalte en de soort organische stof.

Deze veelheid aan verschillende relevante processen en parameters leidt ertoe dat vrijwel geheel Nederland wel enigszins gevoelig blijkt te zijn (zie BIJLAGE 4). De aard van de effecten is echter zeer verschillend per gebied. Zo kunnen grondwaterafhankelijke vegetaties en gewassen schade ondervinden, maar juist op andere plaatsen bestaat er weer gevaar voor onomkeerbare inklinking van de bodem. De gepresenteerde kaart vormt in feite een samenvatting van alle relevante effecten van verdroging op ecosystemen.

#### TOEPASBAARHEID VAN DE ECODISTRICTENKAART EN DE GEVOELIGHEIDSKAARTEN

De milieubeheergebieden, in het bijzonder de ecodistricten, kunnen naar verwachting een rol vervullen als basiseenheden voor gebiedsgericht milieubeleid op nationaal niveau. De opzet en uitwerking sluiten immers goed aan bij het beleid zoals dat momenteel door het ministerie van VROM wordt gevolgd. Dit moge blijken uit de volgende punten:

- het is gebaseerd op een scheiding van brongerichte aspecten en effectgerichte aspecten;
- het biedt de mogelijkheid functiegericht te werken;
- het sluit aan bij de milieuthema-aanpak, die niet van losse compartimenten maar veeleer van door compartimenten lopende processen uitgaat;
- het biedt de mogelijkheid schaalaspecten rechtsstreeks in verband te brengen met het rangordemodiel van het ecosysteem, waarin de milieucompartmenten als subsystemen en de milieuthema's als processen met elkaar in verband worden gebracht. Dit laatste sluit expliciet aan bij de nu voor het NMP voorgestelde indeling van milieuthema's naar schaalniveaus: mondiaal, continentaal, fluviaal, regionaal en lokaal (Milieu-Kompas, informatiebulletin NMP 12, 15 maart 1988).

De toepasbaarheid kan worden vergroot door de volgende uitwerkingen en verfijningen via nog te entameren onderzoek:

- differentiatie naar gedetailleerdere schaalniveaus ten behoeve van lagere beleidsniveaus (provincies, gemeenten) en/of meer natuurgerichte doelstellingen (NMF, Staatsbosbeheer);
- interpretatie van de legenda-eenheden van de huidige kaarten naar actuele en potentiële milieuwwaarden en gebruiksfuncties. Zo zal bijvoorbeeld ook een invulling kunnen plaatsvinden naar de voor deze beheerseenheden karakteristieke plante- en diersoorten (ecologische onderbouwing);
- combinatie van de gevoeligheidskaarten met belastingsgegevens om (potentiële) knelpunten te traceren. Tezamen met gegevens over de aanwezige of gewenste bestemmingen (functies) kunnen hieruit knelpunten voor het beleid worden geselecteerd;
- aansluiting bij modellen, waarmee voor de gekozen thema's scenario-berekeningen kunnen worden uitgevoerd.

#### AANBEVELINGEN VOOR VERVOLGONDERZOEK

Ten behoeve van een verdere integratie van het milieubeleid op nationaal niveau lijkt het zinvol gebiedsdocumenten op te stellen, waarin per ecodistrict een beschrijving wordt gegeven van de huidige en te verwachten milieukwaliteit alsmede een signalering van knelpunten. Allereerst dient dan onderzocht te worden welke de gewenste vorm van dergelijke gebiedsdocumenten zou moeten zijn. Gedacht zou kunnen worden aan:

- de uitgangssituatie ten aanzien van het abiotisch en biotisch milieu;
  - de uitgangssituatie met betrekking tot de functies en waarden van het milieubeheergebied;
  - de gevoeligheid voor de verschillende milieuthema's, gedifferentieerd naar functies;
  - de belasting van het milieu in verleden en heden voor de verschillende thema's;
  - de knelpunten in de functievervulling in relatie tot de thema's.
-

---

## MILIEUBEHEERGEBIEDEN

Deel A:

Indeling van Nederland in ecoregio's  
en ecodistricten.

---

## 1 INLEIDING

### 1.1 Achtergrond van het onderzoek

Op het ogenblik wordt door het Directoraat-Generaal voor Milieubeheer (DGM), Rijkswaterstaat (RWS) en Natuur Milieu en Faunabeheer (NMF) gewerkt aan het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP), een plan dat de algemene organisatie en strategie van het milieubeleid in de komende jaren zal weergeven. Een belangrijk aspect van het plan is dat het milieubeleid op een probleemgerichte wijze wordt geordend, namelijk naar de zogenaamde milieuthema's. Deze thema's zijn op te vatten als samenhangende processen die door verschillende milieucompartmenten (lucht, water, bodem, biota) heenlopen: een verandering in één compartiment wordt gevolgd door een reactie in een volgend.

Per thema wordt gestreefd naar een tweeledig beleid. Enerzijds is dat het effectgerichte beleid ofwel kwaliteitsbeleid, dat als doel heeft vanuit de verschillende functies die het milieu voor de samenleving heeft, eisen te stellen aan de eigenschappen van dat milieu (de milieukwaliteit). Anderzijds is er het brongericht beleid dat zich richt op de maatschappelijke activiteiten die verantwoordelijk zijn voor ongewenste veranderingen in de eigenschappen van het milieu.

De eisen die, vanuit de functies van het milieu gemotiveerd, gesteld worden aan de milieucondities kunnen voor het gehele land hetzelfde zijn, maar ook kunnen ze verschillen per gebied. Een dergelijke differentiatie vloeit voort uit enerzijds verschillen in gevoeligheid en anderzijds verschillen in gebruiksfuncties van de gebieden.

Deze studie richt zich op de onderbouwing van een gebiedsdifferentiatie voor het nationaal milieubeleid, voorzover deze samenhangt met verschillen in gevoeligheid voor de diverse milieuthema's. Deze verschillen in gevoeligheid komen voort uit verschillen in de ecologische eigenschappen van water, bodem en dergelijke. Met betrekking tot deze eigenschappen is op dit moment een groot aantal indelingen van Nederland voorhanden, die naast elkaar in het milieubeleid worden gebruikt. Voor een deel is dit begrijpelijk, omdat de doelstellingen van deze indelingen sterk kunnen verschillen. Voor een deel is echter sprake van een onnodige variatie aan indelingen en is er behoefte aan een indeling van Nederland in zogenaamde milieubeheergebieden.

### 1.2 Probleemschets

Bij de drie ministeries die voor de ruimtelijke ordening en het natuur- en milieubeheer verantwoordelijk zijn (Landbouw & Visserij, Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer, en Verkeer & Waterstaat) is een veelheid aan verschillende indelingen van Nederland in omloop. Dit leidt tot verwarring over welk gebied precies wordt bedoeld in beleidsuitspraken, onvergelykbaarheid van gegevens en inefficiëntie bij bestuur en beheer.

---

In beleidsonderbouwende studies kunnen de volgende groepen gebiedsindelingen worden aangetroffen.:

- a bestuurlijk-juridische indelingen
- b indelingen op basis van milieukeurmerken.

a. Voorbeelden van de eerste zijn: gemeenten, provincies, COROP-gebieden, hoogheemraadschappen, waterschappen, bosdistricten, gebieden die zijn aangewezen in het kader van de natuurbeschermingswet, GLE's (Grote Landschaps-Eenheden), Nationale Parken, enz.

b. Voorbeelden van de tweede zijn: geologische, geomorfologische, bodemkundige, fysisch geografische indelingen, landbouwgebieden, Landelijke Milieukartering (potentiële vegetatie), plantengeografische districten, hydrobiologische districten, afwateringseenheden, etc.

Voor het milieubeleid zijn bestuurlijk-juridische indelingen vaak bepalend voor de mogelijkheden tot effectuering van het beleid. Echter, voor een integraal beleid, waarbij enerzijds rekening kan worden gehouden met de specifieke kenmerken en de maatschappelijke functies van een gebied en anderzijds met de interacties tussen gebieden, is een bestuurlijk-juridische indeling niet geschikt. Het is daarom gerechtvaardigd de aandacht te richten op slechts die indelingen die zijn gebaseerd op milieukeurmerken.

Voor een adequaat milieubeleid en -beheer, zeker als dat door verschillende ministeries in onderlinge samenwerking moet worden uitgevoerd, is het van belang dat van eenzelfde gebiedsindeling wordt uitgegaan. Dit kan bijdragen tot een harmonisatie van taken en aanpak.

Voor wat betreft de aanpak wordt reeds afstemming tussen de drie ministeries gezocht in een systeembenadering van de werkelijkheid. Voor het milieubeleid is in dit verband het concept 'ecosysteem' goed bruikbaar en inmiddels door de drie ministeries aanvaard. Het denken in systemen die weer in subsystemen (bijvoorbeeld milieucapartimenten) kunnen worden opgedeeld, maakt het mogelijk processen, zoals verzuring, vermessing of verdroging te modelleren en effecten te voorspellen. Hieraan ten grondslag ligt het concept 'proces-respons systeem', of in geval van een effectenketen, een 'cascade systeem' (Chorley & Kennedy, 1971). Een gestandaardiseerde aanpak betreffende de milieuprocessen is zo al groeiende.

Het tweede belangrijke aspect van systemen, namelijk het ruimtelijk of geografisch aspect, behoort echter evenveel aandacht te krijgen in een systeembenadering. Nederland kan immers worden voorgesteld als een complex patroon van (relatief) homogene ecosystemen met bepaalde kenmerken en op een bepaalde plaats; binnen, maar ook tussen deze systemen bestaan verbanden.

Ook deze relaties tussen gebieden kunnen als meer of minder complexe 'proces-respons systemen' worden begrepen: een ingreep in één gebied leidt vaak tot effecten in een andere (eventueel via tussenliggende gebieden (=deelsystemen)).

---

Een dergelijke benadering wordt wel de systeembenadering in de landschapsecologie genoemd; het onderzoeksobject is dan het landschap als complex van onderling in wisselwerking verkerende ecosystemen

Om een dergelijk systeembenadering operationeel te kunnen maken en om modellen ten aanzien van processen zoals verzuring, vermisting e.d. voor het milieubeleid (ingezonderd de ruimtelijke ordening als instrument) van een ruimtelijke dimensie te kunnen voorzien, moeten deze proces-modellen gekoppeld worden aan een geografisch model: een kaart (twee-dimensionaal) of geavanceerder drie-dimensionaal model. Modelleren van de processen in de tijd maakt dit dan tot een vier-dimensionaal model.

In het eind 1988 te verschijnen Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) zullen de drie milieudepartementen gezamenlijk het milieubeleid voor de komende vier jaar presenteren. Hierin zou gestreefd moeten worden naar een gestandaardiseerde hiërarchisch opgezette gebiedsindeling: geografische deelsystemen, die kunnen fungeren in samenhang met de verticale deelsystemen: de milieucompartmenten bodem, water, lucht en biota.

### 1.3 Probleemstelling

Tegen de hierboven geschetste achtergrond is de volgende probleemstelling geformuleerd:

Is een ecologisch gefundeerde indeling van Nederland aanwezig, respectievelijk te maken, die relevant is voor het nationale milieubeleid inzake de verschillende milieuthema's ?

Gezien de mogelijke toepassing van een dergelijke indeling in het NMP is als eis gesteld dat de indeling allereerst op een zodanige schaal diende te worden uitgewerkt dat deze op A4-formaat goed leesbaar diende te blijven. In een later stadium zou eventueel een nadere differentiatie naar gedetailleerdere schaalniveaus kunnen plaatsvinden.

De probleemstelling is als volgt ingeperkt:

- 1 Alleen indelingen die geheel Nederland beslaan, worden bij de inventarisatie betrokken. De nadruk zal daarbij vallen op kaarten met schalen 1: > ca. 200.000, omdat daarop geheel Nederland nog op hanteerbaar formaat op één kaartblad kan worden weergegeven.
  - 2 Op het hoogste classificatieniveau moet de indeling in elk geval bruikbaar zijn voor het beleid ingevolge het Nationaal Milieubeleidsplan: 'Nederland op een A4-tje' (schaal 1: ong. 1.500.000).
  - 3 Een hiërarchische opbouw, zo dat verfijning ten behoeve van lagere bestuurlijke niveaus mogelijk is, is gewenst. Deze hiërarchie moet ook dienen om uitspraken op een hoog schaalniveau beargumenteerd te kunnen doen en toch op lager niveau te kunnen verfijnen (differentiëren).
-

- 4 Alleen voor milieubeleid relevante indelingen worden geïnventariseerd; dat betekent nadruk op de milieucompartimenten water, bodem, lucht en vegetatie of gehele ecosystemen.
- 5 Indelingen die cultuurhistorische aspecten van het landschap betreffen, zoals verkavelingspatronen of het landschapsbeeld, worden alleen bekeken voorzover ze ecologisch relevant zijn (bijv. ecologische infrastructuur) als een logische consequentie van een ecosysteembenadering.
- 6 Buitenlandse methoden van ecologische classificatie worden alleen bij het onderzoek betrokken voorzover ze methodisch of qua terminologie interessant zijn.
- 7 Geografische Informatie Systemen (GIS) zullen wel als mogelijkheid worden genoemd, maar vormen vooralsnog niet het doel van het onderzoek. Wel dient te worden aangesloten bij ontwikkelingen op dit gebied in Nederland.

#### 1.4 Doelstellingen

- Het presenteren van een indeling van Nederland op ecologische grondslag ten behoeve van het milieubeleid op rijksniveau (op A4-formaat) voor het Nationaal Milieubeleidsplan (NMP) en als basis voor RIVM-onderzoek.
- Het vervaardigen van een gestandaardiseerd begrippenkader ten behoeve van een hiërarchische classificatie op ecologische grondslag voor verschillende beleidsniveaus (van landelijk tot gemeentelijk).
- Het doen van aanbevelingen voor een invulling van een dergelijk (hiërarchisch opgebouwd) classificatiesysteem van milieubeheer-eenheden op verschillende schaalniveaus, gebruikmakend van bestaande expertise bij de verschillende milieudepartementen en hieraan gelieerde onderzoeks- en beheersinstanties.
- Het aangeven van de gebruiksmogelijkheden van de basiskaart op schaal 1: ong. 1.500.000 voor het milieubeleid door enkele voorbeelden van toepassing: het vervaardigen van gevoeligheidskaarten voor enkele in overleg te selecteren milieuthema's.

#### 1.5 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd in twee delen. Het eerste deel (DEEL A) was gericht op het selecteren c.q. ontwikkelen van een basiskaart. Het tweede deel (DEEL B) is op enkele toepassingen van deze basisindeling gericht geweest. Voor dit tweede deel zijn pas gedurende het project de precieze vraag- en doelstelling bepaald, in overleg met de opdrachtgever en potentiële gebruikers.

---

De beide delen A en B zijn elk in fasen ingedeeld. De volgende onderzoeksstappen werden daarin uitgevoerd, zij het niet strikt chronologisch:

#### DEEL A

- 1 Inventarisatie van bestaande indelingen
- 2 Inventarisatie van de vraagzijde/doelstellingen
- 3 Beoordeling van de bestaande indelingen
- 4 Keuze/ontwerp van een gebiedsindeling A4
- 5 Ontwerp van een hiërarchisch classificatiesysteem

#### DEEL B

- 1 Opstellen van effectenreeksen voor verzuring, vermesting, verontreiniging en verdroging
- 2 Bepalen van de relevante parameters die de gevoeligheid voor deze thema's bepalen
- 3 Schatten van het relatieve belang van deze parameters
- 4 Bepalen van de gevoeligheid van de gebieden voor deze thema's op basis van de geselecteerde parameters
- 5 Vervaardigen van gevoeligheidskaarten voor deze thema's

Op elk van de fasen van DEEL A zal hier kort worden ingegaan. De werkwijze van DEEL B wordt in de inleiding van DEEL B van dit rapport aan de orde gesteld.

De inventarisatie van de aanbodzijde bestond uit het verzamelen van frequent ten behoeve van het milieubeleid gebruikte kaarten en indelingen. Deze indelingen zijn naar objectieve kenmerken geordend, zoals type indeling (choropletenkaarten versus databestanden), gebruikte indelingskenmerken, schaal van inventarisatie en schaal van presentatie, wijze van vervaardiging (compilatie versus gebaseerd op veldgegevens), e.d.

Van de vraagzijde is nagegaan aan wat voor soort kaarten behoefte bestaat en bij welke groepen, c.q. instanties, die behoefte bestaat. Daarbij is vooral het verband tussen basiskaarten en afgeleide kaarten aan de orde. Basiskaarten behoeven een nadere interpretatie en daarmee een goede interpretator, terwijl afgeleide kaarten informatie op een voor het beleid inzichtelijke wijze dienen weer te geven.

Bij de analyse van bestaande classificaties, c.q. kaarten, is nagegaan in hoeverre deze basiskaarten bruikbaar zijn voor toepassing ten behoeve van

---

het beleid. Hiertoe moeten de basiskaarten informatie bevatten over voor het milieubeleid relevante milieukeurmerken. Tevens moet de kaart voldoende betrouwbaar zijn voor het gewenste schaalniveau en relatief gemakkelijk te interpreteren zijn, ook voor niet ingewijden. Dit laatste punt valt daarbij uiteen in aspecten als textuur van het kaartbeeld, complexiteit van de legenda, wijze van formulering van wetenschappelijke begrippen e.d. Tenslotte moet een kaart liefst zo lang mogelijk bruikbaar zijn, dat wil zeggen niet te snel verouderen door veranderingen in het milieu.

Bij de uiteindelijk keuze, c.q. het ontwerp, van een standaard indeling van Nederland op A4-formaat is gestreefd naar een relatief eenvoudig kaartbeeld dat aansluit bij de wensen vanuit het milieubeleid. De kaart diende zo min mogelijk overbodige informatie te bevatten en vooral een voor beleidsdoeleinden bruikbare gebiedsindeling te zijn. De beschrijving van deze gebieden kan et het toenemen der kennis worden uitgebreid.

Omdat milieubeleid hiërarchisch van structuur is, wordt aansluiting vergemakkelijkt als ook de gebieden waarover beleidsuitspraken worden gedaan zich hiërarchisch tot elkaar verhouden. Globale uitspraken kunnen dan voor grote gebieden gelden, terwijl meer concreet beleid voor ondergeschikte, kleinere gebieden kan worden geformuleerd. Dit laatste mag dan nooit in tegenspraak zijn met het globalere beleid voor de grotere gebieden.

Ten behoeve van een dergelijke hiërarchische gebiedsindeling is een ecologisch gefundeerd classificatiesysteem ontworpen dat een hiërarchische opbouw in overeenstemming brengt met (landschaps)ecologische theorie.

#### 1.6 Opzet

DEEL A van dit rapport bestaat uit een zevental hoofdstukken. Na dit inleidende hoofdstuk 1 volgen twee hoofdstukken waarin de theoretische onderbouwing van een indeling in milieubeheergebieden wordt geschetst.

In hoofdstuk 2 betreft dat een algemeen milieukundig model waarin de mens, z'n milieu en de thema's van het milieubeleid in Nederland aan elkaar worden gerelateerd. Daarbij wordt een ecosysteembenadering als centraal concept geïntroduceerd en wordt een argumentatie voor die keuze gegeven. Tevens wordt de doelstelling op wetenschapstheoretische gronden versmald.

In hoofdstuk 3 komt het aspect van kartering van ecosystemen aan de orde. Het betreft hier een vooral theoretische beschouwing over ecosystemen op verschillende schaalniveaus en de mogelijkheden daar voor het milieubeleid bruikbare kaarten van te vervaardigen.

In hoofdstuk 4 wordt expliciet aangesloten bij de milieuthema's, waar dit in de hoofdstukken 2 en 3 slechts impliciet meespeelde door de keuze voor het ecosysteem als centraal concept. Door de milieuthema's als processen in ecosystemen voor te stellen, wordt het mogelijk de voor deze thema's relevante ecosysteemkenmerken te selecteren. Op grond daarvan

---

worden vervolgens indelingskenmerken geselecteerd, waarop een indeling van Nederland in milieubeheergebieden gebaseerd zou moeten zijn.

Hoofdstuk 5 is een globaal overzicht van bestaand, bruikbaar of interessant kaartmateriaal. Hier worden bestaande kaarten genoemd en op hun merites voor het milieubeleid beoordeeld. De in hoofdstuk 4 geselecteerde indelingskenmerken zijn voor deze beoordeling van belang, omdat daaruit de relevantie voor het beleid inzake de milieuthema's kan worden begrepen.

In hoofdstuk 6 wordt een voorstel gedaan voor een gestandaardiseerde terminologie ten behoeve van ecologische gebiedsindelingen in het algemeen en ten behoeve van het rijks-milieubeleid in het bijzonder. Hierbij wordt een tweetal basiskaarten gepresenteerd voor het nationale beleidsniveau met een eerste aanzet tot een uitgewerkte legenda (gebiedsbeschrijving). Tevens wordt aangegeven hoe op gedetailleerdere schalen ten behoeve van lagere overheden of specifiekere doelgroepen (zoals natuurbehoud) invulling zou kunnen plaatsvinden.

Hoofdstuk 7 tenslotte geeft enige conclusies en aanbevelingen voor verder onderzoek, voorzover die niet meer in DEEL B aan de orde komen.

In DEEL B wordt voor een viertal milieuthema's de gevoeligheid per gebied bepaald. De relatieve gevoeligheid wordt daarbij op kaarten weergegeven die ondersteunend kunnen zijn voor gebiedsgericht beleid.

Voor de opzet van DEEL B wordt verwezen naar de inleiding daarvan: hoofdstuk B.1.

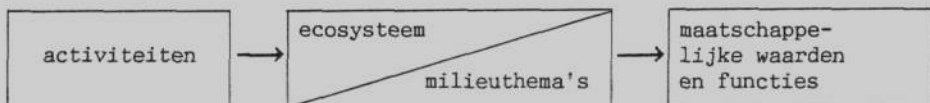
---

## 2 ECOSYSTEEMBENADERING EN MILIEUPROBLEMATIEK

### 2.1 Algemeen milieukundig kader

Uit de vraagstelling volgt dat de indeling primair bruikbaar zou moeten zijn voor een bepaling van de gevoeligheid van gebieden voor de milieuthema's. Deze gevoeligheid is afhankelijk van diverse eigenschappen van het milieu, die beschouwd kunnen worden als ecosysteem-parameters in brede zin. Het ecosysteem omvat in dit verband zowel het abiotisch (niet-levend) als het biotisch (levend) milieu van de mens: tezamen het fysiek milieu.

In onderstaand algemeen relatieschema inzake milieuproblemen staat het ecosysteem dan ook centraal, tussen menselijke activiteiten die door ingrepen en emissies (de eerste pijl) dit ecosysteem beïnvloeden, en de functies en waarden die dit milieu voor de mens heeft (door de mens toegekende waarden: de tweede pijl).



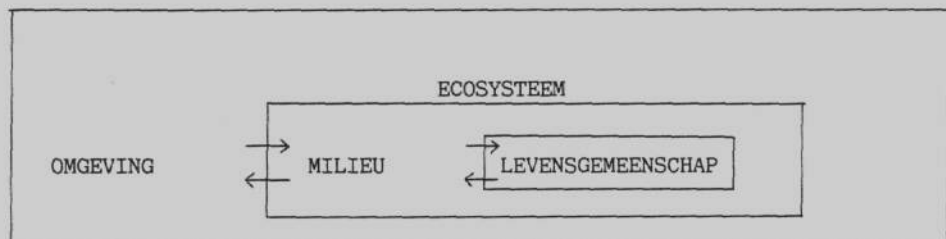
FIGUUR 2.1: Algemeen milieukundig relatieschema (naar Akkerman et al., 1987).

De milieuthema's, die voortvloeien uit de menselijk activiteiten, kunnen beschouwd worden als fysieke processen in ecosystemen. Verzuuring, vermes-ting e.d. zijn dan ook als onderdelen van het fysieke relatiestelsel binnen ecosystemen te beschouwen. Als zodanig zullen ze in dit rapport ook worden behandeld. Noch de feitelijke belasting, die een gevolg is van ingrepen en emissies ingevolge menselijke activiteiten, noch de met de milieuproblemen samenhangende normen en waarden zullen hier aan de orde komen. Alleen de fysieke processen in het milieu zijn onderdeel van dit onderzoek geweest.

De mens zelf is in bovenstaande FIGUUR 2.1 uit praktische overwegingen buiten het ecosysteem geplaatst, mede omdat hij in staat is de mogelijke fysieke consequenties van zijn handelen te voorzien; als zodanig kan hij ook als beheerder van het ecosysteem optreden.

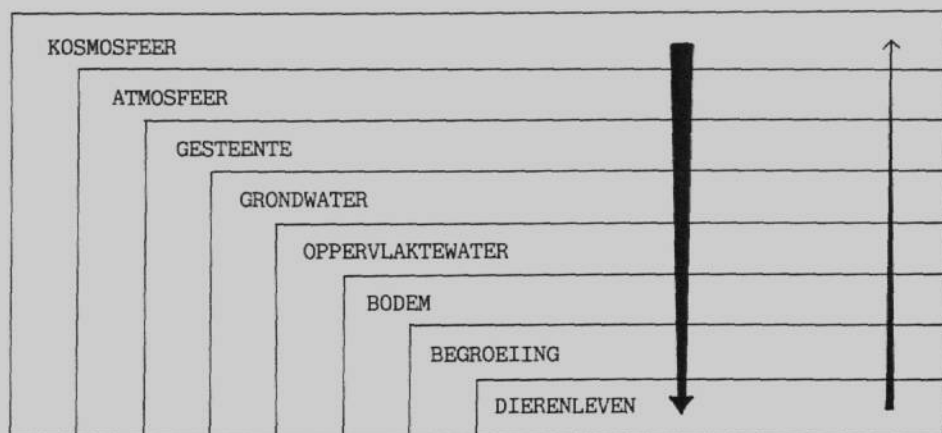
### 2.2 Ecosysteembenadering

Een ecosysteem is door Van der Maarel en Dauvellier (1978) gedefiniëerd als een levensgemeenschap en het daarmee in wisselwerking verkerende milieu. Dit betekent dat levende wezens, de onderlinge betrekkingen tussen deze levende wezens, en de betrekkingen tussen deze levende wezens en het niet-levende (abiotische) milieu een ecosysteem vormen (FIGUUR 2.2). Wat niet in beschouwing wordt genomen als onderdeel van het systeem wordt omgeving genoemd.



FIGUUR 2.2: Algemeen schema van een ecosysteem (aangepast naar Van der Maarel & Dauvellier, 1978).

Betrekkingen en processen in het abiotisch milieu, die niet van rechts-streeks belang zijn voor de levende wezens, worden veelal niet tot onderwerp van ecosysteemonderzoek gerekend. Het betreft daarbij bijvoorbeeld interacties tussen gesteente en bodem, bodem en grondwater, grondwater en atmosfeer, die indirect van groot belang kunnen zijn voor de levende wezens: planten, dieren of mensen. In dit onderzoek zal het begrip ecosysteem in een brede betekenis worden gebruikt, opdat ook strikt abiotische processen met indirecte ecologische repercussies tot het ecosysteem kunnen worden gerekend (zie FIGUUR 2.3).



FIGUUR 2.3: Rangordemodel van een ecosysteem (naar Van der Maarel & Dauvellier, 1978; Bakker et al., 1979, 1981; Piket et al., 1987).

Ecosystemen worden gekenmerkt door een grote relatieve homogeniteit ten opzichte van de omgeving, ofwel: de wisselwerking tussen de componenten binnen een ecosysteem is groter dan de wisselwerking met de omgeving. Zo

opgevat kan een ecosysteem worden voorgesteld als een 'homogene constellatie van bepaalde milieu- en levensgemeenschapskenmerken'.

Binnen een ecosysteem kunnen compartimenten of 'deelcomplexen' (Bakker et al., 1981) worden onderscheiden, die elk als afzonderlijk subsysteem kunnen worden beschouwd. Tussen deze subsystemen bestaan betrekkingen waaraan een zekere hiërarchie van belangrijkheid kan worden toegekend. Dit is uitgewerkt door Van der Maarel & Dauvellier (1978) in het Globaal Ecologisch Model en geoperationaliseerd in een rangordemodell door Bakker et al. (1981) voor de Nederlandse kustduinen.

Een soortgelijk rangordemodell geeft FIGUUR 2.3. De dikte van de pijlen, die de betrekkingen tussen de ecosysteemcomponenten weergeven, is een globale aanduiding van de belangrijkheid van de relaties. Zo zijn klimaat (atmosfeer) en gesteente bepalend voor de bodemvorming. De waterbalans (klimaat) is van invloed op de grond- en oppervlaktewaterhuishouding; bodem en grondwater bepalen de groeimogelijkheden voor de planten, samen met klimaat en lichtbeschikbaarheid (energie).

Van der Maarel & Dauvellier (1978) noemen onder meer de volgende argumenten voor een dergelijk rangordesysteem:

- hoe hoger de sfeer waarin wordt ingegrepen, des te groter het effect;
- hoe langer de mogelijke keten van effecten, des te onzekerder zullen wij zijn omtrent de eindeffecten.

Bakker et al. (1981) hebben dit nader gespecificeerd in termen van criteria die gebruikt kunnen worden bij de analyse van afhankelijkheidsrelaties. Hierbij wordt opgemerkt dat stoffenstromen in de natuur altijd een kringloopkarakter kennen, zodat afhankelijkheid of onafhankelijkheid als relatieve begrippen moeten worden beschouwd. Energiestromen hebben meer het karakter van eenrichtingsverkeer en zijn daarom meer geschikt om de relatieve (on)afhankelijkheid van subsystemen vast te stellen.

Zij noemen onder meer:

- de "conditio sine qua non": de mogelijkheid van bestaan is direct afhankelijk van de aanwezigheid van een bepaald materiaal of een bepaalde structuur (gesteente > bodem; poreus gesteente > grondwater);
  - de richting van de energiestroom of energiepotentiaal (zonnestraaling > plant > dier);
  - de richting van de (potentiële) stoffenstroom (neerslagoverschot > grondwater);
  - ontstaan (genese of evolutie) (wind > duinen);
  - schaal- en reservoirverhoudingen: kleinschalige, lokale deelcomplexen zijn relatief afhankelijk van grootschalige deelcomplexen met grote reservoirs (atmosfeer > bodem);
  - patroonrelaties: patronen van relatief onafhankelijke deelcomplexen worden weerspiegeld (direct of indirect) in patronen van relatief afhankelijke deelcomplexen (klimaat > bodem; klimaat > vegetatie; gesteente > vegetatie);
-

- proces-respons relaties: veranderingen in relatief onafhankelijke subsystemen (bijvoorbeeld klimaat) hebben duidelijke en onontkoombare effecten (respons) op de relatief afhankelijke subsystemen (bijvoorbeeld vegetatie, landbouw).

De betrekkingen tussen plantegroei en bodem zijn dermate verweven dat nauwelijks van dominantie van de een boven de ander gesproken kan worden. Dit is des te duidelijker als ook de organische horizonten als onderdeel van de bodem worden beschouwd. Ook binnen de levensgemeenschap zijn de betrekkingen tussen de producenten en de primaire, secundaire en tertiaire consumenten zeer sterk verweven. Dit is in FIGUUR 2.3 weergegeven met de dikte van de pijlen.

Het hier gepresenteerde rangordemodell van een ecosysteem zal verder als leidraad fungeren.

### 2.3 Landschappen als (complexen van) ecosystemen

Ecosystemen kunnen in grootte sterk variëren, afhankelijk van het schaalniveau waarop ze worden afgegrensd. Eén kenmerk echter moeten ze, gezien de definitie van een ecosysteem, alle gemeen hebben: interne homogeniteit.

Voor karakteristieke combinaties van onderling verschillende ecosystemen die wel meestal naast elkaar voorkomen, wordt wel de term (hoofd)landschap gebruikt (Vink, 1980; Veelenturf 1987a). Een landschap, volgens de ecosysteembenadering, is een complex van met elkaar in wisselwerking verkerende ecosystemen aan het aardoppervlak, dat aan z'n uiterlijke kenmerken te onderscheiden is (vrij naar Zonneveld, 1972; Van der Maarel & Dauvellier, 1978; Vink, 1980).

Zo wordt bijvoorbeeld een duinlandschap gekenmerkt door het naast elkaar voorkomen van vochtige duinvalleien en reeksen droge duinen, of het rivierengebied door oeverwallen, dijken en kommen met lokaal waaien of wielen (dijkdoorbraken), strangen (oude rivierlopen in de uiterwaard) en dergelijke.

In landschappen is dus sprake van een kenmerkende heterogeniteit, die eigen is aan dit landschap. Ten opzichte van omringende landschappen doet het zich echter voor als een herkenbare, relatief homogene eenheid. De homogeniteit wordt daarbij echter niet veroorzaakt door bijvoorbeeld een gelijkvormige vegetatie, maar bijvoorbeeld wel door een gelijksoortige hydrologische situatie of een gelijke genese. Omdat het abiotisch milieu met zijn kenmerken en processen hier als integraal onderdeel van het ecosysteem wordt beschouwd, kan gesteld worden dat ook in dit geval sprake is van een ecosysteem, waarvan de homogeniteit echter in een hoger (in het rangordemodell) subsysteem dan dat van de levensgemeenschap is gelegen. Daarom kunnen ook landschappen als ecosystemen worden beschouwd, mits de grenzen die op grond van abiotische systeemkenmerken worden getrokken door kenmerkende groepen van organismen worden weerspiegeld; dan immers is sprake van een ecologische eenheid en kan een kenmerkende soortengroep worden gedefinieerd analoog aan bijvoorbeeld de soortengroe-

pen die ten grondslag liggen aan het CML-ecotopensysteem (Stevens et al., 1987).

Een landschap kan nu steeds verder worden verdeeld in horizontale subsystemen. Deze bezitten een steeds grotere mate van relatieve interne homogeniteit naarmate de indeling gedetailleerder is.

Een indeling in horizontale subsystemen leidt tot een kaartbeeld met bijbehorende classificatie (legenda). Evenals bij de indeling in verticale subsystemen kan hier een rangorde of hiërarchie worden aangebracht. Deze is in dit geval gebaseerd op de mate van gelijkheid tussen de ruimtelijke subsystemen of de samenhang ertussen. Vele land(schaps)classificaties zijn hiërarchisch van opbouw (Vink, 1976; 1980). Hierop zal in hoofdstuk 3 worden ingegaan.

#### 2.4 Ruimtelijke processen en sleutelvariabelen

Tussen aangrenzende subsystemen in een landschap (kaartenheden) vinden stromingen van energie en materie plaats. Deze kunnen van tweeërlei aard zijn:

- autonoom: verplaatsingen van dieren, mensen
- fysiek gedetermineerd: lucht, water, opgeloste stoffen, diaspora, sediment, bodembewegingen

Deze stromingen worden aangeduid als landschapsecologische relaties indien ze ecologische implicaties hebben (Vos et al., 1982). Door de landschapsecologische relaties staan gebieden met elkaar in een functioneel verband: inzigtgebieden voeden een grondwaterlichaam, waaruit elders kwelwater aan het oppervlak komt; de Rijn brengt sediment mee uit Zwitserland en Duitsland en deponert dit onder meer in Hollands Diep en Ketelmeer; verontreinigingen worden door oppervlakte- en grondwaterstromingen verplaatst enz. Voor een uitgebreide inventarisatie van mogelijke landschapsecologische relaties wordt verwezen naar Vos et al. (1982).

De richting en snelheid van deze processen zijn van groot belang voor de milieueigenschappen in bepaalde ecosystemen. Daarom is het van groot belang in het milieubeleid steeds rekening te houden met de ruimtelijke verbanden tussen gebieden. Zo is kennis van de ruimtelijke processen bijvoorbeeld van zeer groot belang voor de voorspelling van een mogelijke verspreiding van milieugevaarlijke stoffen in horizontale richting.

De hier genoemde ruimtelijke processen tussen ecosystemen zijn voor een belangrijk deel onderhevig aan fysische en chemische wetmatigheden. De belangrijkste drager van opgeloste of gesuspendeerde stoffen is het water. Zowel oppervlaktewater als grondwater kunnen dan ook als het belangrijkste agens voor de verspreiding van stoffen of zelfs genetisch materiaal (diaspora: zaden e.d.) verantwoordelijk worden geacht.

De stromingsrichting van water wordt boven- en ondergronds hoofdzakelijk bepaald door drukverschillen, die zich manifesteren als (druk)hoogte boven een referentiepunt (NAP, zeespiegel, maaiveld). Dit maakt het mogelijk met behulp van stijghoogtekaarten van het grondwater (isohypsenpatroon) en kennis van de doorlaatbaarheid van de ondergrond de stro-

mingsrichting en -snelheid van grondwater bij benadering vast te stellen (Van der Molen, 1975; Roelofs et al. 1982).

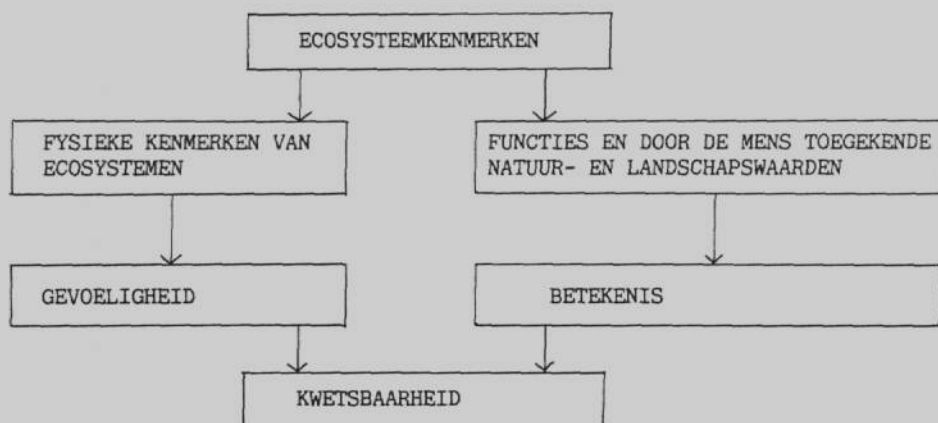
Voor oppervlaktewater is de stromingsrichting en -snelheid gemakkelijk af te leiden uit het verhang: het hoogteverschil per standaardafstand waterloop (bijvoorbeeld m/km).

Onder natuurlijke omstandigheden kan er voor gebieden met een netto neerslagoverschot op jaarbasis van worden uitgegaan dat zowel de stroming van het oppervlaktewater als de jaarlijkse nettostroming van het ondiepe grondwater vrijwel volledig gestuurd worden door het reliëf.

Op grond van het hierboven geschetste kunnen reliëf en landvorm (geomorfologie) en de doorlaatbaarheid van de ondergrond (de geologische opbouw) worden aangeduid als sleutelvariabelen. Zij sturen de ruimtelijke processen naar richting en snelheid, voorzover deze processen tenminste fysiek gedetermineerd zijn.

### 2.5 Gevoeligheid, betekenis en kwetsbaarheid van ecosystemen

De kwetsbaarheid van een ecosysteem voor invloeden van buitenaf kan worden voorgesteld als een combinatie van enerzijds de gevoeligheid voor veranderingen als fysieke reactie op deze invloeden (proces --> respons), en anderzijds de waarde die aan de beïnvloede of verstoorde ecosystemen wordt toegekend (Veelenturf et al., 1987b). FIGUUR 2.5 geeft dit schematisch weer.



FIGUUR 2.5: Het verband tussen ecosysteem, gevoeligheid, betekenis en kwetsbaarheid.

Gevoeligheid wordt hierbij gedefinieerd als de mate van verandering

(respons) van zowel het abiotisch milieu (de conditionerende factoren) als de levende natuur onder invloed van een bepaald proces.

Betekenis is te definiëren als de waarde die kan worden toegekend aan het voorkomen van bepaalde natuur- en milieukenmerken. Dit kan zowel betrekking hebben op natuurbetekenis als op functies van het milieu voor de mens, zoals voor drinkwatervoorziening, landbouw, e.d.

Kwetsbaarheid is een begrip dat hier wordt voorbehouden aan betekenisvolle ecosystemen of functies van ecosystemen die worden bedreigd omdat ze tevens gevoelig zijn.

Deze studie richt zich op classificaties ter bepaling van de gevoeligheid van ecosystemen. Dit impliceert dat de aspecten betekenisstoekenning en de daaruit voortvloeiende kwetsbaarheidsbepaling niet aan de orde zullen komen. Wel kunnen naar believen afgeleide kaarten met betrekking tot de gevoeligheid van de ecosystemen worden gekoppeld aan kaarten die de betekenis ervan weergeven.

## 2.6 Milieuproblemen, inperking

In het IMP-Milieubeheer (1987-1991) (Ministerie VROM et al., 1986) worden vijf milieuproblemen als centrale thema's voor het milieubeleid genoemd:

- Verzuring
- Vermesting
- Verspreiding
- Verwijdering
- Verstoring

Tevens zijn verdroging en verandering van klimaat gesignaleerd als potentiële milieuvraagstukken.

Deze reeks kan nog worden aangevuld met:

- Vernietiging (van ecosystemen of onderdelen daarvan)
- Versnippering (van aaneengesloten ecosystemen tot kleine meer of minder geïsoleerde snippers)

Bij verdroging kan in West-Nederland het hiermee zeer nauw verband houdende verzilting worden toegevoegd; verdroging en verzilting zijn hier als één samenhangend thema opgevat. Daar hoort vanzelfsprekend ook het tegendeel van verzilting, namelijk verzoeting bij. Dit wordt in het bijzonder vanuit het natuurbehoud als probleem ervaren.

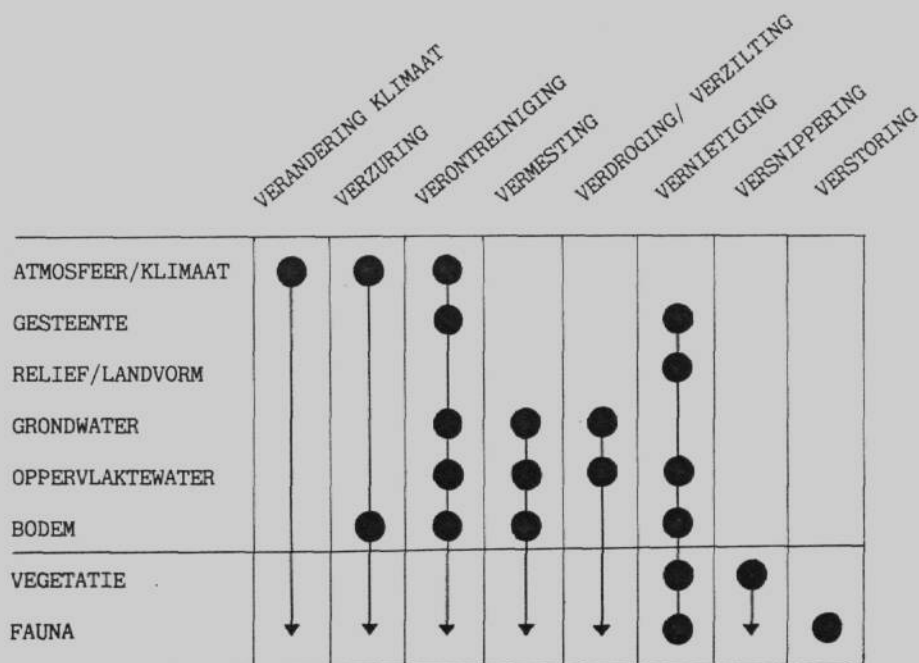
Ook verwijdering en verspreiding zijn hier samengevoegd tot één thema onder de naam verontreiniging. Hiertoe is besloten, omdat verwijdering volgens het IMP-Milieubeheer slechts betrekking heeft op de verwijdering van afvalstoffen. Bij deze afvalstoffen zitten echter wel grote hoeveelheden afvalstoffen die nu nog als vervuilde grond in het landschap liggen en daar ook door ruimtelijke processen terecht zijn gekomen. De grote hoeveelheden havenslib in de grote rivieren en het sterk vervuilde uiterwaardenslib zijn hier voorbeelden van. Hier is weliswaar sprake van

---

afvalstoffen in de zin der wet, maar de oorzaak van hun aanwezigheid is het proces van verspreiding van zware metalen en organische microverontreinigingen door lozingen, verplaatsing door oppervlaktewater en sedimentatie van verontreinigd slib. Van verspreiding kan nog worden opgemerkt dat het een ruimtelijk aspect is van zowel verontreinigingen als van vermesting, verzuring en dergelijke. Daarom wordt die term niet verder gebruikt.

De milieuthema's kunnen worden voorgesteld als procesketens: een ingreep of emissie beïnvloedt eerst het aangrijpingssubstysteem, bijvoorbeeld de lucht of de bodem. Vervolgens worden de daarvan 'afhankelijke', onderliggende subsystemen beïnvloed. Dit kan worden afgelezen uit de pijlen in het rangordemodell van een ecosysteem (FIGUUR 2.3).

Na de bovengenoemde samenvoegingen en uitbreidingen van milieuthema's in de betekenis van het IMP-Milieubeheer (1987-1991) blijft een reeks van acht thema's over die in het rangordemodell gerangschikt kunnen worden naar het milieucompartiment waarop zij aangrijpen (FIGUUR 2.6).



FIGUUR 2.6: Aangrijpingspunt (●) en doorwerking (→) van milieuthema's in het ecosysteemmodel.

Bij lange procesketens (cascadesystemen; Chorley & Kennedy, 1971) worden de mogelijke effecten vaak pas laat in hun volle omvang overzien, waardoor maatregelen eveneens (te) laat worden genomen. Dit is een gevolg van enerzijds de lengte van de effectketens en anderzijds de zogenaamde 'relaxation time', een vertraging tussen oorzaak en gevolg die des te meer opvalt naarmate meerdere stappen in een reeks oorzaak-effect ketens moeten worden doorlopen.

Een duidelijk voorbeeld is de verzuring, die aangrijpt in de atmosfeer. Voor dit proces werd reeds in 1661 gewaarschuwd (Evelyn, 1661; Intermedi-air, 1986), maar pas nu worden serieuze maatregelen genomen.

Ook vergiftiging van het grondwater met persistente giften bijvoorbeeld, manifesteert zich soms pas na 20, 50 of meer jaren als gevolg van de lange verblijftijden van grondwater in de ondergrond.

Processen die in de kosmosfeer aangrijpen kunnen op lange termijn nog ernstiger gevolgen teweegbrengen en zijn nog minder voorspelbaar en beheer(s)baar. Men denke hierbij aan de afbraak van de ozonlaag in de bovenste luchtlagen en de hierdoor toenemende UV-straling op aarde. Dergelijke potentiëel sluipende processen verdienen extra aandacht. In het rangordemodell van een ecosysteem is hierin voorzien: hoog in de rangorde ingrijpen betekent lange ketens en vaak vertragingen, maar des te ernstiger (onomkeerbare) effecten op lange termijn.

Voor het doel van deze studie is de bovengenoemde reeks milieuthema's ingeperkt tot:

- Verzuring
- Verontreiniging met toxische stoffen
- Vermesting
- Verdroging

Als argumenten voor deze inperking kunnen worden aangevoerd:

- Verandering van klimaat is een mondiaal proces met mondiale implicaties. Een regionaal gedifferentieerd beleid binnen Nederland is daarom niet aan de orde.
- De processen versnippering en verstoring grijpen aan op biotische variabelen. Hiervoor is een andere benadering vereist dan voor de processen verzuring tot en met verdroging, waarvoor het abiotisch milieu een conditionerende rol vervult.
- Vernietiging heeft zulke manifeste fysieke gevolgen, dat een gevoeligheidsbepaling hiervoor weinig zinvol is.

De vier overblijvende milieuthema's zullen in hoofdstuk 4 als procesrespons ketens (cascade-systemen) worden geschetst. Op grond van deze ketens kunnen de relevante variabelen worden opgespoord die tot een verschil in ernst en omvang van de effecten op verschillende plaatsen kunnen leiden. Uit deze variabelen kunnen dan indelingskenmerken worden afgeleid, die voor een indeling van Nederland in milieubeheergebieden relevant zijn.

---

### 3 ECOLOGISCHE LAND(SCHAPS)CLASSIFICATIES

#### 3.1 Inleiding: schaalniveaus en het ecosysteem

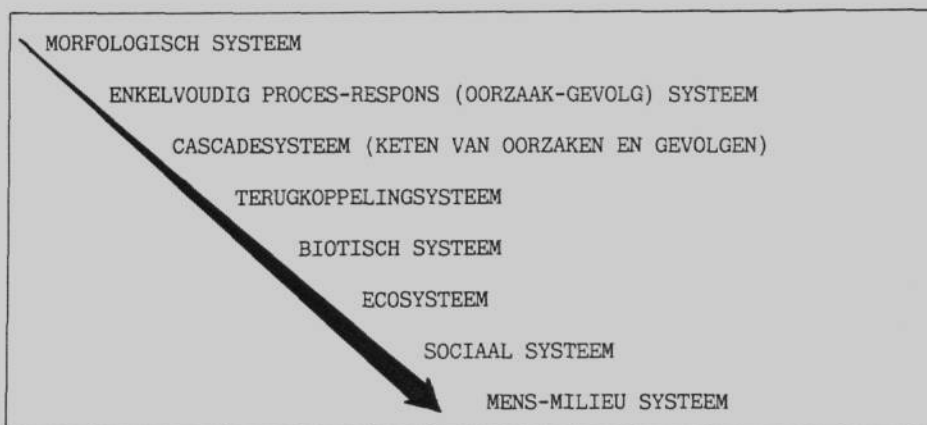
In hoofdstuk 2 is het ecosysteem als het fundamentele integratiekader voor gebiedsgericht milieubeleid gepresenteerd. In dit hoofdstuk over schaalniveaus past nu een korte beschouwing over het ecosysteem in wetenschap-theoretisch perspectief en in relatie tot kartering ten behoeve van het milieubeleid.

Allereerst worden drie typen niveaus onderscheiden:

- **Systeemniveaus:** een abstract begrip om de werkelijkheid onderzoekbaar te maken
- **Organisatieniveaus:** reële (werkelijke) objecten, waar de wetenschap zich op kan richten
- **Schaalniveaus:** de afmetingen van onderzoeksobjecten, zoals die zich aan de waarnemer voordoen. Deze zijn afhankelijk van wijze van waarnemen: perceptief.

#### 3.1.1 Systeemniveaus

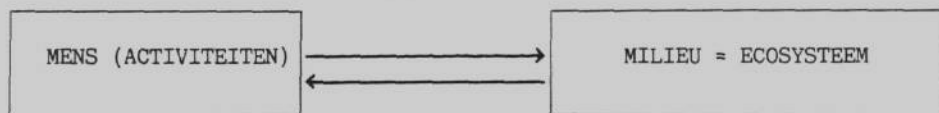
Chorley & Kennedy (1971) onderscheiden een reeks abstracte systeemniveaus in opklimmende volgorde van ingewikkeldheid. De keuze voor een bepaald niveau is afhankelijk van de vraag die een onderzoeker zich stelt (interessegebied) en niet slechts van de aard van het onderzoeksobject: een systeembenadering is immers een versimpelde voorstelling van de werkelijkheid, en men kan deze werkelijkheid zo simpel voorstellen als gewenst of noodzakelijk voor de oplossing van de onderzoeksvraag. Vrij naar Chorley & Kennedy (1971) kunnen de volgende systeemniveaus worden onderscheiden (FIGUUR 3.1):



FIGUUR 3.1: Systeemniveaus naar opklimmende graad van ingewikkeldheid (naar Chorley & Kennedy, 1971).

De laagste vier niveaus van deze reeks hebben betrekking op fysisch-chemische aspecten van de werkelijkheid. Biotische systemen en daarmee ook ecosystemen kennen als bijzonder kenmerk de zelfordening. Nog steeds is echter sprake van objecten van natuurwetenschappelijk onderzoek. Sociale en mens-milieu systemen kunnen slechts volledig worden gekend door ook de sociale wetenschappen er bij te betrekken.

Hoewel dit onderzoek gericht is op de relatie mens-milieu, vormt het sociaal systeem geen object van onderzoek, maar slechts de fysieke reactie van het ecosysteem op menselijk handelen. Er is dus gekozen voor een scheiding van mens en milieu (dit laatste voorgesteld als ecosysteem). Dit kan als volgt weergegeven worden (FIGUUR 3.2):



FIGUUR 3.2: Scheiding van mens en milieu uit onderzoekstechnische overwegingen.

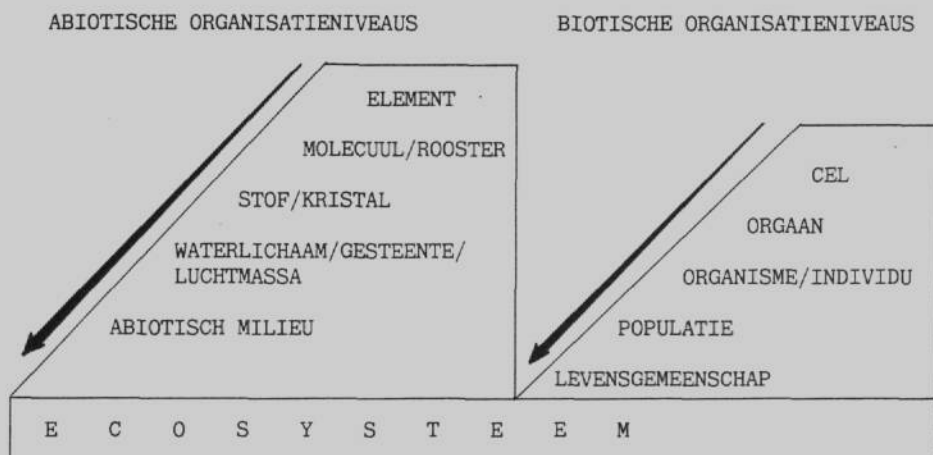
Door de mens buiten het ecosysteem te plaatsen kan zijn verantwoordelijkheid en rol als beheerder/bestuurder ter discussie worden gesteld. Hij vormt immers de 'intelligence' die het ecosysteem, gedeeltelijk, bestuurt.

### 3.1.2 Organisatieniveaus

Het ecosysteem is in hoofdstuk 2 gedefinieerd als een levensgemeenschap met zijn milieu. Daarbij is het milieu breed opgevat, opdat ook indirect ecologisch relevante processen in het ecosysteemmodel zouden passen: processen in het abiotisch milieu die via een keten van oorzaken en effecten (cascade) uiteindelijk de directe ecologische factoren beïnvloeden.

Zo gedefinieerd kan het ecosysteem worden voorgesteld als een hoogste niveau in een reeks biotische en abiotische organisatieniveaus. Deze organisatieniveaus zijn reële ruimtelijke en functionele eenheden, die door de wetenschap worden gedefinieerd. Een reeks organisatieniveaus kan er uitzien als weergegeven in FIGUUR 3.3.

Hierbij komt het ecosysteem aan het eind van twee reeksen organisatieniveaus als synthese en hoogste niveau naar voren. Het omvaamt daardoor alle voorafgaande organisatieniveaus, die als subsystemen van het ecosysteem kunnen worden opgevat.



FIGUUR 3.3: Organisatieniveaus in de abiotische en biotische natuurwetenschappen.

Zo maakt het ecosysteem nu deel uit van twee fundamenteel verschillende reeksen: een reeks systeemniveau's en een reeks organisatieniveaus. Deze reeksen kunnen als twee assen worden weergegeven, waarbij het kruispunt wordt gevormd door het concept ecosysteem. Vanaf dit kruispunt gaat een derde reeks niveaus langs een derde as: de schaalniveaus.

### 3.1.3 Schaalniveaus

Schaalniveaus zijn niveaus die voortkomen uit de afmetingen van een bepaald onderzoeksobject. Er kunnen geen fundamenteel nieuwe aspecten aan het te onderzoeken object worden onderscheiden. In het geval van het onderhavige onderzoek betekent dit dat slechts het ecosysteemaspect van het onderzoeksobject (i.c. Nederland) het interessegebied vormt; met andere woorden: het fysieke relatiestelsel van levensgemeenschappen met hun milieu.

Nu kunnen objecten van zeer verschillende grootte worden onderscheiden. Voor onderzoek van ecosystemen betekent dat: van ecosystemen ter grootte van de Noordzee tot een slootkant of een plasje water. Bij organismen denke men aan het verschil tussen een vlo en een olifant, bij moleculen aan bijvoorbeeld het verschil tussen een watermolecuul en een polymere kunststof. Ieder schaalniveau vereist een andere bril c.q. verrekijker of microscoop, of een ander hulpmiddel om tot een goede waarneming te komen; de waargenomen aspecten verschillen echter niet wezenlijk.

In dit hoofdstuk zal verder worden ingegaan op de schaalniveaus in relatie tot ecologische land(schaps)classificatie. Eerst zal het begrip ecologische land(schaps)classificatie kort worden toegelicht (paragraaf 3.2). Vervolgens zullen worden behandeld: de schaal in relatie tot

bruikbaarheid (paragraaf 3.3), kaartschaal en indelingskenmerken (paragraaf 3.4) en hiërarchische classificatie (paragraaf 3.5).

### 3.2 Ecologische land(schaps)classificatie

Ecologische land(schaps)classificatie kan worden omschreven als een indeling van land (en water) naar ecosysteemkenmerken (Vink, 1980). Dit kunnen zowel kenmerken van abiotische als biotische componenten zijn. Nu kunnen ecosystemen met verschillende oogmerken worden ingedeeld, en dit kan leiden tot verschillende methoden van classificatie. Het grootste dilemma wordt daarbij gevormd door de moeilijke verenigbaarheid van een wetenschappelijk gefundeerde en qua systematiek waterdichte benadering met het praktische argument van goede bruikbaarheid voor karteringsdoel-einden.

De systematische benadering wordt gekenmerkt door een wetenschappelijke fundering van een indeling van ecosystemen langs empirische weg. Deze benadering is daarmee meestal gericht op een abstracte classificatie ('het beestje een naam geven') en leidt tot eenduidige uitspraken. Het vervaardigen van een kaart staat niet voorop.

Dergelijke systematische classificaties zijn er voor diverse ecosysteemcomponenten. Ze zijn vooral voortgekomen uit de vegetatiekunde (bijvoorbeeld Arnborg, 1964; Westhoff & Den Held, 1969) maar ze zijn er ook voor bodems (bijvoorbeeld De Bakker & Schelling, 1966: Bodemclassificatie voor Nederland; USDA, 1977: US Soil Taxonomy) en andere ecosysteemcomponenten, of zelfs gehele ecosystemen (Stevens et al., 1987).

Een nadeel van dergelijke systematische classificaties is dat ze vaak ongeschikt zijn als legenda voor een kartering. Bij het opstellen van de classificatie behoeft immers geen rekening gehouden te worden met de ruimtelijke schaal van verschijnselen in de werkelijkheid, of met de schaal van een eventuele kaart waarop die werkelijkheid moet worden afgebeeld.

Een voorbeeld van een systematische indeling van gehele ecosystemen geeft TABEL 3.4, waarin duidelijk naar voren komt dat de karterbaarheid van de verschillende eenheden inderdaad zeer verschillende kaartschalen zou vereisen; zo zijn onder de kop 'waterecosystemen' op hetzelfde indelingsniveau oceanen en bronnen opgenomen, en bij de 'landecosystemen' heiden en woestijnen.

Classificaties die gericht zijn op het vervaardigen van een kaart ten behoeve van ruimtelijk (gedifferentieerd) beleid, moeten uitgaan van de globaliteit of gedetailleerdheid waarop beleidsuitspraken moeten worden gedaan. De noodzaak tot het vervaardigen van een basiskaart stelt hier randvoorwaarden aan de systematiek van de classificatie. In eerste instantie wordt toegewerkt naar een leesbare, bruikbare kaart en een kaartlegenda die de werkelijkheid zo herkenbaar mogelijk tracht te beschrijven.

Dit leidt ertoe dat het vaak moeilijk is de classificatie methodologisch en qua systematiek geheel zuiver te krijgen, omdat nu eens het praktische argument van karterbaarheid, en dan weer het wetenschappelijke of ervaringsargument dat er wezenlijke verschillen bestaan tussen A en B, overheerst. Dit betekent dat veel impliciete keuzen gemaakt worden

betreffende welke ecosysteemkenmerken op een bepaald moment het meest relevant en dus grensbepalend moeten zijn.

ECOSYSTEEM	MILIEUKENMERKEN
<b>WATERECOSYSTEMEN</b>	Geringe biomassa, beperkende factoren stikstof, fosfor, zuurstof, licht. Relatief geringe primaire produktie.
<u>Zeeën</u>	Zout water
Oceanen	hoge zoutconcentraties, zeer diep, donker, veel alfaleters
Kustzeeën	hoge tot lage zoutconcentratie, tot 200 m diep, veel wieren
Zee-kusten o.a. koraalriffen strand vadden	meestal invloed van getijden tropisch, stabiel branding, instabiel sedimentatie, voor slib
Zoutmeren	
Estuariën	monding van rivieren, sterk wisselend zoutgehalte
<u>Zoete wateren</u>	Zoet water (tot 0,5 ‰ zout)
Diepe meren o.a. oligotrofe meren eutrofe meren	te diep voor wortelende planten, min-of-meer gesloten voedsel- kringloop helder, arm aan fosfor en stikstof troebel, rijk aan fosfor en stikstof
Ondiepe meren	kunnen begroeid raken met wortelende planten
Poelen	tijdelijk uitdrogend
Stromende wateren	zuurstof- en veelal mineraalrijk, sterke tot matige waterbe- weging
Bronnen	idem, matige tot geringe waterbeving, ondiep
<b>LANDEECOSYSTEMEN</b>	Geringe tot grote biomassa, beperkende factoren watervarme, fosfor
<u>Venen</u>	Bodem met water verzadigd, zuurstofarm
Hoogvenen	gevoed door regenwater, zeer voedselarm
Laagvenen	gevoed door grondwater, matig voedselarm tot voedselrijk
Bosvenen	eindstadia van verlandingen
<u>Eigenlijke landsystemen</u>	Bodem met doorgaans voldoende zuurstof
Wouden o.a. regenwouden altijdgroene naalddoude zomer-groene loofwouden	eindstadia van successie in milieus met voldoende voedsel, warmte en neerslag tropisch, regenrijk op het noordelijk halfrond, met koud, sneeuwrijk klimaat uit de gematigde streken
Open wouden	beperkte ontwikkeling door langdurige koude
Struwelen	onvolledige ontwikkeling, successiestadia of onder menselijk beheer
Heiden	natuurlijk eindstadium in windrijke klimaten op voedselarme bodem, meestal halfnatuurlijk
Graslanden in bosbereik o.a. savannen hoollanden cultuurvelden	grasland met verspreide boomgroei, geringe neerslag is beperkende factor, ook regelmatig branden halfnatuurlijk grasland weinig natuurlijk bemest grasland
Graslanden buiten het bosbereik o.a. steppen alpenweiden toendra's	koude en/of droogte zijn beperkende factor koude winter, droge zomer koude sneeuwrijke winter in alpen idem in arctische streken
Woestijnen	zeer geringe neerslag, grote temperatuurverschillen
Woestijnachtige systemen o.a. duinen rotsen	mechanische factoren zijn beperkend beveiligheid substraat (meestal zand) geringe bodemontwikkeling
Akkers en plantages	gereguleerde water- en voedselhuishouding
<b>URBAAN-INDUSTRIËLE ECOSYSTEMEN</b>	Stof- en energiehuishouding vooral van toegevoegde stoffen en energie afhankelijk, hoofdzakelijk op het land; weinig beperkende milieufactoren.

FIGUUR 3.4: Ecosysteemindeeling uit het GEM (Van der Maarel & Dauvellier, 1978; naar: Ellenberg, 1973).

Het in het bovenstaande genoemde dilemma tussen een zuiver systematische en meer praktische classificatie zal in werkelijkheid altijd opgelost worden door een compromis tussen beide uitersten. Zo zal voor een systematische classificatie vanzelfsprekend gestreefd worden naar een aansluiting op waargenomen verschillen in de werkelijkheid en zal een praktische classificatie c.q. een kaartlegenda altijd gefundeerd en/of getoetst moeten zijn.

Gezien het doel van de onderhavige studie en de relatief beperkte looptijd en mankracht, is gekozen voor een aanpak met nadruk op de praktische landclassificatie. Dat wil zeggen dat het doel van de studie om bovenal een voor het beleid bruikbare kaart op te leveren voorop heeft gestaan. De onderbouwing vanuit theoretische optiek is voornamelijk gelegen in de directe aansluiting bij het ecosysteemmodel, zoals dat in hoofdstuk 2 is behandeld, en bij de relatie hiervan met de thema's van het milieubeleid.

### 3.3 Schaal in relatie tot bruikbaarheid

Karteringen die bedoeld zijn voor toepassing in beleid en/of planning moeten zijn toegesneden op de schaal waarop dit beleid of deze planning zich richten. Voor beleidsuitspraken over gebieden zijn kaarten nodig die op één of enkele niveaus gedetailleerder informatie verschaffen, opdat er geen gevaar bestaat dat de beleidsuitspraken kant noch wal raken. Vink (1963) heeft hiertoe de termen 'basic planning unit' (basale beleidseenheid) en 'basic mapping unit' (basale karteringseenheid) ingevoerd. Deze termen kunnen ook meer in het algemeen voor beleidsgerichte karteringen gebruikt worden.

De basale beleidseenheid is daarbij gedefinieerd als de kleinste gebiedsgrootte waarover beleidsuitspraken gedaan worden of waarover dit gewent wordt. Het betreft daarbij vanzelfsprekend uitspraken op een van de voren vastgesteld beleidsniveau. In het onderhavige onderzoek is dat het rijksniveau. Beleidsuitspraken op dit niveau hebben betrekking op gebieden ter grootte van enkele tientallen tot duizenden vierkante kilometers.

De basale karteringseenheid is de kleinste oppervlakte die nog vorm- en groottegetrouw op een kaart kan worden weergegeven. Deze is een functie van de kaartschaal, omdat tekentechnische problemen hieraan beperkingen opleggen: de kleinste weer te geven eenheid is ongeveer  $0,25 \text{ cm}^2$  groot ( $1/2 \times 1/2 \text{ cm}^2$  of  $1 \times 1/4 \text{ cm}^2$ ). Waar in dit rapport wordt gesproken van kaartschaal en basale karteringseenheid, wordt overigens steeds bedoeld op zogenaamde 'bureaukaarten', kaarten die op tafel gelezen worden en een hanteerbaar formaat hebben. Wandkaarten zijn meestal bedoeld als hulpmiddel bij onderwijs of presentaties. Zij zijn te beschouwen als opgeblazen bureaukaarten, die niet meer informatie geven, maar wel van een grotere afstand leesbaar zijn. Wandkaarten zijn veelal 4 à 5 maal (lineair) opgeblazen. Het begrip basale karteringseenheid heeft daarbij geen betekenis meer.

De verhouding tussen basale karteringseenheid (kleinste kaarteenheden) en basale beleidseenheid kan worden weergegeven als een factor. Deze levert

---

de basale beleidseenheid op door vermenigvuldiging van de basale karteringseenheid met deze factor.

Voor een aantal veel gebruikte schalen zijn de 'basic mapping unit', de vermenigvuldigingsfactor en de 'basic planning unit' hieronder weergegeven (TABEL 3.5).

KAARTSCHAAL	BASIC MAPPING UNIT	FACTOR	BASIC PLANNING UNIT
1: 10.000	0,25 ha	2	0,50 ha
1: 50.000	6 ha	4	24 ha
1: 100.000	25 ha	4	100 ha
1: 250.000	160 ha	6	960 ha
1:1.000.000	2.500 ha	8	20.000 ha

TABEL 3.5: De relatie tussen basale karteringseenheid ('basic mapping unit') en basale beleidseenheid ('basic planning unit') (naar: Vink, 1963; Van de Weg, 1981).

In het milieubeleid in Nederland kunnen de volgende beleidsniveaus worden onderscheiden, waaraan eventuele beleidsgerichte kaarten dienen te worden aangepast:

- Nationaal milieubeleid: beleid van de Rijksoverheid in de vorm van globale richtlijnen en/of kaderstellende wetten. Het betreft hier vooral beleid van de ministeries van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening & Milieubeheer (Rijksplanologische Dienst, DGM), Landbouw & Visserij (Staatsbosbeheer, NMF) en Verkeer & Waterstaat (Rijkswaterstaat).
- Provinciaal/regionaal milieubeleid: beleid van provincies, hoogheemraadschappen en dergelijke. De aanwijzing en/of voordracht van bodembeschermingsgebieden, grondwaterbeschermingsgebieden, relatienotagegebieden en andere categoriegebieden geschiedt op dit niveau; het streekplan is een instrument voor de ruimtelijke ordening op deze schaal.
- Gemeentelijk/locaal milieubeleid: beleid van gemeenten, intergemeentelijke samenwerkingsverbanden, waterschappen en dergelijke. Op dit niveau worden wettelijk bindende plannen opgesteld in de vorm van bestemmingsplannen voor de ruimtelijke ordening; tevens worden Hinderwetvergunningen verleend en andere kaderwetten met betrekking tot het milieubeleid ingevuld.

Bij deze beleidsniveaus kunnen de volgende schalen voor basiskaarten worden genoemd als meest gebruikte en meest relevante (indicatief):

#### KAARTSCHALEN

Nationaal milieubeleid	1:	> 250.000
Provinciaal/ regionaal milieubeleid	1:	50.000 - 250.000
Gemeentelijk/ lokaal milieubeleid	1:	< 50.000

De bruikbaarheid van een kaart voor het beleid wordt niet alleen door de schaal beïnvloed. Ook van belang zijn:

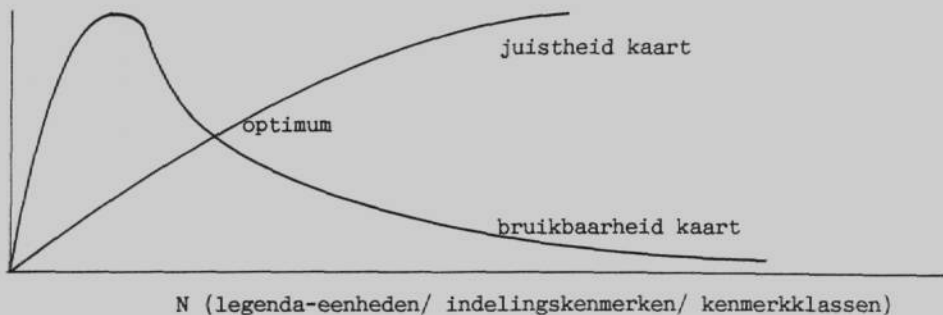
- de gedetailleerdheid: in de betekenis van textuur (korrelgrootte) van de kaarteenheden (het kaartbeeld);
- het aantal legenda-eenheden;
- het aantal indelingskenmerken (de leesbaarheid van de legenda);
- het aantal klassen, waarin de indelingskenmerken zijn verdeeld (eveneens leesbaarheid van de legenda).

Eisen die aan de textuur van een kaart gesteld worden, vloeien voort uit leesbaarheidseisen. Een te fijnkorrelige kaart levert slechts een indruk van uiterste ingewikkeldheid. Hierdoor zal de kaart weinig tot niet gebruikt worden, ook al is de nauwkeurigheid nog zo groot. In het algemeen dient gestreefd te worden naar een kaart die een overzichtelijk en aansprekend (herkenbaar) beeld van de werkelijkheid oproept.

Het aantal legenda-eenheden is eveneens van invloed op het (mogelijke) gebruik van een kaart. Hoe minder legenda-eenheden, des te bruikbaarder voor het beleid, maar des te minder informatie zal de kaart bevatten.

Voor de aantallen indelingskenmerken en het aantal kenmerkklassen geldt precies hetzelfde als voor het aantal legenda-eenheden: hoe meer informatie gegeven wordt, des te moeilijker wordt interpretatie, en de indeling zal bijgevolg minder worden gebruikt.

Dit leidt tot een dilemma tussen wetenschappelijke integriteit, een zo goed mogelijke kaart produceren, en bruikbaarheid voor het beleid, een zo handzaam mogelijke indeling wensen. Voor zowel het aantal legenda-eenheden als de aantallen indelingskenmerken en kenmerkklassen dient dan ook naar een optimum te worden gezocht. In grafiek ziet dat er bij benadering uit zoals weergegeven in FIGUUR 3.6



FIGUUR 3.6: Het dilemma van de toegepaste ecosysteemkartering: de relatie tussen het aantal legenda-eenheden, indelingskenmerken en kenmerkklassen enerzijds (x-as) en de juistheid respectievelijk bruikbaarheid van kaarten anderzijds.

Een optimum aantal legenda-eenheden is voor dit onderzoek gesteld op 25 tot 50, met voorkeur voor het laagste getal.

### 3.4 Kaartschaal en indelingskenmerken

Niet alleen van de vraagzijde (doelstelling) worden beperkingen of randvoorwaarden opgelegd aan de kaartschaal en de indelingskenmerken, ook het onderzoeksobject stelt zo zijn beperkingen. In paragraaf 3.1 is immers al gewezen op het schaalonafhankelijk zijn van het concept ecosysteem, dat hier als centraal concept fungeert. De componenten van het ecosysteem, zoals weergegeven in het rangordemodel van een ecosysteem (FIGUUR 2.3), zijn elk op een andere ruimte- en tijdschaal ecologisch relevant ofwel relevant voor het milieubeleid.

Voor wat betreft de tijdschaal kan gewezen worden op de verschillen in planningstermijn (beleidstermijn) en de termijn waarop natuurlijke of door de mens geïnduceerde processen in de natuur zich afspelen. Gesteente-eigenschappen veranderen zeer langzaam vanuit menselijk tijdspectief, bodemeigenschappen doen er enkele tientallen jaren tot eeuwen over, de vegetatie kan reeds binnen enkele jaren sterke veranderingen vertonen.

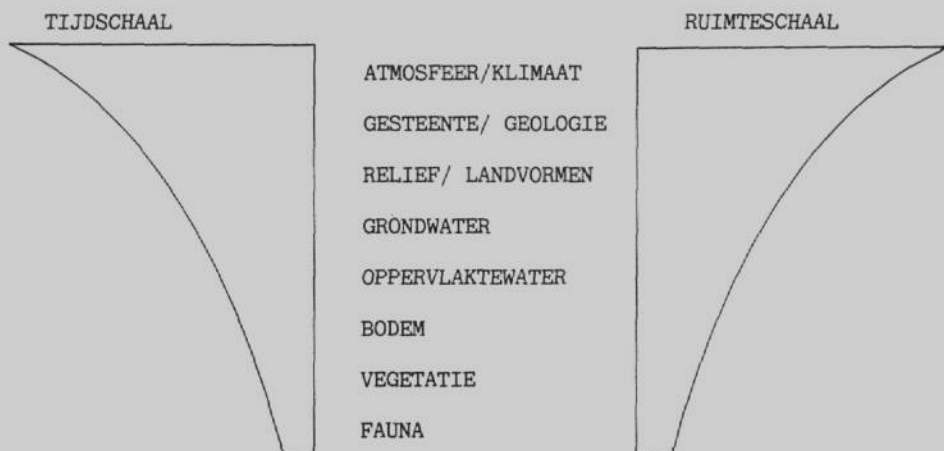
Parallel aan deze variatie op de tijdschaal loopt een ruimtelijke schaal: klimaatverschillen spelen op globaal schaalniveau een rol, namelijk via klimaatzones; geologische verschillen zijn relevant op grote schalen waar zij de landvormen (relief), hydrologie en bodemvorming voor een deel bepalen; diepe, vaak langzame grondwaterstromingen betreffen grote gebieden en zijn weer van invloed op bodemeigenschappen; bodems tenslotte vertonen patronen waarop weer verschillende landgebruiksvormen en vegetaties voorkomen.

Het hier gebruikte rangordemodel van een ecosysteem legt een duidelijke relatie tussen deze beide. In het volgende schema is voor de verschillende componenten in het rangordemodel weergegeven op welke tijdschaal veranderingen doorgaans plaatsvinden en op welke ruimteschaal ze voor een differentiatie van ecosystemen relevant zijn (FIGUUR 3.7).

Het bovenstaande brengt met zich mee dat voor de classificatie en kartering van ecosystemen op verschillende schaalniveaus ook verschillende indelingskenmerken (differentiërende kenmerken) gekozen moeten worden. Weliswaar zijn op ieder schaalniveau alle componenten relevant, maar er kunnen niet van iedere component op alle schaalniveaus even gemakkelijk ecologisch zinvolle kaarten worden vervaardigd.

Voor een indeling van ecosystemen dienen derhalve, afhankelijk van de schaal, kenmerken geselecteerd worden die de juiste ruimte- en tijdsaspecten hebben. Dat wil zeggen: globale schaal, dan weinig veranderlijke kenmerken van componenten met grote ruimteschaal; gedetailleerde schaal, dan kenmerken van vegetatie en bodem (korte tijdschaal, kleine ruimteschaal). De benadering blijft echter steeds ecologisch, ook waar kenmerken van componenten worden gekarteerd die in meer indirecte zin ecolo-

gisch relevant zijn. Dit vloeit voort uit de onderlinge afhankelijkheid van de componenten in het rangordemodell van een ecosysteem (FIGUUR 2.3).



FIGUUR 3.7: Het verband tussen de ecosysteemcomponenten en de tijd- en ruimteschaal waarop ze ecologisch relevant zijn.

Voor dit onderzoek betekent dit dat vooral ecosysteemkenmerken voor de classificatie gebruikt zullen worden van die componenten die qua schaal aansluiten bij gekozen kaartschaal (1: ongeveer 1.500.000).

Een probleem wordt daarbij gevormd door het feit dat bij een ecosysteemclassificatie over meerdere componenten informatie moet worden verschaft. Alle componenten van het ecosysteem zijn immers belangrijk, en aan iedere component kunnen weer verschillende kenmerken worden onderscheiden. Gelukkig hangen de componenten van het ecosysteem functioneel met elkaar samen en dus ligt het voor de hand dat ook sommige kenmerken van die componenten samenhangen met kenmerken van dezelfde of een andere component. Indien kenmerkklassen op een handige manier worden gekozen is het mogelijk de grenzen van verschillende kenmerken voor een groot deel samen te laten vallen. Deze samenhang vloeit logisch voort uit het rangordemodell van het ecosysteem en wordt aangeduid als 'correlatief complex': er bestaan van nature correlaties tussen de kenmerken binnen en tussen verschillende componenten. Het zijn in feite deze 'correlatieve complexen' die in kaart gebracht dienen te worden bij een ecologische land(schaps)classificatie.

Er kan nu gesteld worden dat ecosystemen op verschillende schalen vaak op een weinig systematisch aandoende wijze worden ingedeeld. Dit is een logisch gevolg van de ingewikkeldheid van de systemen enerzijds en van de wens om toch een zinvolle classificatie en volledige beschrijving te

geven anderzijds. Tegelijkertijd is er vrijwel steeds sprake van een afnemende systematiek bij globale kaartschalen.

Een oplossing voor het gebrek aan systematiek kan liggen in het gebruik van algemeen karakteriserende termen ter beschrijving van de legenda-eenheden. Men zou dit in navolging van Zonneveld (1975) 'holistische' begrippen kunnen noemen. Hiermee wordt bedoeld op begrippen die veel inhoud hebben voor een goede verstaander, ofwel een aanduiding zijn van een 'correlatief complex'. Zo zegt het woord kwelder iets over het ontstaan en de landvormen (kustaanwasvlakte met afslagklif, krekken en prieden), de bodems (initiële kleigronden), de begroeiing (kweldervegetatie van zouttolerante en zoutminnende planten) en de fauna (vogels van kust en open terrein).

Een goede aansluiting bij de (ruimte- en tijd-)schaalverschillen tussen de componenten van het ecosysteem kan worden gevonden in een hiërarchische classificatie van ecosystemen op verschillende schaal. Hierop wordt in de volgende paragraaf ingegaan.

### 3.5 Hiërarchische classificatie

Een hiërarchische classificatie kan worden omschreven als een classificatie in afnemende niveaus van ordening (bij niet op kartering gerichte classificaties) of op steeds gedetailleerdere schaal (bij classificaties ten behoeve van karteringen). Deze beide lopen meestal parallel. Enkele aspecten van hiërarchische classificaties zijn:

- van globaal naar gedetailleerd wordt de indeling steeds verder ingevuld; de klassen worden fijner/ het aantal grenzen neemt toe;
- klassegrenzen of kaartgrenzen op globaal niveau blijven bestaan op gedetailleerder niveau, omdat een belangrijker indelingskenmerk aan de hogere niveaus ten grondslag ligt dan aan de lagere; het indelingsprincipe op het hogere niveau 'overrules' dat op het lagere;
- de grenzen tussen eenheden op een hoog niveau kunnen wèl nauwkeuriger worden vastgelegd op gedetailleerdere niveaus;
- invulling van de classificatie kan gefaseerd geschieden met een toename van de kennis en toegespitst op vooraf geselecteerde klassen/gebieden.

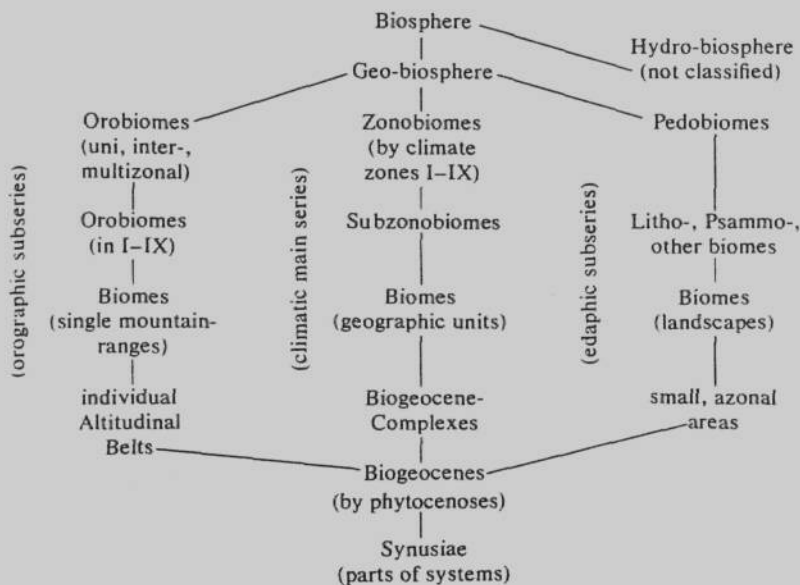
In het licht van de doelstelling van de onderhavige studie kunnen daar nog de volgende specifieke punten aan toegevoegd worden voor ecologische classificaties ten behoeve van het milieubeleid:

- een hiërarchische classificatie biedt goede mogelijkheden tot aansluiting bij het eveneens hiërarchisch ingerichte beleid (in landelijk, provinciaal/regionaal en gemeentelijk/locaal): op globaal niveau globale richtlijnen voor grote gebieden, op intermediair niveau concretere richtlijnen en voorschriften voor nauwer omschreven gebieden en op gedetailleerd niveau bindende uitspraken op perceelsniveau;
  - de grotere ecosystemen die op een globaal schaalniveau gekarteerd kunnen worden mogen niet in hun functioneren bedreigd worden door ingrepen in ecosystemen op gedetailleerdere schaal. Dit strookt met de
-

beleidshierarchie die niet toestaat dat lokaal beleid strijdig is met provinciaal beleid of deze laatste met landelijk beleid.

Hierarchische classificaties zijn er voor zuiver systematische classificaties en voor praktische classificaties (karteringen).

Hierarchische systematische classificaties zijn er bijvoorbeeld voor: flora en fauna (bijvoorbeeld Heukels & Van der Meijden, 1985), de vegetatie (bijvoorbeeld Westhoff & Den Held, 1969) of de bodem (bijvoorbeeld De Bakker & Schelling, 1966; USDA, 1977). Voor ecosystemen kan verwezen worden naar Walter (1973, 1979), die een benadering volgt, die in potentie ook voor karteringsdoeleinden bruikbaar is (FIGUUR 3.8), zij het dat steeds van de vegetatie als indelingskenmerk wordt uitgegaan. Over enkele van deze hierarchische classificaties zijn nationale of internationale afspraken gemaakt betreffende de niveaus en de indelingsprincipes, of ze vinden veelvuldig navolging. Dit geldt niet voor de indeling van ecosystemen, waarover nog geen overeenstemming bestaat.



FIGUUR 3.8: Hierarchische indelingsniveaus van ecosystemen naar vegetatiekenmerken op verschillende schalen volgens Walter (1979).

Hierarchische praktische classificaties ten behoeve van landschapsecologische kartering vinden we alleen goed uitgewerkt in het buitenland. In TABEL 3.9 zijn de indelingsniveaus weergegeven van respectievelijk de Australische (SCIRO; Christian & Stewart, 1968), de Britse (Brink et al.,

1965), de Canadese (Wiken & Ironside, 1977), de Russische (Isachenko, 1973) en de Amerikaanse (Bailey, 1976) classificatiesystemen. Daarbij is er naar gestreefd de niveaus met een gelijke inhoud zoveel mogelijk naast elkaar te zetten (naar Bailey, 1981).

AUSTRALIE	ENGELAND	CANADA	RUSLAND	VERENIGDE STATEN
			ZONE	DOMAIN
	LAND ZONE			DIVISION
	LAND REGION	ECOREGION	PROVINCE	PROVINCE
	LAND DISTRICT	ECODISTRICT		SECTION
			LANDSCAPE	
LAND SYSTEM	LAND SYSTEM	ECOSECTION		DISTRICT
	LAND TYPE	ECOSITE	UROCHISHCHA	LANDTYPE ASSOCIATION
LAND UNIT				
LAND TYPE	LAND PHASE			LANDTYPE
SITE		ECOELEMENT		LANDTYPE PHASE
			FACIA	SITE

TABEL 3.9: Vergelijking van enkele hiërarchische systemen voor ecologische kartering. Vergelijkbare niveaus uit verschillende systemen zijn naast elkaar geplaatst (naar Bailey, 1981).

Ook in Nederland worden voor ecologische kartering wel schaalniveaus onderscheiden, maar er zijn geen afspraken of conventies aangaande het gebruik van verschillende termen, noch is een eenduidig hiërarchisch systeem ontwikkeld. Dit leidt veelvuldig tot spraak- en begripsverwarring. Zo kunnen in Nederland veelvuldig de termen aangetroffen worden die in TABEL 3.10 zijn genoemd, hoewel deze lijst bepaald niet uitputtend is.

	SUPERREGIO		
	REGIO	DISTRICT	
HOOFDLANDSCHAP	SUBREGIO	GEOTOOP	LANDSCHAP
(SUB)LANDSCHAP		ECOCHOOR	
LAND-EENHEID		ECOTOOP	FYSIOTOOP ECOTOOP

TABEL 3.10: In Nederland veelgebruikte termen voor ecologische land-(schaps)classificaties, c.q. landschapsecologische karteringen (1: naar Zonneveld, 1975; Vink, 1980; Veelenturf et al., 1987a; 2: naar Middelburg et al., 1988; 3: naar Van der Maarel & Dauvellier, 1978; 4: naar Vos et al., 1982; Piket et al., 1987).

Ten aanzien van de in Nederland veel gebruikte termen kunnen de volgende opmerkingen worden gemaakt. Begrippen als landschap of regio geven niet duidelijk aan welke invalshoek wordt gekozen als grondslag van de indeling. Landschappen kunnen worden afgegrensd naar uiterlijke kenmerken: landschapsbeeld; naar facetkenmerken: bodemlandschap, geomorfologisch landschap; of naar systeemkenmerken: ecosystemen aan het aardoppervlak. Voor het begrip regio geldt in nog sterkere mate dat onduidelijk is wat voor soort regio's bedoeld zijn. Het begrip geotoop doet vermoeden dat een geo-benadering, hetzij geomorfologisch, hetzij geologisch of geohydrologisch, aan de indeling ten grondslag ligt. Deze kan soms ecologisch zeer relevant zijn, namelijk daar waar het abiotisch milieu wordt geclassificeerd, maar dat hoeft niet het geval te zijn.

Teneinde de onduidelijkheid die aan veel in Nederland gebruikte begrippen kleeft in dit rapport te vermijden, wordt hier gekozen voor een aansluiting bij de Anglo-Amerikaanse aanpak, in het bijzonder de Canadese. Als redenen daarvoor kunnen worden genoemd:

- een duidelijke systeemecologische benadering, en niet slechts een vegetatie-indeling met 'ecologisch tintje';
- een op praktische kartering toegesneden benadering;
- een aaneengesloten reeks schalen, waartussen een duidelijk en herkenbaar verband bestaat;
- een eenduidige terminologie;
- de mogelijkheid tot 'internationalisering' van terminologie en uitgangspunten, die in de gemakkelijke vertaalbaarheid en goede, maar flexibele, begripsomschrijving is opgesloten.

Vooruitlopend op hoofdstuk 6 kan in dit verband vast worden genoemd dat het voorvoegsel 'eco-' zal worden overgenomen van de Canadese benadering, omdat dit zeer duidelijk het doel en de uitgangspunten van de classificatie weergeeft. Vervolgens zullen achtervoegsels worden gekozen die zoveel

mogelijk aansluiten bij de in Nederland en elders gangbare praktijk en toegesneden op de Nederlandse situatie. In het bijzonder de schaal van het Nederlandse landschap vereist daarbij enige aanpassing van dit Canadese systeem, alsook de intensieve beïnvloeding van Nederlandse ecosystemen (en landschapspatronen) door de mens. In hoofdstuk 6 wordt een terminologievoorstel gedaan en worden de te onderscheiden niveaus beschreven.

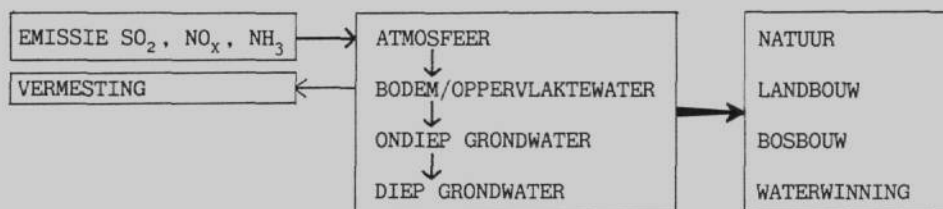
---

#### 4 KEUZE VAN INDELINGSKENMERKEN IN RELATIE TOT MILIEUTHEMA'S

##### 4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk zullen de vier geselecteerde milieuthema's (verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging; zie hoofdstuk 2) als procesketens worden geschetst, teneinde af te kunnen leiden welke factoren in het milieu bepalend zijn voor de ernst van de effecten van deze processen. Daarbij zullen steeds drie afzonderlijke blokken worden weergegeven: het linkse blok geeft de oorzaak van het milieuthema weer (emissies of ingrepen die voortvloeien uit een bepaalde menselijke activiteit), het middelste representeert het milieu voorgesteld als ecosysteem, en het rechtse blok tenslotte geeft de beïnvloede betekenisgebieden van het milieu weer.

##### 4.2 Verzuring



FIGUUR 4.1: Verzuring als procesketen voorgesteld, met de beïnvloede landgebruiksvormen en terugkoppeling naar vermisting.

'Onder verzuring worden de nadelige effecten verstaan die door het neerslaan van zuurvormende stoffen uit de lucht (voornamelijk  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  en hun volgproducten), al dan niet in combinatie met andere stoffen uit de lucht (zoals ozon), worden veroorzaakt op bodem, vegetatie, fauna, oppervlaktewater en materialen' (Ministerie VROM et al., 1986, blz.22).

Droge en natte depositie van zuurvormende ionen uit de atmosfeer vindt plaats op organismen, bodem en oppervlaktewater. Hierdoor kan directe schade ontstaan aan levend weefsel, doordat uitwisselingsprocessen met de lucht gestoord raken.

De indirecte gevolgen van de zuurdepositie zijn echter sluipender, omdat de verzuring van bodem en grondwater in eerste instantie door een aantal chemische processen wordt gebufferd.

De volgende belangrijke buffers worden onderscheiden (naar Verstraten, 1982; Ulrich, 1983):

- calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) buffer;
- silicaatbuffer (Si-buffer);
- kationenuitwisselingsbuffer (CE-buffer);
- aluminiumbuffer (Al-buffer);
- ijzerhydroxydebuffer (Fe-buffer).

De rol van deze processen in de zuurbuffering is afhankelijk van de aanwezigheid van de bufferende stoffen in de bodem, de snelheid van de chemische reacties en de in de bodemoplossing heersende zuurgraad (pH) op dat moment.

De mate van pH-daling en de afname van de totale buffercapaciteit van de bodem zullen hier gezamenlijk als bodemverzuring worden aangeduid, waarbij zich het geval kan voordoen dat de pH feitelijk niet daalt. De buffercapaciteit van de bodem daalt dan echter wel. In bodems waarin langzame bufferprocessen overheersen, treedt een pH-daling snel op en is direct meetbaar. Het kan daar echter voorkomen dat de pH weer gaat stijgen als de bodem geleidelijk een nieuwe evenwichtssituatie met de bodemoplossing bereikt.

Om een schatting te kunnen maken van de totale buffercapaciteit van een bodem en van de gevoeligheid voor pH-daling bij hoge zuurdeposities is een totaalanalyse van de bodem het meest gewenst. Voor een indeling van Nederland in milieubeheergebieden met verschillende gevoeligheid voor verzuring kan echter volstaan worden met een benadering die gebaseerd is op Ulrich (1980).

Het is daarbij noodzakelijk de volgende parameters (bij benadering) te kennen:

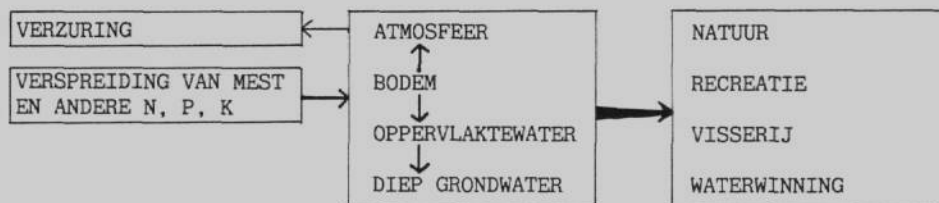
- $\text{CaCO}_3$ -gehalte
- kleigehalte (deeltjes kleiner dan  $2 \mu\text{m}$ )
- siltgehalte (deeltjes tussen 2 en  $50 \mu\text{m}$ )
- gehalte organische stof
- gehalte verweerbare niet-kwarts silicaten
- actuele pH

Tevens is het van belang over informatie te beschikken betreffende denitrificatieprocessen, omdat ook langs die weg grote hoeveelheden  $\text{H}^+$  onschadelijk kunnen worden. Dit reductieproces leidt tot de vorming van water en stikstofgas bij verbruik van  $\text{H}^+$  en nitraat.

Tenslotte kan de aanvoer van bufferende stoffen (kationen) door grond en oppervlaktewater nog een rol spelen. Voor de oppervlaktewateren zijn daarbij de plaatselijke watereigenschappen en de aanvoer van water van elders van belang.

---

## 4.3 Vermesting



FIGUUR 4.2: Vermesting voorgesteld als procesketen met de beïnvloede landgebruiksvormen en terugkoppeling naar verzuring.

'Vermesting is de toename van de hoeveelheid voedingsstoffen in het milieu die ontregeling van ecologische processen tot gevolg heeft. ... Als voornaamste vermestende stoffen kunnen worden beschouwd fosfor (vooral in de vorm van fosfaten) en stikstof (vooral in de vorm van nitraten en ammoniumverbindingen). Voor het optreden van ongewenste effecten is één van deze stoffen soms van doorslaggevende betekenis: ...' (Ministerie VROM et al., 1986, blz.29).

De negatieve gevolgen van vermisting zijn in eerste instantie een toename van de voedselrijkdom van bodem en grondwater, waardoor levensgemeenschappen van voedselarme milieus worden verdrongen. In laatste instantie treedt er onomkeerbare vergiftiging van grondwatervoorraden op, die zo ongeschikt worden voor menselijke consumptie.

Bij vermisting wordt uitsluitend uitgegaan van voedselverrijking (eutrofiëring) met de zogenaamde macronutriënten: stikstof, fosfor en kalium. Dit zijn de voedingsstoffen die in kunstmest worden verwerkt. Deze stoffen komen alle van nature in bodem en water voor. De absolute hoeveelheid is afhankelijk van de samenstelling van de bodem; de relatieve hoeveelheid, ofwel de beschikbaarheid voor de plantengroei, is afhankelijk van de wijze waarop N, P en K in de bodem aanwezig zijn. Ook het gevaar van uitspoeling of oververzadiging met één van deze nutriënten is afhankelijk van de wijze, waarop ze in de bodem aanwezig (kunnen) zijn.

Interacties tussen de macronutriënten maken het moeilijk onderscheid te maken tussen de effecten van elke stof apart. Meestal wordt over voedselverrijking gesproken als aan de begroeiing duidelijk een respons kan worden afgelezen. Deze respons hangt meestal samen met een toename van de beschikbaarheid van juist die ene voedingsstof die in beperkte mate aanwezig is: de 'beperkende factor'.

Van alle drie macronutriënten zal hier worden nagegaan welke parameters bepalend zijn voor de beschikbaarheid, concentratie in de bodemoplossing en kans op uitspoeling.

Stikstof vormt voor planten een onmisbare voedingsstof. Dit is voor de productielandbouw en productiebosbouw reden om aan de stikstofvoorziening van de gewassen bijzondere aandacht te besteden.

Het stikstofgehalte van uitgangsgesteenten is uiterst laag (Scheffer & Schachtschabel, 1976), zodat de aanvoer langs andere wegen dient te geschieden. Veel plantesoorten zijn in staat om met behulp van symbionten (wortelknolletjes waarin bacteriën een belangrijke rol spelen) stikstof rechtsstreeks uit de lucht op te nemen (stikstofgehalte van de lucht is ongeveer 78 %). In het algemeen is stikstof in de vorm waarin het in de lucht voorkomt echter niet beschikbaar voor planten.

De vaste afvalproducten van plantengroei, in de vorm van organische stof, zijn zeer rijk aan stikstof. Deze is weliswaar gebonden, maar kan door afbraakprocessen (mineralisatie) in beschikbare vormen worden omgezet. De belangrijkste producten die daarbij worden gevormd zijn ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en nitraat ( $\text{NO}_3^-$ ). Nitriet ( $\text{NO}_2^-$ ) komt in zeer kleine hoeveelheden vrij, hetgeen een gelukkige omstandigheid is, gezien het voor mens en dier toxisch karakter hiervan.

Alle chemie met betrekking tot stikstof behandelen, zou hier te ver voeren. Er wordt volstaan met de constatering dat de volgende hoofdprocessen bepalend zijn voor de stikstofhuishouding in ecosystemen (verder zij verwezen naar bijvoorbeeld Scheffer & Schachtschabel, 1976):

- stikstofbinding door vegetatie ( $\text{NO}_3^-$  en  $\text{NH}_4^+$ )
- mineralisatie van organische stof
- nitrificatie (oxydatie van  $\text{NH}_4^+$  tot  $\text{NO}_2^-$  en  $\text{NO}_3^-$ )
- denitrificatie (onder anaerobe omstandigheden:  $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_x$  en  $\text{N}_2$ )
- uitspoeling van  $\text{NO}_3^-$  en in mindere mate  $\text{NH}_4^+$ .

Voor een beoordeling van de beschikbaarheid en de kans op uitspoelen zijn de volgende factoren van belang (Scheffer & Schachtschabel, 1976; Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987):

- organische stofgehalte
- pH
- redoxpotentiaal (mate van aeratie/doorluchting; aard van het grondwater)
- grondwaterregime (snelheid en richting van de waterbewegingen)

Fosfor wordt door de mens in grote hoeveelheden in het milieu gebracht. Bemesting omvat vrijwel altijd een zekere hoeveelheid fosfor, wasmiddelen bevatten nog steeds fosfaten en er zijn diverse diffuse fosforbronnen. Omdat juist fosfor vaak de beperkende factor is voor de plantegroei in veel milieus, manifesteert een toename van de hoeveelheid beschikbaar fosfor zich in een toename van de biomassa-productie. In wateren leidt dit tot de bekende 'algenbloei'.

Indien fosfaatbindende stoffen ontbreken of het fosfaatbindend vermogen van de bodem wordt overschreden (verzadiging), kan doorslag van fosfaat gaan optreden. Hierbij spoelt fosfaat uit naar het grondwater.

---

De belangrijkste factoren die de beschikbaarheid, fixatie en oplosbaarheid (uitspoeling) van fosforverbindingen bepalen, zijn:

- gehalte Fe- en Al-hydroxyden
- zuurgraad (pH)
- redoxpotentiaal (doorluchting, grondwaterstand, aard van het grondwater)
- grondwaterregime (snelheid en richting van de waterbeweging)
- organische stofgehalte en soort organische stof
- kleigehalte.

Kalium komt bij verwerking vrij uit gesteenten, waarna het in verschillende vormen in de bodem aanwezig kan zijn: als K in oplossing, als uitwisselbaar K (geadsorbeerd aan kleideeltjes) en als niet uitwisselbaar K (gefixeerd in het kristalrooster van kleimineralen).

Het overgrote deel van het kalium in bodems is 'niet uitwisselbaar (gefixeerd) kalium'. Dit is vaak meer dan 98 % van het totale kaliumgehalte van een bodem (Scheffer & Schachtschabel, 1976). Het proces van K-fixatie is sterk afhankelijk van het kaliumgehalte van de bodemoplossing.

Bij grote aanvoer van K door bemesting kan de K-fixatie extreem zijn. Er is echter een maximum aan de opnamecapaciteit van de bodem, omdat alleen kleimineralen in staat zijn K te fixeren. Uiteindelijk raakt een zwaar met K belaste bodem echter verzadigd, terwijl andere kationen dan al grotendeels zijn verdrongen. Organische stof kan vrijwel geen K binden en dan is er nog sprake van een zeer zwakke binding (geadsorbeerd).

Omdat K goed oplosbaar is, kan uitspoeling naar en verspreiding door het grondwater gemakkelijk plaatsvinden.

Het proces van K-fixatie door kleimineralen wordt sterk beïnvloed door de pH. In zure bodems vindt minder sterke fixatie plaats.

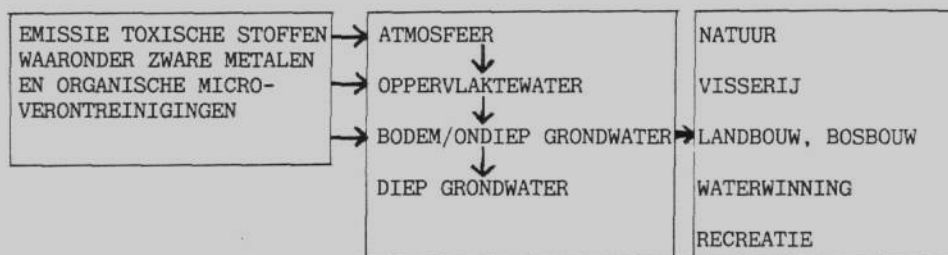
Voor de beoordeling van de kans op vermessing door K moeten dus gekend worden:

- kleigehalte
- pH
- (grond)waterregime (snelheid en richting van de (grond)waterstroming).

Voor het milieuthema vermessing is het, gezien het bovenstaande, belangrijk kennis te hebben van de volgende parameters:

	N	P	K
- kleigehalte		■	■
- gehalte Fe- en Al-hydroxyden		■	
- organische stofgehalte	■	■	
- soort organische stof		■	
- pH	■	■	■
- redoxpotentiaal (grondwater)	■	■	
- (grond)waterregime	■	■	■

#### 4.4 Verontreiniging



FIGUUR 4.3: Verontreiniging voorgesteld als procesketen, met de beïnvloede landgebruiksvormen.

Onder verontreiniging wordt verstaan de aanwezigheid of toevoer van die stoffen in het milieu die door hun eigenschappen tot vergiftiging van planten, dieren of mensen aanleiding kunnen geven.

Het aantal stoffen dat bij overschrijding van bepaalde concentraties toxisch wordt, is enorm en daarom is in het IMP-Milieubeheer (Ministerie VROM et al., 1986) een lijst van prioritaire stoffen opgenomen. Deze stoffen zijn altijd toxisch (bij iedere concentratie) of ze worden reeds bij zeer lage concentraties gevaarlijk.

Naar de eigenschappen van de stoffen zijn in het IMP-Milieubeheer drie hoofdgroepen prioritaire toxische stoffen onderscheiden:

- metalen en metalloïden (vooral zware metalen);
- organische verbindingen (al dan niet gehalogeneerde verbindingen van zeer variabele aard);
- overige stoffen, waaronder asbest (vezelstof), ozon, koolmonoxyde en andere, voornamelijk via de lucht verspreide stoffen.

Door de grote aantallen stoffen die in het geding zijn is een stofgerichte benadering noodzakelijk. Noodgedwongen moet echter veelal van groepen van stoffen met min of meer vergelijkbare eigenschappen worden uitgegaan.

Voor stoffen die via de atmosfeer rechtsstreeks op organismen inwerken is een gebiedsgerichte benadering door de grote mobiliteit van de lucht moeilijk, zo niet onmogelijk.

De groep stoffen die in het IMP-Milieubeheer wordt onderscheiden als 'overige stoffen' kan dan ook niet als leidraad bij de selectie van relevante indelingskenmerken voor een gebiedsindeling worden gebruikt.

De stoffen uit de groepen metalen en metalloïden enerzijds, en organische verbindingen anderzijds zijn voor een deel wel bruikbaar, omdat hier soms

enig overeenkomstig gedrag in de milieucompartimenten kan worden opgemerkt, vooral bij de metalen. De voorgestelde normen voor bodemkwaliteit (Ministerie VROM, 1986; VTGB, 1986) en de klassenindeling voor baggerspecie van de Directie Benedenrivieren (Rijkswaterstaat, 1985) gaan beide uit van dit overeenkomstig gedrag van de metalen enerzijds en de organische verontreinigingen anderzijds.

Zware metalen worden als kation geadsorbeerd aan zowel kleimineralen als aan organische stof. Concentraties zware metalen in oplossing in grond- of oppervlaktewater zijn daardoor altijd zeer gering in vergelijking met de hoeveelheden geadsorbeerde kationen. De zware metalen kunnen echter via allerlei organismen wel vanuit de vervuilde sedimenten in de voedselketen terecht komen.

De mate van adsorptie aan klei en organische stof wordt, zoals bij alle kationen, sterk beïnvloed door de pH en deze weer gedeeltelijk door het gehalte  $\text{CaCO}_3$ .

In de Discussienota Bodemkwaliteit (Ministerie VROM, 1986) wordt de potentiële adsorptie gerelateerd aan een factor C, die als volgt wordt berekend:

$$C = 1.5 \times \% \text{ organische stof} + 0.5 \times \% \text{ klei}$$

Hierbij wordt er dus vanuit gegaan dat organische stof per gewichtsperscentage een driemaal zo grote adsorptiecapaciteit heeft als klei. In het Advies Bodemkwaliteit (VTGB, 1986) wordt op grond van gegevens over de mobiliteit en biologische beschikbaarheid van zware metalen voorgesteld dit te veranderen in een 1:2 verhouding (in plaats van 3:1).

Bij de klassenindeling voor baggerspecie volgens Rijkswaterstaat (1985) wordt gewerkt met een correctiefactor voor gehalten verontreiniging die is gebaseerd op uitgebreide analyses van slib en lineaire regressie van de uitkomsten tegen een maat voor de granulaire samenstelling (textuur) van het sediment:

$$\frac{\text{gewichtsperscentage deeltjes} < 16 \mu}{100 - \% \text{ organische stof} - \% \text{ CaCO}_3}$$

In essentie zijn deze benaderingen sterk gelijkend. Ze zijn tevens in overeenstemming met de uitkomsten van fundamenteel onderzoek naar het gedrag van zware metalen in (water)bodems (Scheffer & Schachtschabel, 1976; Salomons & Förstner, 1984). Er kan dan ook worden geconcludeerd dat de volgende parameters relevant zijn voor een gebiedsgerichte benadering van verontreiniging met zware metalen:

- organische stofgehalte
  - kleigehalte, siltgehalte: textuur
  - pH
  - $\text{CaCO}_3$
  - redoxpotentiaal.
-

De groep organische verontreinigingen levert een veel gedifferentieerder beeld op, omdat een veel groter aantal stoffen in het geding is met zeer verschillende eigenschappen. Reeds de oplosbaarheid in water van de verschillende organische verbindingen is zo uiteenlopend (van zeer goed tot geheel niet) dat weinig algemene uitspraken kunnen worden gedaan. Vele organische verontreinigingen kunnen zeer gemakkelijk via oppervlakte- of grondwater verspreid worden, vooral als geen binding aan bodemdeeltjes plaatsvindt.

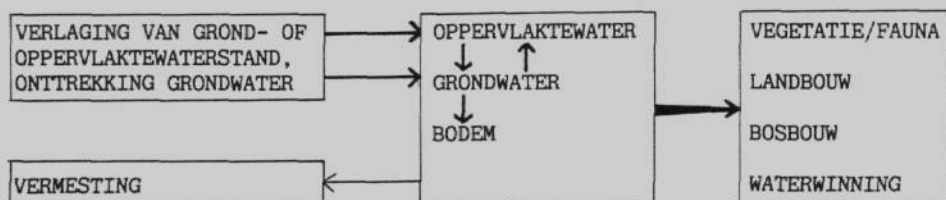
Voor enkele groepen, zoals de PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), de gehalogeneerde organische verbindingen (EOX) en minerale oliën wordt in de Discussienota Bodemkwaliteit (Ministerie VROM, 1986) voorgesteld deze op het organische stofgehalte te betrekken, omdat binding aan of complexvorming met organische stof nog wel veelvuldig optreedt. Hiertoe is een O.S. factor (= % organische stof) ingevoerd.

Rijkswaterstaat (1985) werkt voor de organische verontreinigingen met eenzelfde correctiefactor als voor de zware metalen, waarbij dus uitgegaan wordt van adsorptie aan eveneens kleimineralen; dit treedt slechts op bij sommige soorten organische verontreiniging en dan nog lang niet zo duidelijk als bij de metalen.

Er kan nu gesteld worden dat de volgende parameters gekend moeten worden voor een beoordeling van het milieuthema verontreiniging:

	ZWARE METALEN	ORGANISCHE STOFFEN
klei- en siltgehalte	■	
organische stofgehalte	■	■
pH	■	
CaCO <sub>3</sub>	■	
(grond)waterregime	■	■
redoxpotentiaal	■	

#### 4.5 Verdroging/ verzilting



FIGUUR 4.4: Verdroging als procesketen voorgesteld, met de beïnvloede landgebruiksvormen en terugkoppeling naar vermisting.

'Onder verdroging wordt verstaan, dat langdurig onvoldoende water beschikbaar is, zodat nadelige milieu-effecten optreden.' (Ministerie VROM et al., 1985, blz. 161).

Verdroging kan worden veroorzaakt door bewust versnelde afvoer van neerslag door middel van drainage in de landbouw of door onbedoelde verlaging van de grondwaterstand over grotere gebieden door lokale wateronttrekking ten behoeve van de drink- en industriewaterwinning, beregening in de landbouw of bronbemaling bij diepe ontgroningen (bijvoorbeeld de bruinkoolwinning in dagbouw in Duitsland die tot in Zuid-Limburg effecten heeft). Tenslotte is de toename van het verharde oppervlak in Nederland met de bijbehorende afvoer van regenwater via rioleringsstelsels rechtstreeks naar het oppervlaktewater van negatieve invloed op de waterbalans van het grondwatersysteem.

Indirecte effecten van verdroging kunnen bestaan uit onomkeerbare inklinking van de bodem, oxydatie van veen (in de Alblasserwaard daalt de bodem hierdoor ongeveer 1 cm/ jaar), het wegrotten van houten heipalen, verzakking van gebouwen en dergelijke.

In West-Nederland stijgt de grens tussen zoet en zout grondwater vaak als gevolg van de verdroging, waardoor verzilting van oppervlaktewater of bodemwater kan optreden.

Om de gevoeligheid voor verdroging te kunnen beoordelen moet de bestaande (geo)hydrologische situatie gekend worden. Deze bestaat uit:

- oppervlaktewaterregime: peil, fluctuaties, stromingsrichting en snelheid
- oppervlaktewaterkwaliteit (zoutgehalte)
- grondwaterregime: peil, fluctuaties, stroming
- grondwaterkwaliteit: zout e.a.

Om de gevoeligheid voor indirecte effecten te kunnen beoordelen is het gewenst inzicht te hebben in:

- de geologische opbouw: dikte en aard van de sedimenten
- de geohydrologische situatie: druk en stromingsrichting van het diepe grondwater
- bodemeigenschappen zoals textuur (korrelgrootteverdeling), organische stofgehalte en structuur.

#### 4.6 Keuze indelingskenmerken

Van de parameters die nodig zijn om een gevoeligheidsbeoordeling uit te voeren voor verzuring, verontreiniging, vermessing en verdroging kan nu een compilatie gemaakt worden van die kenmerken die, geredeneerd vanuit de milieuthema's, relevant zijn voor een indeling in milieubeheergebieden (TABEL 4.5).

---

## VERZURING VERONTREINIGING VERMESTING VERDROGING

## GESTEENTE/ BODEM

CaCO <sub>3</sub>	■	■		
Kleigehalte	■	■	■	■
Siltgehalte	■	■	■	■
Organische stofgehalte	■	■	■	■
Soort organische stof			■	
pH	■	■	■	
Fe- en Al-(hydr)oxyden	■		■	
Mineralen	■			
Redoxpotentiaal		■	■	

## GROND- en OPPERVLAKTEWATER

Stromingsrichting		■	■	■
Stroomsnelheid		■	■	■
Waterstand, fluctuaties	■		■	■
Waterkwaliteit: kationen	■	■	■	■
'' '' : zout	■	■	■	■
'' '' : overige		■	■	

TABEL 4.5: Overzicht van de parameters die bekend moeten zijn voor een gevoeligheidsbepaling voor verzuring, verontreiniging, vermisting en verdroging.

Het gebruik van deze relevante parameters als indelingskenmerken voor een indeling van Nederland stuit op praktische problemen. Ten eerste is het aantal parameters erg groot. Ten tweede is niet van alle parameters gedetailleerde geografische informatie voorhanden.

Het is echter mogelijk en uit praktische overwegingen ook gewenst om deze kenmerken terug te voeren op die milieu-eigenschappen die in één of enkele termen een grote hoeveelheid informatie integreren. Veelal impliceert dit een indeling naar de abiotische componenten van het ecosysteem-model: gesteente, grondwater en dergelijke. Daarbij moeten die componenten geselecteerd worden waarvan het verband met de bovengenoemde kenmerken (bij benadering) bekend is en waarvan de verspreiding bekend is.

Zo kan een vereenvoudiging worden gemaakt door kenmerken op componentniveau te integreren (TABEL 4.6). Een dergelijke vereenvoudiging leidt tot een overzichtelijk aantal indelingskenmerken die aansluiten bij het rangordemodel van een ecosysteem (FIGUUR 2.3).

De belangrijkste sleutelvariabele, de geomorfologie (reliëf en landvormen) is door de genese van het landschap sterk gecorreleerd met gesteente- en bodemeigenschappen. Het reliëf stuurt tevens de belangrijkste hydrologische en geomorfologische processen. Voor de feitelijke kartering is het daarom tevens van belang de geomorfologie er als belangrijk indelingskenmerk bij te betrekken.

Waar de sturing van stoffenstromen (water, sediment en opgeloste stoffen) sterk door de mens beïnvloed is, dient deze eveneens bij de indeling te worden betrokken. Dit is het geval bij de compartimenteringswerken in zeearmen en bij de kunstmatige waterbeheersing van polders, droogmake-rijen en in mindere mate in de rest van Nederland.

CaCO <sub>3</sub> Mineralen Kleigehalte Siltgehalte	MOEDERMATERIAAL (GEOLOGIE, GROND- SOORTEN)
CaCO <sub>3</sub> Gehalte organische stof Soort organische stof pH Redoxpotentiaal	BODEMGROEP EN GRONDWATERTRAP
Grondwaterpeil Fluctuaties	GRONDWATERTRAP
Grondwaterkwaliteit s.s.	OORSPRONG GRONDWATER (INZIJGING, DOORSTROMING, KWEL)
Grondwaterstroming	RELIEF, GEOLOGISCHE OPBOUW, OOR- SPRONG GRONDWATER
Oppervlaktewaterpeil Fluctuaties	AARD VAN HET WATERLICHAAM, DIEPTE (ZOET, ZOUT, GETIJ, ZEE, RIVIER)
Aard oppervlaktewater	OORSPRONG OPPERVLAKTEWATER (LOCAAL, REGIONAAL, GROTE RIVIEREN, ZEE)

TABEL 4.6: Reductie van een groot aantal thema-relevante parameters tot een kleiner aantal ecosysteemkenmerken.

Door bij de kartering uit te gaan van de bovengenoemde indelingskenmerken ontstaan kaartenheden die gedefinieerd zijn in algemeen begrijpelijke termen, en die voor iedereen voldoende associatie met milieueigenschappen kunnen wekken. De relevantie voor het milieubeleid is daarbij enerzijds gemotiveerd vanuit de milieuthema's (dit hoofdstuk) en anderzijds door de aansluiting bij het rangordemodell van het ecosysteem (hoofdstukken 2 en 3).

## 5 RELEVANTE BESTAANDE INDELINGEN VAN NEDERLAND

### 5.1 Inleiding

Momenteel wordt in het milieubeleid steeds met verschillende gebiedsindelungen gewerkt. Vaak zijn deze toegesneden op één milieuthema of één facet van het milieu. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van bestaand kaartmateriaal of er worden uit bestaande kaarten relevante aspecten geselecteerd op grond waarvan weer nieuwe kaartjes geproduceerd worden.

#### 5.1.1 Soorten kaarten

Een belangrijk onderscheid is dat tussen basiskaarten, die (facetten van) het milieu weergeven, enerzijds, en afgeleide kaarten die informatie verschaffen inzake milieuthema's anderzijds. In dit eerste deel (A) van het onderzoek zijn alleen basiskaarten van belang, omdat deze altijd ten grondslag liggen en dienen te liggen aan themagerichte, afgeleide kaarten.

Basiskaarten kunen worden verdeeld in facetkaarten (één facet van het ecosysteem) en geïntegreerde kaarten. Daarnaast bestaan nog databestanden, hetzij in boekvorm (zoals atlassen) hetzij in geautomatiseerde databestanden. Indien deze geografische informatie bevatten, worden ze aangeduid met de term GIS (Geografische Informatie Systemen). Aldus kunnen de volgende typen kaarten en bestanden worden onderscheiden:

- a facetkaarten die abiotische kenmerken weergeven
- b integratiekaarten die het abiotisch milieu weergeven
- c facetkaarten die biotische kenmerken weergeven
- d integratiekaarten die abiotische en biotische ecosysteemkenmerken integreren
- e Geografische Informatie Systemen.

In dit hoofdstuk zullen achtereenvolgens basiskaarten en databestanden worden behandeld van alle vijf typen.

Er wordt slechts aan die kaarten aandacht besteed die resteerden na een selectie op basis van de inperkingen zoals aangegeven in paragraaf 1.3. Deze inperking resulteerde in de in BIJLAGE 1 gegeven lijst. Deze bijlage geeft dan ook nadrukkelijk geen volledig overzicht van alle bestaande kaarten.

#### 5.1.2 Toetsingskader

De kaarten zijn allereerst geanalyseerd naar objectieve kenmerken, waarbij de volgende vragen als richtsnoer hebben gefungeerd:

- Wat voor soort kaarten of gegevensbestanden betreft het; vlekkenkaarten (choropleten) of gridcelkaarten (coördinatennet; ook wel 'vlakkenkaarten')?
-

- Welke indelingskenmerken zijn gebruikt?
- Op welke schaal is de kaart?
- Hoe is de kaart tot stand gekomen (veldinventarisatie, bureau, generalisatie gedetailleerder kaarten)?

Naast de objectieve analyse is een globale beoordeling van de kaarten uitgevoerd vanuit de optiek van bruikbaarheid voor het gebiedsgericht milieubeleid:

- Relevantie van de indeling vanuit ecologische optiek.
- Bruikbaarheid van de kaart, uiteenvallend in: (a) complexiteit van kaart en legenda, (b) leesbaarheid van kaart en legenda voor deskundigen en leken, (c) schaal waarop beleidsuitspraken geoorloofd zijn, (d) bruikbaarheid voor modellering van processen zoals verzuring en dergelijke, (e) bruikbaarheid voor gebiedsgericht beleid.
- Is er aandacht besteed aan ruimtelijke relaties tussen gebieden?
- Welke is de bruikbaarheidsduur (noodzaak tot 'up-dating' van veranderlijke systeemeigenschappen)?

Niet al deze punten zullen steeds behandeld worden; slechts de punten die een kaart tot meer of minder bruikbaar bestempelen, zullen er steeds worden uitgelicht. Voor uitgebreidere objectieve informatie wordt verwezen naar Dumont et al. (1985) en naar de bronnen zelf.

## 5.2 Abiotische facetkaarten

Abiotische facetkaarten geven informatie over de ruimtelijke verspreiding van abiotische kenmerken. Hiertoe behoren kaarten van klimaat, geologie, grondwaterhydrologie, oppervlaktewaterhydrologie, bodem of aspecten van deze abiotische ecosysteemcomponenten.

Abiotische facetkaarten zijn oorspronkelijk vaak opgezet met een wetenschappelijk doel: het geven van een overzicht van de ruimtelijke verdeling van kenmerken van gesteente, landvormen, bodems, grondwaterbewegingen, e.d. Zij zijn daarmee niet in eerste instantie gericht op toepassingen en behoeven ook niet vanuit een milieukundige of ecologische achtergrond gefundeerd te zijn. Wel zijn ze voor vele doeleinden bruikbaar of ze geven althans bruikbare informatie. Ze hebben echter veelal (één van) de volgende nadelen:

- er staat teveel informatie op: een wetenschappelijk doel in plaats van een beleidsdoel kan tot teveel grenzen en te veel legenda-eenheden leiden;
  - er staat te weinig informatie op: slechts één voor het milieubeheer relevant aspect wordt behandeld. Zo is voor een beoordeling van verzuring van de bodem de bodemkaart een uitstekende bron, maar voor een beoordeling van de kans op verzuring van het grondwater (of vermeting) moeten eveneens geologische en hydrologische parameters gekend worden (zie Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987);
  - de informatie in de legenda is door een wetenschappelijke formulering vaak slechts door specialisten op haar waarde te schatten.
-

Deze nadelen gelden in even sterke mate voor biotische als voor abiotische facetkaarten. Daar staat tegenover dat facetkaarten altijd het voordeel hebben van eenduidigheid en eenvoud, omdat slechts één aspect van het milieu wordt weergegeven.

In het onderstaande zullen facetkaarten van de volgende abiotische ecosysteemcomponenten aan de orde worden gesteld (in volgorde van het rangordemodell van een ecosysteem: FIGUUR 2.3):

- Klimaat
- Gesteente/ geologie
- Relief/ geomorfologie
- Grondwater
- Oppervlaktewater
- Bodem

### 5.2.1 Klimaat

- Klimaatgebieden 1: ca. 2.000.000 (Van der Maarel en Dauvellier, 1978)
- Klimaat-Atlas van Nederland (KNMI)
- Grote Bos-atlas

Klimaatkaarten van Nederland zijn voor een indeling van Nederland ten behoeve van gebiedsgericht beleid niet bruikbaar. Dit ligt vooral in het gegeven dat een groot aantal factoren meestal op aparte kaarten wordt weergegeven en dat een samenvattende kaart van 'het klimaat' niet wordt gegeven. Een uitzondering vormt de kaart in het GEM (Van der Maarel & Dauvellier, 1978), hoewel die tevens een duidelijke illustratie is van het probleem dat bij dergelijke kaarten speelt, namelijk om duidelijke grenzen te trekken. Klimaatgrenzen zijn uiterst geleidelijk, waardoor kartering bemoeilijkt wordt. Slechts op wereldschaal kunnen acceptabele kaarten worden vervaardigd.

In het algemeen zijn klimaatkaarten gebaseerd op verschillen in gemiddelde temperatuur, continentaliteit, windsnelheid en neerslag. Voor beleid inzake de milieuthema's zijn echter vooral die aspecten van de atmosfeer van belang die de algemene luchtcirculatie bepalen. Zwakke winden en het optreden van temperatuurinversies in combinatie met een sterke instraling kunnen de vorming van fotochemische smog bevorderen. Daarmee zijn deze factoren van belang voor de thema's luchtverontreiniging en verzuring (inclusief ozonvorming). Het moet echter als welhaast onmogelijk worden beschouwd deze aspecten in een algemene kaart ten behoeve van gebiedsgericht milieubeleid op te nemen. Daarvoor is de toestand van de atmosfeer te veranderlijk.

Het gebruik van klimaatkenmerken als indelingskenmerken voor een dergelijke kaart moet dan ook uitgesloten worden geacht.

---

### 5.2.2 Gesteente/geologie

- Landelijke Overzichtskaartering Geologie 1: 600.000 (Zagwijn & Van Staalduinen, 1975)
- Nieuwe Geologische Kaart van Nederland: subregio's 1: 4.000.000 (Rijks Geologische Dienst)
- Vereenvoudigde Geologische kaart 1: 2.000.000 naar de Rijks Geologische Dienst (Zonneveld, 1985)

De geologische kaarten van de Rijks Geologische Dienst zijn vervaardigd vanuit twee hoofddoelstellingen. Ten eerste is dat de wetenschappelijke doelstelling van het weergeven van de geologische opbouw van Nederland en ten tweede een selectie van die gesteenten die qua eigenschappen relevant zijn voor vooral oppervlaktedelfstoffenwinning, civieltechniek e.d. Deze laatste doelstelling vloeit logisch voort uit het feit dat de Rijks Geologische Dienst onder het Ministerie van Economische Zaken ressorteert.

De wetenschappelijke doelstelling komt tot uitdrukking in de Nieuwe Geologische Kaart van Nederland: subregio's 1: ong. 4.000.000 en de Geologische overzichtskaart 1: 600.000 (Zagwijn & Van Staalduinen, 1975). De eerstgenoemde geeft 6 subregio's die zijn onderscheiden naar afzettingsmilieu (genese) en ouderdom. De overzichtskaart kent ruim 50 legenda-eenheden die zijn onderscheiden naar ouderdom enerzijds (chronostratigrafie) en gesteente-eigenschappen anderzijds (lithostratigrafie). Daarnaast zijn de belangrijkste breuksystemen op de kaart aangegeven. Hoewel deze overzichtskaart een schat aan informatie bevat, is de bruikbaarheid voor het milieubeleid door deze wetenschappelijke benadering beperkt.

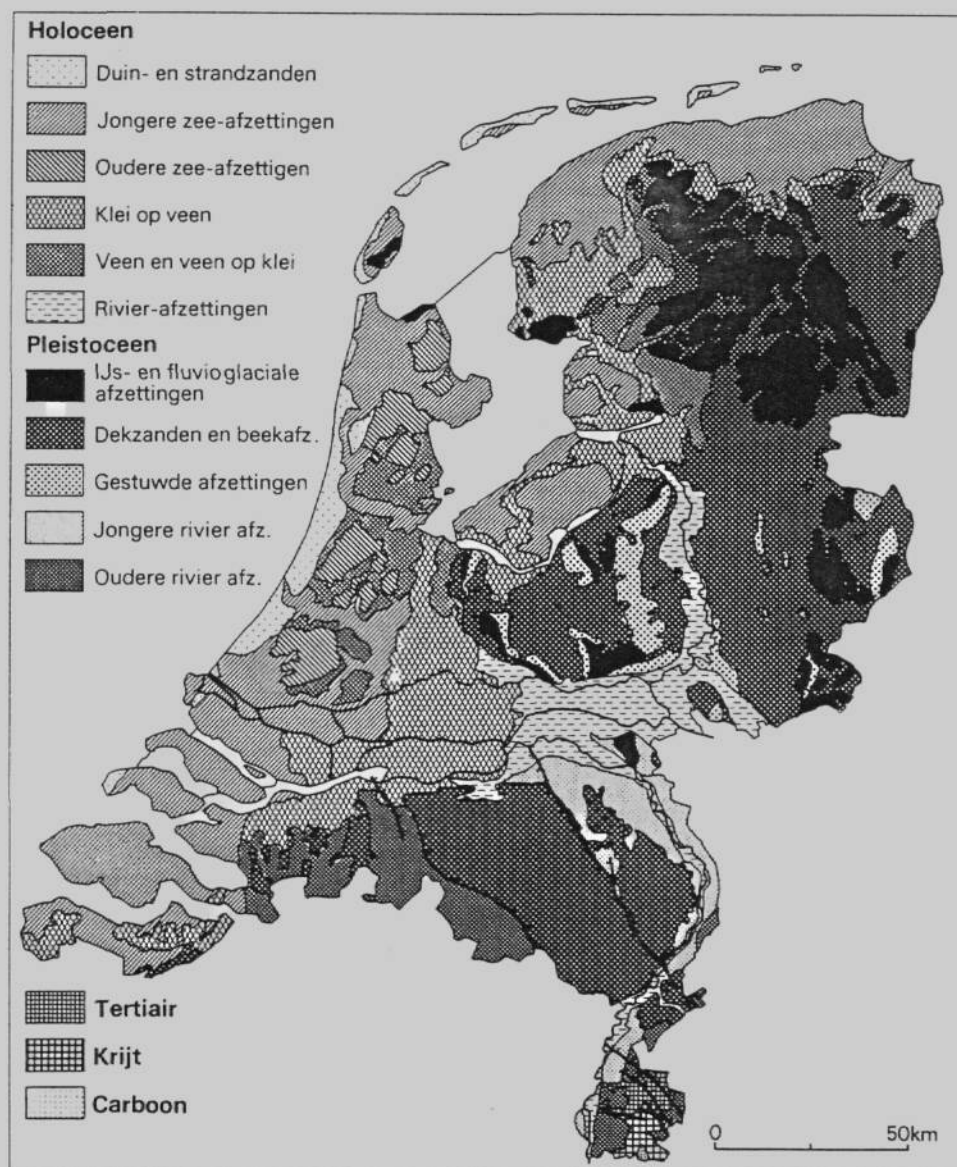
De kaart 'Toegepaste Geologie' in deze reeks Geologische overzichtskaarten (Zagwijn & Van Staalduinen, 1975) is in dat opzicht wel geschikt. Deze is gemakkelijk te interpreteren. De belangrijkste beperking is gelegen in het feit dat een voor het milieubeleid wel erg beperkte hoeveelheid informatie wordt gegeven, namelijk slechts de korrelgrootte van het moedermateriaal.

Samengevat kan gesteld worden dat de Geologische Overzichtskaarten, in combinatie met de bijbehorende geologische profielen (dwarsdoorsneden), een belangrijke bron van informatie voor deskundigen zijn, maar slechts beperkt bruikbaar voor directe toepassing in het milieubeleid.

De geologische kaart 1: ong. 2.000.000 uit Zonneveld (1985) is een generalisatie en vereenvoudiging van de 1: 600.000 Geologische Overzichtskaart van de RGD, met slechts 14 legenda-eenheden. Hiervoor gelden dezelfde bezwaren die samenhangen met een zuiver wetenschappelijke benadering (FIGUUR 5.1).

### 5.2.3 Relief/ geomorfologie

- Landelijke Overzichtskaartering Geomorfologie 1: 600.000 (Stiboka)
  - Onderscheid 'lage' en 'hoge' gronden (Pulles, 1985)
  - Wetenschappelijke Atlas van Nederland, deel Geologie (Zagwijn et al., 1986) 1: 1.000.000
  - Kaartbladkaartering 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)
-



FIGUUR 5.1: Vereenvoudigde Geologische kaart van Nederland (Zonneveld, 1985).

De Landelijke Overzichtskartering Geomorfologie 1: 600.000 (Rijks Geologische Dienst & Stichting voor Bodemkartering) geeft een overzicht van enerzijds hoogteligging en steilte van hellingen (reliëf) en anderzijds de ontstaanswijze (genese) en ouderdom van de landvormen. De legenda kent 80 eenheden. De Wetenschappelijke Atlas, deel Geologie (Zagwijn et al., 1986) is te beschouwen als een geactualiseerde versie van deze overzichtskartering op kleinere schaal (1: 1.000.000).

Als bron van gegevens zijn deze kaarten zeer bruikbaar, maar ze geven niet direct voor het beleid bruikbare informatie. Wel vormt de kaart een goede basis voor een indeling ten behoeve van het milieubeleid, omdat de geomorfologie zeer nauw gecorreleerd is met de geologie en anderzijds de sleutelvariabele vormt voor ruimtelijke relaties tussen gebieden. Bovendien worden voor de geomorfologische kaarten termen gebruikt die een zekere 'holistische' waarde hebben, dat wil zeggen dat begrippen worden gebruikt die veelzeggend zijn en zowel een aanduiding zijn van een vorm als de ontstaanswijze en het materiaal waaruit de vorm bestaat.

Als aanvulling op de geomorfologische overzichtskaarten is ook de hoogtelijnenkaart uit de Bos-atlas een bron van gegevens betreffende de hoogteligging.

De 1: 50.000 Geomorfologische kaarten (Stiboka) zijn nog niet landsdekend. Voor het nationaal gebiedsgericht milieubeleid is deze kaartenreeks bovendien te gedetailleerd (zie Dumont et al., 1985).

#### 5.2.4 Grondwater/ geohydrologie

- Hydrologische indeling van Nederland 1: ong. 2.000.000 (Engelen, 1980)
- Landelijke Overzichtskartering Geohydrologie 1: 500.000 (RGD/ TNO-DGV)
- Kartering horizontale relaties via het grondwater (diverse kaarten 1: 500.000) (Roelofs et al., 1982) (onder meer Her- en inkomstgebieden grondwater)
- Kwetsbaarheidskartering grondwater (Van Duijvenbouden & Breeuwsma, 1987)
- Kaartbladkartering grondwatertrappen 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)

De Landelijke Overzichtskartering Geohydrologie 1: 500.000 van de Rijks Geologische Dienst en de Dienst Grondwaterverkenning van TNO is hoofdzakelijk een interpretatie van de geologische kaart in termen van soorten en belangrijkheid van watervoerende lagen (aquifers), gesteente-eigenschappen met betrekking tot grondwaterbewegingen en geologische structuren die daarop invloed uitoefenen (plooien, breuken, welvingen). Dit heeft geleid tot 2 kaarten, één van de afzettingen in de bovenste 40 m en één van de belangrijkste aquifers. Daarnaast worden kenmerken van de hydrochemie (zoet-brak-zout) en het isohypsenpatroon (stijghoogtelijnen ofwel waterdruk) van het bovenste watervoerende pakket gegeven. Omdat deze kaarten gedeeltelijk door interpretatie tot stand zijn gekomen, voegen ze niet erg veel informatie toe aan de geologische kaarten, maar zijn ze al wel op een voor het milieubeleid relevante wijze geïnterpreteerd (zie ook Dumont et al., 1985).

De kartering van horizontale relaties via het grondwater door Roelofs et al. (1982) heeft kaarten 1: 500.000 opgeleverd van de isohypsenpatronen en de stroombanen van het ondiepe en diepe grondwater. Tevens zijn hieruit inzigings-, doorstroom- en kwelgebieden afgeleid en zijn de belangrijkste grondwaterscheidingen aangegeven. De kaarten zijn tot stand gekomen door aggregatie en interpretatie van bestaande gegevens. De nauwkeurigheid van de kaarten laat te wensen over door de gebruikte productieschaal. Er wordt een grotere nauwkeurigheid gesuggereerd dan gewettigd door de uitgangsgegevens, om welke reden verkleining tot een schaal van 1: > 1.000.000 gewenst zou zijn. Daardoor zouden de stroomlijnen, waterscheidingen en grenzen tussen geohydrologische eenheden een meer indicatief karakter krijgen, zoals in generalisaties voor illustratiedoeleinden (FIGUUR 5.2). Dit zou meer in overeenstemming zijn met de kwaliteit(sverschillen) van de gebruikte basisgegevens. Als wandkaart ten behoeve van interpretatie voor nationaal beleid zijn vooral de isohypsenkaarten echter wel goed bruikbaar. Dit is in overeenstemming met het beoogde gebruik door de RPD (opdrachtgever) voor structuurschema's e.d. Gebruik van de kaarten met stroombanen van het grondwater wordt over het algemeen afgeraden.

De kwetsbaarheidskartering van het grondwater (Van Duijvenbouden & Breeuwsma, 1987) geeft een 12-tal kaarten op schaal 1: 400.000, die relevante kenmerken met betrekking tot mogelijke grondwaterverontreiniging weergeven. Het onderzoek is uitgevoerd door RIVM, RGD en Stiboka, die bestaande gegevens hebben geïnterpreteerd en geconverteerd tot gekwantificeerde individuele kenmerken van respectievelijk de niet met water verzadigde laag en de waterverzadigde afdekkende lagen boven het watervoerend pakket. Zo zijn er de volgende kaarten die werkelijk grondwateraspecten weergeven:

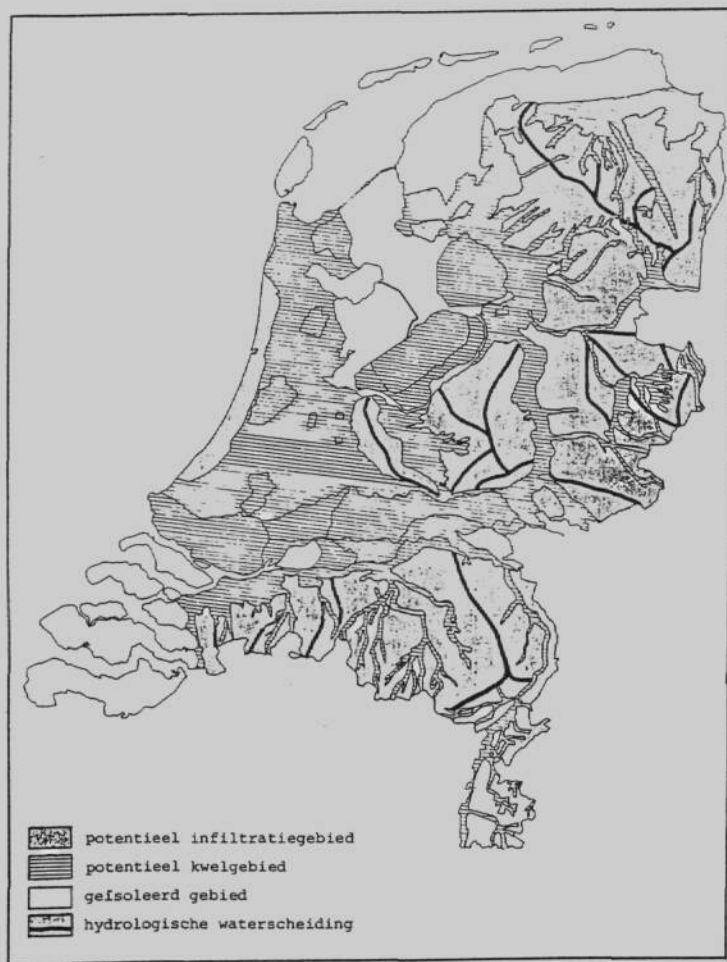
- totale dikte afdekkende lagen boven het watervoerend pakket
- dikte van de niet met water verzadigde laag
- verblijftijd van het water in de niet met water verzadigde laag
- verblijftijd van het water in de waterverzadigde afdekkende lagen boven het watervoerend pakket.

Daarnaast zijn er kaarten die feitelijk kenmerken van bodem en gesteente weergeven van de niet met waterverzadigde laag respectievelijk de met water verzadigde lagen boven het watervoerend pakket:

- lutummassa
- organische stofmassa
- kation-uitwisselingscapaciteit
- kalk.

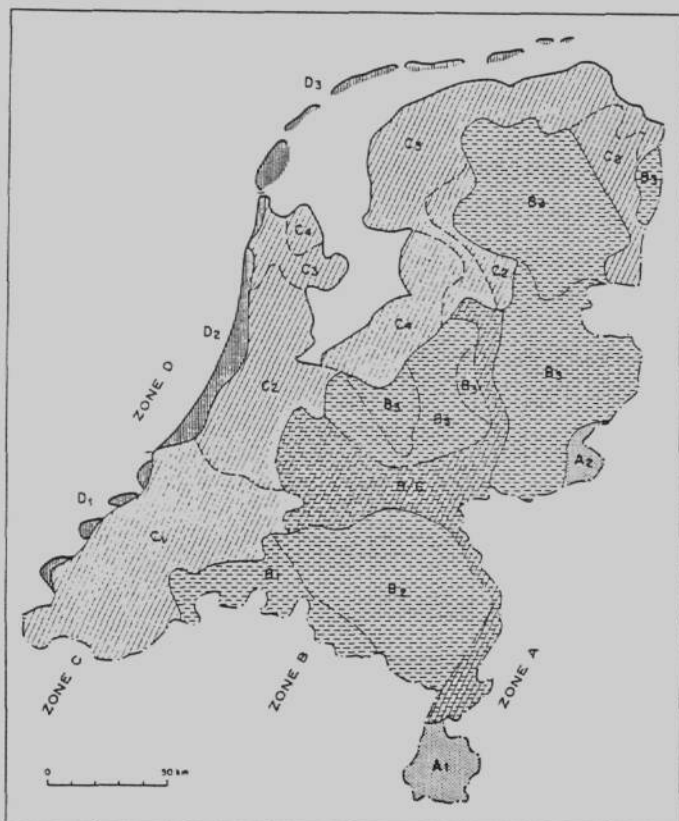
Omdat de kaarten alle andere patronen laten zien en gebaseerd zijn op verschillendsoortige basiskaarten (gesteente, bodem, grondwaterstand), kan geen gebiedsindeling op deze kaarten worden gebaseerd. De informatie die wordt gegeven is echter wel zeer relevant voor (aspecten van) het milieubeleid.

Engelen (1980) geeft een indeling van Nederland in geohydrologische regio's op schaal 1: ong. 2.000.000 (FIGUUR 5.3). Deze indeling berust op een interpretatie van geologische en geomorfologische kenmerken naar hun invloed op de grondwaterhuishouding. De kaart voegt daarom feitelijk geen nieuwe informatie toe, maar past qua benadering wel goed bij het in hoofdstuk 3 gestelde: dat op kleine kaartschalen (1: >1.000.000) een indeling naar geologisch/ geomorfologische kenmerken voor de hand ligt, omdat deze de ondergeschikte componenten, waartoe grondwater behoort, tot in hoge mate bepalen.



FIGUUR 5.2: Kwel- en infiltratiekaart met hydrologische waterscheidingen (uit Roelofs et al., 1982). Het belang van geologische en geomorfologische systeemkenmerken blijkt duidelijk uit het kaartbeeld.

De Vakgroep Fysische Geografie van de RU Utrecht (Visser et al., 1985) heeft in opdracht van de RPD de ondiepe grondwaterbewegingen op de Nederlandse zandgronden in kaart gebracht, ten behoeve van een bepaling van de ruimtelijke effecten van bemesting via dit grondwater. Dit heeft een duidelijke en relatief gedetailleerde kaart (1: 125.000; in meerdere bladen) van een gedeelte van de zandgronden opgeleverd. De resterende zandgronden (Noordoost-Nederland) zijn nog in bewerking. De kaarten geven herkomstgebieden, geïsoleerde gebieden en inkomstgebieden weer, alsook waterscheidingen en een aantal met grondwaterwinningen verband houdende zaken. Helaas beslaan deze kaarten slechts een deel van Nederland; ze zijn voor het milieubeleid zeer relevant, zij het voor de nationale schaal erg gedetailleerd.



FIGUUR 5.3: Hydrologische indeling van Nederland volgens Engelen (1980). Uit het patroon blijkt dat vooral geologische en geomorfologische kenmerken zijn gebruikt voor de indeling.

De grondwatertrappenkartering van Stiboka (kaartbladen 1: 50.000) gaat gelijk op met de bodemkartering. Ze beslaat nog niet geheel Nederland. Voor gebiedsgericht milieubeleid op nationale schaal is de 1: 50.000 kaartschaal echter te gedetailleerd. De 1: 250.000 bodemkaart daarentegen geeft een generalisatie, waarbij de oorspronkelijk 7 grondwatertrappen zijn gegeneraliseerd tot 5 diepteklassen respectievelijk 2 diepte-hoofdklassen (diep en ondiep). Daarmee is de informatie over het fluctuatietraject, zoals dat in de 7 grondwatertrappen nog aanwezig is, weliswaar verloren, maar voor nationaal beleid geeft deze 1: 250.000-kaart nog voldoende informatie.

### 5.2.5 Oppervlaktewater

- Drainageregio's 1: ca. 1.500.000 (alleen de hoge gronden) (Pulles, 1985)
- Kartering horizontale relaties via het oppervlaktewater (diverse kaarten 1: 500.000) (Farjon, 1982)
- Districtindeling en regio-indeling PAWN (Pulles, 1985)
- Nationale en belangrijkste regionale waterhuishoudkundige infrastructuur 1: ca. 1.700.000 (Pulles, 1985)
- Wetenschappelijk Atlas van Nederland: deel Water (kaart met oppervlaktewateren 1: 1.000.000 (Van de Ven et al., 1985)
- Oppervlaktewateren 1: 1.000.000 in De Jongh & Vaessen (1985)
- Globale landschappenkaart van Nederland naar visuele kenmerken van water 1: 1.000.000 (De Jongh & Vaessen, 1985)

Van de component oppervlaktewater zijn twee fundamenteel verschillende soorten kaarten voorhanden.

Ten eerste betreft dat kaarten die het netwerk van waterlopen weergeven zonder verdere aanduidingen. Dit zijn in feite topografische kaarten die alleen het kenmerk oppervlaktewateren laten zien, met weglating van wegen en andere topografische informatie. Hiertoe kunnen worden gerekend de kaart met oppervlaktewateren uit de reeks Wetenschappelijke Atlas van Nederland (deel Water; Van de Ven et al., 1985), schaal 1: 1.000.000, de kaart met oppervlaktewater in De Jongh & Vaessen (1985), die hier een getrouwe copie van is, en de kaart met nationale en regionale waterhuishoudkundige infrastructuur van het Ministerie van Verkeer & Waterstaat (Pulles, 1985) op schaal 1: ong. 1.700.000.

Een tweede groep kaarten geeft drainageregio's, afvoereenheden of districten. Dit zijn meestal eenheden die of door natuurlijke afwatering (zonder bemaling) of door waterhuishoudkundige maatregelen als één gebied kunnen worden aangemerkt. Men zou kunnen zeggen: stroomgebieden. Door de verregaande opdeling van Nederland in waterschappen en afwateringseenheden komen de grenzen van dergelijke eenheden soms in het geheel niet meer overeen met natuurlijke stroomgebieden.

Een regio of districtsindeling, zoals gegeven door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (Pulles, 1985) geeft een landsdekkende indeling in oppervlaktewater-afwateringseenheden. Helaas is de relatie met ondergrond en geomorfologie hierbij volledig zoek als gevolg van de verregaande regulering van de Nederlandse waterhuishouding. De PAWN-districten moeten

---

dan ook eerder opgevat worden als 'bestuurlijke' of 'ingreep'-gebieden dan als effectgebieden. Het waterbeheer vormt dan als het ware een stuurvariabele in het milieubeheer. Voor een indeling in milieubeheergebieden, toegespitst op de milieuthema's is de PAWN-districtenindeling dan ook niet zonder meer bruikbaar.

De kartering van horizontale relaties via het oppervlaktewater van Farjon (1982) geeft op schaal 1: 500.000 een aantal soorten invloedsgebieden weer (zoet, zout, nationaal systeem: Rijnwater) alsook de relaties tussen en via wateren. Nieuwe informatie wordt hiermee niet toegevoegd. Wel wordt op overzichtelijke wijze een aantal bekende relaties en processen op kaart weergegeven. Voor een gebiedsindeling is de kaart echter niet bruikbaar, omdat vooral vectorinformatie wordt gegeven (lijnen en stromingsrichtingen in plaats van vlakken).

Tenslotte is er nog de Landschappenkaart naar visuele kenmerken van water van De Jongh & Vaessen (1985). Dit is feitelijk een soort abiotische integratiekaart, waarin landschappen worden onderscheiden naar hoofdzakelijk geologische, geomorfologische en bodemkundige kenmerken voorzover deze van invloed zijn op de waterhuishouding. Het uiterlijk van het landschap, voorzover beïnvloed door oppervlaktewateren, staat daarbij voorop. De kaart zou vanuit dit oogpunt beter als een abiotische integratiekaart kunnen worden beschouwd dan als een facetkaart van het oppervlaktewater. Daar staat echter tegenover dat dit één van de zeer weinige indelingen van Nederland is waarbij ook de grote wateren zijn ingedeeld, anders dan als slechts 'oppervlaktewater'.

#### 5.2.6 Bodem

- Globale Bodemkaart van Nederland 1: 1.000.000 (De Bakker & Schelling, 1966)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem 1: 600.000 (Stiboka)
- Bodemkaart naar Edelman 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Bodemkaart naar De Bakker & Schelling 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Vereenvoudigde bodemkaart met de belangrijkste gradiënten 1: ca. 2.000.000 (Baaijens, 1985)
- Grondsoortenkaart 1: ca. 2.000.000 (Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
- Natuurlijke voedselrijkdom van de bodem 1: ca. 2.000.000 (in: Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
- Grondsoortenkaart 1: ca 1.5.000.000 (Pulles, 1985)
- Wetenschappelijk Atlas van Nederland: Bodem (kaart 1: ca. 1.000.000) (Steur et al, 1985)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: Nebo-kaart 1: 200.000 (Stiboka)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: Nieuwe Nebo-kaart 1: 250.000
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: generalisatie in het kader van de Landelijke Milieu Kartering (LMK) 1: 200.000 (Kloosterhuis & Pape, 1976; Kalkhoven et al., 1977)
- Kaartbladkartering bodem 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)

Bodemkaarten van Nederland zijn er op vele schalen en worden zeer frequent gebruikt in het milieubeleid. Dit is zeer verklaarbaar, omdat de

---

meeste bodemkaarten niet alleen informatie bevatten die werkelijk op het bodemvormingsproces betrekking heeft, maar tevens al die informatie die dit bodemvormingsproces verklaren. Hiertoe behoren moedermateriaal (grondsoort; in feite een geologisch kenmerk), soms een genetische aanduiding zoals zeeklei of rivierzand (een geologisch kenmerk), soms hoogteligging (een geomorfologisch kenmerk) en veelal grondwaterstand (in feite een hydrologisch kenmerk). Hierdoor zijn de meeste bodemkaarten meer dan een simpele facetkaart: in feite zijn het reeds abiotische integratiekaarten, waarin alle in het ecosysteemmodel bovengeschiedte componenten zijn geïncorporeerd. Op dit punt bestaan echter grote verschillen tussen de in beschouwing genomen bodemkaarten. Hierop zal kort worden ingegaan.

Twee fundamenteel verschillende typen bodemkaart kunnen worden aangetroffen. Een eerste type is de zogenaamde Edelman-kaart met zijn derivaten (o.a. de oude Nebo-kaart 1: 200.000 van Stiboka; Bodemkaart naar Edelman van Zonneveld, 1985, 1: ong. 2.000.000 (FIGUUR 5.4); de vereenvoudigde bodemkaart van Baaijens, 1985, 1: ong. 2.000.000). Dit zijn kaarten die de nadruk leggen op wat in het algemeen grondsoort wordt genoemd. Dit betreft de weinig veranderlijke kenmerken van de bodem, zoals textuur, ontstaanswijze e.d., die vooral geologisch bepaald zijn. Dergelijke kaarten zijn oorspronkelijk ten behoeve van de landbouwontwikkeling vervaardigd en geven dientengevolge ook ecologisch relevante kenmerken van bodems weer.

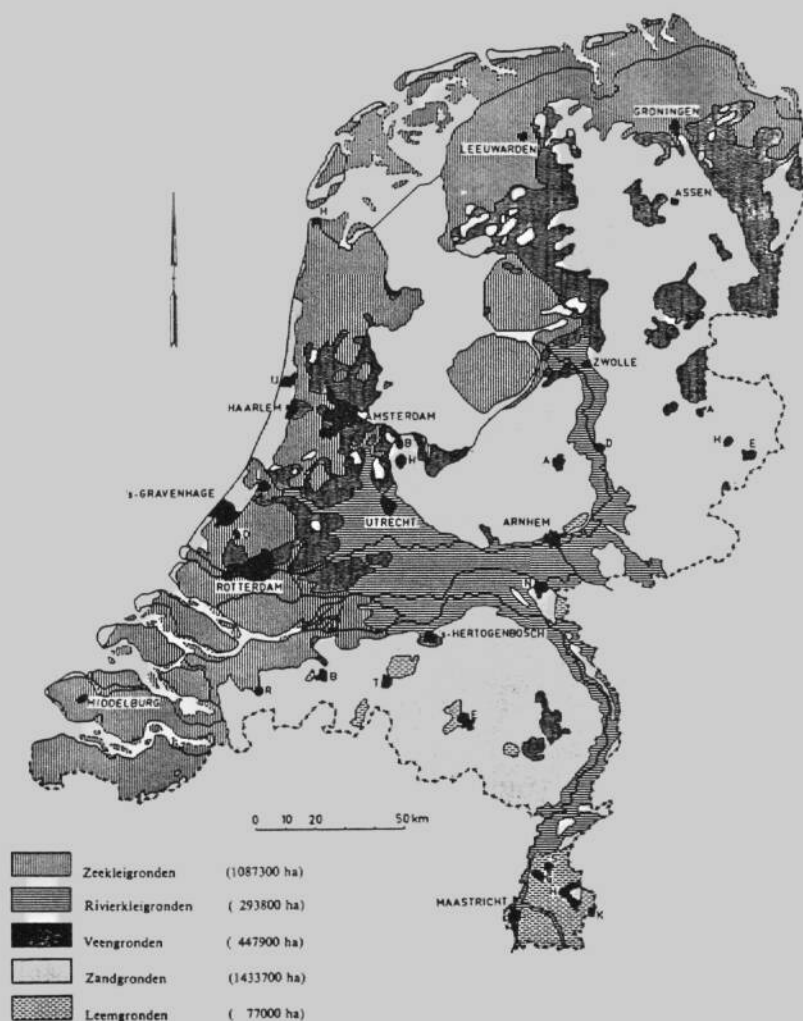
Een tweede type bodemkaart is de kaart volgens De Bakker & Schelling (1966). Hiertoe behoren de Nieuwe Nebo-kaart (1: 250.000), de Globale Bodemkaart van Nederland 1: 1.000.000, de bodemkaart naar De Bakker & Schelling van Zonneveld (1985) en de 1: 50.000 kaartbladkartering van Stiboka. Kaarten van dit type leggen de nadruk op de ontstaanswijze van het bodemprofiel (pedogenese). Daarnaast geven deze kaarten ook nog de grondsoort- en grondwaterkenmerken van de Edelmanniaanse aanpak.

De bodemkaart volgens De Bakker & Schelling wordt door leken over het algemeen als moeilijk te interpreteren beschouwd. Daarom wordt voor beleidstoepassingen veelal teruggescrepen op Edelman-achtige kaarten. Desalniettemin kan de 'nieuwe' aanpak belangrijke extra informatie verschaffen, zij het dat voor de interpretatie deskundigen moeten worden ingeschakeld. In de nieuwste versies van beide typen bodemkaarten wordt overigens van hetzelfde patroon van land-eenheden (kaartbeeld) uitgegaan, zodat het mogelijk is geworden van steeds dezelfde gebieden nu eens Edelman-achtige informatie, dan weer meer pedogenetische gegevens af te lezen. Dit gelijke patroon komt duidelijk tot uitdrukking in de Wetenschappelijke Atlas van Nederland (deel Bodem; Steur et al. 1985; zie ook de laatste druk van de Bos-atlas).

Vanwege het feit dat bodemkaarten ook informatie over geologie, geomorfologie en grondwater bevatten, zijn ze zeer geëigend als basis voor een gebiedsindeling ten behoeve van het milieubeleid. Slechts de wijze van presentatie vormt een, overigens kleine, belemmering voor directe toepassing.

Van de bestaande bodemkaarten zijn de Globale bodemkaart 1: 1.000.000 en de nieuwe Nebo-kaart 1: 250.000 het meest bruikbaar voor gebiedsgericht

milieubeleid. Dit zijn immers de basiskaarten waarop alle vereenvoudigingen en generalisaties tot A-4 formaat zijn gebaseerd. Bovendien zijn ze het meest recent, zodat ze alle eerdere informatie omvatten.



FIGUUR 5.4: Bodemkaart van Nederland naar Edelman (Zonneveld, 1985). De indeling is naar de eigenschappen van het moedermateriaal (geologisch kenmerk) en niet naar bodemvormingsprocessen (pedogenese).

Daar staat echter tegenover dat interpretaties en generalisaties zoals uitgevoerd door bijvoorbeeld Baaijens (1985) op 1: ong. 2.000.000 een helder en ecologisch gestoeld overzicht kunnen verschaffen, hetgeen voor natuur- en milieubeleid zeer bruikbaar is. Dergelijke generalisaties gaan namelijk niet mank aan het probleem van een te grote hoeveelheid of te gecompliceerde informatie, die interpretatie door leken of toepassing in het beleid in de weg kunnen staan. In de kaart van Baaijens wordt bovendien het aspect grondwaterstroming (waterscheidingen en belangrijke infiltratie- en kwelgebieden) aan de bodemkundige gegevens toegevoegd. Hiermee gaat deze kaart al sterk in de richting van een ecologisch gefundeerde integratiekaart met het abiotisch milieu als indelingskenmerk.

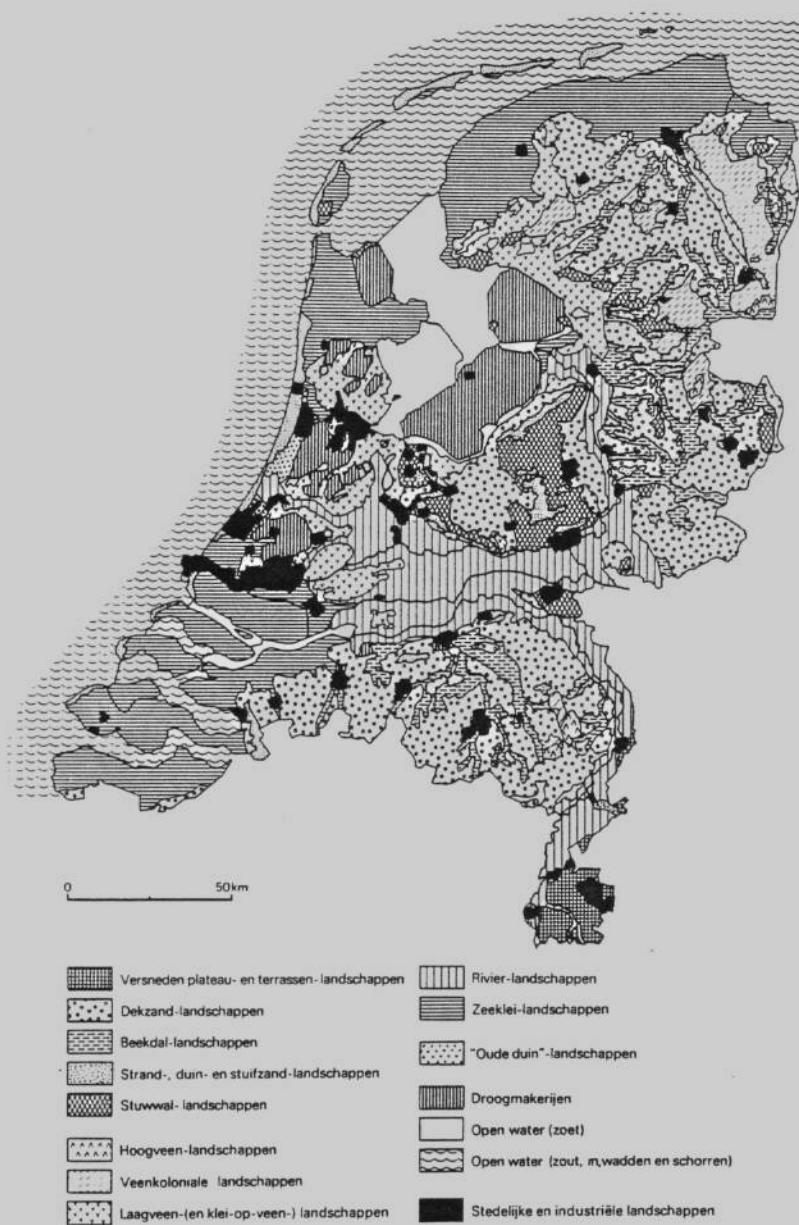
Nog niet gepubliceerd is een versie van de bodemkaart 1: 250.000 met daarop gesuperponeerde grondwatergegevens. Deze kaart wordt eveneens vervaardigd door Baaijens en is als een verfijning te beschouwen van de versie 1: ong. 2.000.000. Als basis wordt de Nebo-kaart gebruikt. Ook deze kaart is al bijna een abiotische integratiekaart te noemen.

### 5.3 Abiotische integratiekaarten

- Fysisch geografische Landschappenkaart van Nederland 1: 600.000 (Hof, 1983)
- Nederland: de grote natuurlijke landschapseenheden 1: 2.200.000 (Keuning, 1965 naar Keuning, 1934; zie Hof, 1983)
- Fysisch geografische landschapseenheden 1: 1.300.000 (De Gans & Schoutte, 1973; zie Hof, 1983)
- Fysisch geografische provincies van Nederland 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Fysisch geografische landschapstypen 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Fysisch geografische landschappen 1: ca. 2.500.000 (Visscher, 1975)
- Landschappen met geleidelijke overgangen ofwel milieugradiënten 1: ca. 1.500.000 (in: Van der Maarel & Dauvellier, 1978)

Deze kaarten worden door de vervaardigers veelal fysisch geografische kaarten genoemd. Ze integreren geologie, geomorfologie en soms enkele bodemeigenschappen. In het algemeen zijn ze sterk wetenschappelijk gefundeerd. Vaak is de indeling gebaseerd op de ontstaanswijze (geogenese), omdat daar veelal de wetenschappelijke interesse van de makers ligt. Er zijn kaarten beschikbaar op vele globale kaartschalen (rond de 1: 1.000.000), maar weinig gedetailleerder materiaal.

Enkele goed bruikbare en op elkaar gelijkende voorbeelden zijn de Fysisch Geografische Landschappenkaart van Hof (1983), de Fysisch Geografische Landschapstypenkaart van Zonneveld (1985) (FIGUUR 5.5) en de Fysisch Geografische Landschappenkaart van Visscher (1975). Deze indelingen wijken slechts op ondergeschikte punten van elkaar af, hetgeen niet verwonderlijk is gezien de in alle gevallen gekozen genetische invalshoek.



FIGUUR 5.5: Fysisch geografische landschapstypen (Zonneveld, 1985). De indeling is vooral gestoeld op een combinatie van geologische en geomorfologische kenmerken.

Hof (1983) geeft als belangrijkste nieuwe elementen ten opzichte van eerdere fysisch geografische indelingen ook de aard van de op de kaart getrokken grenzen aan (geologisch, morfologisch e.d.) alsook de richting van morfologische gradiënten (helling) met behulp van pijltjes. Dit is te beschouwen als een vooruitlopen op het denken in ruimtelijke processen, zoals dat tegenwoordig in de landschapsecologie gebruikelijk is. Een nadeel van de kaart van Hof wordt gevormd door de gekozen kaartschaal (1: 600.000), die een grotere nauwkeurigheid doet vermoeden dan gerechtvaardigd is. Verkleining tot A4-formaat kan dan ook straffeloos geschieden zonder informatieverlies. Daardoor wordt de kaart direct vergelijkbaar met de andere genoemde voorbeelden.

Een recente exercitie op dit gebied vormt de indeling in Fysisch Geografische Regio's van Middelburg et al. (1988) die bij Staatsbosbeheer is ontwikkeld. Deze is opgezet om een gedetailleerdere standplaatsbenadering op schaal 1: ong. 250.000 van een kader te voorzien. Dit kader is uitgewerkt in een kaartje op A4-formaat (1: ong. 1.500.000). Bij de standplaatsbenadering 1: 250.000 staat een indeling voorop, waarbij bodemkenmerken en kenmerken van grondwater worden geïntegreerd (Hoekstra et al., in voorb.). Deze is echter qua schaal (1: 250.000) en qua opzet (vooral grondwaterrelaties en vegetatie-ontwikkeling als afgeleide van bodemeigenschappen) niet meteen bruikbaar voor algemener milieubeleid op landelijke schaal. Ze vormt echter een prima basis voor natuurbeleid op gedetailleerder niveau.

#### 5.4 Biotische facetkaarten

Biotische facetkaarten geven de verspreiding van biotische fenomenen weer, zoals flora, vegetatie, fauna, faunagezelschappen of landgebruiksvormen (bosbouw, akkerbouw, veeteelt, e.d.). Ook karteringen van natuurgebieden en dergelijke zullen hier voor het gemak toe worden gerekend, omdat deze een functie van het landschap weergeven die als landgebruik kan worden opgevat. Achtereenvolgens zullen aan de orde komen:

- landgebruik (5.4.1)
- plantegroei (5.4.2)
- fauna (5.4.3).

##### 5.4.1 Landgebruik

- Statistiek van het bodemgebruik (CBS) (geen overzichtskaart)
- Vierde Bosstatistiek (CBS/ SBB) (geen overzichtskaart)
- Kartering van bossen, natuurgebieden en WAC's (SBB/NMF, 1984)
- Landbouwgebieden 1: ong. 1.500.000 (CBS, 1986)

Echte landgebruikskarten van Nederland zijn niet voorhanden. Wel geeft de topografische kaart (op diverse schalen van 1: 10.000 tot 1: 250.000) hierover informatie, zij het dat dit het landgebruik in enkele zeer grove klassen betreft: stedelijk gebied, industriegebied, akkerbouw, grasland en bos (naaldbos en loofbos).

---

Nauwkeuriger gegevens over het bodemgebruik geeft het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), maar die zijn niet in kaartvorm. Soortgelijke, niet op kaart weergegeven, gegevens zijn er betreffende bostypen in de Vierde Bosstatistiek (CBS/ SBB).

Wel gekarteerd zijn bossen, natuurgebieden en Waardevolle Agrarische Cultuurlandschappen (WAC's). Hiervan zijn kaarten vervaardigd door SBB/NMF (1984) als vervolg op en actualisering van de zogenaamde Bolwerkkaarten. Hierop zijn de belangrijke natuurelementen in Nederland aangegeven. Dergelijke kaarten zijn uit de aard der zaak niet landsdekkend, omdat het grootste gedeelte van Nederland niet uit natuurgebied bestaat. Ze worden van belang bij een vergelijking van functies en/of waarden met potentiële knelpunten in de milieukwaliteit.

De Landbouwgebieden van het CBS (1986) zijn bestuurlijke eenheden en geen natuurlijke. Deze zijn voor dit onderzoek dan ook niet relevant. Wel kunnen ze van belang zijn als gegevens over belastingen gewenst worden, omdat deze wel per landbouwgebied (soms per COROP-gebied) verzameld worden.

#### 5.4.2 Plantegroei

- Atlasproject Nederlandse Flora: atlassen met verspreidingskaarten van de Zeer Zeer Zeldzame, Zeer Zeldzame en Zeldzame soorten
- Plantengeografische districten 1: ong. 2.500.000 (in: Heukels en Van Oostroom, 1975; Heukels & Van der Meyden, 1983)
- Verspreiding van epifyten (Barkman, 1958)
- Korstmossenarchief van Nederland (De Wit, 1976)
- Landelijke milieukartering: kaart natuurwaarden (Kalkhoven et al., 1977)

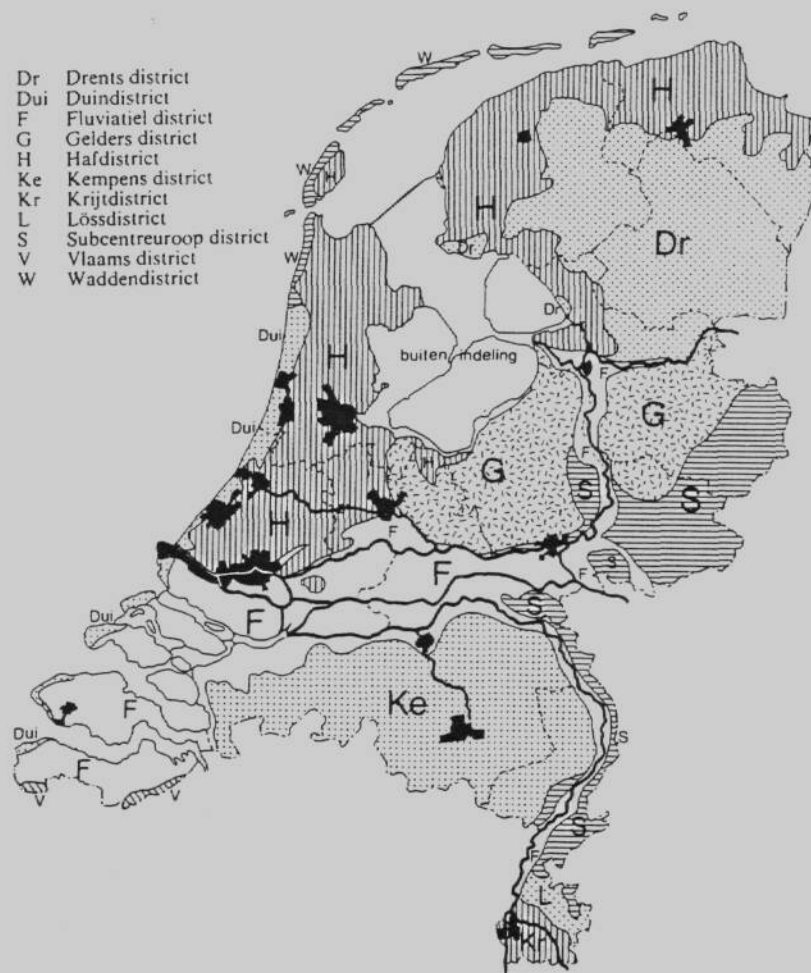
Kaarten van de plantegroei kunnen betrekking hebben op de totale begroeiing: vegetatiekaarten, of op elementen ervan: soorten.

Tot de eerste groep behoren bijvoorbeeld sommige kaarten van natuurgebieden of de kaart 'natuurwaarden' van het project Landelijke Milieukartering (Kalkhoven et al., 1977). Deze kaarten geven de actuele situatie met betrekking tot de begroeiing aan.

De tweede groep betreft kaarten die de verspreiding van individuele soorten aangeven. Zulke verspreidingskaarten zijn meestal in de vorm van gridcelkaarten, waarbij wordt uitgegaan van een grid van 1 km<sup>2</sup> of de zogenaamde uurhokken (5 km x 5 km<sup>1</sup>). Per gridcel wordt dan aangegeven of, en zelden hoe frequent een soort daar voorkomt. Dergelijke kaarten bestaan er van een aantal hogere planten (Atlasproject Nederlandse Flora, in uitvoering door het Rijksherbarium).

Van individuele soorten moet geconstateerd worden dat kennis omtrent de verspreiding weliswaar uiterst belangrijk is, maar niet direct aanknopingspunten biedt voor een gebiedsindeling. Meer perspectief wordt dan geboden door aggregaties van afzonderlijke verspreidingskaarten tot één kaart, waarop bijvoorbeeld plantengeografische districten zijn aangegeven. Tot nu toe zijn dergelijk kaarten meestal gebaseerd op een deskundi-

geninterpretatie, waarbij de feitelijke verspreiding van soorten wordt gerelateerd aan abiotische factoren, zoals bijvoorbeeld gesteente-eigenschappen. Deze laatste zijn vervolgens als uitgangspunt genomen voor de grenzen op het kaartje. Dit geldt zowel voor de plantengeografische districten in Heukels & Van der Meijden (1983) (FIGUUR 5.6), als voor de hydrobiologische districten (De Lange & De Ruiter, 1977).



FIGUUR 5.6: Plantengeografische districten van Nederland (Heukels & Van der Meijden, 1983). De indeling reflecteert onder andere verschillen in moedermateriaal (geologie) en mesoklimaat (ligging ten opzichte van zee en continent en reliëf).

Een meer deductieve benadering zou uit dienen te gaan van alle verspreidingskaartjes op zich om via een ordening van deze gegevens tot een indeling te komen. Dit is bijvoorbeeld wel gebeurd voor de broedvogeldistricten (zie paragraaf 5.4.3), maar wordt voor de plantengeografie nog belemmerd door de onvolledigheid van gegevens.

Als basis voor een indeling ten behoeve van het milieubeleid zijn noch verspreidingskaarten, noch plantengeografische indelingen geschikt. Wel kunnen deze gebruikt worden om de ecologische relevantie van de gekozen abiotische indeling te toetsen.

#### 5.4.3 Fauna

- Broedvogeldistricten van Nederland (5 x 5 km-hokken) (Kwak et al., 1987)
- Atlas van de Nederlandse broedvogels (idem) (Teixeira, 1979)
- Atlas van de Nederlandse winter- en trekvogels (idem) (Bekhuis et al., 1987)
- Voorlopige atlas van de Nederlandse dagvlinders (idem) (Geraedts, 1986)
- Her- en inkomstgebieden van waterdieren (Vos et al., 1982)
- Hydrobiologische districten van Nederland 1: ca. 3.000.000 (De Lange & Ruiter, 1977; in Vos et al., 1982)

Van verscheidene diergroepen bestaan atlassen met verspreidingskaarten per soort. Hiervoor geldt, net als bij plantesoorten, dat hierop geen gebiedsindeling kan worden gebaseerd. Wel bestaan ook landsdekkende indelingen van Nederland die zijn gebaseerd op diergezelschappen of de verspreiding van een groot aantal soorten. Hiertoe behoren bijvoorbeeld de kaart van hydrobiologische districten (De Lange & Ruiter, 1977) of die van broedvogeldistricten (Kwak et al., 1987).

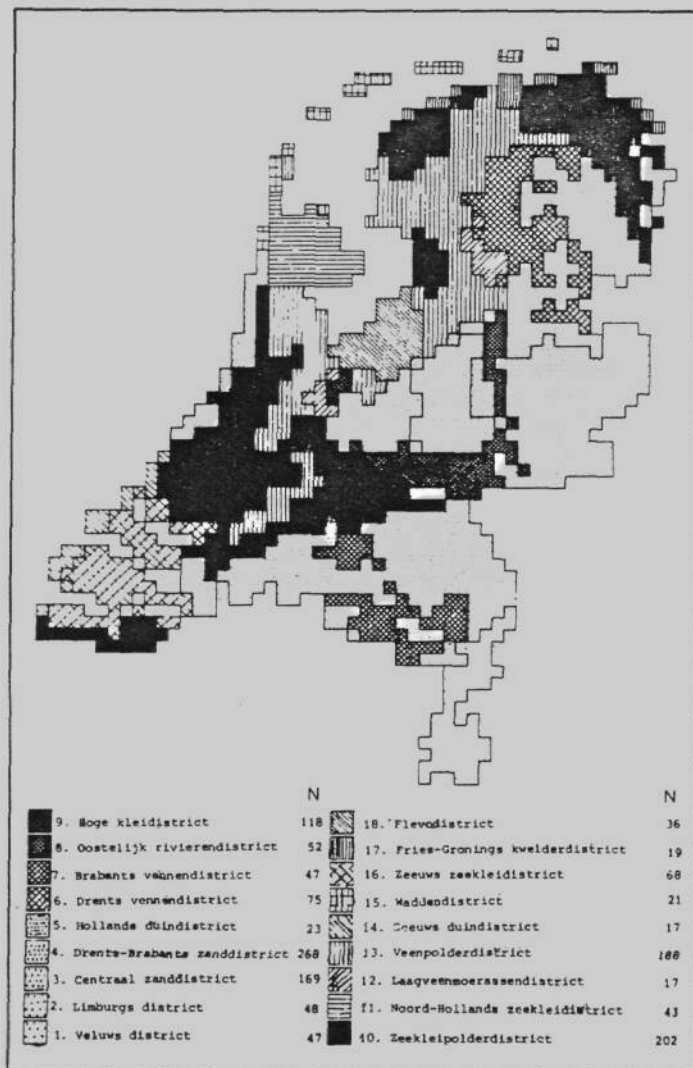
De kaart van hydrobiologische districten is, net als die van plantengeografische districten, tot stand gekomen door interpretatie van soort(engroep)-milieu relaties, gevolgd door een indeling in milieus naar abiotische kenmerken. De kaart lijkt dan ook sterk op geologische-geomorfologische kaarten, zij het dat meer nadruk is gelegd op aspecten van oppervlaktewater.

De broedvogeldistricten zijn tot stand gekomen door geautomatiseerde verwerking van de verspreidingsgegevens van alle broedvogelsoorten tezamen. Hier is dus sprake van een deductieve benadering, in plaats van van een inductieve. Dit levert een eenduidige indeling op die voor onderzoekdoeleinden zeer bruikbaar is. Het resulterende kaartbeeld vertoont overigens een sterke gelijkenis met dat van abiotische indelingen, hetgeen de veronderstellingen omtrent soort(engroep)-milieu relaties ondersteunt (FIGUUR 5.7).

Als basis voor gebiedsgericht milieubeleid zijn faunakaarten op deze schaal evenmin bruikbaar als de overige biotische facetkaarten, behalve dan als controlemiddel voor de ecologische relevantie van een gekozen

---

abiotische indeling. Dit laatste geldt zowel voor de verspreidingskaarten van afzonderlijke soorten als voor de districtindelingen.



FIGUUR 5.7: Indeling van Nederland in broedvogeldistricten (Kwak et al., 1987). De indeling is door geautomatiseerde verwerking van uitsluitend broedvogelgegevens tot stand gekomen, maar vertoont wel opvallende gelijkenis met indelingen naar abiotische kenmerken.

### 5.5 Abiotisch-biotische integratiekaarten

- Landelijke Milieukartering: potentieel natuurlijke vegetatie (interpretatie van de bodemkaart) 1: 250.000 (Kalkhoven et al., 1977)
- Geotopenkaart van Nederland 1: 2.500.000 (Visscher, 1972)
- Geotooptypen 1: ca. 1.500.000 naar Visscher (1972) (Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
- Landschapstypen naar cultuurhistorische kenmerken volgens De Boer, Entrop & Tack (Renes, 1982)
- Wetenschappelijke Atlas van Nederland: deel Landschap. Landschappen van Nederland 1: 1.000.000 (Piket et al., 1987)

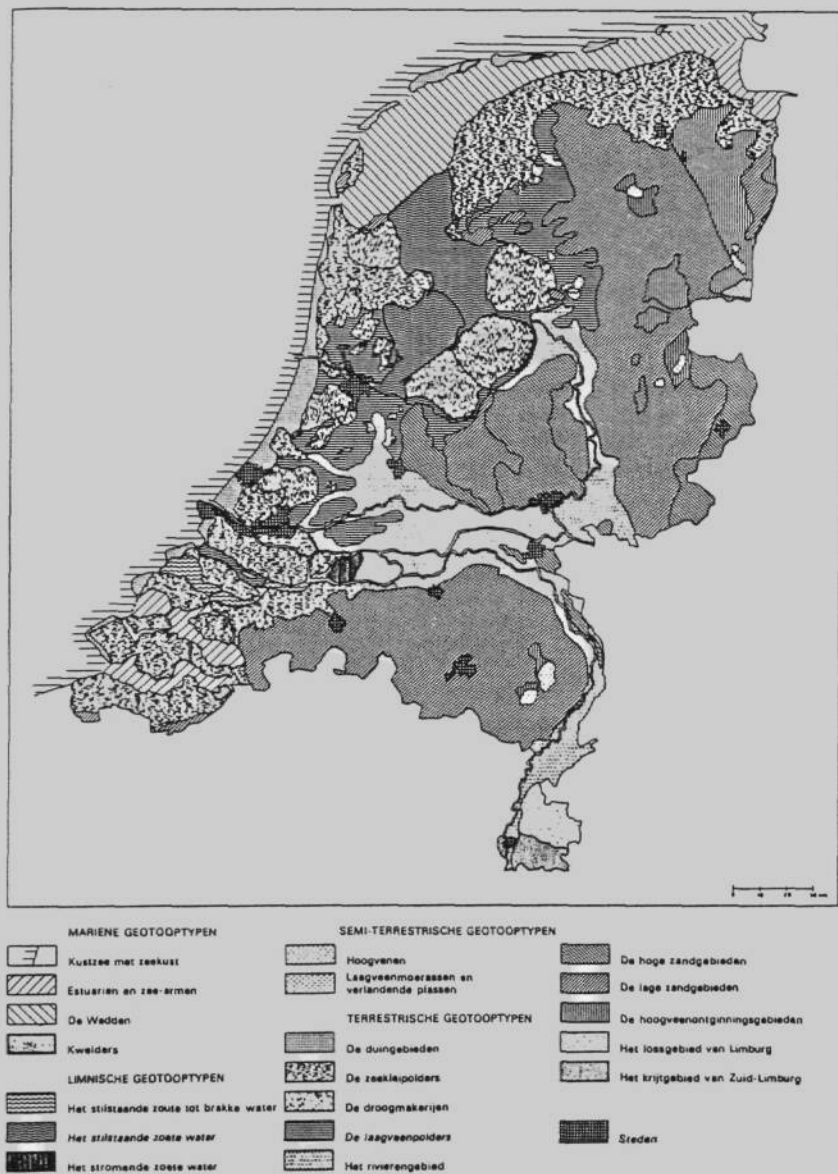
Integratiekaarten die ecosystemen op landelijk schaalniveau trachten weer te geven, zijn schaars. Pogingen om abiotische en biotische gegevens in één kaart te verenigen zonder dat deze onleesbaar wordt, zijn vermoedelijk ook gedoemd te mislukken. Daarom zijn veel integratiekaarten feitelijk ecologische interpretaties van abiotische integratiekaarten; daarbij dient een ecologisch relevante selectie van abiotische indelingskenmerken gemaakt te worden. Als aan die voorwaarde is voldaan, kunnen relatief simpele en voor het milieubeleid bruikbare kaarten ontstaan.

Eén van de meest bruikbare voorbeelden van een dergelijke kaart is die van Visscher (1972), zoals opgenomen in het GEM (Van der Maarel en Dauvellier, 1978) (FIGUUR 5.8). De legenda geeft geen aanduidingen van voor het beleid inzake de milieuthema's relevante abiotische aspecten, maar een korte karakterisering van zogenaamde geotopen. Deze kaart benadert qua patroon en aanpak wel het dichtst de gestelde doelen van dit onderzoek.

Een 'integratiekaart' zoals de vegetatiekaart van Nederland 1: 200.000 die is opgesteld in het kader van de Landelijke Milieukartering (Kalkhoven et al., 1977), is feitelijk een interpretatie van de bodemkaart op die schaal door omzetting van de legenda tot eenheden betreffende de te verwachten vegetatie onder hypothetische omstandigheden. Het is daarmee geen nieuwe kaart, maar wel een goede poging om abiotische kenmerken, i.c. de bodem, ecologisch te duiden. Als indeling voor gebiedsgericht milieubeleid op nationale schaal is deze kaart te gedetailleerd.

De landschappenkaart in de serie Wetenschappelijk Atlas van Nederland (Piket et al., 1987) integreert een groot aantal voor het milieubeleid relevante aspecten, maar legt bij de vaststelling van grenzen nogal eens erg veel nadruk op het minder relevante uiterlijk van het landschap. Tevens worden enkele relevante zaken, zoals de hoofdrichting van grondwaterstromingen e.d. onvoldoende belicht. Qua benadering biedt deze kaart echter zeer goede aanknopingspunten, terwijl zij tevens aan een groot aantal van de gestelde doelen beantwoordt. De kaart heeft de juiste schaal en geeft over (bijna) alle ecosysteemcomponenten informatie. Daarbij geeft het tekstgedeelte van deze aflevering van de Wetenschappelijke Atlas een helder en beknopt, maar toch volledig overzicht van de stand van het landschapsecologisch onderzoek in Nederland.

---



FIGUUR 5.8: Geotopenindeling naar Visscher (1972) uit het Globaal Ecologisch Model (Van der Maarel & Dauvellier, 1978). Deze indeling is naar abiotische kenmerken, maar geeft tegelijkertijd veel impliciete informatie over biotische kenmerken door het gebruik van veelzeggende termen.

### 5.6 Geografische Informatiesystemen

Geografische Informatiesystemen (GIS) zijn te beschouwen als geautomatiseerde databestanden van geografische gegevens. In principe is het daarmee mogelijk allerlei geografische data op te slaan en naar believen daaruit gegevens op te roepen, met gegevens te manipuleren, te combineren, te rekenen enzovoorts (zie Burrough, 1987). Er kan daarbij onderscheid worden gemaakt in twee fundamenteel verschillende soorten GIS. Enerzijds is er het raster-GIS, waarbij per gridcel in een coördinaatennet gegevens worden opgeslagen, en anderzijds zijn er vector-GIS, waarin vlakkenkaarten kunnen worden opgeslagen. Beide methoden hebben hun voor- en nadelen.

Er zijn in Nederland nog vrijwel geen landsdekkende GIS-bestanden, met uitzondering van enkele gedigitaliseerde bodemkaarten (BIS; Stiboka) en enkele zeer specifieke GIS die slechts beperkte informatie bevatten (bijvoorbeeld topografische, kadaster, e.d.). Wel wordt er gewerkt aan een landsdekkend GIS voor ecologisch relevante informatie. Daarbij wordt een rastergrootte van 1 km<sup>2</sup> aangehouden. Dit is het zogenaamde LKN-project (Landschapsecologische Kartering Nederland) van de Rijksplanologische Dienst.

Het LKN-project wordt uitgevoerd door de Rijksplanologische Dienst in samenwerking met Stiboka en het Centrum voor Milieukunde Leiden. Het biedt goede perspectieven voor gebruik ten behoeve van het milieubeleid, omdat het een geografisch databestand oplevert van allerlei aspecten van ecosystemen, abiotische en biotische. Dit GIS bevat momenteel de meeste basisgegevens van de Randstad en zal de komende jaren worden uitgebreid tot geheel Nederland.

Het LKN-project is afgestemd op een schaal 1: 250.000, maar omdat met een gridsysteem wordt gewerkt is het noodzakelijk gebleken voor een basiskaart vrij grote landschapseenheden te omgrenzen, omdat anders onherkenbare kaarten zouden ontstaan. De landschapseenheden die worden onderscheiden zijn overigens niet door geautomatiseerde bewerking tot stand gekomen, maar vooraf met de hand gekarteerd. Dit naar aanleiding van onoverkomelijke methodisch problemen op dit punt. Daarmee zijn de kaarteenheden ('landschappen') qua grootte en inhoud sterk vergelijkbaar met de in het onderhavige onderzoek nagestreefde eenheden. De 'landschappen' zijn afgegrensd naar zowel abiotische als biotische kenmerken. De doelstelling van het LKN-project is veel breder dan van het onderhavige project, hetgeen de lange looptijd (meer dan vijf kalenderjaren) en ambitieuze aanpak verklaart. Het zal nog enige jaren duren voor een landsdekkend bestand zal zijn opgebouwd (Veelenturf, 1987b).

### 5.7 Conclusies

De conclusie moet luiden dat op dit moment niet één voor het milieubeleid geschikte kaart voorhanden is, maar er wel zeer veel bruikbare elementen in bestaand kaartmateriaal aanwezig zijn. De meest bruikbare bestaande kaarten, die dan ook veelvuldig geraadpleegd zijn voor het

---

tekenen van de in hoofdstuk 6 te presenteren kaarten, zijn hier nog eens opgesomd.

- Landelijke Overzichtskartering Geologie 1: 600.000 (Van Staalduinen et al., 1979)
- Globale bodemkaart 1: 1.000.000 (De Bakker & Schelling, 1976).
- Bodemkaart van Nederland 1: 250.000 (Stiboka)
- Vereenvoudigde bodemkaart van Nederland met de belangrijkste gradienten 1: ong. 2.000.000 (Baaijens, 1985)
- Wetenschappelijke Atlas van Nederland, deel Landschap (Piket et al., 1987).
- Geotopenindeling van Nederland (Visscher, 1972; in: Van der Maarel & Dauvellier, 1978).

Daarnaast is de indeling afgestemd op de lopende projecten bij Staatsbosbeheer (Middelburg et al., 1988) en bij de Rijksplanologische Dienst (LKN-project; Veelenturf, 1987b).

Voor de beschrijving van de legenda-eenheden (BIJLAGEN 2 en 3) is gebruik gemaakt van vrijwel alle hiervoor behandelde kaarten en indelingen op schalen 1: < 1.000.000.

---

## 6 HIERARCHISCHE INDELING IN MILIEUBEHEERGEBIEDEN

### 6.1 Voorstel voor een gestandaardiseerde terminologie

In hoofdstuk 3 is gewezen op het bestaan van een verwarrend terminologisch kader voor karteringen op ecologische grondslag. Daar is reeds aangekondigd dat een voorstel zou worden gedaan voor een eenduidige terminologie voor (landschaps)ecologische indelingen op verschillende schaal. Er wordt daarbij aangesloten bij de Anglo-Amerikaanse school. In het onderstaande worden daartoe termen voorgesteld, na eerst het begrip milieubeheereenheid in dit verband te hebben gedefinieerd.

Voor milieubeheereenheden (kaarteenheden) los van een schaalniveau, dat wil zeggen met verschillende mate van detaillering respectievelijk generalisatie, kan de volgende omschrijving worden gegeven:

een milieubeheereenheid is een ruimtelijke eenheid aan het aardoppervlak, gekarakteriseerd door een specifieke homogeniteit van ecosysteemkenmerken betreffende klimaat, gesteente, landvormen, bodems, water, landgebruik, vegetatie en fauna, die hierdoor en door de dichtheid aan ecologische relaties ten opzichte van zijn omgeving als een eenheid dient te worden beschouwd.

Dergelijke gebieden kunnen worden onderscheiden op verschillende schaalniveaus, waarvoor in TABEL 6.1 een terminologie wordt voorgesteld.

	INDICATIEF SCHAALBEREIK	KLEINSTE KAARTENHEID
- ECOZONE	(1: > 50.000.000)	> 62500 km <sup>2</sup>
- ECOPROVINCIE	(1:10.000.000 - 50.000.000)	2500 - 62500 km <sup>2</sup>
- ECOREGIO	(1: 2.000.000 - 10.000.000)	100 - 2500 km <sup>2</sup>
- ECODISTRICT	(1: 500.000 - 2.000.000)	625 - 10.000 ha
- ECOSECTIE	(1: 100.000 - 500.000)	25 - 625 ha
- ECOSERIE	(1: 25.000 - 100.000)	1,5 - 25 ha
- ECOTOOP	(1: 5.000 - 25.000)	0,25 - 1,5 ha
- ECO-ELEMENT	(1: < 5.000)	< 0,25 ha

TABEL 6.1: Terminologievoorstel voor een hiërarchisch stelsel van ecosystemtypen op verschillende ruimtelijke schalen.

Deze terminologie sluit aan bij de Anglo-Amerikaanse termen, in het bijzonder de Canadese (Wiken & Ironside, 1977 ; Lands Directorate Environment Canada, 1981; Bailey, 1981; Blok & Timmermans, 1987). Tevens geeft zij duidelijk het doel van de classificatie aan: het betreft een 'ecologische landclassificatie' ten behoeve van milieuplaning en-beheer. Voor wat betreft de schaal is steeds sprake van een sprong van vier tot vijf maal zo gedetailleerd.

Binnen deze reeks is de term ecotoop reeds bekend; deze wordt inmiddels algemeen geaccepteerd als de geografische basiseenheid in ecologenkringen (zie Van der Maarel & Dauvellier, 1978). Deze omschrijven een ecotoop als 'de plaats waar een ecosysteem voorkomt', waarbij dan ecosystemen van een bepaalde omvang worden bedoeld, zoals een ven, een bosje, een maisperceel, een bollenveld of een duingrasland.

Een zeer bruikbare definitie, die aangeeft welke ecosystemekenmerken op het schaalniveau van ecotopen 'homogeen' zijn, is die van Stevers et al. (1987, blz. 136):

'Een ecotoop is een ruimtelijk eenheid die homogeen is ten aanzien van vegetatiestructuur, successiestadium en de voornaamste abiotische standplaatsfactoren die voor de plantegroei van belang zijn'.

Noch in deze definitie noch in de eveneens in het artikel behandelde ecotooptypologie (zie ook Stevers et al., 1987 b) wordt echter voldoende rekening gehouden met het praktische criterium van karteerbaarheid. In principe kunnen ecotooptypen dan ook zo klein zijn als een slootkant, een wegberm of een berg aangevoerde grond met bepaalde eigenschappen en een kenmerkende ruderaal vegetatie. Hier wordt voorgesteld het criterium karteerbaarheid, in navolging van Van der Maarel & Dauvellier (1978) wel te gebruiken en voor ruimtelijk zeer beperkte ecosysteentypen de term eco-element in te voeren. Eco-elementen kunnen bijvoorbeeld ook door ontwikkelingen in de vegetatie ontstaan: 'strings' in hoogvenen, oppervlakken met dominantie van adelaarsvarens in bossen en heiden, maar ook een houtwal en dergelijke zijn dan als eco-element op te vatten. In principe zijn ook deze patronen als vlakken karteerbaar, maar slechts op kaartschalen die gedetailleerder zijn dan 1: 5000.

Een schaalniveau boven dat van de ecotoop kan qua definitie hierop aansluiten. Een ecoserie is dan een ruimtelijke eenheid die homogeen is voor wat betreft de belangrijkste abiotische standplaatsfactoren die voor de plantegroei van belang zijn.

Binnen een dergelijke eenheid kunnen vegetatietypen voorkomen die verschillen in successiestadium, leeftijd of vegetatiestructuur en soortensamenstelling door verschillende landgebruiksvormen of -intensiteit. De homogeniteit wordt hier dus gevonden in onder natuurlijke omstandigheden relatief stabiele abiotische kenmerken: die standplaatsfactoren die niet snel reageren op veranderingen in de vegetatie. Hierbij kan gedacht worden aan een 'ecologische interpretatie' van de eenheden van de bodemkaart van Nederland (Stiboka, 1: 50.000) in combinatie met de grondwatertrappen en enkele aanvullende kenmerken betreffende grondwaterherkomst en -aard, oppervlaktewaterkarakteristieken en dergelijke. Gedeeltelijk komen deze, voor de terrestrische ecosystemen, al tot uitdrukking in de bodemeigenschappen.

De bij een ecoserie horende begroeiingstypen vertonen een samenhang die als tijdreeks kan worden voorgesteld: binnen een ecoserie zal veelal sprake zijn van slechts één (al dan niet cyclische) climaxvegetatie met vegetaties van daartoe leidende successiereksen (natuurlijke opeenvolging) of hemerobiotische reksen (opeenvolging onder invloed van menselijk landgebruik). Juist vanwege deze successiereksen is het woord ecoserie gekozen: een in de tijd seriële opeenvolging van ecotooptypen is te verwachten.

---

Ecosecties, het niveau boven dat van de ecoseries, zijn gedefinieerd als ruimtelijke eenheden die gekenmerkt worden door een eenheid in dominante geomorfogenetische (landschapsvormende) processen, en een ruimtelijk functioneel verband door relatief snelle abiotische relaties (bijvoorbeeld oppervlaktewater en ondiep grondwater).

Dit zijn als het ware karakteristieke combinaties van ecoseries die 'altijd' in elkaars nabijheid voorkomen. Homogeen zijn dan abiotische kenmerken op een niveau boven dat van de directe standplaatsfactoren. Be-doeld zijn relatief langlevende conditionerende factoren zoals geomorfologische en geohydrologische karakteristieken die naast elkaar gelegen ecoseries met elkaar gemeen hebben en die er een functionele eenheid van maken (ondiepe grondwaterrelaties in sommige bekengebieden, de wind als landschapsvormend proces in duinterreinen, een regelmatig terugkerende overstroming van buitendijkse gebieden). Tegelijkertijd is er altijd sprake van karakteristieke combinaties van bodemgroepen (volgens Stiboka), grondwatertrappen en andere kenmerken op grond waarvan de ecoseries worden onderscheiden.

Voorbeelden van het niveau van ecosecties zijn :

- uiterwaard (met oeverwallen, rivierduinen, kommen, strangen, buitendijkse kolken e.d. (zie De Soet et al., 1976)
- middenduin (met droge zuidwesthellingen, vochtiger noordhellingen, uitstuivingen, natte en droge duinvalleien, duinmeren e.d. (zie bijvoorbeeld Doing, 1988).

Dit zijn eenheden die soms wel aangeduid worden met de termen 'landschap', 'sublandschap' (Vink, 1980; Veelenturf et al., 1985) of 'geotoop' (Van der Maarel & Dauvellier, 1978).

Ecodistricten zijn ruimtelijke eenheden die homogeen zijn voor wat betreft in de tijd slechts zeer langzaam veranderende abiotische kenmerken. Het betreft hier veelal geologische, geomorfologische en mesoklimatologische kenmerken en kenmerken van de diepe grondwaterstromen (met verblijftijden van enkele tientallen tot enkele honderden jaren).

Gecorreleerd met deze kenmerken zijn vanzelfsprekend weer associaties van bodemgroepen volgens Stiboka, terwijl ook bij dit schaalniveau ecologische soortengroepen kunnen worden aangegeven, analoog aan de soortengroepen in de ecotopentypologie van het Centrum voor Milieukunde Leiden (Stevens et al., 1987a en b). Dit laatste punt blijkt ook uit een vergelijking van de kaarten van de plantengeografische districten, de broedvogeldistricten en de hydrobiologische districten met kaarten die de lithologie (gesteente naar samenstelling en fysische eigenschappen) of de grondsoorten van Nederland weergeven.

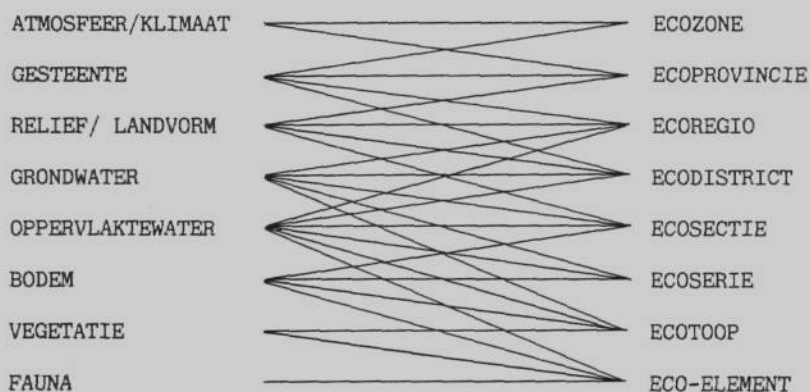
Ecoregio's tenslotte vormen het hoogste schaalniveau waarop binnen Nederland een indeling mogelijk is. De ruimtelijke homogeniteit wordt hier gevormd door reliëf (ligging boven zeeniveau en reliëfenergie: laagland met overwegend kunstmatige waterbeheersing en kwel (putgebied), hoogland met natuurlijke afwatering (infiltratie en doorstroomgebied: brongebied)) en grote geologische eenheden (Tertiaire gesteenten, Pleistocene afzettingen, Holoceen). Ook hier zijn weer correlaties met typische combinaties van 'relatief afhankelijke' abiotische en biotische kenmerken.

Voor grotere gebieden dan Nederland, bijvoorbeeld een indeling van continenten of werelddelen (Europa) of de gehele wereld kunnen nog Ecoprovincies respectievelijk Ecozones worden onderscheiden.

Ecoprovincies zijn grote gebieden met kenmerkende geologische en geomorfologische karakteristieken en homogeen naar het daardoor beïnvloede klimaat. Als voorbeelden kunnen bijvoorbeeld het hooggebergte van de Alpen, het Midden-Europees laagland, het Ardennenmassief, de Jura, het Bekken van Parijs, de Pyreneeën of de Rijndelta (= Nederland) worden genoemd.

Ecozones zijn gebieden die hoofdzakelijk door macro-klimatologische factoren en eenheid vormen. Dit zijn de klimaatzones die rond de gehele wereld te volgen zijn, zoals de polaire zone, de toendra-, de taiga-, de gematigde, de mediterrane-, warm aride- en tropische regenzone. In de oceanen kunnen soortgelijke gebieden worden onderscheiden die voornamelijk samenhangen met de grote zeestromingstelsels (golfstromen).

In FIGUUR 6.2 is een overzicht gegeven van de hiërarchische niveaus met daarnaast het rangordemodell van een ecosysteem (FIGUUR 2.3). Hierin is aangegeven welke relatie er bestaat tussen de subsystemen in dit ecosysteemmodel en de meest bruikbare indelingskenmerken voor de verschillende niveaus.



FIGUUR 6.2: De relatie tussen ecosysteemcomponenten en meest bruikbare indelingskenmerken op verschillende schalen.

### 6.2 Indelingsprincipes

De volgende uitgangspunten liggen ten grondslag aan de indeling:

- Het rangordemodell van een ecosysteem (FIGUUR 2.3) is basis voor de indeling. De hierin aangegeven volgorde van relatief onafhankelijke en relatief afhankelijke componenten is tevens de basis voor de opbouw

van de legenda. (Deze volgorde is voor watersystemen niet overal bevredigend, maar omwille van de systematiek aangehouden).

- Het principe van correlatieve complexen. Dit houdt in dat op grond van bepaalde correlaties die tussen componenten (en kenmerken) bestaan en die berusten op de samenhang van de componenten in het ecosysteemmodel, kennis van slechts één component (respectievelijk kenmerk) vaak reeds informatie in zich bergt over de andere componenten (kenmerken). Kennis van een relatief onafhankelijke component maakt globale voorspelling van de eigenschappen van afhankelijke componenten mogelijk, en kennis van een afhankelijke component (bijvoorbeeld het voorkomen van een bepaalde plantesoort) kan als indicatie gebruikt worden voor eigenschappen van relatief onafhankelijke componenten.
- Het principe van indelingskenmerken (differentiërende kenmerken) en ondersteunende kenmerken (diagnostische kenmerken). Dit houdt in dat aan de indelingskenmerken de grenzen op de kaart ontleend worden: dit zijn de differentiërende kenmerken. In enkele gevallen zijn kenmerken van andere componenten hiermee volledig gecorreleerd; deze fungeren dan als mede-differentiërend kenmerk. Gedeeltelijk gecorreleerde kenmerken, meestal van de afhankelijke componenten in het ecosysteemmodel, worden als toevoeging in de beschrijving opgenomen. Deze zullen een grotere variatie binnen de kaart-eenheid vertonen, maar kunnen naar de relatieve mate van voorkomen als ondersteunend voor de indeling ofwel diagnostisch worden beschouwd.
- De indeling is hiërarchisch van opbouw, dat wil zeggen dat eenmaal getrokken grenzen op een bepaald schaalniveau niet meer verdwijnen bij een onderliggend schaalniveau: zo blijven de grenzen van de ecoregio's bestaan in de ecodistricten-kaart. Wel kunnen de kaartgrenzen op gedetailleerder schaalniveau nauwkeuriger kunnen worden vastgesteld.
- De legenda-eenheden zijn in een volgorde geplaatst die globaal de onderlinge afhankelijkheid weergeeft in die zin dat hooggelegen gebieden (brongebieden) bovenaan staan en laaggelegen gebieden (putgebieden) onderaan.

Voor de ecoregio's en de ecodistricten wordt bij wijze van legenda een typering gegeven in een 'standaardformulier' (TABEL 6.3). Deze aanpak is gevolgd om te vermijden dat een tabellarische legenda van enorm formaat zou ontstaan, met afmetingen die die van de kaart verre overtreffen. Een dergelijke tabel is voor potentiële gebruikers afschrikwekkend. Een legenda in de vorm van summier gebiedsbeschrijvingen kan daarentegen een aanzet zijn tot het opstellen van een volledige landschapsecologische systeembeschrijving van de ecoregio's en ecodistricten.

Het 'standaardformulier' is volledig ingevuld voor de abiotische componenten. Het gedeelte daaronder is slechts indicatief: dit kan naar believen worden ingevuld afhankelijk van de behoefte.

---

ECOREGIO/ ECODISTRICT CODE:
-----
GESTEENTE/ GEOLOGIE
-----
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE
-----
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)
-----
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE
-----
BODEM/ GRONDWATERSTAND
-----
BEGROEIING
-----
FAUNA
-----
LANDGEBRUIK
-----
BIJZONDERHEDEN
-----

TABEL 6.3: Standaardformulier voor de beschrijving van ecoregio's en ecodistricten. De beschrijvingen fungeren als inhoudelijke legenda (zie BIJLAGEN 2 en 3)

### 6.3 Ecoregio's: typen en kaart

De ecoregio's voor Nederland zijn voor het terrestrische deel ingedeeld naar hoofdzakelijk geologische en geomorfologische kenmerken. Voor de wateren zijn eveneens de geomorfologie, maar daarnaast ook een aantal oppervlaktewaterkenmerken gebruikt; in het bijzonder het verschil tussen zoute getijdewateren en zoete wateren wordt al op dit schaalniveau aangegeven.

Op grond van deze indelingskenmerken zijn 4 typen land-ecoregio's onderscheiden en 2 typen water-ecoregio's. In totaal zijn er zo 6 ecoregioty-  
pen (zie FIGUUR 6.5).

In TABEL 6.4 is per ecoregiotype aangegeven welke ecosysteemcomponenten zijn gebruikt als indelingskenmerk (differentiërend kenmerk) voor het trekken van de grenzen. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in hoofd-  
indelingskenmerken (differentiërend), volledig gecorreleerde neven-  
indelingskenmerken (mede-differentiërend) en ondersteunende kenmerken  
(diagnostische kenmerken).

	ECOREGIO-TYPE	GEOLOGIE/ GESTEENTE	RELIEF/ LANDVORM	GRONDWATER	OPPERVLAKTEWATER	BODEM	VEGETATIE	FAUNA
L	■	■	■	■	■	■	■	■
P	■	■	■	■	■	■	■	■
D	■	■	■	■	■	■	■	■
H	■	■	■	■	■	■	■	■
W	■	■	■	■	■	■	■	■
Z		■	■	■	■	■	■	■

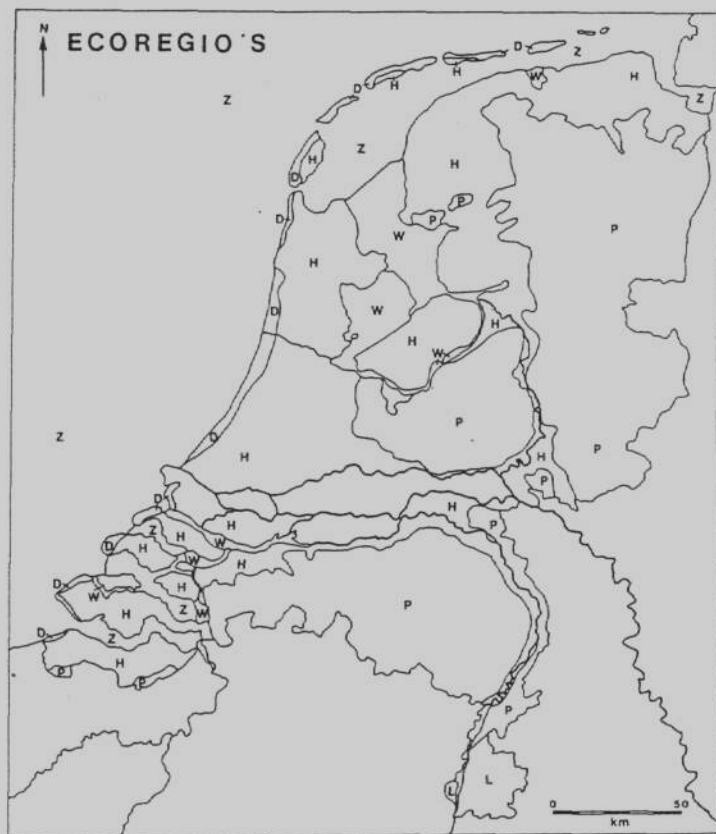
TABEL 6.4: De gebruikte indelingskenmerken per ecoregio. ■: differentiërend kenmerk ■: gecorreleerd (mede-differentiërend) kenmerk ■: ondersteunend kenmerk (gecorreleerd, maar niet volledig)

Voor het tekenen van de ecoregio-kaart is vooral gebruik gemaakt van de Globale Bodemkaart 1: 1.000.000, de landschappenkaart van Piket et al. (1987) en gegevens uit de PAWN-studie van Rijkswaterstaat (Pulles, 1985). Van de bodemkaart is met name de grens tussen zand- en hoogveengronden enerzijds en laagveen- en kleigronden anderzijds overgenomen. De overige in BIJLAGE 1 genoemde kaarten zijn hoofdzakelijk voor de beschrijving van de ecoregio's gebruikt.

De ecoregio's zijn aangeduid met:

- een lettercode,
- een type-aanduiding (ecoregio-type)
- één of meerdere gebiedsnamen (ecoregio's)

De type-aanduidingen bestaan uit een term die het karakter van het gebied aangeeft. Dit karakter komt overeen met eigenschappen op grond waarvan de indeling is gemaakt; dat wil zeggen dat veelal geologische, geomorfologische of hydrologische termen zijn gekozen.



### ECOREGIO'S

- L Heuvelland  
Zuid-Limburg
- P Oude zandgronden en hoogveen  
Hoog Nederland
- D Kustduinen  
Duinen
- H Laagveen- en kleigebieden  
Laag Nederland
- W Zoete wateren  
Binnenwateren
- Z Zoute wateren  
Gatijdwatereen

De volgende type-aanduidingen worden gebruikt:

L (van Limburg)	Heuvelland
P (van Pleistoceen)	Oude zandgronden en hoogveen
D (van Duinen)	Kustduinen
H (van Holoceen)	Laagveen- en kleigebieden
W (van Water)	Zoete wateren
Z (van Zee)	Zoute wateren

Daarnaast zijn er de gebiedsnamen. Deze gebiedsnamen zijn zoveel mogelijk in de vorm van een toponym (streeknaam), omdat dit herkenbaar is. Op ecoregioniveau is het voor nationaal gebiedsgericht milieubeleid niet noodzakelijk binnen één ecoregio-type nog weer verschillende gebieden te onderscheiden, hoewel dit wel mogelijk is: sommige ecoregio-typen zijn immers niet aaneengesloten, bijvoorbeeld de zandgronden. Indien een landgrens-overschrijdende kaart zou worden gemaakt zou een verdeling in meerdere gebieden eventueel wel gewenst zijn. Voor de voor Nederland onderscheiden ecoregio's zijn de volgende gebiedsnamen gekozen:

L	Zuid-Limburg
P	Hoog Nederland
D	Duinen
H	Laag Nederland
W	Binnenwateren
Z	Getijdewateren

De namen Binnenwateren en Getijdewateren sluiten aan bij de organisatie van enkele overheidsdiensten van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Daar kent men onder meer de Dienst Binnenwateren (DBW) en de Dienst Getijdewateren (DGW), terwijl ook Rijkswaterstaat op vergelijkbare wijze is georganiseerd.

De overige namen zijn op pragmatische gronden gekozen.

In hoofdstuk 2 is betoogd dat tussen ecosystemen ruimtelijke relaties bestaan; naast elkaar gelegen ecosystemen beïnvloeden elkaar via dergelijke relaties.

Bij de ecoregio's betreft het vooral relaties door oppervlaktewater- en grondwaterstromingen. Er is gepoogd met deze relaties rekening te houden door de volgorde van ecoregio's aan te laten sluiten bij de dominante stromingsrichtingen. Dit betekent dat hooggelegen gebieden bovenaan in de lijst staan en de laaggelegen, meer afhankelijke ecoregio's onderaan.

De ecoregiokaart en de beschrijving van de ecoregio's zijn weergegeven in BIJLAGE 2.

#### 6.4 Ecodistricten: typen en kaart

Bij de indeling in ecodistricten is uitgegaan van dezelfde principes als bij die in ecoregio's. Voor de indeling in ecodistricten zijn echter meer ecosysteemcomponenten in beschouwing genomen. Waar dat niet nodig of mogelijk was, zijn meer kenmerken van reeds voor de ecoregio-indeling gebruikte componenten of fijnere klassen binnen een kenmerk gebruikt.

ECODISTRICT-TYPE	GEOLOGIE/ GESTEENTE	RELIEF/ LANDVORM	GRONDWATER	OPPERVLAKTEWATER	BODEM	VEGETATIE	FAUNA
L1	■	■	■	■	■	■	■
L2	■	■	■	■	■	■	■
P1	■	■	■	■	■	■	■
P2	■	■	■	■	■	■	■
P3	■	■	■	■	■	■	■
P4	■	■	■	■	■	■	■
P5	■	■	■	■	■	■	■
P6	■	■	■	■	■	■	■
P7	■	■	■	■	■	■	■
P8	■	■	■	■	■	■	■
P9	■	■	■	■	■	■	■
P10	■	■	■	■	■	■	■
P11	■	■	■	■	■	■	■
P12	■	■	■	■	■	■	■
P13	■	■	■	■	■	■	■
P14	■	■	■	■	■	■	■
D1	■	■	■	■	■	■	■
D2	■	■	■	■	■	■	■
H1	■	■	■	■	■	■	■
H2	■	■	■	■	■	■	■
H3	■	■	■	■	■	■	■
H4	■	■	■	■	■	■	■
H5	■	■	■	■	■	■	■
H6	■	■	■	■	■	■	■
H7	■	■	■	■	■	■	■
H8	■	■	■	■	■	■	■
W1	■	■	■	■	■	■	■
W2	■	■	■	■	■	■	■
W3	■	■	■	■	■	■	■
W4	■	■	■	■	■	■	■
W5	■	■	■	■	■	■	■
W6	■	■	■	■	■	■	■
Z1	■	■	■	■	■	■	■
Z2	■	■	■	■	■	■	■
Z3	■	■	■	■	■	■	■
Z4	■	■	■	■	■	■	■
Z5	■	■	■	■	■	■	■

TABEL 6.6: De gebruikte indelingskenmerken per ecodestrict. ■: differentiërend kenmerk, ■: gecorreleerd (mede-differentiërend) kenmerk, ■: ondersteunend kenmerk (gecorreleerd, maar niet volledig).

In het algemeen zijn voor de ecodistricten-indeling vooral geologische, geomorfologische, grondwater- en oppervlaktewaterkenmerken gebruikt. Daarnaast is soms nog de bodem in beschouwing genomen.

Op grond van deze indelingskenmerken zijn 26 typen land-ecodistricten onderscheiden en 11 typen water-ecodistricten. In totaal zijn er aldus 37 ecodistrict-typen onderscheiden binnen de 6 reeds gevormde ecoregio-typen (zie FIGUUR 6.7)

In TABEL 6.6 is per ecodistrict-type aangegeven welke ecosysteemcomponenten zijn gebruikt als indelingskenmerk (differentiërend kenmerk). Ook hier wordt weer onderscheid gemaakt in hoofd-indelingskenmerken, volledig gecorreleerde neven-indelingskenmerken en ondersteunende kenmerken (grotendeels gecorreleerd).

Voor het tekenen van de kaart is vooral gebruik gemaakt van de Globale Bodemkaart 1: 1.000.000 van Stiboka (De Bakker & Schelling, 1966), de kaart van Piket et al. (1987), de kaart van Visscher (1972) en de Geologische kaart 1: 600.000 (Zagwijn & Van Staaldunin, 1975). Tevens zijn de Bodemkaart 1: 250.000 (Stiboka) en het satellietbeeld van LANDSAT/MSS (Eurosense, 1980) veelvuldig geraadpleegd voor het vaststellen van de precieze grenzen tussen de ecodistricten.

De overige in BIJLAGE 1 genoemde kaarten zijn hoofdzakelijk geraadpleegd voor de beschrijving van de ecodistricten.

Ook de ecodistricten zijn aangeduid op drie wijzen, namelijk met:

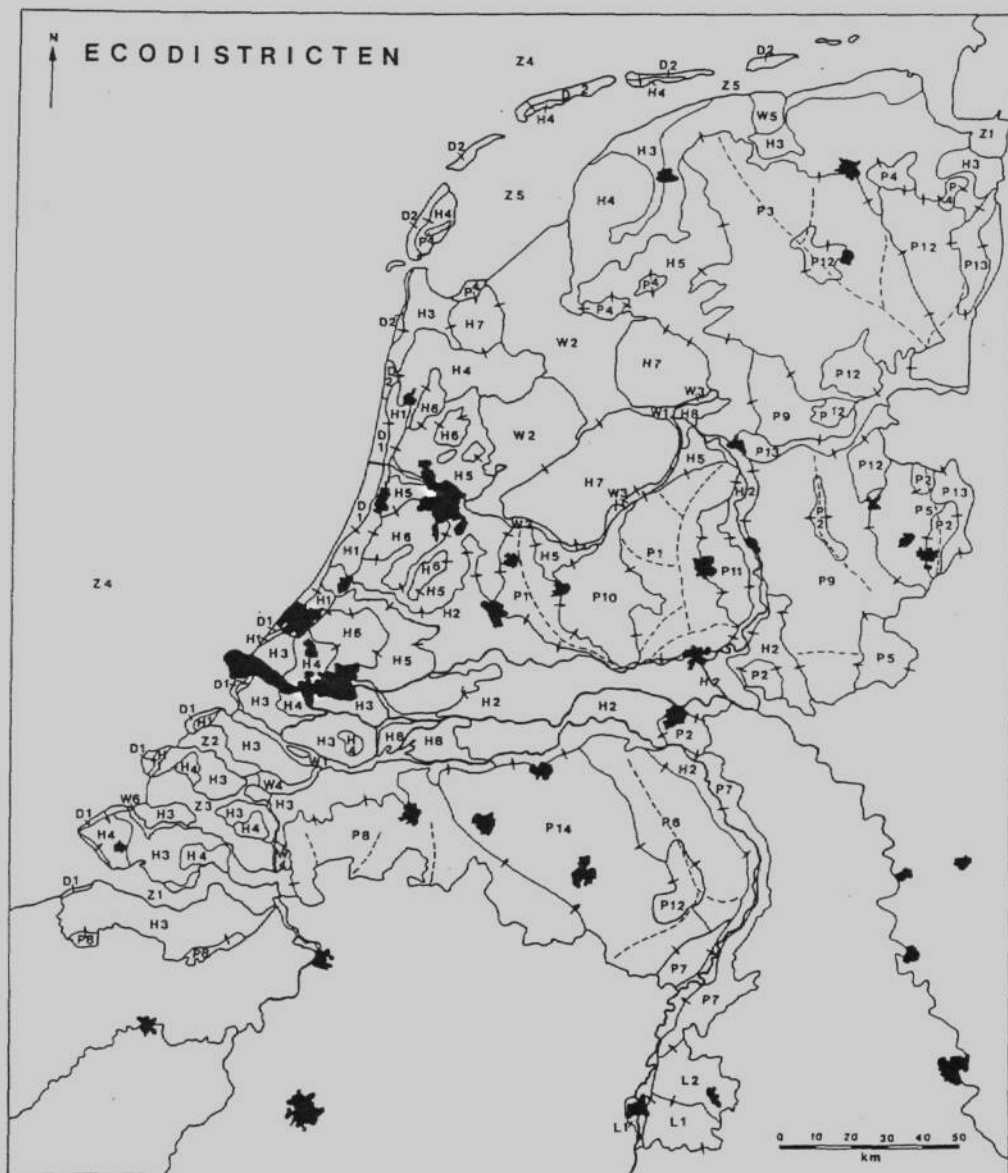
- een gecombineerde letter-cijfercode
- een type-aanduiding (ecodistrict-type)
- één of meerdere gebiedsnamen (ecodistrict)

De type-aanduidingen van de ecodistricten zijn, net als bij de ecoregio's ontleend aan het geologisch of geomorfologisch karakter van het gebied. De ecodistrict-typen met code en type-aanduiding zijn genoemd in FIGUUR 6.7.

Daarnaast zijn er ook voor de ecodistricten gebiedsnamen in de vorm van een toponym (streeknaam). Omdat de ecodistricten zeer vaak een onderbroken (disjuncte) verspreiding kennen, zijn er veelal meerdere gebiedsnamen binnen één legenda-eenheid. Bij de keuze van namen is zoveel mogelijk aangesloten bij de namen die Piket et al. (1987) hebben gebruikt, teneinde onnodige verwarring te voorkomen. Waar geen equivalente kaartenheid in die indeling werd aangetroffen, is teruggegrepen op streeknamen volgens de Bos-Atlas. Voor de gebiedsnamen wordt eveneens verwezen naar FIGUUR 6.7 of naar BIJLAGE 3.

Aan horizontale relaties tussen de ecodistricten is aandacht besteed door waar mogelijk ook de volgorde van de ecodistricten aan te laten sluiten bij de dominante stromingsrichtingen. Zo zijn de ecodistricten geordend in een reeks van toenemende afhankelijkheid, namelijk via het oppervlaktewater (afstroming) en via het grondwater (inzijgingsgebieden boven versus kwelgebieden onder). Dit betekent dat binnen een ecoregio de

---



— Hoofdatroomrichting grondwater

--- Belangrijke grondwaterscheiding



Grote steden / industrie

ECODISTRICTEN

- L1: Krijtlandschap  
Krijtland
- L2: Lössgebied  
Mijnstreek
- F1: Midden Nederlands stuwwallencomplex  
Veluwe  
Utrechtse Heuvelrug en Gooi
- F2: Geïsoleerde stuwwallen  
Stuwval van Nijmegen  
Montferland  
Haarler- en Holterberg  
Tankenberg  
Kuiper- en Braasberg
- F3: Geïsoleerd keileespateau  
Fries-Oreints plateau
- F4: Pleistocene opduikingen  
Woldstreek  
Gaasterland  
Mieringen  
Berg van Texel
- F5: Overige keileesgebieden  
Midden- Twente  
Plateau van de Achterhoek
- F6: Horsten  
Peelhorst
- F7: Oude rivierterrassenlandschap  
Oost-Limburg  
Leubekegebied
- F8: Zuid-vest Nederlands rivierzandgebied  
West- Brabants zandgebied  
Vlaas zandgebied
- F9: Oost Nederlands dekzandgebied  
Gelders-Overijssels zandgebied
- F10: Glaciaal bekken  
Gelderse Vallei
- F11: Puiwaaierlandschap  
Veluwezoom
- F12: Hoogveen(ontginnings)landschap  
Fries-Oreints hoogveengebied  
Oost Nederlands hoogveengebied  
Gronings-Oreints veenkolonien  
Peel
- F13: Beekdalcomplexen  
Westerwolde  
Overijsselse Vechtdal  
Dinkeldal
- F14: Centrale Slenkgebied  
Midden- Brabants bekengebied
- D1: Kalkrijke duinen  
Duinen van Zeeuws-Vlaanderen  
Duinen van Valcheren  
Duinen van Schouwen  
Duinen van Goeree  
Voorns Duin  
Vastelandsduinen ten zuiden van Bergen
- D2: Kalkarme duinen  
Vastelandsduinen ten noorden van Bergen  
Duinen van Texel  
Vlieland  
Duinen van Terschelling  
Duinen van Ameland  
Schierwonnikoog  
Rottumeroog
- H1: Strandwallengebied  
Achterduinlandschap
- H2: Rivierengebied  
Maasdal  
Oude IJsselgebied  
IJsseldal  
Centraal rivierengebied  
Oude Rijngebied  
Utrechtse Vechtgebied
- H3: Jonge Indijfkingen  
Dollardpolders  
Noordgronings en Friese landsaanwinningen  
Het Bildt- Middelsee  
Zijpe  
Westland  
Zeeuwse en Zuidhollandse eilanden  
Noordwest Brabant
- H4: Zeeklei-inverzeilandschap  
Fries-Gronings tarpengebied  
West-Friesland  
Zuid-Hollandse en Zeeuwse poelgrondengebieden
- H5: Laagveengebied  
Fries-Overijssels veengebied  
Veluwerand  
Eewalriet  
Vechtplassenengebied  
Noordhollands veenweidegebied  
Hart van Holland  
Krispenervaard  
Alblasserwaard en Vijfheerenlanden
- H6: Droogmakerijen  
Heerhugowaard  
Bemster  
Purmer  
Worwer  
Haarlemmermeer  
Schieland
- H7: Polders  
Wieringermeer  
Noorddooptolder  
Oostelijk Flevoland  
Zuidelijk Flevoland
- H8: Deltagebieden  
Biesbosch  
IJsseldelta
- W1: Sedimentatiebekkens  
Hollands Diep/ Haringvliet  
Retslmeer
- W2: Grote versoete binnenzeen  
IJsselaer  
Markermeer- IJmeer
- W3: Randmeren  
Zwarte Meer  
Veluwemeer- Drontermeer  
Woldervijd- Muldernauw  
Eemmeer- Gooimeer
- W4: Versoetende estuaria  
Volkerak- Zoomeer
- W5: Versoete zeeare  
Leuwermeer
- W6: Brakke meren  
Veerse Meer
- Z1: Estuarie  
Wester-schelde  
Eess-Dollard
- Z2: Zoute meren  
Grevelingen
- Z3: Zeearen  
Oosterschelde
- Z4: Randzee  
Noordzee
- Z5: Vaddenzee  
Vaddenzee

hooggelegen ecodistricten bovenaan in het rijtje staan en de laaggelegen, meer afhankelijke onderaan (brongebieden boven en putgebieden onder).

De onderlinge afhankelijkheid van de ecodistricten is eveneens, in navolging van Hof (1983), schematisch weergegeven in de ecodistrictenkaart met behulp van pijltjes.

Tevens zijn de belangrijkste grondwaterscheidingen in de kaart aangegeven, opdat gemakkelijker de reikwijdte van de invloed van sommige hooggelegen ecodistricten kan worden ingezien. Deze waterscheidingen zijn ontleend aan kaarten van Roelofs et al. (1982) en Baaijens (1985), waarbij wel enige selectie heeft plaatsgevonden. Bij deze selectie van 'belangrijke grondwaterscheidingen' zijn isohypsenkaarten van zowel het diepe als ondiepe grondwater gebruikt.

De ecodistrictenkaart en de beschrijving van de ecodistricten zijn weergegeven in BIJLAGE 3.

### 6.5 De lagere niveaus

Indelingen van Nederland op gedetailleerdere schaalniveaus zijn in het onderhavige project niet uitgewerkt. Gezien de doelstelling, die voornamelijk op het nationale beleidsniveau en het algemene milieubeleid is gericht, is uitwerking op een gedetailleerder schaal ook niet onmiddellijk noodzakelijk. Voor het natuurbeleid en het waterbeheer is een uitwerking op ecosectieniveau echter wel wenselijk.

In deze paragraaf zal globaal worden aangegeven welke basisgegevens het meest in aanmerking komen voor een uitwerking op gedetailleerdere schaal. Daarbij zal het schaalniveau met de voorgestelde terminologie worden aangeduid; dat wil zeggen ecosecties, ecoseries, ecotopen en eco-elementen.

De hogere niveaus, ecoprovincies en ecozones, zijn voor Nederland niet van belang. Deze kunnen slechts voor een geïntegreerde Europese aanpak van het milieubeleid een rol spelen.

#### 6.5.1 Ecosecties

Een indeling van Nederland op ecosectieniveau zal bij voorkeur op een schaal 1: ong. 250.000 moeten plaatsvinden. De indeling zal dan voornamelijk gebaseerd moeten zijn op geomorfologische en (geo)hydrologische kenmerken, maar ook de bodem kan op die schaal reeds een belangrijke rol als indelingskenmerk spelen.

Het ligt voor de hand uit te gaan van vooral geomorfologische kaarten. Deze zijn echter niet voor geheel Nederland op bruikbare (gedetailleerder dan 1: 250.000) schaal voorhanden. Wel zijn er niet-landsdekkende geomorfologische kaarten gemaakt door verscheidene provincies. Voorbeelden van zeer bruikbare kaarten zijn de Fysisch Geografische kaart van Groningen (1: 50.000) (Meijering, 1986) of de Fysiografische kaart van Limburg (1: 50.000) (Stiboka, 1987). Het feit dat niet van geheel Nederland dergelijke kaarten bestaan, vormt een belemmering voor het vervaardigen van een

landsdekkende kaart op basis van de geomorfologie. Er zal immers vanuit vele verschillende bronnen kaartmateriaal moeten worden verzameld. Wel is het zeer goed mogelijk op provinciaal niveau een dergelijke indeling te vervaardigen. Deze zou een goede basis voor gebiedsgericht milieubeleid op provinciaal niveau kunnen vormen.

Ondanks het ontbreken van voldoende landsdekkend materiaal wordt in het LKN-project (Veelenturf et al., 1987a) wel gestreefd naar een indeling op ongeveer dit schaalniveau. Omdat LKN echter een GIS is waarbij met een gridcel-systeem wordt gewerkt, is de kaartschaal eigenlijk vergelijkbaar met een schaal 1: > 500.000 van 'gewone' (choroplethen-) kaarten. Daardoor is de landschappenindeling van LKN niet volledig als een ecosectie-indeling te beschouwen. Wel worden geomorfologie en grondwater als belangrijkste indelingskenmerken gebruikt.

Noodzakelijk voor een goede onderbouwing van een ecosectie-indeling naar hoofdzakelijk geomorfologische kenmerken is ook de beschikbaarheid van voldoende gedetailleerde gegevens over de (geo)hydrologie en de bodem. Van de bodem zijn voldoende gegevens beschikbaar bij Stiboka (o.a. 1: 250.000 Nebo-kaart en vele 1: 50.000 bodemkaarten). Deze kunnen eventueel worden geïnterpreteerd als geomorfologische kaarten op grond van een correlatief verband tussen bodemontwikkeling en geomorfologie. Daarbij doen zich echter fouten voor door recente veranderingen door menselijk ingrijpen; de veranderlijkheid in de tijd van de indelingskenmerken op deze schaal is reeds vrij groot. Een controle in het veld of met behulp van luchtfoto's (1: 18000 - 1: 30.000) wordt daarom op dit schaalniveau al zeer gewenst. Desalniettemin is de bodemkaart 1: 250.000 waarschijnlijk nog de meest veelbelovende uitgangskaart voor een landsdekkende indeling in ecosecties, mits aangevuld met geomorfologische gegevens. Grondwaterkaarten zijn moeilijker te verkrijgen. Voor de zandgronden van Zuid en Midden-Nederland zijn er de kaarten van Vissers et al. (1985), en verder heeft de Dienst Grondwaterverkenning van TNO veel informatie. Gebruikmaking van minder gedetailleerde grondwatergegevens, zoals van Roelofs et al. (1982), is op ecosectieniveau minder gewenst. Vermoedelijk zal voor het aspect (geo)hydrologie, evenals voor de geomorfologie, vanuit meerdere (provinciale) bronnen geput moeten worden.

Een uitwerking op ecosectieniveau is vooral relevant voor nationaal beleid inzake natuurbehoud en -ontwikkeling (Ministerie Landbouw & Visserij, directie NMF), integraal waterbeheer (Ministerie Verkeer & Waterstaat, Rijkswaterstaat) of provinciaal milieubeleid in het kader van bodembeschermingsbeleid, grondwaterbeschermingsbeleid, streekplanning e.d.

### 6.5.2 Ecoseries

Ecoseries zijn ecosystemen die homogeen zijn op het niveau van de 'standplaatsfactoren', dat wil zeggen dat het abiotisch milieu gelijk is, maar landgebruik of vegetatie kunnen variëren.

Een indeling van Nederland in ecoseries zou op efficiënte wijze kunnen worden ondernomen door een ecologische interpretatie van de bodemkaart 1:

50.000 uit te werken. Daarvoor is het noodzakelijk de relatie tussen vegetatiekenmerken en standplaatsfactoren te kennen, terwijl ook de relatie tussen de eenheden van de bodemkaart en deze standplaatsfactoren bekend moet zijn. Omdat de bodem echter veelal een 'fossiel' kenmerk is, waarbij in het bijzonder de grondwaterhuishouding sterk kan zijn veranderd, is aanvullende veldcontrole van de indeling zeer gewenst, zo niet noodzakelijk. Daardoor wordt het vervaardigen van ecoseriekaarten een arbeidsintensieve onderneming.

Een tweede methode om ecoseriekaarten te vervaardigen zou kunnen bestaan uit het generaliseren van ecotoopkaarten. Ecotopen zijn immers gedefinieerd als een specifieke combinatie van vegetatiestructuur (en samenstelling) en abiotische milieukenmerken. Het weglaten van de vegetatiestructuur als indelingskenmerk kan dan tot een generalisatie leiden, die alleen op standplaatskenmerken is gebaseerd. Het verdient aanbeveling een dergelijke benadering in een proefgebied waarvan ecotoopkaarten bestaan, uit te voeren, opdat de ecologische duiding van de hierboven genoemde bodemkaarten kan worden getoetst. Gebieden waarvoor ecotoopkaarten zijn vervaardigd, zijn er echter pas enkele, terwijl een kartering van grotere gebieden (provincies bijvoorbeeld) ook niet in het verschiet ligt.

Met behulp van een ecologische duiding van bodemkaarten kan echter een interpretatie van de 1: 50.000 bodemkaart worden onderbouwd, waarna deze als bijna landsdekkend bestand goede perspectieven biedt voor de vervaardiging van ecoseriekaarten.

Het ligt voor de hand om slechts in gebieden waar een directe beleids- of beheersvraag speelt, een dergelijke ecoseriekaart te maken. De bruikbaarheid voor het beleid is vooral gelegen in de mogelijkheid natuurontwikkeling of de effecten van geplande ingrepen te voorspellen. Zowel milieu-effectrapportage als voorgenomen landinrichtings- en andere projecten zijn dan ook gebaat bij de vervaardiging van dergelijke kaarten. Tevens kunnen ze van groot belang zijn voor de beheerders van natuurterreinen. Het is bij al deze mogelijke toepassingen echter wel gewenst dat ook een ecosectiekaart (een schaalniveau hoger) van hetzelfde gebied en de naaste omgeving wordt gemaakt. Adequaat beleid op dat hogere schaalniveau is immers een voorwaarde voor een effectief beleid/ beheer op ecoserieniveau. Men denke daarbij vooral aan de voor terreinbeheer belangrijke grondwaterstromingen die juist op ecosectieniveau een rol spelen.

### 6.5.3 Ecotopen

Voor het schaalniveau van ecotopen is een goede typologie voorhanden (Stevens et al. 1987a en b). Deze wordt nog steeds verder uitgebreid, verbeterd en onderbouwd. De typologie is in eerste instantie bedoeld als 'systematische classificatie', hetgeen wil zeggen dat de determinatie van een bepaald ecotooptype voorop staat. Het is echter zeer goed mogelijk de typologie ook voor karteringen te gebruiken (zie Stevens et al., 1984), zodat er geen belemmeringen zijn deze typologie in het hier voorgestelde hiërarchische classificatiesysteem op te nemen.

Het is echter ook mogelijk andere bestaande vegetatie- of ecotoopindelingen tot ecotopenkaarten in de bedoelde zin om te zetten. Zo kunnen

reeds uitgevoerde provinciale of gedetailleerder karteringen als basis dienen.

Ecotoopkaarten kunnen vooral van belang zijn voor natuurbeheersvragen (terreinbeheer), milieu-effectrapportage of milieuwaardering ten behoeve van regionaal of lokaal beleid (bestemmingsplannen, overige gemeentelijke plannen). Tevens kunnen zij voor provinciale milieu-inventarisaties een goede basis vormen. Kartering van ecotopen zal dan veelal in beperkte gebieden kunnen plaatsvinden.

Een landelijke typologie zal op afzienbare termijn gereedkomen, maar landsdekkende kartering op schalen 1: < 50.000 moet vooralsnog uitgesloten worden geacht. Wel wordt ecotoopinformatie ingebracht in het LKN-project (Veelenturf et al, 1987b), maar dat betreft de meest voorkomende en kenmerkende ecotopen per km<sup>2</sup> en wordt als zodanig geen werkelijke landsdekkende kaart.

#### 6.5.4 Eco-elementen

Eco-elementen zijn ecosystemen van zo kleine omvang dat een vorm- en groottegetrouwe kartering niet vaak zal worden gewenst. Veeleer zal een inventarisatie van het voorkomen van bepaalde eco-elementen, zoals paddepoelen, houtwallen, oude muren met kenmerkende vegetatie, vleermuisgrotten e.d., worden uitgevoerd, waarbij de locatie hetzij wordt opgeschreven, hetzij als symbool op een grofschaliger (1: >10.000) kaart wordt opgenomen.

Landelijke inventarisaties van sommige soorten eco-elementen kunnen op een dergelijke wijze goed worden uitgevoerd, maar een volledige inventarisatie van alle mogelijke eco-elementen moet uitgesloten worden geacht.

---

## 7 DISCUSSIE

### 7.1 Algemeen

Vanuit een algemeen milieukundig kader is aangegeven op welke wijze een ecosysteembenadering zinvol kan zijn voor een indeling van Nederland in milieubeheergebieden. Uitgangspunt daarbij is een scheiding van mens (maatschappij) en fysiek milieu geweest. Dit fysieke milieu is voorgesteld als een ecosysteem in een brede betekenis: een samenhangend stelsel van levende (biotische) en niet-levende (abiotische) componenten.

Deze brede benadering van een ecosysteem, gerepresenteerd in een rangordemodell van systeemcomponenten (milieucompartimenten) (FIGUUR 2.3), is op tweeërlei wijzen van belang voor het milieubeleid.

Ten eerste slaat het een brug naar de thema's van het milieubeleid, die zijn gerangschikt naar het compartiment waarop zij aangrijpen. De milieuthema's zijn in dit verband als processen in een ecosysteem te beschouwen. Het rangordemodell geeft dan aan op welke wijze de processen in het ecosysteem doorwerken (FIGUUR 2.8). Tevens geeft deze confrontatie van milieuthema's met het rangordemodell reeds een eerste aanwijzing omtrent de relevante indelingskenmerken voor een gebiedsindeling in afhankelijkheid van het beschouwde milieuthema. Hieruit blijkt dat voor de thema's verzuring, vermesting, verontreiniging en verdroging vooral de abiotische ecosysteemkenmerken relevant zijn voor een gebiedsdifferentiatie. Deze abiotische componenten worden het eerst aangetast. De hiervan afhankelijke biotische ecosysteemcomponenten worden eerst in tweede instantie negatief beïnvloed.

Ten tweede is het mogelijk schaalaspecten, zowel betreffende tijd als ruimte, in verband te brengen met dit rangordemodell (FIGUUR 3.7). Dit biedt vervolgens eveneens goede aanknopingspunten voor een indeling van Nederland naar ecosysteemkenmerken op verschillende schalen (FIGUUR 6.2). Ook langs deze weg wordt al snel duidelijk dat voor een indeling van Nederland op globale schaal (ten behoeve van nationaal milieubeleid) vooral de abiotische, conditionerende, ecosysteemcomponenten belangrijk zijn.

Door deze verbanden tussen enerzijds rangordemodell en milieuthema's en tussen anderzijds rangordemodell en schaal, is het gemakkelijk ook het verband tussen milieuthema's en schaal te ontdekken. Dit verband is ook onderkend door de voorbereidingscommissie van het Nationaal Milieubeleids Plan, zoals blijkt uit de Nieuwsbrief (Milieu Kompas, 15 maart 1988).

### 7.2 Bestaande situatie

Een inventarisatie en analyse van het (landschaps)ecologisch en milieu-inventariserend onderzoek in Nederland heeft uitgewezen dat, in vergelijking met het buitenland, zeer veel en zeer gedetailleerde gegevens voorhanden zijn. Dit geldt vooral voor de beschikbare hoeveelheid kaartmateriaal. Dit materiaal is echter verspreid, zeer divers van aard en niet altijd direct toepasbaar voor milieubeleidsvraagstukken. Momenteel wordt getracht een groot deel van de beschikbare gegevens voor land-

---

schapsecologisch en milieu-onderzoek onder één noemer te brengen in het geografisch informatiesysteem Landschapsecologische Kartering van Nederland (Veelenturf et al., 1987). Dit systeem biedt goede potenties, niet alleen voor ruimtelijke ordeningsvraagstukken op nationale schaal maar ook voor het nationale natuur- en milieubeleid. Het zal echter nog enkele jaren duren voor een landsdekkend bestand zal zijn opgebouwd.

Uit de analyse van de bestaande situatie is eveneens gebleken dat een kader voor een geïntegreerd milieu-, natuur-, water- en ruimtelijke ordeningsbeleid in de huidige ecologische theorievorming in aanleg aanwezig is. Hierbij heeft het GEM (Van der Maarel & Dauvellier, 1978) een belangrijke rol gespeeld. Uitwerking van vele ideeën die daarin reeds in aanleg aanwezig waren heeft inmiddels plaatsgevonden, maar tegelijkertijd is er een divergentie van theorieën en ideeën ontstaan. Uitwerking van een volledig integrerend kader heeft dientengevolge nog nooit plaats gehad. Het ontbreekt bovendien aan overeenstemming over te gebruiken concepten en terminologie.

Belangrijke concepten voor de integratie van milieubeleid en natuur-, water- en ruimtelijke ordeningsbeleid kunnen allereerst worden aangetroffen in de ecosysteembenadering, die (milieu)compartimenten (verticale structuur van ecosystemen) met de milieuthema's (processen: tijdsaspect) in verband brengt. Dit is hierboven reeds geschetst.

Een nieuw aspect kan aan de landschapsecologische benadering worden ontleend, waarin naast de indeling van ecosystemen in verticale milieucompartimenten tevens de horizontale verspreiding en relaties tussen ecosystemen centraal staan. Hierbij zijn schaalaspecten en gebiedsindeling (kartering) van belang.

### 7.3 Hiërarchische indeling van Nederland in milieubeheergebieden

Omdat de gesignaleerde diversiteit van termen die gebruikt worden voor gebiedsindelingen op ecologische grondslag als verwarrend werd ervaren, is allereerst een relatief simpele terminologie ontworpen voor ecosysteemkarteringen op verschillende schaalniveaus (hoofdstuk 6). Daarbij is aangesloten bij Anglo-Amerikaanse terminologieën. De schaalniveaus staan daarbij in een hiërarchische verhouding tot elkaar, hetgeen wil zeggen dat een indeling op gedetailleerde schaal nooit onafhankelijk van een gebiedsindeling op hoger schaalniveau kan worden beschouwd. Dit vloeit voort uit de afhankelijkheidsrelaties zoals aangegeven in het rangordemodell van het ecosysteem.

De voorgestelde termen zijn in principe bruikbaar voor velerlei karteringen in Nederland, waarbij de relatie tussen te gebruiken indelingskenmerken en schaalniveau door de aard van het onderzoeksobject (het ecosysteem) is bepaald.

Vervolgens zijn op basis van het vele bruikbare kaartmateriaal twee kaarten getekend: een ecoregio- en een ecodistrictenkaart. De ecodistrictenkaart is daarbij ondergeschikt aan de ecoregio-indeling.

Verfijning op gedetailleerdere schalen zal plaats kunnen vinden afhankelijk van de behoefte. Een dergelijke behoefte kan ten eerste bestaan bij

lagere overheden die over kleinere gebieden uitspraken willen doen. Ten tweede is het denkbaar dat aandacht voor een ander milieuthema dan de vier hier geselecteerde (verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging) een gedetailleerder indeling noodzakelijk maakt. Het aangrijpingspunt van een thema in het rangordemodell van het ecosysteem (FIGUUR 2.8) speelt in dat geval een rol. Tenslotte kunnen departementen met meer sectoraal karakter behoefte hebben aan een gedetailleerdere indeling.

De bruikbaarheid van de ecodistrictenindeling voor de drie bij het onderzoek betrokken departementen zal hier nog kort worden aangegeven.

#### 7.4 Bruikbaarheid van de ecodistrictenkaart

De bruikbaarheid van de ecodistrictenkaart voor het ministerie van VROM bestaat uit het bieden van een geografische basis voor modelstudies ten aanzien van belangrijke milieuthema's, zoals verzuring, vermisting, verdroging en verontreiniging. De gebieden moeten in dat verband worden opgevat als receptorgebieden. Tevens kan de indeling een grondslag vormen voor gebiedsgericht milieubeleid waaronder een gebiedsgerichte normstelling, toegesneden op de verschillende gevoeligheid van gebieden voor de milieuthema's.

Voor het natuurbehoud is de waarde van de indeling gelegen in de gebiedsgerichte aanpak. Het biedt aanknopingspunten om gevoelige gebieden integraal te beschermen tegen negatieve ontwikkelingen in het milieu. Zo wordt de mogelijkheid geschapen om de waardevolle natuurelementen en aangekochte of anderszins veiliggestelde natuurgebieden ook van externe invloeden te vrijwaren. De verdroging van het Nederlandse duingebied of de vergrassing van de Nederlandse heiden hebben immers aangetoond dat met uitsluitend het interne beheer van natuurgebieden de natuurwaarden onvoldoende verzekerd zijn.

Voor het ministerie van Verkeer & Waterstaat is het belang van de indeling, dat het hiermee mogelijk wordt integraal waterbeheer te verwerken. Grondwatersystemen en oppervlaktewateren vormen met elkaar een van de meest beweeglijke subsystemen in het landschap. Interacties tussen de verschillende watersystemen en via dit water tussen verschillende gebieden zijn de belangrijkste oorzaak van de verspreiding van eutrofiërende stoffen (vermisting), van systeemvreemde toxische stoffen (verontreiniging) en van andere gebiedsvreemde stoffen (ionen). Het waterbeheer is daarmee een zeer belangrijk stuurmechanisme voor een geïntegreerd milieubeleid.

Daarnaast wordt juist de kwaliteit van grond- en oppervlaktewateren voor gebruik als drinkwater, industriewater, zwemwater, viswater e.d. aangetaast. De ecodistrictenkaart kan dan een basis vormen voor een naar gebiedskenmerken en functies gedifferentieerde normstelling.

---

### 7.5 Vervolgonderzoek

Als vervolg op het hier gepresenteerde DEEL A van het onderzoek, dat is gericht geweest op het vervaardigen van een basiskaart ten behoeve van het algemene milieubeleid op nationale schaal kan gedacht worden aan:

- differentiatie naar gedetailleerdere schaalniveaus ten behoeve van lagere overheden (provincies, gemeenten) en/of meer natuurgerichte doelstellingen (NMF, Staatsbosbeheer);
- interpretatie van de legenda-eenheden van de huidige kaarten naar actuele en potentiële natuurwaarden en gebruiksfuncties. Zo zal een invulling kunnen plaatsvinden naar de voor deze gebieden karakteristieke plante- en diersoorten (ecologische onderbouwing);
- het vervaardigen van gevoeligheidskaarten voor de thema's van het milieubeleid en combinatie van deze kaarten met belastingsgegevens om potentiële knelpunten te traceren. Tezamen met gegevens over de aanwezige of gewenste bestemmingen (functies) kunnen hieruit knelpunten voor het beleid worden geselecteerd;
- aansluiting bij meer kwantitatieve modellen, opdat scenario-berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Hiertoe is het noodzakelijk de legenda-eenheden kwantitatief te beschrijven.

Het vervaardigen van gevoeligheidskaarten, als één van de toepassingen van de gemaakte indeling, komt reeds in DEEL B van dit rapport aan de orde. Daarom wordt hier ten aanzien van de één na laatste mogelijkheid tot vervolgonderzoek verder verwezen naar hoofdstuk 1 van DEEL B. In hoofdstuk 6 van DEEL B worden nadere onderzoeksaanbevelingen gedaan.

---

---

## MILIEUBEHEERGEBIEDEN

Deel B:

Gevoeligheid van de ecodistricten  
voor verzuring, vermesting,  
verontreiniging en verdroging.

---

## 1 INLEIDING

### 1.1 De bruikbaarheid van de ecoregio- en ecodistrictenkaart in een knelpuntenanalyse voor gebiedsgericht milieubeleid

In DEEL A van dit rapport zijn de ecoregio- en ecodistrictenkaart gepresenteerd als indelingen van Nederland in milieubeheergebieden op ecologische grondslag. De ecoregio- en ecodistrictenkaart zijn daarmee kaarten van het fysiek milieu geworden, waarbij de rol van de mens als veroorzaker van milieuproblemen niet is ingecalculeerd. Slechts het milieu als receptor is op deze kaarten weergegeven.

Omdat de thema's van het milieubeleid kunnen worden opgevat als (reeksen opeenvolgende) fysieke processen in ecosystemen is het mogelijk ook bij een beoordeling van de gevoeligheid van gebieden voor deze milieuthema's alleen het fysieke milieu, c.q. het ecosysteem, in beschouwing te nemen. Gevoeligheid is een eigenschap van het fysieke systeem, zoals geformuleerd in hoofdstuk 2 van DEEL A; het is een maatlat voor het optreden van fysieke veranderingen in het systeem. Het is daarom mogelijk op basis van de gepresenteerde kaarten de gevoeligheid van de gebieden aan te geven. Dit kan gebeuren op zogenaamde gevoeligheidskaarten.

Voor een analyse van mogelijke knelpunten voor het milieubeleid is het echter gewenst ook over gegevens betreffende de belasting te beschikken: de mate van ingrijpen of de grootte van een immissie. Dat zijn brongegevens in strikte zin. In onderstaand schema (FIGUUR 1.1) volgen deze uit een maatschappelijke activiteit. Deze belasting kan in het verleden hebben plaatsgevonden of nog in het heden plaatsvinden.

Ingrepen en immissies die voortvloeien uit activiteiten zijn niet aan de milieubeheergebieden gebonden, maar veeleer aan de activiteit zelf. Een aparte kartering van de belasting is dan nuttig om een vergelijking te kunnen maken met de gevoeligheidskaarten. Uit een dergelijke vergelijking kan een eerste selectie van potentiële knelpuntgebieden volgen.

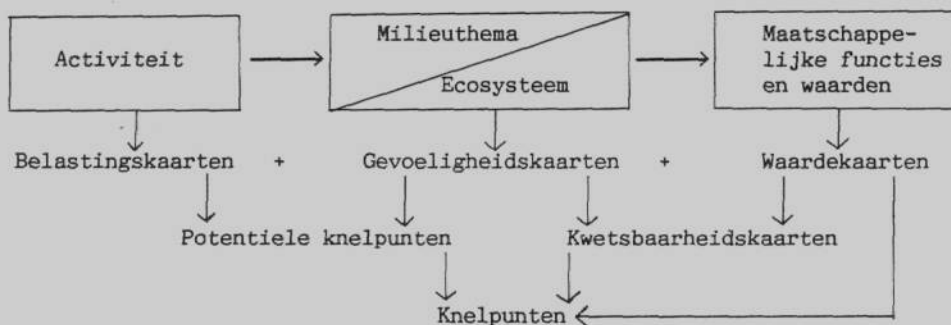
Omdat ingrepen en immissies ook fysieke zaken zijn is een dergelijke vergelijking een objectieve analyse.

Aan ecosystemen in de hier gebruikte betekenis kunnen vele functies en waarden worden toegekend. Belangrijke functies kunnen daarbij worden uitgedrukt in termen van land- of ruimtegebruik, zoals bosbouw, landbouw, recreatie, waterwinning, wonen, industrie, verkeer e.d. Onder waarden wordt veelal de natuur- of landschapswaarde verstaan.

Zowel de waarde voor functies als intrinsieke waarden worden door de mens toegekend; zij zijn normatief en worden in een maatschappelijk afwegingsproces vastgesteld. Kaarten van dit aspect zijn milieu-waarderingskaarten in ruime zin, dat wil zeggen ingezonderd de functionele waarde van ecosystemen.

Een combinatie van gevoeligheid en waarde wordt, overeenkomstig het gestelde in hoofdstuk 2 van DEEL A, kwetsbaarheid genoemd. Kwetsbaarheid is daarmee eveneens een normatief begrip, omdat de waarde normatief

bepaald is. Door vergelijking van waarderingskaarten met gevoeligheidskaarten kunnen kwetsbaarheidskaarten worden samengesteld.



FIGUUR 1.1: Algemeen milieukundig relatieschema met de bijbehorende (combinaties van) kaarten.

Indien kwetsbaarheidskaarten worden vergeleken met belastingkaarten kunnen de actuele knelpunten voor het milieubeleid worden ontdekt.

Alleen de gevoeligheidskaarten kunnen direct worden afgeleid van de ecoregio- en ecodistrictenkaarten. Hierop zal in dit DEEL B van dit rapport worden ingegaan.

Belastingkaarten kunnen worden samengesteld op basis van immissieregistraties. Hiervoor staan velerlei meetnetten ter beschikking, onder meer van het RIVM.

Warderingskaarten worden regelmatig vervaardigd in diverse sectorale onderzoeken, zoals door de drinkwaterproducenten (VEWIN), de natuurbescherming (NMF), de landbouw (Stiboka e.d.). Daarbij worden normatieve kaders geformuleerd. Deze hebben dan betrekking op specifieke milieukwaliteit.

De potentiële en actuele knelpunten die uit een vergelijking van deze drie groepen kaarten kunnen worden afgeleid, vormen het belangrijkste aanknopingspunt voor gebieds- en functiegericht milieubeleid. Voor meer algemeen milieubeleid is inzicht in de gevoeligheid van de milieubeheergebieden echter reeds een belangrijk aanknopingspunt. In overleg met de opdrachtgever en potentiële gebruikers is daarom gekozen voor een uitwerking van dit aspect voor een viertal milieuthema's. Door het RIVM wordt in het kader van onderzoek ten behoeve van het 'Achtergronddocument' voor het Nationaal Milieubeleids Plan (NMP) ook de koppeling gelegd met haar eigen immissiegegevens (belastingkaarten en signalering potentiële knelpunten).

## 1.2 Doelstelling

Doelstelling van DEEL B van het onderzoek is geweest:

- Het uitwerken van een globale, waar mogelijk kwantitatieve, methode om de gevoeligheid van de milieubeheergebieden voor enkele milieuthema's vast te stellen.
- Het aangeven van de gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging op gevoeligheidskaarten, teneinde de mogelijkheden van de indeling in milieubeheergebieden te illustreren en om een aantal referentiekaarten voor het beleid voorhanden te hebben.

## 1.3 Gevoeligheidsbepalingen: werkwijze.

DEEL B van het onderzoek is, evenals DEEL A, in fasen uitgevoerd. Deze fasen werden enerzijds gedictieerd door het feit dat 4 verschillende milieuthema's aan de orde waren. Anderzijds is er binnen de thema's steeds eenzelfde fasering van werkzaamheden gevolgd. De volgende fasen zijn daarbij onderscheiden:

- 1 Opstellen effectenreeksen voor verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging
- 2 Bepalen van de relevante parameters die de gevoeligheid voor deze thema's bepalen
- 3 Schatten van het relatieve belang van deze parameters
- 4 Per ecodistrict bepalen van de gevoeligheid voor deze thema's op basis van de geselecteerde parameters
- 5 Vervaardigen van gevoeligheidskaarten voor deze thema's

Op al deze fasen zal hier kort worden ingegaan, omdat dit de procedure van gevoeligheidsbepaling voor alle thema's goed weergeeft. Deze gevoeligheidsbepaling op basis van het uitgangsmateriaal in de ecodistrictenkaart en -legenda is steeds aangeduid met 'Methode 1'.

In sommige gevallen is het mogelijk geweest bij de gevoeligheidsbepaling ook van kwantitatieve gegevens uit eerder onderzoek gebruik te maken. Indien dergelijke gegevens uit andere bron voorhanden waren is hiervan gebruik gemaakt onder de kop 'Methode 2'.

Reeds in DEEL A van dit rapport zijn effectenreeksen voor de milieuthema's opgesteld (hoofdstuk A.4). Daar was het doel om de voor een indeling in milieubeheergebieden relevante ecosysteemkenmerken te selecteren. Hiertoe zijn in het betreffende hoofdstuk simpele schema's gegeven die aansloten bij het hier in FIGUUR 1.1 weer gerefereerde algemene milieukundige relatieschema.

---

Dezelfde schema's worden hier nogmaals gebruikt, nu echter steeds als inleiding tot een themagericht hoofdstuk: verzuring, vermisting, verontreiniging en verdroging. Daarbij wordt in de tekst dieper op de processen ingegaan. Het doel is hier immers de processen die bepalend zijn voor de ernst van een effect zo te doorgronden dat uitspraken over verschillen in gevoeligheid tussen gebieden kunnen worden gedaan.

Met de kennis over deze processen kunnen die kenmerken worden achterhaald, die voor de geselecteerde milieuthema's de weerstand of veerkracht van het systeem (mede) bepalen. Dit zijn de voor het betreffende milieuthema relevante parameters.

Deze parameters zijn dezelfde als die in hoofdstuk A.4 van DEEL A reeds geselecteerd waren ten behoeve van de keuze van indelingskenmerken. In dat verband echter betrof het een uitsluitend kwalitatieve benadering. Hier daarentegen is een meer kwantitatieve aanpak gewenst. Er wordt daarom zoveel mogelijk getracht de relevantie van de parameters voor het optreden van effecten te kwantificeren. Veelal kan dit slechts in orden van grootte, als gevolg van de complexiteit van elkaar beïnvloedende processen en de variatie die de relevante parameters in ruimte en tijd nog hebben.

Op basis van de kennis van de relevante parameters kan van iedere parameter het relatieve belang ten opzichte van de overige relevante parameters worden geschat. Het betreft dan de relatieve bijdrage aan de voorkoming van, of ,afhankelijk van het proces, juist aan het ontstaan van fysieke effecten. De schatting gebeurt in ordinale termen (relatieve getallen).

Vervolgens worden alle relatieve bijdragen per ecodistrict gesommeerd. Het totaal geeft in een ordinale schaal de relatieve gevoeligheid (of ongevoeligheid, afhankelijk van het thema en de daarbij behorende processen) van een ecodistrict. Deze totaalwaarde, die een grote spreiding kent, wordt vervolgens in een conversietabel omgezet in een gevoeligheidsklasse. Om een duidelijk overzicht te krijgen van relatieve gevoeligheden zijn slechts vier gevoeligheidsklassen onderscheiden:

zeer gevoelig  
gevoelig  
matig gevoelig  
weinig gevoelig.

Waar dit mogelijk was is een vergelijking gemaakt met de uitkomsten volgens een tweede methode, gebaseerd op eerder/ander onderzoek. De uitkomsten daarvan zijn eveneens in dezelfde vier gevoeligheidsklassen geconverteerd. Tenslotte is op basis van alle uitkomsten een eindoordeel gevormd betreffende de gevoeligheid per gebied.

Naar aanleiding van de gevoeligheidsbepaling zijn uiteindelijk de gevoeligheidskaarten vervaardigd. Deze geven de gevoeligheid van de gebieden in kaartvorm weer. Omdat ieder ecodistrict-type als homogeen kan worden voorgesteld kunnen de grenzen van deze ecodistrict-typen als basis voor de gevoeligheidskaarten worden gebruikt. Een ecodistrict-type valt zo altijd in één klasse, maar naast elkaar gelegen ecodistricten van verschillend type kunnen wel dezelfde gevoeligheid hebben. Bij de themakaar-

ten vallen hierdoor soms grenzen weg, omdat die dan niet relevant zijn voor dat betreffende thema.

De kaarten zijn getekend op een Apple MacIntosh microcomputer bij het RIVM.

#### 1.4 Opzet

DEEL B van dit rapport is themagewijze opgezet. Dat wil zeggen dat in ieder hoofdstuk één milieuthema wordt behandeld.

In hoofdstuk 2 is verzuring het thema. Allereerst worden de processen die een gevolg zijn van zuurdepositie beschreven en er wordt aangegeven op welke wijze schade aan het milieu beperkt blijft door bufferprocessen in bodem en water. Vervolgens wordt, overeenkomstig de hierboven geschetste werkwijze, de gevoeligheid van de ecodistricten bepaald.

Hoofdstuk 3 is op dezelfde wijze opgezet en behandelt de problematiek van vermisting. Er worden afzonderlijke gevoeligheidsbepalingen uitgewerkt voor nitraat en fosfaat. Voor kalium, de derde vermestende stof, is geen gevoeligheid bepaald. Er zijn voor dit thema twee gevoeligheidskaarten gemaakt.

In hoofdstuk 4 is verontreiniging het thema. Hier worden verschillende stoffengroepen en vormen van verontreiniging behandeld. In het bijzonder het verschil tussen (grond)waterverontreiniging en (water)bodemverontreiniging krijgt hier aandacht. Bij dit thema worden vier verschillende gevoeligheidskaarten gepresenteerd.

Hoofdstuk 5 is het laatste themagerichte hoofdstuk. Hierin komt de problematiek van de verdroging aan de orde. Er wordt één gevoeligheidskaart samengesteld, waarin alle effecten van verdroging zijn geïntegreerd.

Als afsluiting wordt in hoofdstuk 6 een samenvatting gegeven van de resultaten van de gevoeligheidsbepaling voor alle vier behandelde milieuthema's. Tevens wordt ingegaan op de mogelijke interactie tussen verschillende thema's.

Tenslotte worden aanbevelingen voor verder onderzoek geformuleerd.

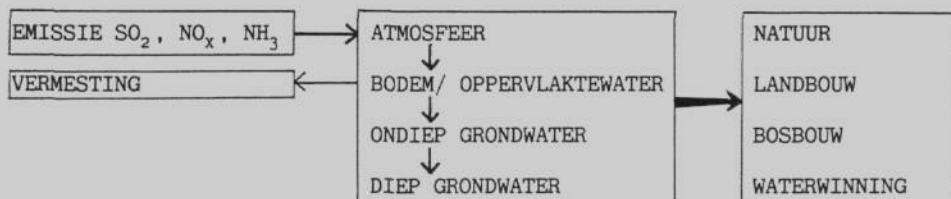
---

## 2 VERZURING

### 2.1 Inleiding

Verzuring is een proces dat effecten heeft op gesteente, grondwater, oppervlaktewater, bodem, vegetatie en bijgevolg op alle daarvan afhankelijke landgebruiksvormen en natuur- en landschapswaarden. Om deze reden is in het IMP- Milieubeheer 1987- 1991 (VROM et al., 1986) een zeer veelomvattende omschrijving gekozen (zie hoofdstuk 4 van DEEL A). Hier zal verzuring slechts worden betrokken op het abiotisch milieu. Dit impliceert dat slechts wordt bepaald in hoeverre abiotische eigenschappen van de milieubeheer-eenheden gevoelig zijn voor veranderingen onder invloed van zuurtoevoer. De kans op het optreden van schade aan natuur of landgebruiksfuncties is hieraan vanzelfsprekend wel direct gerelateerd omdat vegetatie en fauna in het ecosysteemmodel afhankelijke variabelen zijn.

Verzuring grijpt aan op de atmosfeer, maar heeft de eerste te localiseren effecten op de bodem en het oppervlaktewater, voorzover dit laatste niet vanaf elders, bijvoorbeeld uit grote grondwatersystemen, wordt gevoed. Vervolgens kan ook het grondwater worden beïnvloed (zie FIGUUR 2.1).



FIGUUR 2.1: Verzuring als procesketen voorgesteld, met in de derde kolom de beïnvloede landgebruiksvormen.

In de bodem manifesteert verzuring zich als een afname van de zuurbuffercapaciteit (ANC = Acid Neutralizing Capacity) (Verstraten, 1982; Loman et al., 1984). Deze blijkt uit het optreden van één of meerdere van de volgende processen:

- toename van het oplossen van mineralen (kalk, silicaten, hydroxyden);
- mobilisatie van kationen: kationenverdringing;
- mobilisatie van anionen: anionenverdringing;
- daling van de pH van het bodemvocht.

Bij voortschrijdende verzuring betekent dit voor het grondwater (naar Loman et al., 1984):

- daling van de pH;
- toename van de ionensterkte en/of hardheid, en daarmee een toename van het geleidingsvermogen;
- toename van de concentraties  $Al^{3+}$  en zware metalen.

In het grondwater heerst veelal een chemisch evenwicht met de bodem of het gesteente en bijgevolg geldt dit ook voor oppervlaktewateren van kleinere omvang die met het grondwater in evenwicht zijn. In de land-ecoregio's en -ecodistricten kan de gevoeligheid van deze wateren dan ook gelijk worden gesteld aan die van het land zelf. Dit geldt in het bijzonder de stilstaande wateren.

Voor de grote wateren gelden iets andere processen. De zoete wateren ontvangen alle grote hoeveelheden bufferende kationen vanuit het achterland, waaronder veel kalk. De oorsprong van deze kationen wordt gevormd door ondiepe en diepe grondwaterstromen die uiteindelijk de 'base-flow' van de stromende wateren en de invoer van de stagnante wateren uitmaken. De zoute wateren bevatten van zichzelf reeds grote hoeveelheden kationen, terwijl er bovendien een voortdurende aanvoer is via rivieren. Daardoor zijn voor de grote zoete en zoute wateren de watereigenschappen zelf bepalend voor de gevoeligheid voor verzuring.

Om verzuring van bodem en water te begrijpen moeten twee aspecten van dit proces nader bekeken worden. Dit zijn ten eerste de bronnen van protonen ( $H^+$ ) en ten tweede de processen in ecosystemen die deze protonen weer wegvangen of op andere wijze uit het systeem verwijderen. Hier zullen deze twee aspecten achtereenvolgens aan de orde worden gesteld.

### 2.1.1. Protonenbronnen

Verzuring wordt veroorzaakt door  $H^+$  (protonen)-bronnen. Bij protonenbronnen dient allereerst onderscheid gemaakt te worden tussen natuurlijke en antropogene bronnen.

Natuurlijke bronnen zijn enerzijds het zwakke zuur  $H_2CO_3$  dat ontstaat onder invloed van  $CO_2$  in de lucht en  $CO_2$  die in de bodem door wortelademhaling vrijkomt, en anderzijds sterke organische zuren die ontstaan uit bacteriële omzetting van plantaardig (blad)afval. In kalkrijke bodems met een hoge pH is de rol van  $CO_2$  zeer groot (7 - 20 kmol  $H^+$ /ha.jr, bij 300 mm neerslagoverschot en 5 - 100 mbar  $CO_2$  spanning), beneden pH 5 speelt  $CO_2$  vrijwel geen rol meer. Organische zuren (fulvozuren e.d.) gaan juist een rol van betekenis spelen in zure gronden (pH < 5; zuurbijdrage 0.1 - 0.9 kmol/ha.jr) en veroorzaken dan in arme zandgronden de typische podzolizatie.

Tot de antropogene zuurbronnen kunnen worden gerekend de landgebruiksafhankelijke bron en de zure neerslag. De landgebruiksafhankelijke protonenbron is het gevolg van de oogst van landbouw- en bosbouwgewassen (afvoer van anionen, vrijkomen van  $H^+$ ) en de mineralisatie van de achterblijvende organische resten (vrijkomen ammonium, nitrificatie, ontstaan van  $H^+$ ). Daarbij komt dan de zure neerslag in droge en natte vorm, die voor een deel afkomstig is van de uitstoot van ammoniak door bemesting in de landbouw en verder hoofdzakelijk wordt veroorzaakt door  $NO_x$  en  $SO_2$ . De

depositie verschilt sterk met de vegetatiestructuur; in het algemeen vangt bos ongeveer 1.6 maal zoveel zuur als lage begroeiing.

In TABEL 2.2 zijn de belangrijke zuurbronnen weergegeven met de bodems waarin ze een rol spelen. De landgebruiksafhankelijke bronnen spelen natuurlijk alleen een rol bij het betreffende landgebruik.

	H <sup>+</sup> productie in kmol/ha.jr	kalkrijk pH hoog	kalkarm pH laag
CO <sub>2</sub> (zwak zuur: ontkalking)	7 - 20	+	-
Organische zuren (podzolisatie)	0.1 - 0.9	-	+
Bosbouw (oogsten)	0.3 - 0.7	+	+
Landbouw (oogst, mineralisatie)	3 - 14	+	+
Zure neerslag	2 - 10	+	+

TABEL 2.2: De belangrijkste natuurlijke en antropogene protonenbronnen. Gegevens: 'zure neerslag' naar Schneider & Bresser, 1987; overige gegevens naar De Vries & Breeuwsma, 1986).

Uit TABEL 2.2 blijkt dat in kalkrijke bodems met een relatief hoge pH de natuurlijke verzuring veruit het belangrijkste is (De Vries & Breeuwsma, 1986). Ontkalking is dan ook een van nature snel proces, hetgeen moge blijken uit berekeningen betreffende de natuurlijke ontkalkingssnelheid van kalkrijke duinzanden en kalkrijke kleigronden in Nederland. Klijn (1981) noemt een afname van het kalkgehalte met één procent over een diepte van 2 tot 3.5 dm per eeuw voor duinzanden. Edelman & De Smet (1951) noemen een ontkalkingsdiepte van 25 tot 30 cm in 60 tot 90 jaar in kleigronden. Aangezien kleigronden slechter doorlucht zijn, beworteling er vaak minder diep is en watertransport er langzamer in gaat, is dit verschil met zandgronden te verklaren: CO<sub>2</sub> zal op enige diepte minder invloed kunnen uitoefenen.

In landbouwgronden komt een forse hoeveelheid protonen vrij. Door bemesting (bekalking) wordt dit echter gedeeltelijk, zo niet geheel, gecompenseerd.

Zure neerslag blijkt de belangrijkste protonenbron in bos- en natuurgebieden (De Vries & Breeuwsma, 1986). Door de sterkte van de zuren in zure neerslag blijven deze ook bij een lage pH actief, waar de natuurlijke verzuring door organische zuren nu juist zeer gering is.

Ten behoeve van de evaluatie van verzuring als milieuprobleem kan men stellen dat verzuring door CO<sub>2</sub> niet interessant is, omdat dit alleen van groot belang is in kalkrijke bodems bij relatief hoge pH. Een snelle ontkalking is daar een natuurlijk fenomeen te noemen. Voor het natuurbe-

houd is daarentegen een achteruitgang van kalkrijke en kalkhoudende milieutypen wel als verlies te beschouwen.

Pas als de rol van het zwakke zuur  $\text{CO}_2$  is uitgespeeld (bij een pH beneden ong. 6.2) wordt verzuring voor het algemene milieubeleid een aandachtspunt; de verzuring vertraagt dan niet zoals onder natuurlijke omstandigheden, maar ijlt door onder invloed van de sterke zuren vanuit de zure neerslag.

### 2.1.2 Protonenputten

Protonenputten zorgen voor de verwijdering van protonen uit het systeem. De belangrijkste protonenput wordt gevormd door het complex van zogenaamde 'buffers' in de bodem. Daarnaast speelt denitrificatie nog een geringe rol bij het onschadelijk maken van protonen.

De term buffer wordt gebruikt voor al die chemische processen die een sterk dalen van de pH tegengaan, doordat zich een nieuw evenwicht instelt. De belangrijkste bufferprocessen zijn in TABEL 2.3 opgesomd met het pH-traject waarin ze dominant zijn (buitende aangegeven trajecten treedt het proces nog wel op) en de relatieve bijdrage.

CaCO <sub>3</sub> buffer: pH > 6.2	snelle buffer	1500 kmol/ha.m per % CaCO <sub>3</sub>
Silicaat buffer (verwerking): 6.2 > pH > 5.0	langzame buffer	750 kmol/ha.m per % silicaat
Kationuitwisselingsbuffer: 5.0 > pH > 4.2	zeer snelle buffer	70 kmol/ha.m per % klei
Aluminiumbuffer (vooral Gibbsiet): 4.2 > pH	matig snel	1000 - 1500 kmol/ha.m per % klei
IJzerbuffer: 3.8 > pH	langzaam	1900 - 2800 kmol/ha.m per % vrij Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

TABEL 2.3: De belangrijkste bufferprocessen in bodems (naar Ulrich, 1980; Verstraten, 1982).

Door de sterk verschillende reactietijd van de verschillende buffers kunnen sommige pH-trajecten bij een zeer hoge zuurbelasting soms gepasseerd worden; de pH daalt dan plotseling scherp na het opraken van de bovenste snelle buffer en schiet naar het traject van de volgende snelle. Zo wordt bijvoorbeeld de silicaatbuffer vaak gepasseerd. De aanwezigheid van verweerbare silicaten biedt dan echter nog wel de potentie van een (gedeeltelijk) herstel van een dergelijke bodem, omdat het proces ook bij lagere pH's nog wel degelijk optreedt, zij het op de achtergrond.

Bij de zeer hoge zuurbelastingen, zoals die in Nederland voorkomen, zijn de meest relevante bufferprocessen de snelle kalkbuffer en kationenuitwisselingsbuffer. De kalkbuffer wordt echter reeds gedeeltelijk opgebruikt door natuurlijke verzuring. Voor antropogene verzuring, die tot schade leidt, is deze buffer daarom minder relevant in bodems met slechts enkele procenten calciumcarbonaat, omdat die van nature al zeer snel ontkalkt zullen raken.

Daling van de pH tot in het traject van de aluminiumbuffer is relevant omdat dit vaak leidt tot schade aan gewassen, vegetatie en grondwatervoorraden.

## 2.2 Gevoeligheid voor verzuring van bodem en ondiep grondwater

De gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring kan nu worden bepaald uit alle factoren die de zuurbuffercapaciteit bepalen en tot het wegvangen van  $H^+$  leiden, ofwel  $H^+$  op een andere wijze uit het systeem doen verdwijnen (denitrificatie). Bij ieder proces kunnen relevante parameters worden gevonden. Deze kunnen worden afgeleid uit de kenmerken van in de legenda genoemde componenten. Dit leidt tot het overzicht van TABEL 2.4.

DOMINANT PROCES	RELEVANTE PARAMETERS	BEPALENDE COMPONENT
CaCO <sub>3</sub> buffer	primair kalkgehalte ontkalkingsdiepte	Gesteente Bodem
Silicaatbuffer	verweerbare silicaten textuur (klei & silt)	Gesteente
Kationenuitwisselings buffer	textuur (klei & silt) organische stof	Gesteente Bodem
Aluminium-buffer	textuur (klei & silt)	Gesteente
Fe-hydroxyde-buffer	mineralen	Gesteente
Aanvoer kationen van elders	kwel waterherkomst waterkwaliteit: kationen zout	Grondwater Oppervlaktewater Oppervlaktewater Oppervlaktewater
Denitrificatie	grondwaterstand organische stof	Bodem (grondwater- stand) Bodem

TABEL 2.4: Overzicht van de belangrijkste (buffer)processen en parameters die bepalend zijn voor de gevoeligheid voor verzuring van bodem en grondwater.

Uit TABEL 2.4 blijkt dat gesteente-eigenschappen een belangrijke rol spelen voor de processen op het land. Daarnaast zijn ook nog enkele bodemeigenschappen en het grondwaterregime van belang, omdat langs deze weg bufferende kationen van elders kunnen worden aangevoerd. Voor de oppervlaktewateren zijn de waterkenmerken zelf bepalend.

Het is nu mogelijk de relatieve bijdrage van de relevante parameters of gehele componenten te schatten, waarbij rekening gehouden wordt met het hiervoor beschrevene. Door schatting en somming van alle relatieve bijdragen per ecodistrict volgen dan eindwaarden die kunnen worden geconverteerd tot gevoeligheidsklassen. Dit zal stapsgewijs gebeuren zoals aangegeven in hoofdstuk 1 van DEEL B. Deze eerste procedure zal gevolgd worden onder de kop: Methode 1.

In plaats van een schatting te maken van de relatieve bijdrage van de relevante parameters, kan ook een benadering worden gevolgd, waarbij de feitelijke omvang van de buffers in kwantitatieve termen wordt geschat. Hiervoor kunnen enkele kaarten uit de reeks 'Kwetsbaarheid van het grondwater' (Van Duyvenbooden & Breeuwsma, 1987) worden gebruikt. Dit gebeurt hier onder de kop: Methode 2.

Vervolgens zullen de resultaten van beide methoden vergeleken worden en zal een eindoordeel worden geformuleerd betreffende de gevoeligheid van de verschillende ecodistricten. Omdat niet voor alle relevante factoren kwantitatieve gegevens voorhanden zijn kan de kwantitatieve benadering geen volledig eindoordeel opleveren, maar wel een zeer belangrijk hulpmiddel zijn om de kwalitatieve schatting (methode 1) te verbeteren. Tevens zijn de resultaten vergeleken met die van Stiboka in bijvoorbeeld Schneider & Bresser (1987).

### 2.2.1 Methode 1

Uitgaande van de processen wordt hier de relatieve bijdrage van de relevante parameters of gehele componenten geschat. Door somming van alle relatieve bijdragen per ecodistrict volgen dan de eindwaarden die kunnen worden geconverteerd tot gevoeligheidsklassen. Hieronder worden daartoe steeds de relevante componenten en parameters genoemd, waarna een geschatte relatieve bijdrage wordt gegeven. In dit geval betekenen hoge waarden een hoge bijdrage aan het beperken van schade ('bufferwerking').

---

Voor alleen de land-ecodistricten:

GESTEENTE

relevante parameters: primair kalkgehalte verweerbare silicaatmineralen textuur (primair klei en silt) Fe- en Al-(hydr)oxyden (mineralen)	
Klasse	Relatieve bijdrage
leemarm (grof en fijn) zand	0
kalkarm duin- en strandzand	0
lemig zand	1
met keileem	2
kalkrijk duin- en strandzand	3
löss/ leem/ zavel	4
(zandige) klei/ laagveen	> 8
kalksteen	> 8

Voor alleen de water-ecodistricten:

OPPERVLAKTEWATER

relevante parameters: waterherkomst (kat)ionengehalte zoutgehalte	
Klasse	Relatieve bijdrage
grote zoete wateren	> 8
zoute wateren	> 8

De ecodistricten die > 8 hebben worden beschouwd als 'Weinig gevoelig' en zullen verder niet worden gedifferentieerd. De overige zijn in eerste instantie 'Gevoelig' en kunnen worden gedifferentieerd naar kenmerken van grondwater en bodem.

Alle onderscheiden zoetwater-eenheden (W) kennen een aanvoer van ionenrijk water en hebben in verband daarmee een hoge buffercapaciteit, terwijl de zoute wateren (Z) van nature alle rijk zijn aan bufferende ionen. Zowel de grote zoete als de zoute wateren krijgen daarom > 8 toebedeeld. De hier gegeven relatieve bijdrage geldt dus niet voor de kleinere oppervlaktewateren in de land-eenheden (L, P, D en H).

## GEOHYDROLOGIE

relevante parameters: aanvoer van (kat)ionen

Klasse	Relatieve bijdrage
inzijging/ herkomst	0
doorstroom	1
inkomst/ kwel	2

## BODEM 1

relevante parameters: ontkalkingsdiepte bovengrond

Klasse	Relatieve bijdrage
kalkarm (> 1.2 m)	0
kalkrijk (< 1.2 m)	1

## BODEM 2

relevante parameters: organische stofgehalte

Klasse	Relatieve bijdrage
humusarm	0
humeus of geen toevoeging	1
moerig	2
venig/ veen	3

## BODEM 3

relevante parameters: diepte grondwater

Klasse	Relatieve bijdrage
grondwater zeer diep	0
grondwater diep	1
grondwater ondiep	2

Voor alle ecodistricten wordt nu een scorelijst gemaakt (TABEL 2.5). In de kolom: 'Totaal' staat de som van de voorafgaande kolommen. In de laatste kolom tenslotte staat de uiteindelijke gevoeligheidsklasse van het ecodistrict, volgens de volgende conversie:

Uitkomst 'Totaal' > 8	Weinig gevoelig (4)
Uitkomst 'Totaal' 5 - 8	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Totaal' 2 - 4	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Totaal' 0 - 1	Zeer gevoelig (1)

## ECODISTRICT

	Gest.	Opp.wat.	Geohydr	Bod1	Bod2	Bod3	Totaal	Klasse
L1	>8							4
L2	4		0	0	1	0	5	3
P1	0		0	0	1	0	1	1
P2	0		0	0	1	0	1	1
P3	2		0	0	2	1	5	3
P4	2		0	0	2	1	5	3
P5	2		0	0	2	1	5	3
P6	0		0	0	1	1	2	2
P7	0		0	0	1	1	2	2
P8	2		0	0	1	1	4	2
P9	0		0	0	2	1	3	2
P10	1		0	0	2	2	5	3
P11	1		1	0	1	2	5	3
P12	0		0	0	3	2	5	3
P13	1		2	0	2	2	7	3
P14	1		1	0	2	1	5	3
D1	3		0	1	0	0	4	2
D2	0		0	0	0	0	0	1
H1	2		1	1	2	2	8	3
H2	>8							4
H3	>8							4
H4	>8							4
H5	>8							4
H6	>8							4
H7	>8							4
H8	>8							4
W1	>8							4
W2	>8							4
W3	>8							4
W4	>8							4
W5	>8							4
W6	>8							4
Z1	>8							4
Z2	>8							4
Z3	>8							4
Z4	>8							4
Z5	>8							4

TABEL 2.5: Conversietabel ter bepaling van de gevoeligheid voor verzuring van bodem, oppervlaktewater en ondiep grondwater (volgens methode 1).

### 2.2.2 Methode 2

Bij methode 2 wordt uitgegaan van dezelfde relevante processen, zoals opgesomd in TABEL 2.4. Dit betreft een vijftal bufferprocessen, de aanvoer van kationen van elders en het proces van denitrificatie. Enkele van deze processen staan een (semi-)gekwantificeerde benadering toe. Hierop zal in het onderstaande worden ingegaan.

In het kader van het onderzoek 'Kwetsbaarheid van het grondwater' (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987) zijn kaarten vervaardigd die kwantitatieve gegevens bevatten over de niet met water verzadigde laag en de wel met water verzadigde laag boven het (1<sup>e</sup>) watervoerend pakket (zie ook hoofdstuk 5 van DEEL A).

Voor een gevoeligheidsbeoordeling voor de verzuring van bodem en ondiep grondwater zijn de volgende kaarten bruikbaar, omdat deze gegevens bevatten met behulp waarvan enkele potentiële buffers kunnen worden berekend:

- III A Lutummassa van de niet met water verzadigde laag
- IV A Organische stofmassa van de niet met water verzadigde laag
- V A CEC (kationenuitwisselingscapaciteit) van de niet met water verzadigde laag
- I B Dikte van de niet met water verzadigde laag
- VI A Diepte tot kalkhoudende horizonten

Van de langzame silicaatbuffer en de Al- en Fe-buffers is geen kwantitatief materiaal voorhanden. Gezien de traagheid van de silicaatbuffer is dit minder bezwaarlijk. De aluminiumbuffer gaat pas optreden als toch al bedreigend lage pH's zijn bereikt. Het is dan ook minder wenselijk dat deze buffer in werking gaat treden, zodat ook het ontbreken van gegevens op dit punt niet als heel groot gemis hoeft te worden ervaren (NB: zeer veel bodems op de Nederlandse zandgronden zijn in werkelijkheid reeds volledig ge-Aluminiseerd!).

Evenmin zijn kwantitatieve gegevens beschikbaar over de aanvoer van kationen van elders (door grond- of oppervlaktewater) en denitrificatieprocessen, die beide de invloed van verzuring kunnen beperken. De mate van denitrificatie van gedeponeerde  $\text{NO}_3^-$  kan wel geschat worden met behulp van denitrificatieratio's volgens Stiboka (Stiboka, 1987). Bij gebrek aan kennis omtrent de relatieve belangrijkheid van dat proces voor verzuring zal hier in dit verband niet nader op worden ingegaan (zie wel hoofdstuk 3 van DEEL B: vermesting).

Uit het bovenstaande resulteert dat een kwantitatieve benadering van de gevoeligheid voor verzuring van de bovenste meter (aangenomen als relevante diepte voor bosbouw, natuur en landbouw: de doorwortelde laag) op basis van de RIVM-kaarten (methode 2) noodgedwongen beperkt blijft tot alleen de snelle buffers: de CEC-buffer (kationenuitwisselingsbuffer) en de kalkbuffer ( $\text{CaCO}_3$ ).

De kalkkaart is direct bruikbaar, zij het dat vanuit de optiek van bufferingsmechanismen het kwantitatieve aspect onvoldoende manifest is. Dit is een gevolg van de gebruikte klasse-indeling. Deze geeft de volgende 4

klassen (waarbij kalkrijk materiaal staat voor meer dan 1 à 2 %  $\text{CaCO}_3$  (gewichts %, stofdroog); Van Duijvenbouden & Breeuwsma, 1987):

A kalkrijk	: kalkrijk materiaal binnen 50 cm.
B kalkhoudend	: kalkrijk materiaal beginnend tussen 50 en 120 cm
C kalkarm	: kalkrijk materiaal beginnend beneden 120 cm
D kalkloos	: geen kalkrijk materiaal binnen de niet met water verzadigde laag

Het percentage  $\text{CaCO}_3$  is daarmee echter niet precies bekend, alleen de ondergrens van 1 à 2 %. Hier zal worden uitgegaan van de volgende aannamen voor de bijdrage aan de buffer van de bovenste meter grond voor de gegeven kalkklassen:

- kalkrijk: 2% over 100 cm = 2 x 1500 kmol/ha.m = 3000 kmol/ ha.m
- kalkhoudend: 2 % over 20 cm. (van 80 tot 100) = 600 kmol/ ha.m
- kalkarm en kalkloos: 0 % = 0 kmol/ha.m

Ten aanzien van de bruikbaarheid van de CEC-kaart gelden enkele beperkingen die voortvloeien uit de wijze waarop de gegevens zijn gepresenteerd. De CEC kaart uit Van Duijvenbouden & Breeuwsma (1987) geeft namelijk de CEC voor de gehele niet met water verzadigde laag in Mmol/ ha. Deze laag is plaatselijk vele meters tot decameters dik (bijvoorbeeld op de stuwwallen P1 en P2, of in Limburg L1, L2). Voor een CEC-waarde voor de bovenste meter(s), de voor bosbouw, landbouw en natuur belangrijke laag, moet deze worden teruggerekend naar een waarde voor de bovenste meter. Nu zijn de CEC-waarden op de RIVM-kaarten berekend aan de hand van de lutummassa/ha en de organische stofmassa/ha. Bij de laatste is nog onderscheid gemaakt tussen A en C-horizonten enerzijds en inspoelings-B horizonten anderzijds; dit in verband met de hoge CEC van de organische stofsoort in humuspodzol-B horizonten. Op basis hiervan is de CEC berekend voor de gehele niet met water verzadigde laag. Daarbij is uitgegaan van een gehalte van 0,5 % organische stof in het C-materiaal (moedermateriaal) op plaatsen waar een zeer dikke niet met water verzadigde laag aanwezig is (bijvoorbeeld op de Veluwe: P1).

Nu kan van het lutumgehalte van deze gehele laag redelijkerwijs worden aangenomen dat dit ongeveer constant is. Hierdoor is het dan ook mogelijk de lutummassa per meter dikte terug te rekenen.

De organische stof zit echter geconcentreerd in de bovengrond. Het terugrekenen van organische stofmassa en CEC van de bovengrond is dan ook eigenlijk niet verantwoord: er volgt immers een getal per m dikte, terwijl bekend is dat de organische stof in de bovengrond is geconcentreerd. In de arme zandgronden wordt bovendien de CEC grotendeels bepaald door de organische stof, zodat ook die waarde eigenlijk niet teruggerekend mag worden naar de bovenste meter.

Bij gebrek aan nauwkeuriger gegevens zal echter, voorlopig, worden aangenomen dat de gehele niet met water verzadigde laag homogeen is.

Om de lutummassa, organische stofmassa en CEC per ha.m te berekenen zijn (visueel) schattingen gemaakt van de gemiddelde waarden per ecodistrict van de volgende factoren:

- dikte niet met water verzadigde laag;
- lutummassa van deze laag;
- organische stofgehalte van deze laag;
- CEC van deze laag.

Deze generalisatiestap is noodzakelijk om de relatief gedetailleerde gegevens van de RIVM-kaarten (1: 400.000) bruikbaar te maken voor de ecodistricts-indeling (1: ong. 1.500.000).

In plaats van gegeneraliseerde klassen zijn op generalisatie gebaseerde waarden gebruikt, teneinde berekeningen te vereenvoudigen. Deze waarden zijn: het gemiddelde van een klasse als het gehele ecodistrict in één klasse viel, de grens tussen twee klassen als beide in gelijke mate voorkwamen. Naar rato verschoven waarden als één klasse duidelijk dominant was.

Voor de dikte van het niet met water verzadigde pakket is steeds van de bovenste klassegrenzen van de dominante klassen uitgegaan voor de lagen dunner dan 4 m, en van de gemiddelden van de klassen voor de dikkere pakketten. Dit is gedaan omdat de RIVM-basiskaarten hier ook vanuit zijn gegaan. De procedure dient immers precies omgekeerd te zijn aan die, die door van Duyvenbouden & Breeuwsma is gevolgd. Bijvoorbeeld:

- dikteklasse 1.2 - 2.5 m : gebruik 2.5 m
- dikteklasse 10 - 20 m : gebruik 15 m

De schattingen zijn tot stand gekomen door 3 x onafhankelijk van elkaar een gemiddelde per ecodistrict te schatten en deze waarden vervolgens te vergelijken. De geschatte waarden per ecodistrict staan in TABEL 2.6.

Vervolgens zijn de CEC, lutummassa en organische stofmassa per meter dikte berekend, in de hoop daarmee direct vergelijkbare waarden voor de bovengrond te verkrijgen. De resultaten hiervan staan in TABEL 2.7

Deze terugberekening per meter dikte impliceert dat van de oorspronkelijke gegeneraliseerde en afgeronde cijfers van de RIVM-kaarten is aangenomen dat bepaalde aannames eraan ten grondslag hebben gelegen, waarvan wordt aangenomen dat ze in omgekeerde richting weer tot de uitganggegevens kunnen leiden. Dit is een omslachtige procedure, waarbij de volgende fouten worden gemaakt:

$$(\text{schatting RIVM} \times \text{aannames RIVM} \times \text{afronding}) \times (\text{schatting FK} \times \text{aannames FK} \times \text{afronding}) = \text{TOTAAL FOUT}$$

Deze totaalfout is vermoedelijk zo groot dat de cijfers die hier worden gepresenteerd slechts een indicatieve waarde kunnen hebben.

Daarenboven zijn zij voor wat betreft de CEC gebaseerd op een uitgangssituatie waarbij het gehele kationenuitwisselingscomplex is bezet (Base Saturation 100%). In zandgronden in Nederland is de BS echter al vaak kleiner dan 10 %, omdat de CEC geheel bezet wordt door  $H^+$ ,  $NH_4^+$  en Al. Daarmee is de relatieve gevoeligheid weliswaar globaal geïndiceerd, maar kunnen de berekende bufferwaarden niet worden gebruikt voor berekeningen die de indringingssnelheid van het zuurfront aangeven.

Door optellen van de buffercapaciteiten van  $\text{CaCO}_3$  en CEC kan de totale 'potentiële snelle buffer' worden berekend. De huidige nog aanwezige snelle buffer ligt vermoedelijk tussen 30 en 0 % van deze waarden op de meeste Nederlandse zandgronden, waarbij 10 % een goede aanname lijkt (zie bijvoorbeeld Van der Salm, 1986).

De 'potentiële snelle buffer' staat in de voorlaatste kolom van TABEL 2.7. Indien men hiervan een klasse-indeling maakt overeenkomstig de volgende conversiestap, dan levert dat een klasse-indeling die vergelijkbaar is met die volgens methode 1 (laatste kolom TABEL 2.7):

Snelle buffer	< 0.5	1 Zeer gevoelig
Snelle buffer	0.5 - 0.9	2 Gevoelig
Snelle buffer	1.0 - 2.0	3 Matig gevoelig
Snelle buffer	> 2.0	4 Weinig gevoelig

### 2.2.3 Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindbeoordeling

Uit methode 2 resulteert een vrijwel gelijke verdeling aan die die verkregen is volgens methode 1 (zie TABEL 2.8). Op de afwijkingen zal hier kort worden ingegaan en tevens zal een eindoordeel worden gegeven voor die ecodistricten waarvoor beide methoden verschillende uitkomsten opleveren.

Grote afwijkingen vinden we in Limburg, waar de löss (L2) volgens methode 2 een klasse gevoeliger uitkomt en waar het Krijtlandschap (L1) plots verzuringgevoelig blijkt.

Het Krijtlandschap (L1) wordt gekenmerkt door ontkalkte bovengronden, waaronder echter over grote gebieden pure kalksteen met >> 90 %  $\text{CaCO}_3$  wordt aangetroffen. Omdat de plateauvormen en hogere delen van de hellingen tamelijk dunne bodems kennen (< 1m), zal de verzuring daar niet snel tot schade leiden. Op de lagere delen van de hellingen en in de dalen (colluviale en alluviale bodems) vindt steeds aanvoer van vers kalkrijk water en afgespoeld materiaal plaats. Hier zal zeker geen gevaar voor verzuring bestaan. Voor L1 wordt daarom vastgehouden aan de gevoeligheidsklasse 4 (weinig gevoelig) voor het gehele gebied. Wel mag worden aangenomen dat de snelheid van kalksteenoplossing door de antropogene verzuring sterk versneld is (mogelijk verdubbeld) ten opzichte van de natuurlijke, door  $\text{CO}_2$  gedomineerde, oplossing.

Het lössgebied (L2) ontleent zijn buffercapaciteit aan het hoge lutumgehalte van de löss. Alhoewel de lössbodems wel al zeer diep ontkalkt zijn, is er toch nog wel kalkbuffer aanwezig op de lagere hellingen door de instroom van kalkhoudend (grond)water en de aanvoer van colluvium. Over het gehele lössgebied betekent dit dat slechts lokaal (bovenop de waterscheidingen en de hogere hellingdelen) de buffercapaciteit kan zijn uitgeput. Omdat het verschil in uitkomst tussen beide methode hier slechts één klasse bedraagt, wordt vastgehouden aan de uitkomst volgens methode 1: matig gevoelig (klasse 3).

RIVM-kaart	VI A	V A	III A	IV A	I B
ECODISTRICT	kalk-	CEC	Lutum	Org.st.	Dikte onverz.
L1	-loos	30	15	4	45
L2	-loos	20	15	3	35
P1	-loos	7	8	2	20
P2	-loos	7	8	2	20
P3	-loos	4	2	1	2.5
P4	-loos	3	2	0.75	2
P5	-loos	2	2	0.5	2
P6	-loos	1.5	1	0.5	2.5
P7	-loos/arm	2.5	3	0.5	4
P8	-loos	2	1	0.5	2.5
P9	-loos	1.5	1	0.5	2.5
P10	-loos	1.5	1	0.5	1.5
P11	-loos	1.5	1	0.5	1.5
P12	-loos	3	0.3	2	1.2
P13	-loos	2	0.5	0.6	2.5
P14	-loos	1.5	1	1	2.5
D1	-houdend	1	2	0.1	4
D2	-arm	1	2	0.1	4
H1	-arm/rijk	1	1	0.2	1.2
H2	-arm/rijk	4	5	0.5	2.0
H3	-rijk	4	5	0.25	2.5
H4	-arm	4	7	0.75	1.5
H5	-loos	3	1	2	1.2
H6	-houdend	4	5	0.75	1.5
H7	-rijk	7	5	0.5	2.0
H8	-rijk	3	4	0.5	1.2

TABEL 2.6: Geschatte kwantitatieve waarden per ecodistrict (naar Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987): kalkgehalte: zie tekst; CEC in Mmol/ha; lutum en organische stof in kton/ha; dikte van de niet met water verzadigde laag in m. Met uitzondering van de kalkgehalten hebben de cijfers betrekking op de gehele niet met water verzadigde laag.

Vervolgens vinden we een afwijking bij P12: het hoogveen(ontginnings)-landschap. Dit wordt bij de kwantitatieve methode als weinig gevoelig geclassificeerd, vanwege de hoge CEC die voortvloeit uit het hoge organische stofgehalte. De CEC is echter slechts een aanduiding van de potentiële leverantie van bufferende basen; de base-verzadiging geeft de actuele toestand weer, namelijk dat gedeelte van de CEC dat werkelijk met basen bezet is. De base-verzadiging in hoogveen nu is zeer gering omdat aanwezige basen alleen vanuit de neerslag afkomstig kunnen zijn. Hoogveen is immers geïsoleerd van de minerale ondergrond. De neerslag levert echter voornamelijk  $H^+$  en  $NH_4^+$  en weinig basen, zodat de base-verzadiging uiterst gering is; er is dus ook geen effectieve buffer aanwezig.

## ECODISTRICT

	kalk	CEC	Lutum	Org.st.	Snelle buffer totaal	Klasse
L1	-	0.7	0.3	0.1	0.7	2
L2	-	0.6	0.4	0.1	0.6	2
P1	-	0.4	0.4	0.1	0.4	1
P2	-	0.4	0.4	0.1	0.4	1
P3	-	1.6	0.8	0.4	1.6	3
P4	-	1.5	1.0	0.4	1.5	3
P5	-	1.0	1.0	0.3	1.0	3
P6	-	0.6	0.4	0.2	0.6	2
P7	-	0.6	0.8	0.1	0.6	2
P8	-	0.8	0.4	0.2	0.8	2
P9	-	0.6	0.4	0.2	0.6	2
P10	-	1.0	0.7	0.3	1.0	3
P11	-	1.0	0.7	0.3	1.0	3
P12	-	2.5	0.3	1.7	2.5	4
P13	-	0.8	0.2	0.2	0.8	2
P14	-	0.6	0.4	0.4	0.6	2
D1	0.9	0.3	0.5	0.0	0.9	2
D2	-	0.3	0.5	0.0	0.3	1
H1	0.6	0.8	0.8	0.2	1.4	3
H2	0.6	2.0	2.5	0.3	2.6	4
H3	3.0	1.6	2.0	0.1	4.6	4
H4	-	2.7	4.5	0.5	2.7	4
H5	-	2.5	0.8	1.7	2.5	4
H6	0.6	2.7	3.3	0.5	3.3	4
H7	3.0	3.5	2.5	0.3	6.5	4
H8	3.0	2.5	3.3	0.4	5.5	4

TABEL 2.7: Omgerekende gemiddelde waarden voor de bovenste meter ( /ha.m) per ecodistrict en klasse-indeling (kalk zie tekst; CEC in Mmol/ ha.m; lutum en organische stof in kton/ ha.m). Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig.

Hoogveen is van nature reeds tamelijk zuur (pH 3.5 - 5) door zuren die vooral door Sphagnum-soorten worden geproduceerd. Er is echter meestal een ondergrens aan de pH die hierdoor bereikt kan worden. Deze hangt samen met de sterkte van de geproduceerde zuren. Antropogene zuren kunnen daarbovenop echter nog schade veroorzaken, omdat het hier zeer sterke zuren betreft. Veel hoogveenontginningsgronden zijn bovendien feitelijk zandgronden met een hoog gehalte organische stof (bolsterlaag); hiervoor geldt wat ook voor de overige zandgronden geldt, namelijk dat ze in eerste instantie zeker gevoelig zijn. Hier wordt daarom vastgehouden aan de uitkomst van methode 1: matig gevoelig (klasse 3).

## ECODISTRICT

	Methode 1	Methode 2	Eindoordeel
L1	4	2	4
L2	3	2	3
P1	1	1	1
P2	1	1	1
P3	3	3	3
P4	3	3	3
P5	3	3	3
P6	2	2	2
P7	2	2	2
P8	2	2	2
P9	2	2	2
P10	3	3	3
P11	3	3	3
P12	3	4	3
P13	3	2	3
P14	3	2	3
D1	2	2	2
D2	1	1	1
H1	3	3	3
H2	4	4	4
H3	4	4	4
H4	4	4	4
H5	4	4	4
H6	4	4	4
H7	4	4	4
H8	4	4	4
W1	4		4
W2	4		4
W3	4		4
W4	4		4
W5	4		4
W6	4		4
Z1	4		4
Z2	4		4
Z3	4		4
Z4	4		4
Z5	4		4

TABEL 2.8: Vergelijking van de resultaten volgens methode 1 en 2 en eindoordeel betreffende de gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

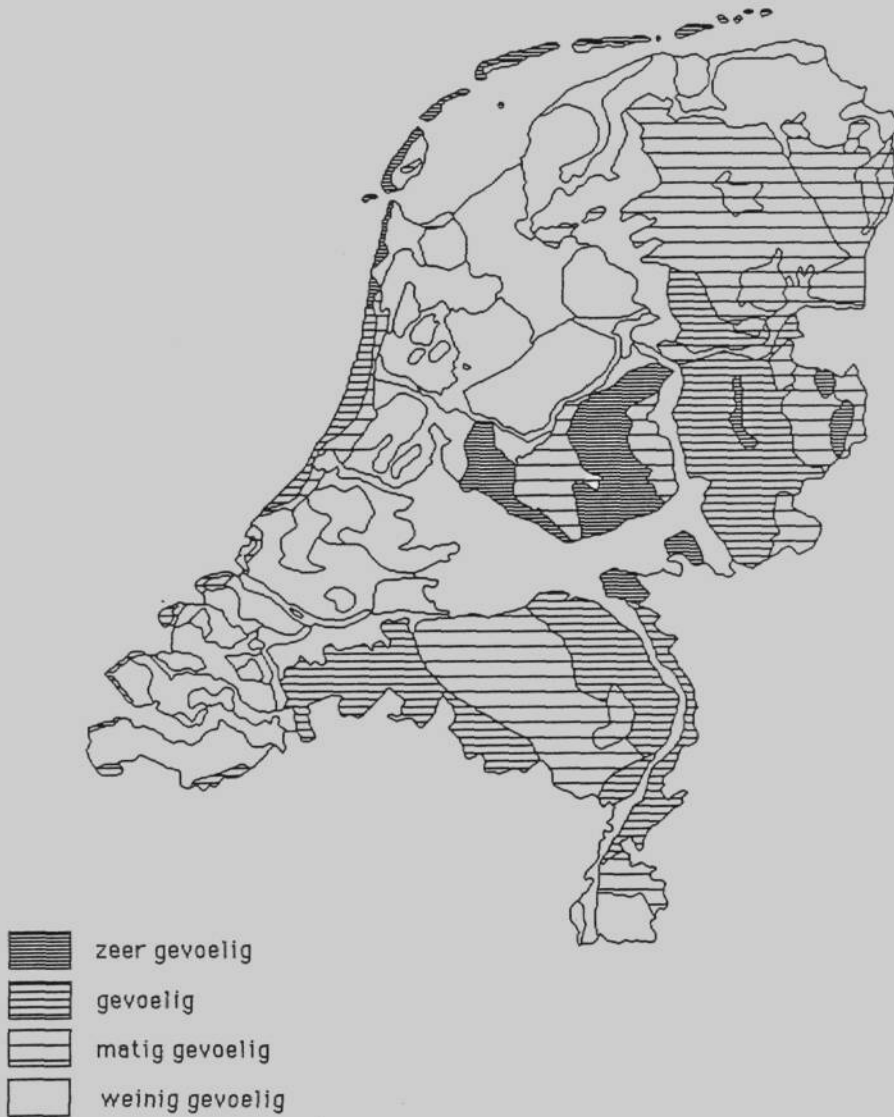
Tenslotte zijn er nog afwijkingen van één klasse bij P13 en P14. Deze zijn te verklaren vanuit verschillende schattingen ten aanzien van de rol van organische stof, de grondwaterstand en de aanvoer van grond- en oppervlaktewater naar de beekdalen (P13) en het Midden-Brabants bekengebied (P14). De hoge gehalten organische stof en de hoge grondwaterstanden veroorzaken hier een uiterst effectieve denitrificatie, terwijl tevens kationenrijk water opwelt of vanuit de omgeving het gebied binnenstroomt. Vermoedelijk is hierdoor de base-verzadiging in deze ecodistricten gemiddeld iets hoger dan in de hoger gelegen zandgebieden (inspoeling in plaats van uitloging).

Dit alles in aanmerking nemend wordt ook hier weer de voorkeur gegeven aan de uitkomst volgens methode 1 (klasse 3), hoewel de interne variatie binnen de eenheden in dit geval relatief groot is. Hier is echt sprake van een twijfelgeval. Vergelijking met de kaart van verzuringsgevoelige bodems volgens Stiboka (Loman et al., 1984) ondersteunt deze keuze echter: zowel in P13 als P14 liggen verhoudingsgewijs meer bekeerdgronden, gooreerdgronden en andere bodemtypen die rijk zijn aan organische stof.

Het bovenstaande leidt tot een eindoordeel overeenkomstig de uitkomsten volgens methode 1. In FIGUUR 2.9 is de resulterende gevoeligheidskaart gegeven.

### Verzuring

gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring  
van bodem en ondiep grondwater



FIGUUR 2.9: Gevoeligheid voor verzuring van bodem en ondiep grondwater.

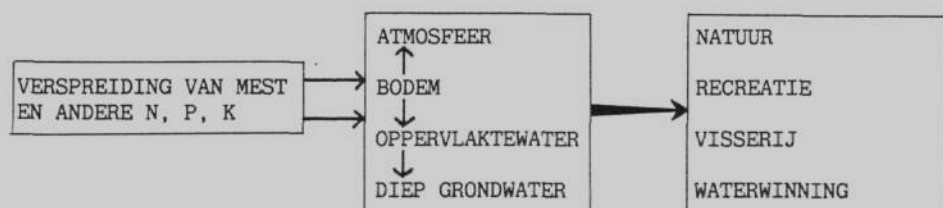
### 3 VERMESTING

#### 3.1 Inleiding

Vermesting kan zich manifesteren als één van de volgende processen:

- doorslag van vermestende stoffen naar het grondwater in zulke hoeveelheden dat dit onbruikbaar wordt voor de drinkwaterbereiding of andere functies van grondwater;
- eutrofiëring (voedselverrijking) van water of bodem, leidend tot algenbloei in wateren of veranderingen in de vegetatie op het land, zoals vergrassing van heiden, verruiging van de vegetatie in voorheen voedselarme milieus, e.d.

Deze beide groepen van processen gelijken op de processen bij verontreinigingen met toxische stoffen. Het verschil zit voornamelijk in het feit dat vermestende stoffen (stikstof: N, fosfaat: P, en kalium: K) ook van nature in vrij grote hoeveelheden in het milieu voorkomen. Slechts vanwege de sterk toegenomen gehalten van deze stoffen wordt vermesting als ernstig milieuprobleem ervaren.



FIGUUR 3.1: Vermesting voorgesteld als procesketen met de beïnvloede landgebruiksvormen.

Doorslag van N, P of K naar het grondwater treedt op als de vegetatie of het gewas niet meer in staat is de toegevoerde dosis volledig op te nemen en de bovengrond verzadigd is met deze stoffen. De processen verschillen sterk per stof (zie hoofdstuk 4 van DEEL A), zodat een stofgerichte benadering hier, net als bij de toxische stoffen, noodzakelijk is. Hier zal voor twee stoffen (N en P) de gevoeligheid worden bepaald, gericht op dat proces dat vermoedelijk het meest als probleem wordt ervaren.

Stikstof en kalium zijn beide zeer mobiele stoffen die moeilijk uit water te verwijderen zijn. Deze leiden (op termijn) tot problemen met de drinkwatervoorziening (overschrijding drinkwaternormen), de landbouwwatervoorziening (hoge K-gehalten zijn beperkend voor de veeteelt: ziekteverwekkend) of een afname van de natuurwaarde van grondwaterafhankelijke gebieden (eutrofiëring). Voor nitraat zal de kans op uitspoeling naar het diepe grondwater worden geëvalueerd.

Fosfaat is een stof die gewoonlijk alleen in oppervlaktewater en de verzadigde (anaerobe) grondwaterzone mobiel is. In de onverzadigde zone van bodems vindt sterke fixatie plaats, zij het dat hieraan een abrupt einde komt bij overschrijding van de opnamecapaciteit. Dan treedt 'doorslag' op. Fosfaatdoorslag van bodems is vooral een probleem voor door grondwater gevoede natuurgebieden en oppervlaktewateren, die hierdoor sterk ge-eutrofeerd raken. Dit leidt tot een afname van natuurwaarden, schade aan de visserij en een dalende recreatieve waarde. Voor fosfaat zal een bepaling van de kans op doorslag naar het grondwater gecombineerd worden met de intrinsieke gevoeligheid voor eutrofiëring van oppervlaktewater.

### 3.2 Gevoeligheid voor uitspoeling van nitraat naar het grondwater.

Uitspoeling van stikstof naar het grondwater vindt voornamelijk plaats in de vorm van  $\text{NO}_3^-$  en in mindere mate van  $\text{NH}_4^+$ . Binding van stikstof treedt eigenlijk alleen op door opname in de vegetatie. Het organisch afval hiervan kan stikstof nog lange tijd vasthouden. Retentie van stikstof in bodems treedt dan ook vooral op door accumulatie van organisch materiaal: humus en veen. Afbraak hiervan leidt weer tot het vrijkomen van N in de vorm van  $\text{NH}_4^+$ , hetgeen weer kan worden omgezet in  $\text{NO}_3^-$  (nitrificatie). Slechts een zeer klein gedeelte van de stikstofverbindingen is anorganisch gebonden: geadsorbeerd aan klei of organische stof.

Accumulatie van organische stof treedt op als de aanmaak overheerst over de afbraak. Dit gebeurt onder voortdurend natte (reductief milieu) of extreem droge omstandigheden. Zo bevorderen ook extreem zure of juist zeer kalkrijke omstandigheden de accumulatie. Tenslotte heeft de temperatuur invloed op de snelheid van afbraakprocessen.

De hier gerefereerde processen zijn ten opzichte van de invloeden van menselijk landgebruik (gewassen, teeltmethode) en in het licht van de grote stikstofbelasting vanuit de lucht nauwelijks van invloed op verschillen tussen gebieden. Met de subtiele evenwichten tussen aanmaak en afbraak van organische stof zal hier dan ook verder geen rekening worden gehouden.

Mede gezien de grote mobiliteit van  $\text{NO}_3^-$  is het grondwaterregime doorslaggevend voor de kans op verontreiniging van het grondwater. Enerzijds bepaalt de verticale grondwaterstroming (inzijging respectievelijk kwel) de kans op verontreiniging van grondwatervorraden, anderzijds is de grondwaterstand van groot belang voor het proces van denitrificatie: de belangrijkste 'put' voor  $\text{NO}_3^-$ .

Denitrificatie kan de hoeveelheid uitspoelbare nitraat aanzienlijk verkleinen. Dit proces behelst de omzetting van nitraat in gedeeltelijk onschadelijke stikstofverbindingen ( $\text{N}_2$ , en in mindere mate  $\text{NO}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$ ), die vervluchtigen naar de lucht. Denitrificatie treedt op onder invloed van bacteriën onder anaerobe omstandigheden. Deze treden op bij hoge grondwaterstanden in aanwezigheid van reducerende stoffen; organische stof is hiervan de belangrijkste. Het optreden van anaerobie wordt tevens beïnvloed door de korrelgrootte van de bodemdeeltjes (textuur), omdat de doorlaatbaarheid voor vloeistoffen en gassen (water en lucht) daar

gedeeltelijk van afhankelijk is. Een slechtere doorlatendheid leidt dan ook tot een sterkere denitrificatie.

De methode ter bepaling van de gevoeligheid voor uitspoeling van nitraat berust derhalve op enerzijds de mate waarin nitraat via het grondwater verspreid kan worden en anderzijds de omvang van het denitrificatieproces voorafgaand aan deze verspreiding.

In TABEL 3.2 zijn deze processen in verband gebracht met de relevante parameters en de bepalende ecosysteemcomponenten.

PROCES	RELEVANTE PARAMETERS	BEPALENDE COMPONENT
Uitspoeling	stromingsrichting	Grondwater
Denitrificatie	textuur	Gesteente
	grondwaterstand	Bodem (grondwater)
	organische stofgehalte	Bodem

TABEL 3.2: Overzicht van de belangrijkste parameters die bepalend zijn voor de kans op uitspoeling van nitraat naar het diepe grondwater.

Uitgaande van deze processen zal onder methode 1 weer een schatting van de relatieve bijdrage van de verschillende parameters worden gedaan per ecodistrict, teneinde zo tot een beoordeling van de gevoeligheid voor uitspoeling van nitraat te komen. Deze methode is dus weer gebaseerd op de basisgegevens zoals verwoord in de beschrijvingen van de ecodistricten.

Daarnaast zal onder methode 2 naar van Stiboka (1987) op andere wijze een gevoeligheidsbepaling per ecodistrict worden uitgevoerd. Deze is gebaseerd op een schatting van denitrificatiefracties per eenheid van de bodemkaart 1: 1.000.000 (zie verder bij methode 2).

### 3.2.1 Methode 1

Deze methode is overeenkomstig die bij verzuring. Dat wil zeggen:

- schatting van de relatieve bijdrage van relevante parameters aan de voorkoming van nitraatuitspoeling;
- optelling van alle relatieve bijdragen;
- conversie van de uitkomsten tot een klasse-indeling in vier klassen.

Hieronder staan weer de componenten (uit de legenda bij de ecodistrictenkaart; BIJLAGE 3) met de relevante parameters en de geschatte relatieve bijdragen.

(De wateren blijven buiten beschouwing, omdat daar weinig inzijing van grondwater plaats vindt en bovendien de aanmaak van biomassa de afbraak overtreft. De water-ecodistricten krijgen met betrekking tot de uitspoeling van nitraat naar het grondwater alle klasse 4: weinig gevoelig.)

## GEOHYDROLOGIE

relevante parameters: stromingsrichting

Klasse	Relatieve bijdrage
inzijging	0
inzijging/ doorstroom	1
doorstroom	2
isolatie, doorstroom/ kwel	4
kwel	5

## GESTEENTE

relevante parameters: textuur

Klasse	Relatieve bijdrage
klei, veen	2
overige	1

## BODEM 1

relevante parameters: grondwaterstand

Klasse	Relatieve bijdrage
zeer diep	0
diep	2
ondiep	4

## BODEM 2

relevante parameters: organische stofgehalte

Klasse	Relatieve bijdrage
humusarm	0
humeus, geen toevoeging	1
moerig, weinig, veen	5

Optellen van de relatieve bijdragen leidt tot de kolom 'Totaal', op grond waarvan weer een klasse-indeling wordt gegeven:

Uitkomst 'Totaal' > 8	Weinig gevoelig (4)
Uitkomst 'Totaal' 6 - 8	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Totaal' 4 - 5	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Totaal' < 4	Zeer gevoelig (1)

Voor de onderscheiden ecodistricten is de conversietabel 'Gevoeligheid voor doorslag van nitraat naar het diepe grondwater weergegeven in TABEL 3.3.

### 3.2.2 Methode 2

Bij methode 2 wordt uitgegaan van een beoordeling door Stiboka (1987), die geconverteerd wordt naar de ecodistricten-indeling. Van de hierboven gerefereerde processen (uitspoeling en denitrificatie) is door Stiboka alleen de denitrificatie (semi-)kwantitatief beoordeeld.

De kans op nitraatuitspoeling is door Stiboka (1987) bepaald ten behoeve van een 'globaal vermistingsmodel' (RIVM, in prep.). Hiertoe zijn bekende gegevens betreffende de correlatie tussen denitrificatie enerzijds en grondsoort en grondwaterstand anderzijds omgerekend in een zogenaamde denitrificatiefractie voor alle eenheden van de bodemkaart 1: 1.000.000. Aan de grondwaterbewegingen (geohydrologie) wordt in die benadering geen aandacht besteed, omdat alleen de gegevens van de bodemkaart ter beschikking stonden.

De denitrificatiefractie is gedefinieerd als dat gedeelte van de totale nitraatbelasting dat door denitrificatie uit het systeem verdwijnt. Deze fractie kent dan ook waarden tussen 0 en 1.

De 'DENIFFR' is als volgt bepaald:

$$\text{'DENIFFR'} = \text{GRONDWATERfactor} \times \text{BODEMTYPEfactor}$$

De grondwater-factoren varieerden daarbij van 0,0 voor GT (grondwater-trap) VII\* (zeer diep) tot 1,0 voor GT II (ondiep) (zie Stiboka, 1987). Deze fracties zijn gebaseerd op eerder onderzoek van Steenvoorden (1983). Als bodemtypefactoren werd gerekend met veengrond: kleigrond: zandgrond = 1,8: 1,3 : 1,0.

## ECODISTRICT

	Geohydrologie	Gesteente	Bodem 1	Bodem 2	Totaal	Klasse
L1	1	1	0	1	3	1
L2	1	1	0	1	3	1
P1	0	1	0	1	2	1
P2	0	1	0	1	2	1
P3	0	1	2	1	4	2
P4	0	1	2	1	4	2
P5	1	1	2	1	5	2
P6	0	1	2	1	4	2
P7	1	1	0	1	3	1
P8	1	1	2	1	5	2
P9	1	1	2	1	5	2
P10	2	1	2	3	8	3
P11	2	1	4	1	8	3
P12	1	2	2	5	10	4
P13	4	1	4	5	14	4
P14	2	1	2	1	6	3
D1	0	1	2	0	2	1
D2	0	1	2	0	2	1
H1	4	1	4	3	12	4
H2	4	2	2	3	11	4
H3	4	2	2	1	9	4
H4	4	2	4	3	13	4
H5	4	2	4	5	13	4
H6	5	2	2	1	10	4
H7	5	2	2	1	10	4
H8	5	2	4	1	13	4
W1	>8					4
W2	>8					4
W3	>8					4
W4	>8					4
W5	>8					4
W6	>8					4
Z1	>8					4
Z2	>8					4
Z3	>8					4
Z4	>8					4
Z5	>8					4

TABEL 3.3: Conversietabel ter bepaling van de gevoeligheid voor uitspoelen van nitraat naar het diepe grondwater (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

Aangezien de ecodistrictenkaart mede is gebaseerd op de bodemkaarten 1: 1.000.000 en 1: 250.000 was het vrij gemakkelijk de denitrificatiefracties ook per ecodistrict te bepalen. Waar verschillende bodemlegende-eenheden met verschillende waarden binnen een ecodistrict voorkwamen, is een gewogen gemiddelde bepaald. De uitkomsten van deze omzetting zijn weergegeven in TABEL 3.4. Tevens zijn in deze TABEL meteen weer 4 gevoeligheidsklassen weergegeven volgens de volgende conversie:

'DENIFFR' 0,0 - 0,25	Zeer gevoelig (1)
'DENIFFR' 0,25 - 0,50	Gevoelig (2)
'DENIFFR' 0,50 - 0,75	Matig gevoelig (3)
'DENIFFR' 0,75 - 1,0	Weinig gevoelig (4)

## ECODISTRICT

	Denitrificatiefractie	Klasse
L1	0,0	1
L2	0,0	1
P1	0,1	1
P2	0,2	1
P3	0,6	3
P4	0,6	3
P5	0,6	3
P6	0,6	3
P7	0,2	1
P8	0,5	2
P9	0,6	3
P10	0,7	3
P11	0,7	3
P12	1,0	4
P13	0,8	4
P14	0,6	3
D1	0,0	1
D2	0,0	1
H1	0,8	4
H2	0,7	3
H3	0,8	4
H4	0,9	4
H5	1,0	4
H6	0,8	4
H7	0,8	4
H8	0,8	4

TABEL 3.4: Gemiddelde denitrificatiefracties per ecodistrict (naar Stiboka, 1987) en klasse-indeling naar gevoeligheid voor nitraatuitspoeling naar het grondwater (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig)

### 3.2.3 Vergelijking van de resultaten volgens beide methoden en eindoordeel.

Vergelijking van de uitkomsten van beide methoden (TABEL 3.5) laat zien dat geen afwijkingen groter dan één klasse bestaan. Meestal is daarbij duidelijk sprake van twijfelgevallen. Er moet echter worden opgemerkt dat methode 1 al enigszins is aangepast naar aanleiding van de resultaten van methode 2.

Ten aanzien van methode 2 kan worden opgemerkt dat de bepaling van een denitrificatiefactor als product van een grondwaterfactor en een grondsoortfactor een zuiverder procedure is, dan die gevolgd bij methode 1, waar van een som sprake is. Denitrificatie treedt namelijk alleen op als aan beide voorwaarden voldaan wordt: ze kunnen dus eigenlijk niet onafhankelijk van elkaar beschouwd worden. Door een aangepaste keuze van het relatieve belang van de relevante parameters en doordat de organische stofgehalten in de praktijk sterk gecorreleerd zijn met de grondwaterstanden, zijn de uitkomsten volgens methode 1 toch bruikbaar.

Afwijkende uitkomsten vinden we onder andere bij de ecodistricten P3, P4, P5, P6 en P9. Dit betreft alle gebieden met een gemiddelde denitrificatiefactor 0,6; deze komen daardoor in klasse 3 (matig gevoelig) volgens methode 2. Dit is dus net boven de grens tussen klasse 2 en 3, die 0,5 bedraagt. Omdat het hier echter alle zandgebieden betreft waarin inzijging van grondwater plaatsvindt naar de grondwatervoorraden in het Pleistocene zandpakket, wordt hier toch klasse 2 (gevoelig) toegekend. Dit is de uitkomst van methode 1, waarbij wel rekening gehouden is met de grondwaterstromingsrichting in tegenstelling tot bij methode 2.

Tenslotte is er nog verschil in de uitkomsten volgens beide methoden in ecodistrict H2. Dit is gedeeltelijk een gevolg van de grote variabiliteit in grondsoort en grondwaterstand in het riviereengebied, waardoor een (gewogen) gemiddelde denitrificatiefactor resulteert van 0,7 terwijl de feitelijke waarden tussen 0,0 en 1,0 liggen. Omdat dit gebied niet als belangrijk infiltratiegebied voor diep grondwater fungeert, wordt hier toch klasse 4 (weinig gevoelig) toegekend.

Voor de kaart (FIGUUR 3.6) is derhalve gewerkt met de uitkomsten volgens methode 1, waarbij het aspect denitrificatie echter wel aangepast is naar aanleiding van de uitkomsten volgens methode 2 (zie TABEL 3.5).

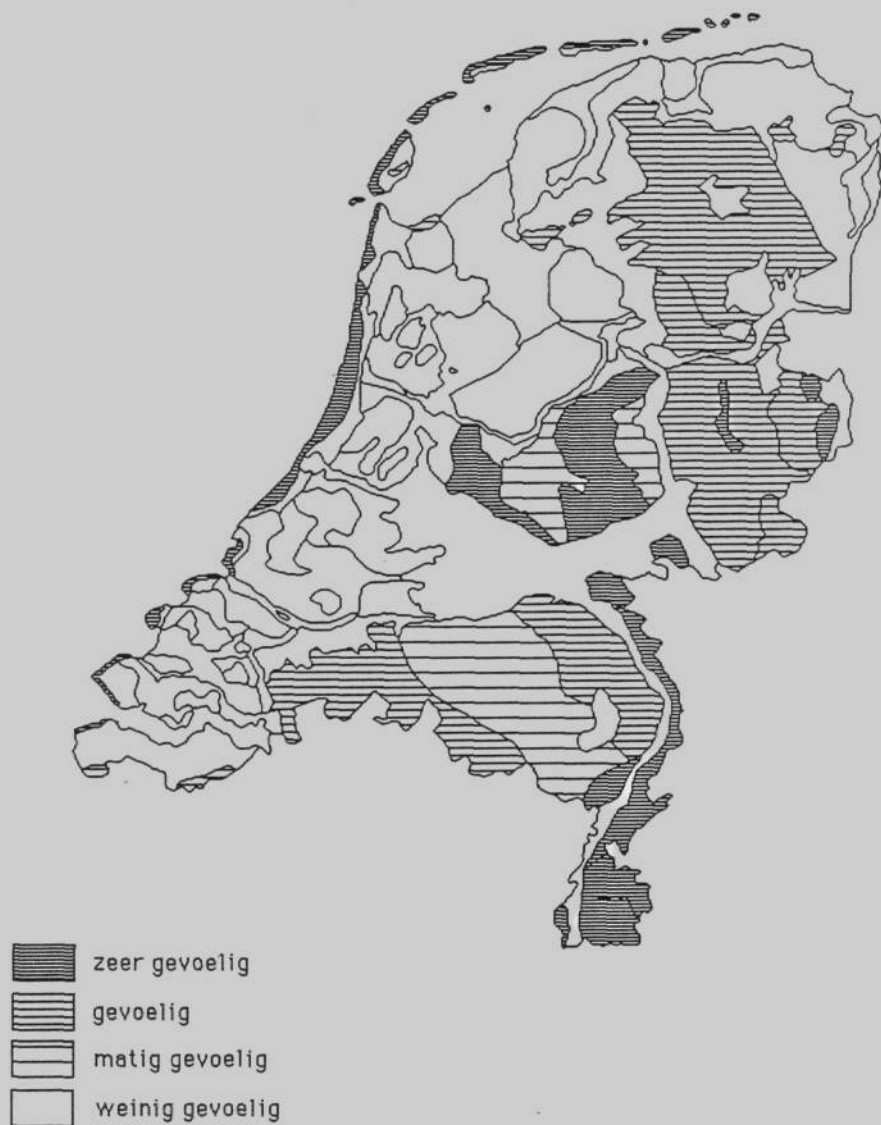
## ECODISTRICT

	Methode 1	Methode 2	Eindoordeel
L1	1	1	1
L2	1	1	1
P1	1	1	1
P2	1	1	1
P3	2	3	2
P4	2	3	2
P5	2	3	2
P6	2	3	2
P7	1	1	1
P8	2	2	2
P9	2	3	2
P10	3	3	3
P11	3	3	3
P12	4	4	4
P13	4	4	4
P14	3	3	3
D1	1	1	1
D2	1	1	1
H1	4	4	4
H2	4	3	4
H3	4	4	4
H4	4	4	4
H5	4	4	4
H6	4	4	4
H7	4	4	4
H8	4	4	4
W1	4		4
W2	4		4
W3	4		4
W4	4		4
W5	4		4
W6	4		4
Z1	4		4
Z2	4		4
Z3	4		4
Z4	4		4
Z5	4		4

TABEL 3.5: Gevoeligheid voor nitraatuitspoeling naar het (diepe) grondwater: vergelijking van de uitkomsten volgens methode 1 en 2 en eindoordeel (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

### Vermesting

gevoeligheid van de ecodistricten voor  
uitspoeling van nitraat naar het grondwater



FIGUUR 3.6: Gevoeligheid voor uitspoeling van nitraat naar het grondwater.

### 3.3 Gevoeligheid voor doorslag van fosfaat/ eutrofiëring van oppervlaktewateren

In tegenstelling tot stikstof wordt fosfaat in de bodem zeer sterk gebonden. Hierdoor is fosfaat vaak een beperkende factor voor de plantengroei, zelfs bij hoge gehalten in de bodem. Er is echter een maximum aan de opnamecapaciteit van de bodem. Als dit maximum wordt overschreden zal iedere gram fosfaat die wordt toegevoegd boven de hoeveelheid die door gewasonttrekking kan worden opgenomen, doorslaan: dat wil zeggen, rechtstreeks in het grondwater terecht komen. De bodem is dan ook als een soort emmer te beschouwen, waar zeer veel in verdwijnt, waar je (haast) niets meer uit kan halen (ononkeerbaar), maar die als hij vol is wel onherroepelijk overloopt.

Hoge fosfaatgehalten in grondwater zijn voor de waterwinning niet zo'n groot probleem, omdat fosfaat technisch vrij gemakkelijk kan worden verwijderd. Oppervlaktewateren die gevoed worden door fosfaatrijk grondwater (kwel) zullen echter gehalten beschikbaar fosfaat gaan vertonen die zeer snel 10 tot 100 maal de gewenste waarden gaan bereiken (natuurlijke waarden van 0,05 tot 0,1 mg P/ l (Breeuwsma & Schoumans, 1986), basis-kwaliteit oppervlaktewater 0,15 mg P/l). Dit leidt tot algenbloei. Fosfaat vormt dus vooral een probleem voor de oppervlaktewateren. Waar fosfaatverzadiging van bovengronden optreedt en deze tot verhoogde fosfaatgehalten in het grondwater leidt kan dit in laatste instantie ook weer beschouwd worden als een bedreiging voor de oppervlaktewaterkwaliteit. Ook grondwaterafhankelijke vegetaties worden hierdoor echter bedreigd.

De belasting met fosfaten door de landbouw is in grote delen van het land veel hoger dan de gewasonttrekking. Dit leidt tot het (over)vullen van de opnamecapaciteit. Overvulling treedt reeds op in vele zandgebieden (fosfaatverzadigde gronden).

Het fosfaatbindend vermogen van bodems is voornamelijk afhankelijk van de in TABEL 3.7 aangegeven parameters.

PROCES	RELEVANTE PARAMETER	BEPALENDE COMPONENT
Adsorptie/ fixatie	Fe- en Al-hydroxyden	Gesteente
	Kleigehalte (Fe- en Al)	Gesteente
	Kalkgehalte	Gesteente/ bodem
	Organo-ijzer en -aluminium verbindingen	Bodem
	Redoxpotentiaal	Bodem (grondwaterstand)

TABEL 3.7: Overzicht van de relevante processen met de bijbehorende parameters en componenten voor het fosfaatbindend vermogen van gronden.

Hoge fosfaatgehalten in het oppervlaktewater vormen vooral een probleem in wateren die zogenaamd P-gelimiteerd zijn. Dit zijn die wateren, waarin de overige voedingsstoffen in zo ruime mate aanwezig zijn, dat algenbloei slechts wordt voorkomen door de geringe beschikbaarheid van P. Zeer vele zoete wateren zijn vermoedelijk P-gelimiteerd. Vele van de zoute wateren zijn daarentegen waarschijnlijk N-gelimiteerd, hoewel in de diepere zoete en zoute wateren ook vaak licht een beperkende factor vormt voor het optreden van algenbloei.

In oppervlaktewateren zijn de in TABEL 3.8 genoemde eigenschappen en processen bepalend voor de gevoeligheid.

PROCES	RELEVANTE PARAMETER	BEPALENDE COMPONENT
Verduunning	zoutgehalte	Oppervlaktewater
	diepte	Relief
	stroming/ getij	Oppervlaktewater

TABEL 3.8: Overzicht van de relevante parameters in oppervlaktewateren in verband met de gevoeligheid voor het optreden van algenbloei.

Op grond hiervan kan weer de relatieve bijdrage van de relevante parameters per component worden geschat (methode 1). Voor de land-ecodistricten betreft dit de componenten gesteente en bodem (ingezonderd de grondwaterstand), omdat hier het fosfaatbindend vermogen van de bodem bepalend is voor de de P-problematiek; voor de water-ecodistricten gaat het om reliëf (morfologie) en oppervlaktewater. Het uiteindelijk gevoelige compartiment is steeds het oppervlaktewater, ook in de land-ecodistricten.

Een meer kwantitatieve gevoeligheidsbepaling, gebaseerd op materiaal van de 'Kwetsbaarheidskartering van het grondwater' (Van Duijvenbouden & Breeuwsma, 1987) kan voor fosfaat niet worden uitgevoerd, omdat van de meest cruciale variabele, namelijk de Al- en Fe-verbindingen, nog geen gekwantificeerd kaartmateriaal beschikbaar is. Hieraan wordt momenteel gewerkt door Stiboka (Schoumans, mond.med.; in prep.). Wel zijn de uitkomsten van een eerdere gevoeligheidsbepaling voor doorslag van fosfaat door Stiboka (1987) geconverteerd naar de ecodistrictenkaart (methode 2).

### 3.3.1 Methode 1

Hieronder wordt per relevante parameter voor de land-ecodistricten (ecoregio's L, P, D en H) een schatting van de relatieve bijdrage aan het fosfaatbindend vermogen gegeven. Voor de water-ecodistricten (ecoregio's W en Z) wordt de relatieve bijdrage geschat van die parameters die van

belang zijn voor het mogelijk optreden van algenbloei. De scores worden vervolgens weer per ecodistrict bij elkaar opgeteld waarna via een conversie een klasse-indeling wordt gegeven, die een aanduiding is van de gevoeligheid voor doorslag van fosfaat en (de daaruit voortvloeiende) eutrofiëring van oppervlaktewateren.

Voor de land-ecodistricten:

#### GESTEENTE

relevante parameters: Al- en Fe-hydroxyden primair kalkgehalte kleigehalte	
Klasse	Relatieve bijdrage
leemarm zand	0
duin- en strandzand	0
hoogveen	0
laagveen	1
lemig zand	2
zand met keileem	3
löss, leem, zavel	3
kalksteen	5
klei	>6

#### BODEM 1

relevante parameters: kalkgehalte	
Klasse	Relatieve bijdrage
kalkloos, geen toevoeging	0
kalkrijk	1

#### BODEM 2

relevante parameters: organische stofgehalte soort organische stof	
Klasse	Relatieve bijdrage
vaaggronden, eerdgronden, veengronden	0
podzolen	1

## BODEM 3

relevante parameters: grondwaterstand

Klasse	Relatieve bijdrage
ondiep	0
diep	1
zeer diep	2

Voor de water-ecodistricten:

## RELIEF (GEOMORFOLOGIE)

relevante parameters: diepte

Klasse	Relatieve bijdrage
overwegend ondieper dan 10 m	0
overwegend dieper dan 10 m	1

## OPPERVLAKTEWATER 1

relevante parameters: stroomsnelheid (verversing)

Klasse	Relatieve bijdrage
stagnant	0
stromend, getij	1

## OPPERVLAKTEWATER 2

relevante parameters: zoutgehalte (nutrientenhuishouding)

Klasse	Relatieve bijdrage
zoet	0
zout	1

In de kolom 'Totaal' staat weer de uitkomst van de optelsom van alle relatieve bijdragen per ecodistrict. De uitkomsten zijn vervolgens geconverteerd tot gevoeligheidsklassen:

Uitkomst 'totaal'	0 - 1 :	Zeer gevoelig (1)
Uitkomst 'totaal'	2 - 4 :	Gevoelig (2)
Uitkomst 'totaal'	5 - 6 :	Gedeeltelijk gevoelig (3)
Uitkomst 'totaal'	> 6 :	Weinig gevoelig (4)

De conversietabel is gegeven in TABEL 3.9.

## ECODISTRICT

	Gest	Bod1	Bod2	Bod3	Geom	Opp.w 1	Opp.w 2	Totaal	Klasse
L1	5	0	0	2				7	4
L2	3	0	0	2				5	3
P1	0	0	0	2				2	2
P2	0	0	1	2				3	2
P3	2	0	0	1				3	2
P4	3	0	1	1				5	3
P5	3	0	1	1				5	3
P6	0	0	0	1				1	1
P7	1	0	0	1				2	2
P8	1	0	0	1				2	2
P9	0	0	0	1				1	1
P10	1	0	0	0				1	1
P11	0	0	0	0				0	1
P12	0	0	0	1				1	1
P13	1	0	0	0				1	1
P14	1	0	0	1				2	2
D1	0	1	0	1				2	2
D2	0	0	0	1				1	1
H1	0	1	0	0				1	1
H2	>6							>6	4
H3	3	1	0	1				5	3
H4	>6							>6	4
H5	1	0	0	0				1	1
H6	>6							>6	4
H7	>6							>6	4
H8	>6							>6	4
W1					0	1	0	1	1
W2					0	0	0	0	1
W3					0	0	0	0	1
W4					0	0	0	0	1
W5					0	0	0	0	1
W6					0	0	0	0	1
Z1					0	1	1	2	2
Z2					0	0	1	1	1
Z3					0	1	1	2	2
Z4					1	1	1	3	2
Z5					0	1	1	2	2

TABEL 3.9: Conversietabel ter bepaling van de gevoeligheid voor doorslag van fosfaat en eutrofiëring van oppervlaktewateren (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

### 3.3.2 Methode 2

Methode 2 is, net als bij nitraat, gebaseerd op een conversie van schattingen betreffende het relatieve fosfaatbindend vermogen van de eenheden van de bodemkaart 1: 1.000.000 volgens Stiboka (1987) naar de ecodistricten. Deze methode betreft derhalve alleen de land-ecodistricten.

De kans op fosfaatdoorslag is, net zoals die op nitraatuitspoeling, door Stiboka (1987) beoordeeld ten behoeve van een 'globaal vermessingsmodel'. Inmiddels wordt aan een fijnere en meer kwantitatieve benadering van de fosfaatverzadiging gewerkt (Schoumans, mond.med.).

Voor de globale benadering (Stiboka, 1987) is uitgegaan van de eenheden van de bodemkaart van Nederland 1: 1.000.000. Voor alle eenheden van deze bodemkaart is een klasse voor het fosfaatbindend vermogen (FBV) tot aan de gemiddeld hoogste grondwaterstand bepaald. Daarbij is uitgegaan van een correlatief verband tussen bodemkaarteenheden en grondwaterstand.

De hoeveelheid oxalaat-extraheerbaar Al en Fe wordt als maatgevend beschouwd voor het fosfaatbindend vermogen per kg grond. Deze variabele is vervolgens geschat per legenda-eenheid van de bodemkaart op basis van bekende analysesresultaten. Vervolgens zijn deze cijfers omgerekend naar het volume grond boven de gemiddeld hoogste grondwaterstand, zodat een schatting (in klassen) van het FBV per legenda-eenheid kon resulteren. Er worden door Stiboka 7 klassen van FBV onderscheiden.

Aangezien de ecodistrictenkaart mede is gebaseerd op de bodemkaarten 1: 1.000.000 en 1: 250.000 was het mogelijk de gevoeligheidsbeoordeling van Stiboka te converteren naar de ecodistricten. Waar verschillende bodemlegenda-eenheden met verschillende gevoeligheidsklassen binnen een ecodistrict voorkwamen is een (visueel) gewogen gemiddelde bepaald. De uitkomsten van deze omzetting naar ecodistricten is weergegeven in TABEL 3.10. Waar per ecodistrict verschillende waarden voorkwamen is de variatie weergegeven, met de meest voorkomende waarde vooraan en andere veelvuldig voorkomende waarden tussen haakjes erachter. Bij een ongeveer gelijke verdeling zijn geen haakjes toegepast.

Vervolgens zijn de 7 klassen van fosfaatbindend vermogen volgens Stiboka omgezet in 4 gevoeligheidsklassen volgens de in dit rapport gebruikelijke indeling. De volgende conversie is daarbij gebruikt:

FBV-klasse	I, II	Zeer gevoelig (1)
FBV-klasse	III	Gevoelig (2)
FBV-klasse	IV	Matig gevoelig (3)
FBV-klasse	V t/m VII	Weinig gevoelig (4)

### 3.3.3 Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindoordeel

In TABEL 3.11 zijn de klasse-indelingen volgens beide methoden naast elkaar geplaatst. Hieruit blijken vrij grote verschillen tussen de beide classificaties, ondanks een toch fundamenteel vergelijkbare aanpak.

Allereerst moet daarbij bedacht worden dat de conversie van Stiboka's FBV-klassen naar gevoeligheidsklassen (methode 2) bemoeilijkt werd door

de grote spreiding in de FBV-klassen per ecodistrict. In de meeste gevallen is daardoor sprake van twijfelgevallen bij de uiteindelijk classificatie.

## ECODISTRICT

	Klassen FBV	Klasse
L1	V	4
L2	V	4
P1	IV (V)	3 (4)
P2	IV, V	3 (4)
P3	IV (III)	3 (2)
P4	IV	3
P5	IV	3
P6	IV (III, V)	3
P7	V	4
P8	IV (V, IV)	3
P9	IV (III)	3 (2)
P10	III, IV	2 (3)
P11	III, IV	2 (3)
P12	I, II	1
P13	III	2
P14	III (V, IV)	2 (3)
D1	IV	3
D2	IV	3
H1	II, III	1 (2)
H2	VII (III)	4 (2)
H3	V	4
H4	III	2
H5	II	1
H6	III	2
H7	V	4
H8	V	4

TABEL 3.10: Omzetting van de zeven (I t/m/ VII) klassen van fosfaatbindend vermogen (FBV) volgens Stiboka (1987) naar vier gevoeligheidsklassen (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

Ten tweede is Stiboka (methode 2) uitgegaan van een hoogste waarde van de gemiddeld hoogste grondwaterstand van 1 m, waardoor gebieden met zeer diepe grondwaterstanden als relatief gevoeliger zijn gekarakteriseerd dan gebieden met een zelfde bodem maar minder diepe grondwaterstand. In dit verband is het ook van belang dat Stiboka is uitgegaan van een volledige correlatie tussen grondwaterstand en bodemlegenda-eenheid, terwijl bij methode 1 beide variabelen (bodem en grondwaterstand) apart zijn beschouwd.

Hier staat tegenover dat Stiboka (methode 2) is uitgegaan van feitelijke analyseresultaten betreffende de oxalaat-extraheerbare Al- en Fe-verbindingen. Dat is een in principe betrouwbaarder methode dan die van methode 1 waarbij is uitgegaan van een verondersteld verband tussen Fe- en Al verbindingen en de componenten gesteente en bodem.

Geconstateerd kan nu worden dat beide methoden enkele beperkingen kennen. Om die reden zal hier het eindoordeel betreffende de gevoeligheid voor doorslag van fosfaat worden gebaseerd op de resultaten van beide methoden: waar sprake is van een verschil van één klassewaarde (gevoeligheidsklassen), wordt de laagste aangehouden; en daar waar het verschil twee klassewaarden bedraagt, wordt het gemiddelde genomen.

Voor de water-ecodistricten zijn alleen de resultaten volgens methode 1 beschikbaar.

Zo wordt een oordeel geveld, dat aan de veilige kant blijft (zie TABEL 3.11 en FIGUUR 3.12).

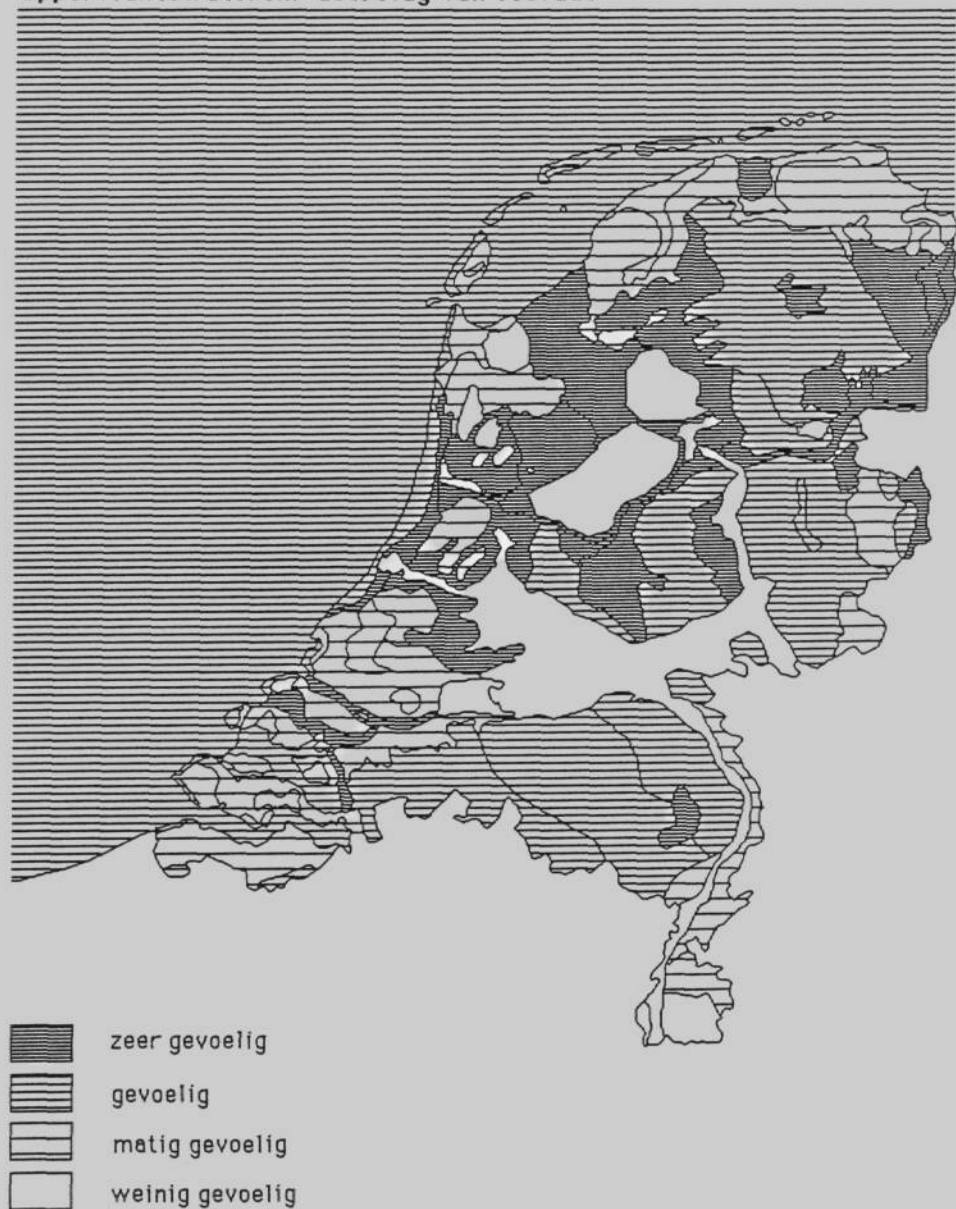
## ECODISTRICT

	Methode 1	Methode 2	Eindoordeel
L1	4	4	4
L2	3	4	3
P1	2	3	2
P2	2	3	2
P3	2	3	2
P4	3	3	3
P5	3	3	3
P6	1	3	2
P7	2	4	3
P8	2	3	2
P9	1	3	2
P10	1	2	1
P11	1	2	1
P12	1	1	1
P13	1	2	1
P14	2	2	2
D1	2	3	2
D2	1	3	2
H1	1	1	1
H2	4	4	4
H3	3	4	3
H4	4	2	3
H5	1	1	1
H6	4	2	3
H7	4	4	4
H8	4	4	4
W1	1		1
W2	1		1
W3	1		1
W4	1		1
W5	1		1
W6	1		1
Z1	2		2
Z2	1		1
Z3	2		2
Z4	2		2
Z5	2		2

TABEL 3.11: Vergelijking van de gevoeligheidsklassen voor doorslag van fosfaat/ eutrofiëring van oppervlaktewateren volgens methoden 1 en 2, en eindoordeel (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

Verresting

gevoeligheid van de ecodistricten voor fosfaat-eutrofiëring van oppervlaktewateren/ doorslag van fosfaat

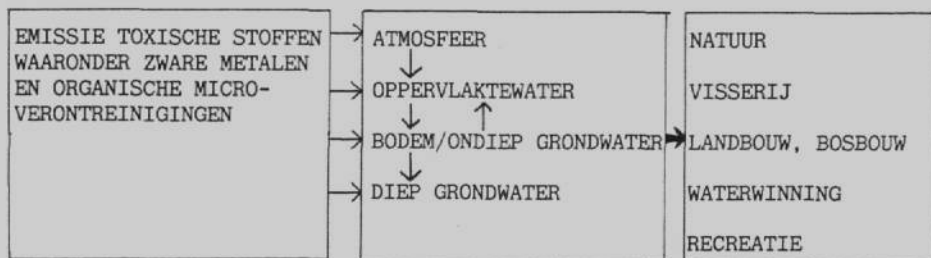


FIGUUR 3.12: Gevoeligheid voor doorslag van fosfaat/ eutrofiëring van oppervlaktewateren.

#### 4 VERONTREINIGING

##### 4.1 Inleiding

Onder verontreiniging wordt verstaan de aanwezigheid of toevoer van stoffen in het milieu die door hun eigenschappen tot vergiftiging van planten, dieren of mensen aanleiding kunnen geven.



FIGUUR 4.1: Verontreiniging voorgesteld als procesketen, met de beïnvloede landgebruiksvormen.

Bij toepassingen van de ecodistrictenkaart met betrekking tot het milieuthema Verontreiniging rijzen enkele problemen. Ten eerste kunnen verontreinigingen verspreid worden via, respectievelijk optreden in lucht, oppervlaktewater of grondwater en bodem of waterbodem. Ten tweede zijn er vele soorten verontreinigingen. Deze moeten uit praktische overwegingen in enkele hoofdgroepen verdeeld worden. In hoofdstuk 4 van DEEL A zijn deze groepen genoemd. Daarbij is toen reeds de beperking ingevoerd tot de groepen metalen en metalloïden enerzijds en organische microverontreinigingen anderzijds.

In deze gevoeligheidsbepaling zal slechts aandacht worden besteed aan de in het TABEL 4.2 met een paragraafnummer aangegeven combinaties van stof(fengroep) en compartiment(en). Vermestende stoffen zijn reeds bij het thema vermessing aan de orde geweest (DEEL B, hoofdstuk 3).

	METALEN & METALLOÏDEN	ORGANISCHE MICROVERONTREINIGINGEN	OVERIGE STOFFEN
LUCHT	-	-	-
(WATER)BODEM	7.2.1	7.2.2	-
GRONDWATER	7.2.1	7.2.2	-

TABEL 4.2: Overzicht van de te behandelen verontreinigingstypen met paragraafnummer.

Na deze inperkingen stuiten we op een tweede soort problemen. Deze hangen samen met de vraag, wat nu precies gevoeligheid is in relatie tot het milieuthema verontreiniging. Bij de geselecteerde groepen stoffen is steeds sprake van toxische stoffen. Daarvan is iedere concentratie hoger dan de natuurlijke achtergrondconcentratie ongewenst. Het is voor het milieubeleid in feite niet van belang hoe de stoffen in organismen komen, maar alleen nog of ze er in kunnen komen. In dit verband zijn de volgende aspecten van belang: persistentie, wijze van eventuele afbraak/immobilisatie, wijze van accumulatie, respectievelijk biomagnificatie. Slechts aspecten met betrekking tot het gedrag in het milieu, die voor de gevoeligheidsbepaling relevant zijn, zullen hier kort worden aangestipt.

Van belang is allereerst het verschil tussen organische microverontreinigingen en zware metalen, waar het de afbreekbaarheid betreft. Zware metalen zijn in het geheel niet afbreekbaar, zodat daarvoor alleen het proces van verdunning een rol speelt. Verwijdering van zware metalen uit het milieu van de mens treedt slechts op via zeer langzame geologische processen (opname in sediment, diagenese, geochemische cyclus). Organische microverontreinigingen zijn in principe wel afbreekbaar, zij het dat sommige slechts zeer langzaam worden afgebroken. Bovendien moeten de omstandigheden gunstig zijn voor afbraak.

Los van de mogelijkheid tot afbraak staat de kans op opname in voedselketens. Hiervoor zijn drie mogelijke wegen van belang: via een herbivoren-keten (planteneters), via een carnivorenketen met grondetende organismen aan de basis, en tenslotte via het grondwater (drinkwater).

De herbivorenketen begint bij planten die door grazende dieren, zoals runderen, schapen e.d. worden opgegeten. Voor de opname van gifstoffen in planten is de bovenlaag van de bodem, de doorwortelde zone, van belang. Indien zich daarin verontreinigingen bevinden is de kans aanwezig dat deze door planten worden opgenomen. Dit kan alleen als de gifstoffen concurreren met 'gewone voedingsstoffen' of hier enigszins op lijken in hun gedrag. Hierover is nog weinig bekend. Van belang is in ieder geval het chemisch evenwicht tussen het bodemvocht en de vaste bodembestanddelen, omdat slechts het bodemvocht door de planten wordt opgenomen. Met andere woorden: de vrije ionen zijn van belang.

De carnivorenketen begint bij grondetende organismen, zoals wormen en andere bodemfauna. Hier vindt opname plaats via de vertering van verontreinigde, maar verteerbare gronddeeltjes. Dit is overwegend de organische fractie. Ook van de anorganische fractie kunnen echter verontreinigingen in de grondeters terecht komen. Via de voedselketen worden vervolgens hogere organismen en de mens in gevaar gebracht. Overigens krijgen ook grazers, vooral koeien, vrij grote hoeveelheden grond binnen.

Verontreiniging van het grondwater vindt plaats door uitspoeling vanuit de bovenste bodemlagen. Hiervoor is, zoals bij de herbivorenketen, het chemisch evenwicht tussen bodemvocht en vaste bodembestanddelen van belang.

---

Samengevat kan men stellen, dat de wegen waarlangs verontreinigingen bij dier of mens terecht kunnen komen, weliswaar zeer verschillend kunnen zijn, maar dat dat voor het eindeffect niet veel uitmaakt. In alle gevallen schuilt er een potentieel gevaar in verontreinigde bodems.

In zeer grove lijnen kan gesteld worden dat een sterke binding van toxische stoffen in de bovengrond een potentieel gevaar vormt voor verspreiding via de carnivorenketen, terwijl bij een slechte binding eerder doorslag naar het grondwatersysteem of verspreiding via een herbivorenketen zal kunnen plaatsvinden.

Het is hierdoor uiterst moeilijk om van 'gevoeligheid voor verontreiniging' te spreken. In dit verband zal in paragraaf 7.3.1 en 7.3.2 per stoffengroep de kans op accumulatie van verontreiniging in de bovengrond (gevoeligheid voor accumulatie) enerzijds en daaraan direct gekoppeld de kans op doorslag naar het grondwater (gevoeligheid voor uitspoeling) anderzijds worden beoordeeld.

#### 4.2 Organische microverontreinigingen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond en voor verontreiniging van het grondwater.

Vele organische verontreinigingen worden in het geheel niet gebonden in de bodem. Dit impliceert dat deze altijd verspreid kunnen worden. De belangrijkste beperkende factor is daarbij de oplosbaarheid in water, die voor organische verbindingen zeer variabel is.

Voor enkele groepen, zoals de PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen), de gehalogeneerde organische verbindingen (EOX) en minerale oliën wordt in de Discussienota Bodemkwaliteit (Ministerie VROM, 1986) voorgesteld deze op het organische stofgehalte te betrekken, omdat binding aan of complexvorming met organische stof nog wel veelvuldig optreedt. Dit verband met het organische stofgehalte wordt eveneens genoemd door de VTCB (1987). Rijkswaterstaat (1985) gaat er voor de organische verontreinigingen van uit dat ook enige adsorptie aan kleimineralen zou kunnen optreden. Hier zal echter de lijn van de VTCB worden gevolgd.

De gevoeligheidsbepaling geldt dus alleen voor die organische microverontreinigingen die door organische stof gebonden kunnen worden.

Voor de landsystemen kan nu als meest relevante bodemparameter voor de kans op accumulatie van organische microverontreinigingen het organische stofgehalte van de bodem worden genomen. Daarnaast is het van cruciaal belang in welke richting het grondwater beweegt.

Dit geldt in nog belangrijker mate voor de kans op uitspoeling naar het grondwater. In inzijgingsgebieden is verspreiding via grondwaterstromen wel een potentieel gevaar, maar waar sterke kwel optreedt zullen opgeloste verontreinigingen eveneens mee naar boven worden gevoerd. Dit kan dan leiden tot toenemende verontreiniging van bodem of oppervlaktewater, maar er kan niet van toenemende verontreiniging van grondwater worden gesproken: het grondwatersysteem wordt als het ware naar boven toe doorgespoeld.

---

Voor de kans op uitspoeling is bovendien de dikte van het onverzadigde pakket van belang, omdat daarin de sterkste binding van verontreinigingen kan plaatsvinden. Weliswaar treedt ook nog wel enige binding op onder de grondwaterspiegel, maar deze is van minder groot belang.

In de grote wateren is de situatie een andere. Inzichtigings- en kwelprocessen zijn daar ondergeschikt aan de kenmerken van het oppervlaktewater zelf. Hierdoor zal verspreiding naar het grondwater nauwelijks op kunnen treden. Bovendien zullen verontreinigende stoffen vaak aan meegevoerde slibdeeltjes (organisch en anorganisch) gebonden zijn/ worden, waarbij vrijwel altijd een toereikende hoeveelheid bindende stoffen aanwezig zal zijn. Hierdoor zal een verontreiniging niet snel het diepe grondwater kunnen bereiken, maar hetzij aan het zwevende slib gebonden in het oppervlaktewater blijven of door slibdepositie in de (water)bodem vastgelegd worden.

De hier genoemde factoren zijn in TABEL 4.3 gekoppeld aan de relevante parameters en de bepalende ecosysteemcomponenten.

DOMINANT PROCES	RELEVANTE PARAMETERS	BEPELENDE COMPONENT
Verspreiding/ concentratie	stromingsrichting	Grondwater
Binding	organische stof	Bodem
	dikte onverzadigde laag	Bodem (grondwaterstand)

TABEL 4.3: Overzicht van de belangrijke parameters die bepalend zijn voor de kans op accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond respectievelijk verspreiding naar het grondwater.

Er zijn voor deze gevoeligheidsbepaling dus twee componenten van groot belang voor de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (onderwaterbodem): het grondwater en het organische stofgehalte van de bodem. Voor de kans op verontreiniging van het grondwater komt daar nog de dikte van de onverzadigde laag bij (diepte van het grondwater).

Van de relevante parameters zal onder methode 1 weer de relatieve bijdrage worden geschat, waarna een eendoordeel betreffende de gevoeligheid zal volgen uit een conversie van totaalscores naar gevoeligheidsklassen.

Vervolgens zal onder methode 2 weer een semi-kwantitatieve benadering worden gevolgd, waarbij gebruik gemaakt wordt van de 'Kwetsbaarheidskartering van het grondwater' (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987).

Tenslotte worden de resultaten van beide methoden weer vergeleken en tot een eendoordeel samengesmeed.

#### 4.2.1 Methode 1

##### GEOHYDROLOGIE

relevante parameters: stromingsrichting verticaal stromingsrichting horizontaal	
Klasse	Relatieve bijdrage
inzigging	0
inzigging/ doorstroom	1
doorstroom	2
isolatie, doorstroom/ kwel	3
kwel	>9
oppervlaktewateren	>11

##### BODEM 1

relevante parameters: organische stofgehalte	
Klasse	Relatieve bijdrage
humusarm	0
geen toevoeging	1
humeus	2
moerig	4
venig	5
veen	6

##### BODEM 2

relevante parameters: diepte grondwater	
Klasse	Relatieve bijdrage
ondiep	0
ondiep- diep	1
diep	2
diep- zeer diep	3
zeer diep	4

Voor alle ecodistricten wordt vervolgens weer een scorelijst gemaakt (TABEL 4.4). In de kolom 'Subtotaal' staat de som van 'geohydrologie' en bodem 1', die samen van belang zijn voor de gevoeligheid voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond.

In de kolom 'Totaal' staat de som van alle drie relevante parameters: geohydrologie, bodem 1 en bodem 2. Dit is van belang voor de gevoeligheid voor uitspoeling naar het grondwater.

In de kolommen Klasse tenslotte staan de uiteindelijke gevoeligheidsklassen van het ecodistrict, volgens de volgende conversies:

Gevoeligheid voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond:

Uitkomst 'Subtotaal' > 8	Zeer gevoelig (1)
Uitkomst 'Subtotaal' 4 - 8	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Subtotaal' 1 - 3	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Subtotaal' 0	Weinig gevoelig (4)

Gevoeligheid voor uitspoeling van organische microverontreinigingen naar het grondwater:

Uitkomst 'Totaal' > 11	Weinig gevoelig (4)
Uitkomst 'Totaal' 7 - 11	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Totaal' 4 - 6	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Totaal' 0 - 3	Zeer gevoelig (1)

#### 4.2.2 Methode 2

De tweede methode om de gevoeligheid voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond, respectievelijk uitspoeling naar het grondwater te bepalen is, net als bij verzuring, gebaseerd op de kwantitatieve gegevens van de 'Kwetsbaarheidskartering van het grondwater' (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987).

De volgende kwantitatieve informatie is relevant met betrekking tot de geselecteerde organische microverontreinigingen:

- organische stof massa per ha.m. (binding in de bovengrond)
- organische stofmassa van de niet met water verzadigde laag (in verband met uitspoeling naar het grondwater)

Deze gegevens zijn reeds bij het thema verzuring voor alle ecodistricten berekend. De daar gemaakte kanttekeningen gelden hier eveneens, met name diegene die betrekking hebben op de ongewenstheid van het terugrekenen van een totale organische stofmassa van de niet met water verzadigde laag naar een organische stofmassa per meter dikte (zie hoofdstuk 2 van DEEL B).

In TABEL 4.5 zijn de relevante kwantitatieve gegevens per ecodistrict (alleen land-districten) nogmaals opgesomd, met daarachter meteen klasse-indelingen volgens de volgende conversies:

## ECODISTRICT

	Geohydrologie Bodem 1		Subtotaal	(1) Klasse	Bodem 2	Totaal	(2) Klasse
L1	1	1	2	3	4	6	2
L2	1	1	2	3	4	6	2
P1	0	1	1	3	4	5	2
P2	0	1	1	3	4	5	2
P3	0	2	2	3	1	3	1
P4	0	2	2	3	2	4	2
P5	1	2	3	3	1	4	2
P6	0	2	2	3	3	5	2
P7	1	1	2	3	3	5	2
P8	1	2	3	3	1	4	2
P9	2	2	4	2	1	5	2
P10	1	3	4	2	1	5	2
P11	2	2	4	2	1	5	2
P12	1	5	6	2	1	7	3
P13	3	4	7	2	1	8	3
P14	2	2	4	2	1	5	2
D1	0	0	0	4	3	3	1
D2	0	0	0	4	3	3	1
H1	3	3	6	2	1	7	3
H2	3	3	6	2	1	7	3
H3	3	1	4	2	2	6	2
H4	3	3	6	2	1	7	3
H5	3	6	9	1	0	9	3
H6	>9	1	>10	1	2	>12	4
H7	>9	1	>10	1	2	>12	4
H8	>9	2	>11	1	0	>11	4
W1	>11			1			4
W2	>11			1			4
W3	>11			1			4
W4	>11			1			4
W5	>11			1			4
W6	>11			1			4
Z1	>11			1			4
Z2	>11			1			4
Z3	>11			1			4
Z4	>11			1			4
Z5	>11			1			4

TABEL 4.4: Organische microverontreinigingen: conversietabel ter bepaling van (1) de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond en (2) de gevoeligheid voor uitspoeling naar het grondwater (Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig).

Gevoeligheid voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond:

Organische stofmassa/ ha.m.	0.0	Weinig gevoelig (4)
Organische stofmassa/ ha.m.	0.1 - 0.2	Matig gevoelig (3)
Organische stofmassa/ ha.m.	0.3 - 0.5	Gevoelig (2)
Organische stofmassa/ ha.m.	> 0.5	Zeër gevoelig (1)

Gevoeligheid voor uitspoeling van organische microverontreinigingen naar het grondwater:

Organische stofmassa	< 0.5	Zeër gevoelig (1)
Organische stofmassa	0.5 - 1.0	Gevoelig (2)
Organische stofmassa	1.0 - 3	Matig gevoelig (3)
Organische stofmassa	> 3	Weinig gevoelig (4)

(organische stofmassa steeds in kilotonnen)

4.2.3 Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindbeoordeling

Vergelijking van de uitkomsten van beide methoden (zie TABEL 4.6) laat nogal grote verschillen zien. Deze zijn deels te verklaren vanuit het feit dat bij methode 2 geen rekening wordt gehouden met de grondwaterbeweging. Deels zijn zij een gevolg van het terugrekenen van de organische stofmassa per ha.m. uit de organische stofmassa van de gehele niet met water verzadigde laag.

Verschillen in uitkomsten bij de bepaling van de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond zijn hoofdzakelijk te verklaren vanuit de dubieuze terugrekening van de organische stofmassa in de bovenste meter. Omdat hierdoor eerder te lage dan te hoge waarden zullen worden gevonden volgens methode 2, wordt hier als eindoordeel de veilige kant aangehouden. Dit lijkt in het licht van de uiterst ongewenste verontreinigingen een geoorloofde procedure. Steeds zal dus de laagste klasse van de beide methodes worden aangehouden voor de gevoeligheidskaart (FIGUUR 4.7). Zie voor de eindoordelen TABEL 4.6.

Het geen rekening houden met de grondwaterbeweging bij methode 2 is in het bijzonder voor de bepaling van de gevoeligheid voor verontreiniging van het grondwater een belangrijk gemis.

Hiermee is verklaard, waarom volgens de methode 2 de ecodistricten in ecoregio H overwegend gevoeliger worden geclassificeerd dan volgens methode 1: dit zijn overwegend geïsoleerde en kwelgebieden; de verontreinigingen kunnen hier weliswaar het grondwater soms bereiken, zoals aangegeven door methode 2, maar verdere verspreiding via het grondwater zal niet optreden.

## ECODISTRICT

	Org. stof/ ha.m.	(1) Klasse	Org. stof/ ha	(2) Klasse
L1	0.1	3	4	4
L2	0.1	3	3	3
P1	0.1	3	2	3
P2	0.1	3	2	3
P3	0.4	2	1	3
P4	0.4	2	0.75	2
P5	0.3	2	0.5	2
P6	0.2	3	0.5	2
P7	0.1	3	0.5	2
P8	0.2	3	0.5	2
P9	0.2	3	0.5	2
P10	0.3	2	0.5	2
P11	0.3	2	0.5	2
P12	1.7	1	2	3
P13	0.2	3	0.6	2
P14	0.4	2	1	3
D1	0.0	4	0.1	1
D2	0.0	4	0.1	1
H1	0.2	3	0.2	1
H2	0.3	2	0.5	2
H3	0.1	3	0.25	1
H4	0.5	2	0.75	2
H5	1.7	1	2	3
H6	0.5	2	0.75	2
H7	0.3	2	0.5	2
H8	0.4	2	0.5	2

TABEL 4.5: Organische microverontreinigingen: klasse-indeling gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (1), respectievelijk doorslag naar het grondwater (2). Gebaseerd op Van Duijvenbouden & Breeuwsma (1987); organische stofmassa in kilotonnen.

Tevens is zo verklaard dat de Limburgse ecodistricten volgens methode 2 als minder gevoelig worden geclassificeerd: dit zijn overwegend infiltratiegebieden met een zeer snelle inzijging van water.

ECODISTRICT	Accumulatie bovengrond			Verspreiding grondwater		
	Methode 1	Methode 2	Eind	Methode 1	Methode 2	Eind
L1	3	3	3	2	4	2
L2	3	3	3	2	3	2
P1	3	3	3	2	3	2
P2	3	3	3	2	3	2
P3	3	2	2	1	3	1
P4	3	2	2	2	2	2
P5	3	2	2	2	2	2
P6	3	3	3	2	2	2
P7	3	3	3	2	2	2
P8	3	3	3	2	2	2
P9	2	3	2	2	2	2
P10	2	2	2	2	2	2
P11	2	2	2	2	2	2
P12	2	1	1	3	3	3
P13	2	3	2	3	2	3
P14	2	2	2	2	3	2
D1	4	4	4	1	1	1
D2	4	4	4	1	1	1
H1	2	3	2	3	1	3
H2	2	2	2	3	2	3
H3	2	3	2	2	1	2
H4	2	2	2	3	2	3
H5	1	1	1	3	3	3
H6	1	2	1	4	2	4
H7	1	2	1	4	2	4
H8	1	2	1	4	2	4
W1	1		1	4		4
W2	1		1	4		4
W3	1		1	4		4
W4	1		1	4		4
W5	1		1	4		4
W6	1		1	4		4
Z1	1		1	4		4
Z2	1		1	4		4
Z3	1		1	4		4
Z4	1		1	4		4
Z5	1		1	4		4

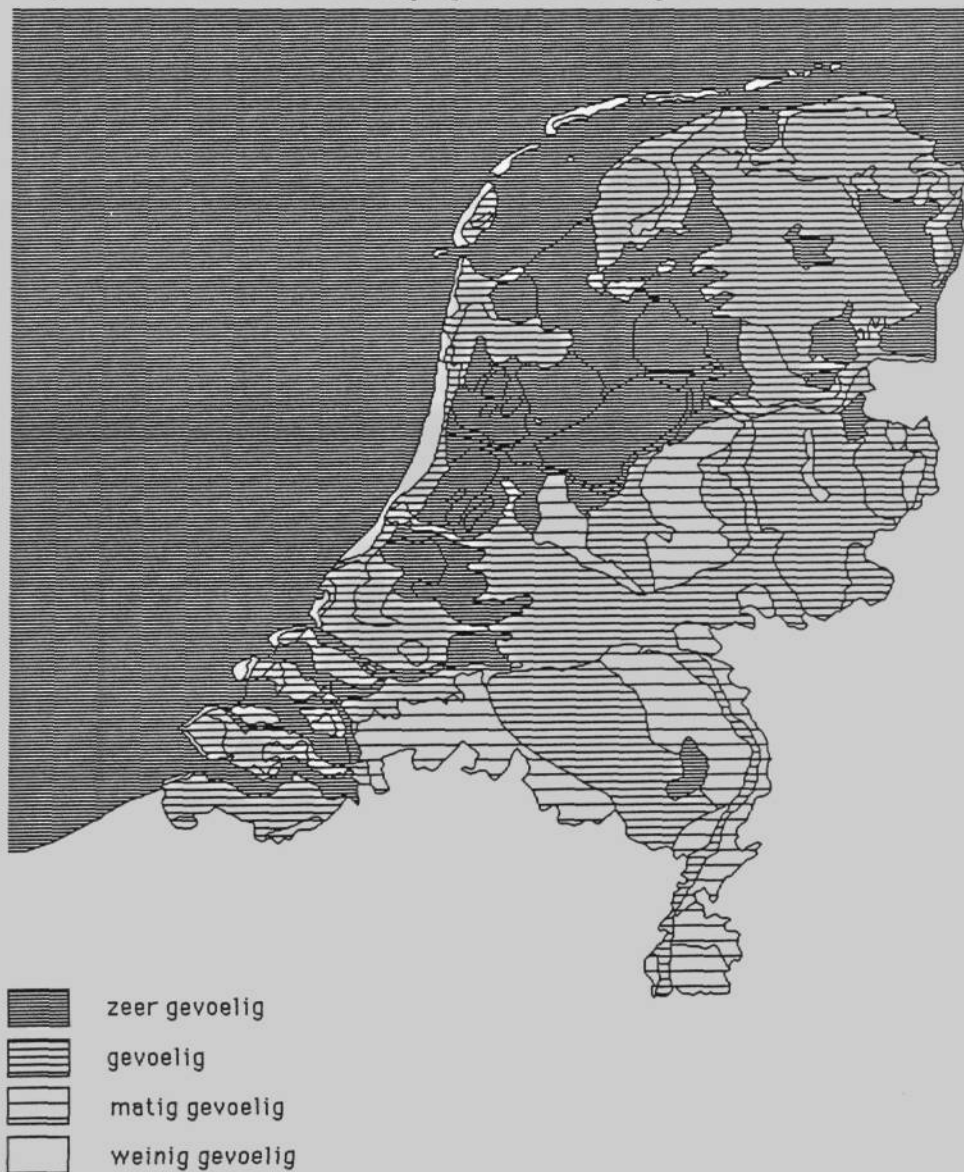
TABEL 4.6: Eindbeoordeling organische microverontreinigingen op basis van een vergelijking van de uitkomsten van methode 1 en 2: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (waterbodem) en gevoeligheid voor verspreiding naar en via het grondwater.

De ecodistricten in ecoregio P worden juist volgens methode 1 als gevoeliger geclassificeerd. Dit zijn veelal zandgebieden, waar inzijging overheerst. Grondwaterbewegingen in deze gebieden zijn relatief snel, waardoor verspreiding van verontreinigingen gemakkelijk optreedt.

Dit alles in aanmerking genomen wordt besloten hier de kaart organische microverontreinigingen - grondwater (FIGUUR 4.8) te baseren op de uitkomsten volgens methode 1. Hierbij dient nog te worden opgemerkt dat de 'Kwetsbaarheidskartering' (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987) wel ook nog kaarten van de verblijftijden van het grondwater geeft. Daarop is ook aangegeven in welke gebieden de verblijftijden sterk door kwel worden beïnvloed. Hiermee zou een nadere nuancering bij methode 2 mogelijk zijn, waardoor de uitkomsten betrouwbaarder zouden worden en meer in de richting van die volgens methode 1 zouden komen.

### Verontreiniging

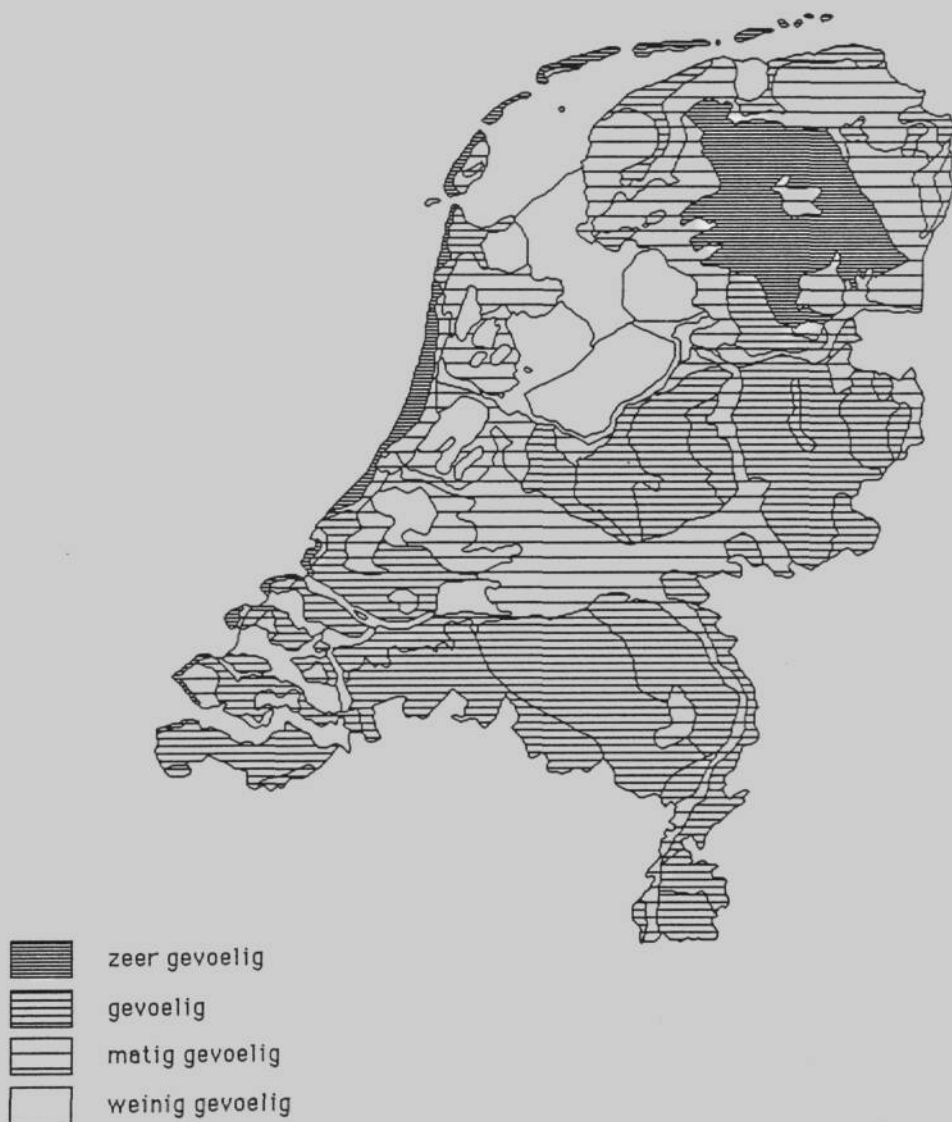
gevoeligheid van de ecodistricten voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond/waterbodem



FIGUUR 4.7: Gevoeligheid voor accumulatie van organische microverontreinigingen in de bovengrond.

### Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor uitspoeling van organische microverontreinigingen naar het grondwater



FIGUUR 4.8: Gevoeligheid voor uitspoeling van organische microverontreinigingen naar het grondwater.

#### 4.3 Zware metalen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond en voor verontreiniging van het grondwater.

Zware metalen worden hoofdzakelijk als kation geadsorbeerd aan zowel kleimineralen als aan organische stof. Adsorptie als anion kan echter ook voorkomen. Concentraties zware metalen in oplossing in grond- of oppervlaktewater zijn daardoor vaak gering in vergelijking met de hoeveelheden geadsorbeerde kationen. Uitspraken in deze paragraaf zullen verder alleen betrekking hebben op die zware metalen die hoofdzakelijk als kation voorkomen. Tevens beperken we ons tot de veelvuldig als verontreiniging voorkomende zware metalen van de 'zwarte' en 'grijze' lijst (Ministerie VROM et al., 1986): arseen (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), chroom (Cr), koper (Cu), lood (Pb), molybdeen (Mo), nikkel (Ni), tin (Sn) en zink (Zn).

De mate van adsorptie aan klei en organische stof wordt, zoals bij alle ionen, sterk beïnvloed door de pH en deze weer gedeeltelijk door het gehalte  $\text{CaCO}_3$ . Daarenboven heeft  $\text{CaCO}_3$  invloed op de mobiliteit doordat carbonaten van de meeste (zware) metalen zeer slecht oplosbaar zijn. In een kalkrijk milieu zullen zware metalen dan ook snel als metaalcarbonaat neerslaan.

In de Discussienota Bodemkwaliteit (Ministerie VROM, 1986) wordt de potentiële adsorptie in bodems gerelateerd aan een factor C, die wordt berekend aan de hand van de percentages organische stof en klei. Daarbij wordt uitgegaan van een ongeveer drie maal zo sterke binding door organische stof als door lutum (klei). In het 'Advies Bodemkwaliteit' (VTCB, 1987) wordt daarentegen aanbevolen een verhouding van 1:2 aan te houden in plaats van 3:1 voor organische stof: klei. Dit is gebaseerd op ervaringen betreffende de mobiliteit van de zware metalen. Zo wordt melding gemaakt van een goede correlatie tussen hoeveelheden geadsorbeerd Cr, Ni, Cu, Zn, As en het kleigehalte. Pb, Hg en Cd vertonen veel minder duidelijk dit verband. Voor organische stof werd geconstateerd dat een relatief sterke binding plaatsvond van Zn, Pb, Cd en Hg en een zwakke van Cu, As, Cr en Ni.

Bij de klassenindeling voor baggerspecie volgens Rijkswaterstaat (1985) wordt gewerkt met de volgende formule:

$$\frac{\text{gewichtpercentage deeltjes} < 16 \mu}{100 - \% \text{ organische stof} - \% \text{ CaCO}_3}$$

Hierbij wordt dus ook nog eens rekening gehouden met het kalkgehalte (zie ook hoofdstuk 4 van DEEL A).

De bovengenoemde factoren (organische stofgehalte, kleigehalte en  $\text{CaCO}_3$ ) zijn relevant voor de binding van zware metalen op het land. In de grote wateren zullen de zware metalen sterk gebonden zijn aan meegevoerde slibdeeltjes (organisch en anorganisch). Ten aanzien van de kans op uitspoeling naar het grondwater geldt daar, evenals bij de organische microverontreinigingen, dat inziigings- en kwelprocessen ondergeschikt zijn aan de eigenschappen van het oppervlaktewater zelf. Verspreiding naar het grondwater zal dan ook vermoedelijk weinig optreden.

Analoog aan de procedure bij de organische microverontreinigingen kunnen weer relevante parameters worden onderscheiden die aan ecosysteemcomponenten kunnen worden gekoppeld (TABEL 4.9).

PROCES	RELEVANTE PARAMETERS	BEPALENDE COMPONENT
Verspreiding/ concentratie	stromingsrichting	Grondwater
Binding	klei-gehalte silt-gehalte	Gesteente
	organische stof	Bodem
	dikte onverzadigde laag	Bodem (grondwater-trap)
Neerslag zouten	kalkgehalte	Bodem (en aanvoer kalk van elders via grond- en oppervlaktewater)

TABEL 4.9: Overzicht van de belangrijke parameters die bepalend zijn voor de binding van zware metalen in de bovengrond respectievelijk de kans op verspreiding naar het grondwater.

Ten behoeve van de gevoeligheidsbepaling zal dezelfde procedure worden gevolgd als bij de organische microverontreinigingen. Dit impliceert de bepaling van enerzijds de gevoeligheid voor accumulatie van zware metalen in de bovengrond (waterbodem) en anderzijds de gevoeligheid voor verspreiding via het grondwater. Voor het eerste is hoofdzakelijk de bindingscapaciteit van de bovengrond van belang; bij het tweede speelt ook de dikte van het afdekkende pakket een rol.

Methode 1 betreft een schatting van de relatieve bijdragen van de relevante parameters gevolgd door een sommering en een conversie tot gevoeligheidsklassen per ecodistrict.

Methode 2 is een conversie van gegevens van de 'Kwetsbaarheidskartering van het grondwater' (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987), waarbij in dit geval de kaart van de kationenuitwisselingscapaciteit van de niet met water verzadigde laag zal worden gebruikt.

## 4.3.1 Methode 1

## GEOHYDROLOGIE

relevante parameters: stromingsrichting verticaal  
stromingsrichting horizontaal

Klasse	Relatieve bijdrage
inzijging	0
inzijging/ doorstroom	1
doorstroom	2
isolatie, doorstroom/ kwel	3
kwel	5

De water-ecodistricten krijgen in dit geval >10, gezien het feit dat de verontreinigingen daar vermoedelijk op hun plaats zullen blijven zolang het slib niet boven water gebaggerd wordt. Alle water-ecodistricten zijn bovendien kalkrijk.

## GESTEENTE

relevante parameters: textuur (primair klei en silt)  
primair kalkgehalte

Klasse	Relatieve bijdrage
zand, duin- en strandzand, veen	0
lemig zand, zand met keileem	1
kalksteen, löss, leem, zavel	2
klei	3

## BODEM 1

relevante parameters: kalkgehalte

Klasse	Relatieve bijdrage
kalkarm/ kalkloos	0
kalkrijk	2

## BODEM 2

relevante parameters: organische stofgehalte

Klasse	Relatieve bijdrage
humusarm	0
geen toevoeging	1
humeus	2
moerig	4
venig	5
veen	6

## BODEM 3

relevante parameters: diepte van het grondwater

Klasse	Relatieve bijdrage
ondiep	0
ondiep tot diep	1
diep	2
diep tot zeer diep	3
zeer diep	4

Voor alle ecodistricten wordt vervolgens weer een scorelijst gemaakt (TABEL 4.10). In de kolom 'Subtotaal' staat de som van alle voorgaande kolommen die voor de accumulatie in de bovengrond relevant zijn (alle behalve Bodem 3). In de kolom 'Totaal' staat de som van alle bijdragen met betrekking tot de gevoeligheid voor verspreiding naar het grondwater.

In de kolommen Klasse tenslotte staan weer de uiteindelijke gevoeligheidsklassen van het ecodistrict, volgens de volgende conversies:

Zware metalen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond:

Uitkomst 'Subtotaal' > 8	Zeer gevoelig (1)
Uitkomst 'Subtotaal' 6 - 8	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Subtotaal' 2 - 5	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Subtotaal' 0 - 1	Weinig gevoelig (4)

Zware metalen: gevoeligheid voor verspreiding naar het grondwater:

Uitkomst 'Totaal' > 10	Weinig gevoelig (4)
Uitkomst 'Totaal' 8 - 10	Matig gevoelig (3)
Uitkomst 'Totaal' 5 - 7	Gevoelig (2)
Uitkomst 'Totaal' 0 - 4	Zeer gevoelig (1)

## ECODISTRICT

	Geoh	Gest	Bod1	Bod2	Subtot	Bod3 Totaal		(2) Klasse	
						(1) Klasse			
L1	1	2	2	1	6	2	4	10	3
L2	1	1	0	1	3	3	4	7	2
P1	0	0	0	1	1	4	4	5	2
P2	0	0	0	1	1	4	4	5	2
P3	0	1	0	2	3	3	1	4	1
P4	0	1	0	2	3	3	2	5	2
P5	1	1	0	2	4	3	1	5	2
P6	0	0	0	2	2	3	3	5	2
P7	1	0	0	1	2	3	3	5	2
P8	1	1	0	2	4	3	1	5	2
P9	2	0	0	2	4	3	1	5	2
P10	1	1	0	3	5	3	1	6	2
P11	2	0	0	2	4	3	1	5	2
P12	1	0	0	5	6	2	1	7	2
P13	3	1	0	4	8	2	1	9	3
P14	2	1	0	2	5	3	1	6	2
D1	0	0	2	0	2	3	3	5	2
D2	0	0	0	0	0	4	3	3	1
H1	3	0	2	3	8	2	1	9	3
H2	3	3	2	3	11	1	1	12	4
H3	3	2	2	1	8	2	2	10	3
H4	3	3	1	3	10	1	1	11	4
H5	3	2	0	6	9	1	0	9	3
H6	5	3	2	1	11	1	2	13	4
H7	5	3	2	1	11	1	2	13	4
H8	5	3	2	3	13	1	0	13	4
W1	>10				>10	1		>10	4
W2	>10				>10	1		>10	4
W3	>10				>10	1		>10	4
W4	>10				>10	1		>10	4
W5	>10				>10	1		>10	4
W6	>10				>10	1		>10	4
Z1	>10				>10	1		>10	4
Z2	>10				>10	1		>10	4
Z3	>10				>10	1		>10	4
Z4	>10				>10	1		>10	4
Z5	>10				>10	1		>10	4

TABEL 4.10: Zware metalen: conversietabel ter bepaling van de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (waterbodem) (1) en voor uitspoeling naar het grondwater (2).

#### 4.3.2 Methode 2

Bij methode 2 wordt uitgegaan van een verondersteld verband tussen de kationenuitwisselingscapaciteit (CEC) van de niet met water verzadigde laag en de kans op accumulatie van zware metalen in de bovengrond. Als accumulatie plaatsvindt, zal uitspoeling naar het grondwater beperkt blijven. Hierbij zijn de chemische evenwichten tussen de vaste bodembestanddelen en de bodemoplossing belangrijk. Vooral de pH en de samenstelling van de ionenoplossing zijn hierbij van invloed.

Er zal hier om praktische redenen worden uitgegaan van een rechtlijnig verband tussen de gemiddelde CEC van de ecodistricten en de mate van binding, zonder rekening te houden met pH-verschillen en dergelijke. Voor de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond wordt daarom uitgegaan van de CEC/ ha.m. Voor de gevoeligheid voor uitspoeling naar het grondwater komt daar nog de dikte van de niet met water verzadigde laag bij, ofwel de CEC/ ha (de basiskaart van Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987). Deze benadering houdt geen rekening met verschillen in verblijftijden of kalkgehalte, en kan daarom als niet meer dan een benadering worden beschouwd. Wel is de meest relevante parameter, namelijk de CEC als basis gebruikt, zodat een directe vergelijking met de uitkomsten volgens methode 1 is geoorloofd.

In TABEL 4.11 zijn achtereenvolgens opgesomd: de gemiddelde CEC/ ha.m. voor alle ecodistricten; de daaruit afgeleide gevoeligheidsklasse voor accumulatie in de bovengrond; de CEC/ ha; en de daaruit afgeleide gevoeligheidsklasse voor verspreiding van zware metalen naar het grondwater. Daarbij zijn de volgende conversies gebruikt (CEC steeds in Mmol):

Zware metalen: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond:

CEC/ ha.m.	< 0,4	Weinig gevoelig (4)
CEC/ ha.m.	0,4 - 0,8	Matig gevoelig (3)
CEC/ ha.m.	0,9 - 2,0	Gevoelig (2)
CEC/ ha.m.	> 2,0	Zeer gevoelig (1)

Zware metalen: gevoeligheid voor verspreiding naar het grondwater:

CEC/ ha.	< 1,5	Zeer gevoelig (1)
CEC/ ha.	1,5 - 3	Gevoelig (2)
CEC/ ha.	4 - 10	Matig gevoelig (3)
CEC/ ha.	> 10	Weinig gevoelig (4)

## ECODISTRICT

	CEC/ ha.m.	(1)	CEC/ ha	(2)
		Klasse		Klasse
L1	0.7	3	30	4
L2	0.6	3	20	4
P1	0.4	3	7	3
P2	0.4	3	7	3
P3	1.6	2	4	3
P4	1.5	2	3	2
P5	1.0	2	2	2
P6	0.6	3	1.5	2
P7	0.6	3	2.5	2
P8	0.8	3	2	2
P9	0.6	3	1.5	2
P10	1.0	2	1.5	2
P11	1.0	2	1.5	2
P12	2.5	1	3	2
P13	0.8	3	2	2
P14	0.6	3	1.5	2
D1	0.3	4	1	1
D2	0.3	4	1	1
H1	0.8	3	1	1
H2	2.0	2	4	3
H3	1.6	2	4	3
H4	2.7	1	4	3
H5	2.5	1	3	2
H6	2.7	1	4	3
H7	3.5	1	7	3
H8	2.5	1	3	2

TABEL 4.11: Zware metalen: conversietabel CEC/ ha.m naar gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (1) en CEC/ ha naar gevoeligheid voor verspreiding naar het grondwater (naar gegevens van Van Duijvenbouden & Breeuwsma, 1987). CEC steeds in Mmol. Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig

#### 4.3.3 Vergelijking van de resultaten van beide methoden en eindbeoordeling

Vergelijking van de uitkomsten (TABEL 4.12) levert ongeveer hetzelfde beeld op als bij de organische microverontreinigingen. Dat wil zeggen, geringe verschillen in uitkomsten van de twee methoden bij de beoordeling van de gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (waterbodem); daarentegen een systematische afwijking bij de beoordeling van de gevoeligheid voor verontreiniging van het grondwater.

In verband met de kleine verschillen in uitkomsten tussen de beoordeling van de gevoeligheid voor accumulatie, wordt hier, net als bij de organi-

sche microverontreinigingen, gekozen voor een extra voorzichtige benadering: dit houdt in dat van de uitkomsten van beide methoden steeds de meest gevoelige klasse zal worden aangehouden voor de kaart (FIGUUR 4.13).

Voor de beoordeling van de gevoeligheid voor verspreiding van zware metalen naar het grondwater geldt hetgeen ook reeds is opgemerkt bij de organische microverontreinigingen: omdat methode 2 slechts een indicatie geeft van het totale bindende vermogen van de niet met water verzadigde laag en er geen rekening is gehouden met de stroomsnelheden of verblijftijden van het grondwater, zullen de uitkomsten volgens methode 1 betrouwbaarder zijn. Daarbij is immers rekening gehouden met de verticale stromingsrichting van het grondwater: inzijging en kwel. Voor de kaart (FIGUUR 4.14) zullen daarom de klassen worden aangehouden volgens methode 1. De eindbeoordeling staat in TABEL 4.12 aangegeven naast de uitkomsten volgens beide methoden.

Hier geldt overigens, net als bij de organische microverontreinigingen, dat de uitkomsten volgens methode 2 beter zouden kunnen worden indien rekening gehouden zou zijn met de verblijftijden van het grondwater, waarvan eveneens een kaart voorhanden is (zie Van Duijvenbouden & Breeuw-sma, 1987).

## ECODISTRICT

	Accumulatie bovengrond			Verspreiding grondwater		
	Methode 1	Methode 2	Eind	Methode 1	Methode 2	Eind
L1	2	3	2	3	4	3
L2	3	3	3	2	4	2
P1	4	3	3	2	3	2
P2	4	3	3	2	3	2
P3	3	2	2	1	3	1
P4	3	2	2	2	2	2
P5	3	2	2	2	2	2
P6	3	3	3	2	2	2
P7	3	3	3	2	2	2
P8	3	3	3	2	2	2
P9	3	3	3	2	2	2
P10	3	2	2	2	2	2
P11	3	2	2	2	2	2
P12	2	1	1	2	2	2
P13	2	3	2	3	2	3
P14	3	3	3	2	2	2
D1	3	4	3	2	1	2
D2	4	4	4	1	1	1
H1	2	3	2	3	1	3
H2	1	2	1	4	3	4
H3	2	2	2	3	3	3
H4	1	1	1	4	3	4
H5	1	1	1	3	2	3
H6	1	1	1	4	3	4
H7	1	1	1	4	3	4
H8	1	1	1	4	2	4
W1	1		1	4		4
W2	1		1	4		4
W3	1		1	4		4
W4	1		1	4		4
W5	1		1	4		4
W6	1		1	4		4
Z1	1		1	4		4
Z2	1		1	4		4
Z3	1		1	4		4
Z4	1		1	4		4
Z5	1		1	4		4

TABEL 4.12: Eindbeoordeling zware metalen op basis van een vergelijking tussen de uitkomsten van methode 1 en 2: gevoeligheid voor accumulatie in de bovengrond (waterbodem) en gevoeligheid voor verspreiding naar het grondwater. Klasse 1: zeer gevoelig tot Klasse 4: weinig gevoelig.

### Verontreiniging

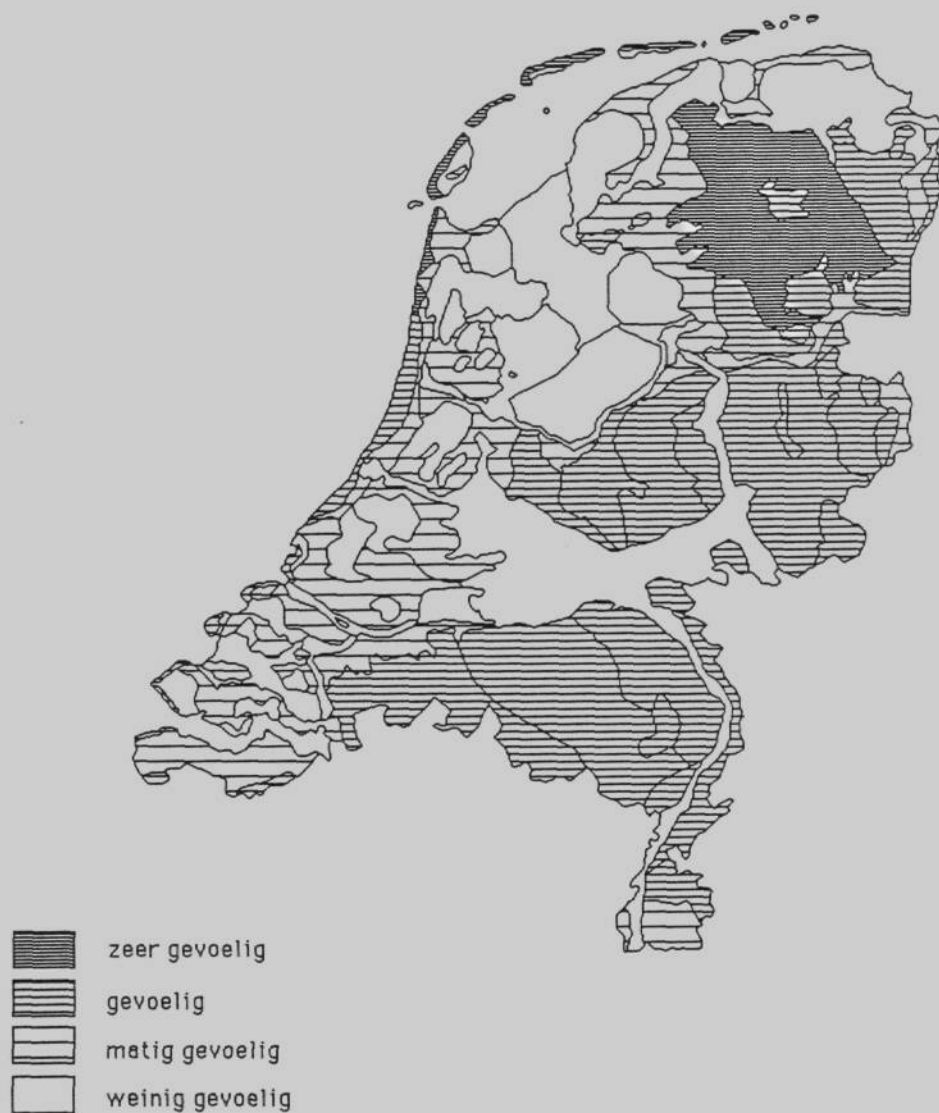
gevoeligheid van de ecodistricten voor accumulatie van zware metalen in de bovengrond/ waterbodem



FIGUUR 4.13: Gevoeligheid voor accumulatie van zware metalen in de bovengrond/waterbodem.

### Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor uitspoeling van zware metalen naar het grondwater



FIGUUR 4.14: Gevoeligheid voor uitspoeling van zware metalen naar het grondwater.

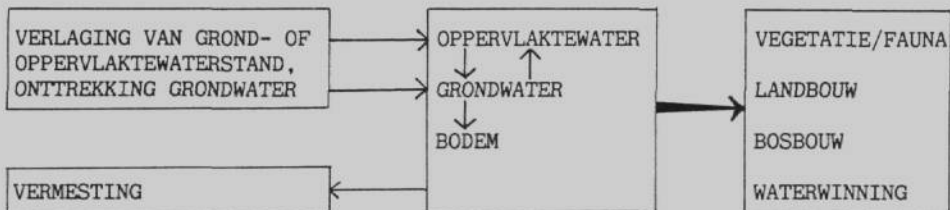
## 5 VERDROGING

### 5.1 Inleiding

Onder verdroging wordt hier verstaan het complex van nadelige effecten van een grondwaterstandsvaling. De feitelijke grondwaterstandsverlaging wordt daarbij opgevat als ingreep. Er kan dan onderscheid gemaakt worden in directe en indirecte effecten van verdroging.

Tot de directe effecten worden gerekend de effecten op gewas of natuurlijke begroeiing die voortkomen uit een afgenomen vochtgehalte van de bodem. Bij gewassen manifesteert zich dit veelal als een verminderde productie of zelfs verwelking. Bij natuurlijke vegetaties verandert al in een veel eerder stadium de soortsaamenstelling als gevolg van verschillen tussen de concurrentiekracht van verschillende soorten bij verschillende vochtvoorziening, hoewel dit effect niet of moeilijk te onderscheiden is van de indirecte effecten.

Indirecte effecten zijn al die effecten op gewas of natuurlijke begroeiing die via tussenschakels in het abiotisch milieu lopen, zoals door toegenomen aeratie, versnelde opwarming van de bodem in het voorjaar, toegenomen mineralisatie van organische stof en daaruit voortvloeiende eutrofiëring, inklinking, een afname van kwel en daaruit voortvloeiende waterkwaliteitsveranderingen, e.d.



FIGUUR 5.1: Verdroging als procesketen voorgesteld, met de beïnvloede landgebruiksvormen en terugkoppeling naar vermisting.

Met betrekking tot de directe effecten geldt dat grondwaterafhankelijke begroeiingen zeer gevoelig zijn voor veranderingen in het grondwaterregime. Hangwatervegetaties daarentegen ondervinden nauwelijks hinder van dalende grondwaterstanden, omdat de vochtvoorziening in dit geval volledig plaatsvindt vanuit in de bodem opgeslagen water.

Grondwaterafhankelijke begroeiingen kunnen worden verdeeld in begroeiing die met de wortels direct tot aan de met water verzadigde zone reikt en begroeiingen die voor hun vochtvoorziening zijn aangewezen op capillair opstijgend water. Dergelijke begroeiingen zijn zeer gevoelig voor afwijkende grondwaterstanden. Dit geldt niet alleen voor natuurlijke vegetaties maar in grote lijnen evenzeer voor cultuurgewassen, waar bijvoorbeeld de bloembollenteelt als zeer kritisch ten aanzien van de grondwaterstand bekend staat.

Uit deze verschillen kan worden opgemaakt dat een verlaging van de grondwaterstand voor hangwaterbegroeiingen weinig gevolgen zal hebben. Voor grondwaterafhankelijke begroeiingen is daarentegen van belang of en in hoeverre de vochtvoorziening in de wortelzone verandert. Dit is afhankelijk van de combinatie tussen grondwaterstandsverloop gedurende het jaar en de textuur van de bodem, die bepalend is voor de mogelijke capillaire opstijging van grondwater. Deze twee parameters, grondwaterstand en textuur zijn dan ook relevant voor een gevoeligheidsbeoordeling voor directe effecten van verdroging. Ze kunnen alleen in combinatie worden beschouwd.

Indirecte gevolgen van verdroging zijn, in tegenstelling tot de directe, sterk verschillend van karakter voor natuurlijke vegetaties en cultuurgewassen. Dit vloeit voort uit de kritischer eisen die natuurlijke vegetaties stellen aan de chemische en fysieke waterkwaliteit. Veranderingen in de kwantitatieve waterhuishouding gaan immers vaak gepaard met waterkwaliteitsveranderingen. Zo zijn bijvoorbeeld kwelafhankelijke vegetaties vaak zeer kritisch ten aanzien van kalkgehalte, ionensterkte, temperatuur e.d. van het kwelwater. Voor cultuurgewassen worden dergelijke operationele ecologische factoren vaak kunstmatig op het gewenste niveau gehouden door bemesting, bekalking en andere cultuurtechnische ingrepen. Veranderingen in de sterkte of aard van kwelstromen leiden daarom voor natuurgebieden wel vaak tot negatieve gevolgen, waar land- of bosbouw nauwelijks nadeel zullen ondervinden mits de grondwaterstand niet verandert. Het wegvallen van kwel kan ook leiden tot een verminderde afvoer of zelfs het droogvallen van beken en door grondwater gevoede wateren. Dit laatste is een extreem en direct waarneembaar effect, terwijl een afnemende relatieve belangrijkheid van de bijdrage van kwel al in een veel eerder stadium tot veranderingen in de natuurlijk (water)vegetatie kan leiden.

Een tweede indirect gevolg van verdroging is inklinking in veen en kleigebieden. Door afnemende waterdruk in de poriën worden de gronddeeltjes meer in elkaar geperst, waardoor bodemdaling optreedt. Dit leidt vaak tot schade aan gebouwen, wegen, watergangen en andere cultuurtechnische werken. Ook wordt de bodem hierdoor verdicht, waardoor de uitwisseling van gassen en vloeistoffen wordt belemmerd. De doorwortelbaarheid kan door deze verdichting eveneens afnemen.

Tenslotte kan veen kan behalve klinken ook nog versneld oxyderen, waardoor enerzijds een maaiveldverlaging, die al door klink is ingezet, nog wordt versterkt, en anderzijds de in de organische stof opgeslagen nutriënten (vooral stikstof) versneld vrijkomen. Dit leidt tot een bijkomend eutrofiëringsprobleem in voedselarme milieus. Dit proces speelt in alle natte gronden die rijk zijn aan gemakkelijk oxydeerbaar organisch materiaal.

De hier behandelde effecten van grondwaterstandsverlaging zijn alle plaatsgebonden. Er wordt daarbij dus geen rekening gehouden met effecten van een grondwaterstandsverlaging op afstand. Omdat grondwatersystemen zeer beweeglijke en open systemen zijn, moet echter altijd rekening gehouden worden met effecten op afstand. Een verlaging van de grondwaterstand in een inzigingsgebied, zoals bijvoorbeeld de Veluwe of andere stuwwalgebieden, leidt onherroepelijk tot een afname van de kwelstromen in omliggende kwelgebieden. Omdat grondwaterwinning zeer vaak plaatsvindt in juist die inzigingsgebieden, hebben veel aan kwel gebonden natuurge-

---

bieden rond deze waterwingebieden aan kwaliteit ingeboet. Recentelijk is nog eens op de gevolgen van grondwaterstandsverlagingen in het Drents Plateau (ecoregio P3) gewezen (Grootjans, 1986). Omgekeerd leidt een grondwaterstandsverlaging in kwelgebieden veelal tot een versnelling van de kwelstroom, waardoor de grondwaterstand ook in de inzijgingsgebieden aanzienlijk kan dalen. Dit is bijvoorbeeld het geval geweest in Noordwest Overijssel door de droogmaking van de Noordoostpolder, maar ook de grondwaterstand op de Veluwe is gedaald na de aanleg van Oostelijk Flevoland, ondanks de (te smalle) randmeren die dit hadden moeten voorkomen.

Met deze ruimtelijke relaties via het grondwater die tussen gebieden bestaan, wordt in de hier volgende gevoeligheidsbepaling geen rekening gehouden, omdat de grondwaterstandsverlaging als zodanig als ingreep wordt opgevat. Alleen de plaatselijke effecten hiervan worden in beschouwing genomen. Bij beslissingen inzake een voorgenomen grondwaterstandsverlaging of grondwaterwinning moet met een onbedoeld ingrijpen op afstand echter terdege rekening gehouden worden. Een indicatie omtrent het gevaar voor onbedoeld ingrijpen op afstand kan worden verkregen uit de ecodistrictenkaart, waarin met pijltjes grondwaterrelaties tussen aangrenzende gebieden zijn aangegeven. Indien van omliggende gebieden met pijltjes is aangegeven dat ze in relatie staan met het gebied waarin een grondwaterstandsverlaging is voorgenomen of wordt verwacht, dan zal dit zeer waarschijnlijk leiden tot effecten op afstand. Het maakt daarbij niet uit of het om uitgaande dan wel inkomende pijlen gaat.

#### 5.2 Gevoeligheid voor het optreden van locale effecten als gevolg van een grondwaterstandsverlaging

In TABEL 5.2 zijn de in de inleiding genoemde plaatsgebonden processen, zowel de directe als de indirecte, nog eens opgesomd met de bijbehorende relevante parameters en bepalende componenten.

In de water-ecodistricten is het proces van verdroging niet aan de orde. Deze worden daarom meteen als weinig gevoelig geclassificeerd (klasse 4). Alle land-ecodistricten zijn in principe wel gevoelig voor verdroging. Deze zullen nader worden gedifferentieerd naar mate van gevoeligheid.

Gevoeligheid voor verdroging wordt daarbij gedefinieerd als de gevoeligheid voor het optreden van één of meerdere van de hierboven genoemde processen, zonder rekening te houden met het al dan niet voorkomen van waardevolle biotische elementen of gebruiksfuncties. Wel is rekening gehouden met het voorkomen van grondwaterafhankelijke milieutypen, zoals bronnen, bronbeken (rellen en sprengen) en andere grondwatergevoede oppervlaktewateren.

PROCES	RELEVANTE PARAMETERS	COMPONENT
Optreden vochttekorten	textuur bovengrond grondwaterstand	Gesteente Bodem
Verstoring lucht-, nutriënt-, en tempertuurhuishouding	grondwaterstand	Bodem
Droogvallen oppervlaktewateren	aanwezigheid bronnen, bronbeken, beken, vennen	Oppervlaktewater
Vermindering kwel, waterkwaliteitsverandering	grondwaterstroming	Geohydrologie
Inklinking	textuur bovengrond organische stofgehalte	Gesteente Bodem
Oxydatie/ eutrofiëring	organische stofgehalte soort organische stof	Bodem

TABEL 5.2: Overzicht van de belangrijkste processen bij het thema verdroging en de daarvoor relevante parameters en componenten.

In het onderstaande zijn per component weer schattingen gemaakt van de relatieve bijdrage aan de gevoeligheid voor verdroging als geheel. De relatieve bijdragen zijn weer opgeteld per ecodistrict, waarna een eindscore is opgemaakt. Deze is tenslotte omgezet in gevoeligheidsklassen volgens onderstaande conversie:

Totaal 0 - 2	Weinig gevoelig (4)
Totaal 3 - 5	Matig gevoelig (3)
Totaal 6 - 9	Gevoelig (2)
Totaal > 9	Zeer gevoelig (1)

Door het grote aantal gewaardeerde componenten is de spreiding van totaalscores gering: dit impliceert dat vrijwel overal wel negatieve effecten van verdroging te verwachten zullen zijn, zij het van uiteenlopende aard. Dit blijkt ook uit de gevoeligheidskaart (FIGUUR 5.4). Hiervoor dient TABEL 5.3 geraadpleegd te worden.

## GESTEENTE x BODEM 1

relevante parameters: grondsoort/ textuur in combinatie met grondwaterstand (capillaire opstijging)

Klasse	Relatieve bijdrage
lemig zand, löss/ grondwater zeer diep	0
lemig zand, löss/ grondwater diep	0
lemig zand, löss/ grondwater ondiep	1
klei, veen/ grondwater zeer diep	0
klei, veen/ grondwater diep	1
klei, veen/ grondwater ondiep	2
fijn zand, vast gesteente/ zeer diep	0
fijn zand, vast gesteente/ diep	2
fijn zand, vast gesteente/ ondiep	3
grof zand/ grondwater zeer diep	0
grof zand/ grondwater diep	3
grof zand/ grondwater ondiep	4

## GEOHYDROLOGIE

relevante parameters: grondwaterstroming

Klasse	Relatieve bijdrage
inzigging	0
kwel	1
complex (doorstroom en combinaties)	2

## OPPERVLAKTEWATER

relevante parameters: voorkomen grondwater-gevoede wateren

Klasse	Relatieve bijdrage
bronnen/ bronbeken	3
beken	2
vennen, duinmeren	1
overige wateren	0

## BODEM 1

relevante parameters: grondwaterstand

Klasse	Relatieve bijdrage
zeer diep	0
zeer diep tot diep	1
diep	2
diep tot ondiep	3
ondiep	4

## BODEM 2

relevante parameters: organische stofgehalte (bodems soort)  
organische stofsoort (bodems soort)

Klasse	Relatieve bijdrage
veengronden	4
moerige gronden	3
beek- en gooreerdgronden	2
leek-, woud- en tochteerdgronden	2
vaaggronden, podzolen	0
overige gronden	0

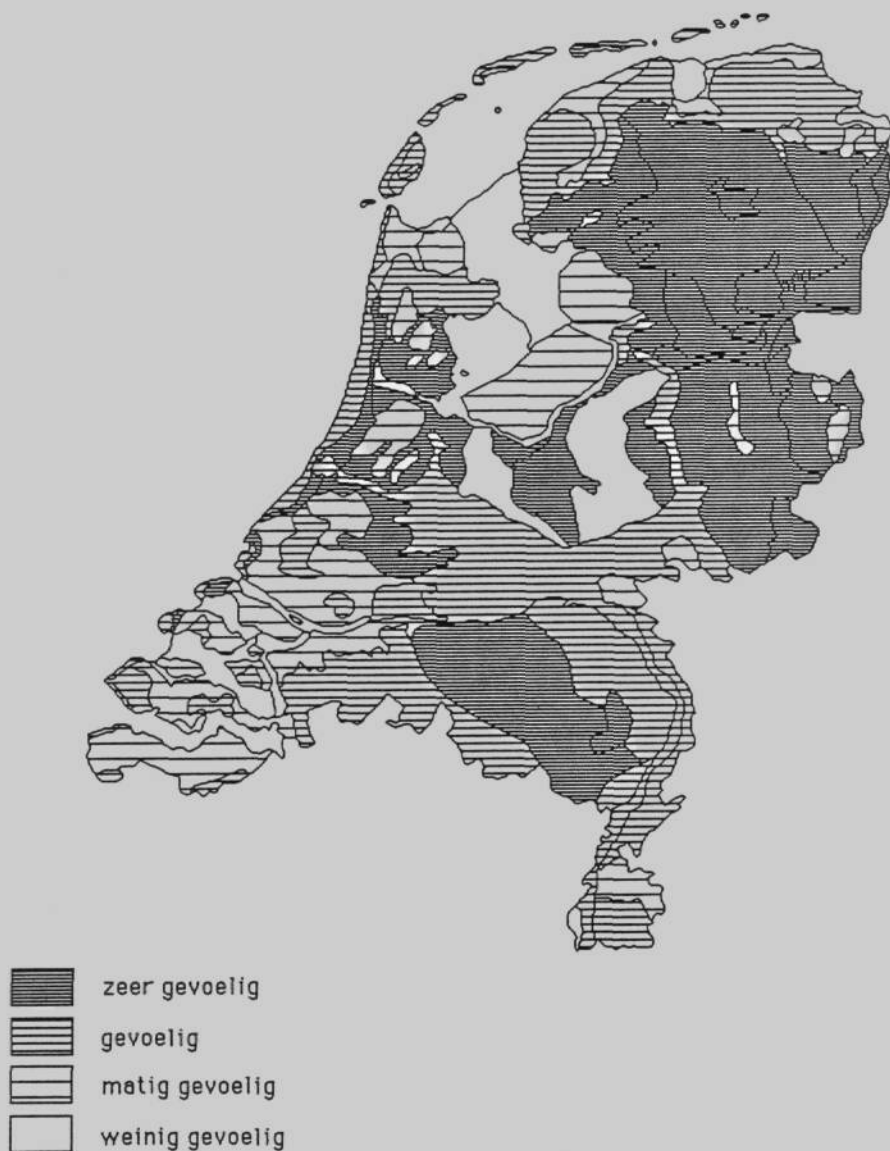
## ECODISTRICT

	Gesteente x Bodem	Geohydrologie	Opp.water	Bodem 1	Bodem 2	Totaal	Klasse
L1	2	2	3	1	0	8	2
L2	0	2	3	0	0	5	3
P1	0	0	2	0	0	2	4
P2	0	0	3	0	0	3	3
P3	1	2	2	3	3	11	1
P4	0	0	0	2	2	4	3
P5	1	2	3	3	2	11	1
P6	3	0	2	1	0	6	2
P7	3	2	2	1	0	8	2
P8	0	2	2	3	1	8	2
P9	2	2	2	3	1	10	1
P10	2	2	2	3	2	11	1
P11	2	2	3	3	2	12	1
P12	2	2	0	3	4	11	1
P13	2	2	2	3	3	12	1
P14	2	2	2	3	2	11	1
D1	2	0	2	3	0	8	2
D2	2	0	2	3	0	7	2
H1	3	2	0	4	2	11	1
H2	1	2	0	3	0	6	2
H3	1	2	0	2	0	5	3
H4	2	2	0	4	1	9	2
H5	2	2	0	4	4	12	1
H6	1	1	0	2	0	4	3
H7	1	1	0	2	0	4	3
H8	2	1	0	4	0	7	2
W1							4
W2							4
W3							4
W4							4
W5							4
W6							4
Z1							4
Z2							4
Z3							4
Z4							4
Z5							4

TABEL 5.3: Conversietabel ter bepaling van de gevoeligheid voor verdroging.

### Verdroging

gevoeligheid van de ecodistricten voor effecten van een verlaging van de grondwaterstand



FIGUUR 5.4: Gevoeligheidskaart verdroging.

## 6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

### 6.1 Conclusies

In dit DEEL B van het onderzoek is voor een viertal milieuthema's de gevoeligheid van de ecodistricten bepaald. Daarbij bleek het noodzakelijk binnen één milieuthema soms nog onderscheid te maken tussen verschillende soorten stoffen (bij vermisting en verontreiniging) of verschillende milieucompartmenten waarin de effecten optreden (bij eveneens vermisting en verontreiniging). In het onderstaande wordt per milieuthema nog kort ingegaan op de gevoeligheidskaarten. Ook zal worden aangegeven hoe de verschillende milieuthema's elkaar kunnen beïnvloeden, versterken of juist verzwakken, en er zal een samenvattend overzicht van gevoeligheden per ecodistrictstypen worden gegeven.

Tenslotte worden aanbevelingen voor verder onderzoek ten behoeve van de integratie van het milieubeleid gedaan.

#### 6.1.1. Verzuring

Voor verzuring is één afgeleide kaart gemaakt die de gevoeligheid voor verzuring van bodem en ondiep grondwater aangeeft. Deze twee compartimenten zijn in feite onscheidbaar. Veel kleine stagnante oppervlaktewateren staan in direct contact met het ondiepe grondwater, zodat de gevoeligheid ook daarop betrekking heeft.

De kwaliteit van het diepe grondwater is als afhankelijk te beschouwen van die van het ondiepe grondwater en de bodem. Gebieden die op de kaart als zeer gevoelig zijn aangemerkt voor verzuring van bodem en ondiep grondwater, zijn grotendeels ook gevoelig voor verzuring van het diepere grondwater. Daarbij kan de verzuurde zone als het ware naar beneden worden verplaatst door een grote toevoer van kationen in de vorm van mest. De verzurende stoffen, protonen, en andere kationen worden dan uitgewisseld tegen kationen die met de mest worden aangevoerd. Vervolgens spoelen zij uit naar het diepere grondwater. Dit proces wordt wel verzuring door verzouting genoemd (Van Duijvenbouden, mondelinge mededeling). Er is echter in gevallen, waarin grondwaterpakketten van elkaar gescheiden zijn, een flinke nuancering nodig. Hiervoor is nader onderzoek vereist.

Omdat de verzuring van het diepe grondwater nog niet zo duidelijk als directe bedreiging wordt ervaren, is hieraan in dit rapport nog geen aandacht besteed. De aantasting van bossen en natuurgebieden, en de toenemende kosten voor onderhoudsbemesting en -bekalking van landbouwgronden worden echter wel als groot probleem ervaren. Deze aspecten zijn direct afhankelijk van de kwaliteit van juist de bodem en het ondiepe grondwater.

Uit de gevoeligheidskaart (FIGUUR 2.9 of BIJLAGE 4) blijkt dat vrijwel alle zandgronden gevoelig zijn voor verzuring, zij het dat hierbinnen nog wel een forse variatie kan worden aangetroffen. Het zijn vooral de grovere leemarme zandgronden waarin inzijing van water overheerst, die het meest gevoelig zijn. Dit zijn de stuwwallen van Veluwe en Utrechtse Heuvelrug (P1) en de kleinere stuwwallen (P2). Daarnaast zijn vrijwel

---

alle hogere zandgronden meer of minder gevoelig. Dit zijn de gebieden die als gevolg van intensieve veehouderij ook het zwaarst belast worden.

### 6.1.2 Vermesting

Voor vermisting zijn kaarten gemaakt voor nitraat en fosfaat. Van de negatieve effecten van kalium wordt nog niet erg veel ophef gemaakt, hoewel deze stof in de nabije toekomst vermoedelijk grote problemen zal kunnen veroorzaken.

Nitraat vormt vooral een probleem voor de drinkwaterwinning vanuit het grondwater. Tevens kan met nitraat verontreinigd grondwater elders, via grondwaterstromingen, schade aanrichten. Voor deze stof is daarom de gevoeligheid voor uitspoeling naar het grondwater bepaald. Vooral de zandgronden met diepe grondwaterstand blijken hiervoor gevoelig te zijn (zie FIGUUR 3.6 of BIJLAGE 4). Bij ondiepe grondwaterstanden kan nitraat door denitrificatie uit het systeem kan worden verwijderd, hetgeen onder anaerobe condities plaatsvindt (meestal onder of nabij de grondwaterspiegel). het patroon van voor nitraatvermisting gevoelige gebieden komt voor een groot deel overeen met dat van voor verzuring gevoelige gebieden. Daar komt nog bij dat beide milieuproblemen voor een groot deel door dezelfde activiteit, namelijk de intensieve veehouderij, worden veroorzaakt.

Fosfaat leidt voornamelijk tot ongewenste effecten in oppervlaktewateren. Hierin kan het direct of via bodem en grondwater terecht komen. Voor deze stof is het gevaar voor eutrofiëring van grond- en oppervlaktewater gekoppeld aan doorslag van de bodem. Voor doorslag van fosfaat en fosfaat-eutrofiëring zijn vooral de zandgronden met ondiepe grondwaterstanden en de oppervlaktewateren gevoelig (FIGUUR 3.11 of BIJLAGE 4). Een opvallend verschil met nitraat zit daarmee in de grondwaterstand als relevante factor. Waar nitraat vooral voor problemen zorgt in gebieden met diepe grondwaterstanden, vormt fosfaat een probleem in gebieden met ondiepe grondwaterstanden. Dit is een gevolg van het feit dat fosfaat vooral in de zone boven het grondwater wordt gefixeerd. Het verschil is het meest opvallend in Zuid-Limburg (L1), waar fosfaat niet snel problemen op zal leveren, maar nitraat wel zeer gemakkelijk het grondwater kan bereiken. Men vergelijk hiervoor FIGUREN 3.6 en 3.11 of BIJLAGE 4.

Door de verschillende processen die bij nitraat en fosfaat een rol spelen, en de verschillen in het soort negatieve effect waarin overmatige toedoening van deze stoffen resulteert, moet vermisting als een probleem voor zeer vele en veelsoortige gebieden worden beschouwd. Het totale vermistingsprobleem kan immers worden beschouwd als een som van de nitraat- en fosfaatkaart. Daarmee zijn alle zandgebieden, de veengebieden en de oppervlaktewateren gevoelig voor vermisting (zie ook TABEL 6.1).

Ten overvloede zij hier nog vermeld dat geen rekening is gehouden met de oorspronkelijke voedselrijkdom van gebieden, maar is uitgegaan van een algemene kwaliteitsdoelstelling voor het milieu die niet van de meest gevoelige functie, i.c. het natuurbehoud, uitgaat. Het grootste deel van de oorspronkelijk voedselarme (oligotrofe) ecoregio P is inmiddels echter

---

al matig voedselrijk (mesotroof) tot voedselrijk (eutroof) geworden. Dit is weergegeven op kaarten in het GEM (Van der Maarel & Dauvellier, 1978). Deze algemene eutrofiëring van het milieu vormt een functie-specifiek probleem dat zeker de nodige aandacht behoeft.

### 6.1.3 Verontreiniging

Verontreiniging met toxische stoffen is een ingewikkeld thema, waarvoor gevoeligheidskaarten van weinig nut lijken. Toxische stoffen in het milieu vormen namelijk altijd een probleem. Er kunnen echter toch wel enige verschillen tussen gebieden worden aangegeven, die voortvloeien uit verschillen in het milieu in samenhang met verschillende eigenschappen van stoffen.

Er is in dit rapport onderscheid gemaakt tussen zware metalen die zich als kation gedragen, organische microverontreinigingen die in water oplosbaar zijn en in principe aan organische stof gebonden kunnen worden, en overige stoffen. De laatste groep leent zich nauwelijks voor een gebiedsgerichte benadering, omdat deze zeer divers van samenstelling is. Slechts een stofgerichte en brongerichte benadering kan hier zinvol zijn.

Voor de groepen zware metalen en organische microverontreinigingen zijn zowel de kans op doorslag naar het grondwater als de kans op accumulatie in de bovengrond/waterbodem bepaald. In beide gevallen vormen de stoffen echter een potentieel gevaar: in het eerste geval voor de drinkwaterbereiding en voedselketens via planten, in het tweede geval omdat dit tot verontreinigde bodems aanleiding kan geven. Voor het thema verontreiniging resulteren aldus vier gevoeligheidskaarten: zware metalen - grondwater, zware metalen - bodem, organische microverontreinigingen - grondwater en organische microverontreinigingen - bodem (FIGUREN 4.7, 4.8, 4.13, 4.14 of BIJLAGE 4).

Het blijkt dat doorslag naar het grondwater van zowel zware metalen als organische microverontreinigingen vooral kan optreden op de zandgronden. De zandgebieden kennen namelijk weinig tot geen mogelijkheden om deze verontreinigingen te binden. Het gevaar op uitspoeling is overigens geringer in die zandgebieden waarin een netto opwaartse grondwaterstroom heerst. Hierdoor zal de verontreiniging echter sneller in het oppervlaktewater terecht komen.

De verschillen tussen de gevoeligheidskaarten van zware metalen - grondwater en organische microverontreinigingen-grondwater zijn over het algemeen genomen gering. Voorzover ze aanwezig zijn vloeien ze voort uit verschillen in de bijdrage van klei en leem. Deze kunnen namelijk wel zware metalen effectief binden, maar nauwelijks organische microverontreinigingen. Organische microverontreinigingen worden namelijk niet elektrisch gebonden zoals zware metalen die als kation voorkomen. Alleen organische stof kan dit type verontreiniging (enigszins) vasthouden.

De binding van zware metalen wordt negatief beïnvloed door verzuring en vermisting. Verzuring veroorzaakt een uitwisseling van in het uitwisselingscomplex gebonden kationen, i.c. zware metalen, tegen H<sup>+</sup> ionen of andere bij verzuring aangereikte kationen (ammonium, e.d.). Vermisting

---

kan eveneens een kationenuitwisseling tot stand brengen. Daarbij is vooral kalium van belang, maar ook andere kationen spelen een rol. De gevoeligheid van met name de zandgebieden voor uitspoeling van verontreinigingen naar het grondwater moet daarom mede tegen het licht worden gezien van de eveneens grote gevoeligheid van deze gebieden voor verzuring en vermisting. De zandgebieden worden hierdoor extra zwaar belast, waarbij de drinkwatervoorraden groot gevaar lopen. Dit gevaar resulteert juist uit de combinatie van gevoeligheid voor verzuring, vermisting en verontreiniging, die elkaar hier versterken.

De gevoeligheid voor accumulatie in de bodem van beide groepen verontreiniging is vooral groot in de klei- en laagveengebieden, alsook in oppervlaktewateren (waterbodems). Indien de verontreinigingen echt goed gebonden zijn, kan daar bij een eventuele prioriteitstelling inzake saneringen rekening mee gehouden worden. Verontreinigingen die verder kunnen worden verspreid via het grondwater kunnen dan eerder worden aangepakt. Zo is momenteel het beleid met betrekking tot baggerspecie (waterbodems) er ook op gericht dit te laten liggen indien het niet in de weg ligt; dit tot nader onderzoek is uitgevoerd naar mogelijke oplossingen.

#### 6.1.4 Verdroging

De gevoeligheid voor verdroging is bepaald door alle directe en indirecte effecten van verdroging samen te nemen. Dit leidt ertoe dat vrijwel geheel Nederland wel enigszins gevoelig is. De aard van de effecten is echter zeer verschillend per gebied. Zo kunnen grondwaterafhankelijke vegetaties en gewassen schade ondervinden, maar ook bestaat er gevaar voor onomkeerbare inklinking van de bodem in bijvoorbeeld veengebieden. Om deze kaart goed te kunnen interpreteren wordt aangeraden de tekst en tabellen in hoofdstuk 5 van DEEL B te bestuderen. De gepresenteerde kaart (FIGUUR 5.4 of BIJLAGE 4) is als een soort samenvatting van alle relevante effecten van verdroging op ecosystemen op te vatten.

#### 6.1.5 Samenvatting milieuthematiek per ecodistrict

In TABEL 6.1 zijn de gevoeligheidsklassen per probleem nog eens aangegeven voor alle ecodistricten. Daarbij zijn milieuproblemen die vooral de bodem beïnvloeden bij elkaar gezet, alsook de problemen die vooral het (grond)water beïnvloeden. De volgorde is dus niet overeenkomstig die in de voorgaande hoofdstukken.

Het thema verdroging is niet in de samenvattende tabel opgenomen, omdat dit van een andere aard is. De thema's verzuring, vermisting en verontreiniging betreffen immers alle de toevoer van stoffen naar het milieu, terwijl verdroging meer een fysisch proces is. Bovendien is verdroging vaak conditioneel voor het in meerdere of mindere mate optreden van de overige thema's. Zoals reeds in het voorgaande aangegeven bevordert een diepe grondwaterstand namelijk de opnamecapaciteit van de bodem voor fosfaat en verontreinigingen, terwijl hoge grondwaterstanden juist gunstig zijn voor het optreden van denitrificatie, waardoor uitspoeling van nitraat kan worden beperkt.

	Acc.zw.met.	Fosfaateutr.	Uitsp.zw.met.	Nitraatuitsp.
	Acc.org.micr.	Uitsp.org.micr.	Verzuring	
L1	■	■	■	■
L2	■	■	■	■
P1	■	■	■	■
P2	■	■	■	■
P3	■	■	■	■
P4	■	■	■	■
P5	■	■	■	■
P6	■	■	■	■
P7	■	■	■	■
P8	■	■	■	■
P9	■	■	■	■
P10	■	■	■	■
P11	■	■	■	■
P12	■	■	■	■
P13	■	■	■	■
P14	■	■	■	■
D1	■	■	■	■
D2	■	■	■	■
H1	■	■	■	■
H2	■	■	■	■
H2	■	■	■	■
H4	■	■	■	■
H5	■	■	■	■
H6	■	■	■	■
H7	■	■	■	■
H8	■	■	■	■
W1	■	■	■	■
W2	■	■	■	■
W3	■	■	■	■
W4	■	■	■	■
W5	■	■	■	■
W6	■	■	■	■
Z1	■	■	■	■
Z2	■	■	■	■
Z3	■	■	■	■
Z4	■	■	■	■
Z5	■	■	■	■

TABEL 6.1: Overzicht van de gevoeligheid van de ecodistricten voor milieubederf van de conditionerende factoren bodem en grondwater. ( ■ : zeer gevoelig; ■ : gevoelig; ■ : matig gevoelig; ■ : weinig gevoelig).

## 6.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

In aansluiting op dit onderzoek naar de gevoeligheid van gebieden wordt door het RIVM de belasting met betrekking tot de verschillende milieuthema's bepaald. Een combinatie van gevoeligheid en belasting geeft dan een eerste indruk van de feitelijke knelpunten in de milieukwaliteit (zie ook hoofdstuk 1 van DEEL B).

Een nauwkeuriger beeld van de knelpunten ontstaat als ook rekening wordt gehouden met de functies (of bestemmingen) in de ecodistricten en met de aanwezige natuurwaarden. In verband hiermee kunnen de volgende twee vervolgonderzoeken van betekenis zijn:

- Het ontwikkelen van een opzet voor een beoordelingskader voor de milieukwaliteit in de ecodistricten, gedifferentieerd naar functies (bestemmingen) en aanwezige natuurwaarden.
- Het uitwerken van een opzet voor gebiedsdocumenten voor ecoregio's of ecodistricten.

De huidige classificatie van ecoregio's en ecodistricten is opgesteld met als oogmerk het bevorderen van de integratie tussen de verschillende milieudepartementen bij het opstellen van het NMP, het NBP en de 3<sup>e</sup> Nota Waterhuishouding. Het opstellen van gebiedsdocumenten kan een verdere ondersteuning vormen voor het tot stand komen van een gebiedsgericht en meer geïntegreerd milieubeleid. De ecodistricten zijn in dit verband qua aard en grootte het meest geëigend voor een geïntegreerd milieubeleid op nationaal niveau.

Het lijkt nu zeer zinvol dat een studie wordt uitgevoerd gericht op de haalbaarheid en de gewenste vorm van gebiedsdocumenten. Hiervoor kunnen de ecodistricten als basis fungeren. Daarbij kan dan tevens de opzet van een daarvoor benodigd beoordelingskader voor de milieukwaliteit aan de orde komen. Een dergelijk onderzoek zou de volgende elementen kunnen bevatten:

- 1 De ecodistricten zijn gekarakteriseerd naar ecologisch relevante, abiotische kenmerken. Binnen de ecodistricten is echter nog een aanzienlijke variatie in abiotische milieu-omstandigheden aanwezig. Deze zou allereerst beschreven dienen te worden. Daarnaast kan worden uitgewerkt welke kenmerkende biotische elementen in de ecodistricten voorkomen.
  - 2 Als tweede stap dient te worden aangegeven welke hoofdfuncties en overige functies een ecodistrict vervult. Hierbij moet zowel gelet worden op de formele bestemmingen als op niet door bestemmingen geformaliseerde waarden.
  - 3 Vervolgens kan aangegeven worden voor welke milieuthema's de ecodistricten gevoelig zijn, gedifferentieerd naar functies. Uitgangspunt daarbij zullen de gevoeligheidskaarten uit dit onderzoek kunnen zijn, maar een verdere uitwerking naar aanleiding van stap 2 ligt voor de hand.
-

- 4 De volgende stap in de analyse betreft het per thema kwantificeren van de belasting in verleden en heden en het bepalen van de huidige milieukwaliteit. Dit laatste dient dan in relatie te staan tot gebieds- en functiespecifieke kwaliteitsdoelstellingen.
- 5 De laatste stap betreft een confrontatie van de kwaliteitsdoelstellingen met de belastingen. Hieruit volgt een overzicht van de huidige en te verwachten knelpunten in de milieukwaliteit. Deze laatste kunnen in verband gebracht worden met te verwachten ontwikkelingen in de belastende activiteiten en daarop gerichte milieubeheersmaatregelen.

Een dergelijke studie naar de gewenste vorm van gebiedsdocumenten kan een beeld scheppen over hoe gebiedsgericht milieubeleid op een geïntegreerde wijze vorm kan worden gegeven. Qua aanpak wordt nauw aangesloten bij het in hoofdstuk 1 van dit DEEL B gegeven algemeen milieukundig kader. Als zodanig past het ook bij het beleid zoals dat momenteel door het ministerie van VROM wordt gevolgd. Dit blijkt uit de volgende punten:

- het kent een scheiding van beleid ten aanzien van brongerichte aspecten en effectgerichte aspecten;
  - het biedt de mogelijkheid functiegericht te werken;
  - het sluit aan bij de milieuthema-aanpak, die niet van losse compartimenten maar veeleer van door compartimenten lopende processen uitgaat;
  - het biedt de mogelijkheid schaalaspecten rechtstreeks in verband te brengen met het rangordemodel van het ecosysteem, waarin de milieucompartimenten als subsystemen en de milieuthema's als processen met elkaar in verband worden gebracht.
-

LITERATUUR

- Akkerman, S.S., R. Cuperus, F. Klijn & H.A. Udo de Haes, 1987: Palen en perken in het verkeersbeleid. CML-mededelingen nr. 33
  - Arnborg, T., 1964: Det Nordsvenska Skogstypsschemat; 7<sup>e</sup> upplagan, Uppsala. 21 pp.
  - Baaijens, G., 1985: Over grenzen. In: De Levende Natuur 86<sup>e</sup> jrg/3
  - Bailey, R.G., 1976: Ecoregions of the United States (map). USDA Forest Service, Intermountain Region, Ogden, Utah.
  - Bailey, R.G., 1981: Integrated approaches to classifying land as ecosystems. In: Laban, P. (ed.): Proceedings of the workshop on land evaluation for forestry. ILRI publ. 28, Wageningen. pp 95- 109.
  - Bakker, T.W.M., J. A. Klijn & F.J. van Zadelhoff, 1979: Duinen en duinvalleien. Een landschapsecologische studie van het Nederlandse duingebied. Pudoc, Wageningen. 201 pp.
  - Bakker, T.W.M., J. A. Klijn & F.J. van Zadelhoff, 1981: Nederlandse kustduinen. Landschapsecologie. Pudoc, Wageningen. 144 pp.
  - Barkman, J.J., 1958: Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes. Assen.
  - Bekhuis, J. et al. (red.), 1987: Atlas van de Nederlandse vogels. SOVON, Arnhem.
  - Blok, H. & W. Timmermans, 1987: Landschapsonderzoek voor landgebruiksplanning in Canada. Geografisch Tijdschrift XXI nr.2: 168-176.
  - Brink, A.B.A., J.A. Mabbutt, R. Webster & P.H.T. Beckett, 1965: Report of the Working Group on land classification and data storage. Military Engrg. Exp. Establ. Rep. no. 940. Christchurch, England. 97 pp.
  - Burrough, P.A., 1987: Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford University Press. 193 pp.
  - CBS (Centraal Bureau voor de Statistiek), 1986: Landbouwgebieden. Kwartaalbericht Milieustatistiek 86/3
  - Christian, C.S. & G.A. Stewart, 1968: Methodology of integrated surveys. In: Aerial surveys and integrated studies. Proc. Toulouse Conf. 1964, UNESCO, Paris. pp. 233- 280.
  - Chorley, R.J. & B.A. Kennedy, 1971: Physical Geography. A systems approach. Prentice Hall International Inc., London. 370 pp.
  - De Bakker, H. & J Schelling, 1966: Systeem van bodemclassificatie voor Nederland. De hogere niveaus. Pudoc, wageningen. 217 pp.
-

- De Gans, W. & J. F. Th. Schoute, 1973: Fysisch geografische regio's van Nederland. Instituut voor Arrdwetenschappen, VUA. Amsterdam. 3 pp.
  - De Jongh, J & O. Vaessen, 1985: Globale landschappenkaart van Nederland naar visuele kenmerken van water (schaal 1: 1.000.000). SWNBL, Water en landschapsbeeld, nr. 6a, Utrecht.
  - De Lange, L. & M.A. de Ruiter (red.), 1977: Biologische waterbeoordeling; methoden voor het beoordelen van Nederlands oppervlaktewater op biologische grondslag. Instituut voor Milieuhygiëne en Gezondheidstechniek TNO, Delft. 251 pp.
  - De Soet, F. (red.), 1976: De waarden van de uiterwaarden. Een milieukartering en -waardering van de uiterwaarden van IJssel, Rijn, Waal en Maas. Pudoc, Wageningen. 89 pp.
  - De Vries, W. & A. Breeuwsma, 1986: Relative importance of natural and anthropogenic proton sources in soils in The Netherlands. Water, Air, and Soil Pollution 28 (1986): 173- 184.
  - De Wit, T., 1976: Epiphytic lichens and air pollution in The Netherlands. Rijksinstituut voor Natuurbeheer, Leersum. 228 pp.
  - Doing, H. 1988: Landschapsoecologie van de Nederlandse kust. een landschapskartering op vegetatiekundige grondslag. Stichting Duinbehoud Leiden/ Stichting Publikatiefonds Leiden. 228 pp., 5 losse bijlagen.
  - Dumont, M.J. et al., 1985: Milieu-inventarisaties in Nederland. Stichting voor Toegepaste Landschapsecologie, Nijmegen.
  - Ellenberg, H., 1973: Versuch einer Klassifikation der Oekosysteme nach funktionalen Gesichtspunkten. In H. Ellenberg (ed.), 1973: Oekosystemforschung. Springer Verlag, Berlin.
  - Engelen, 1980: Indeling van Nederland in geohydrologische regio's.
  - Eurosense, 1980: The Netherlands from space. Poster LANDSAT 2 false colour composite.
  - Evelyn, J. 1661: Fumifugium or; the Inconvenience of the Aer and Smoake of London Dissipated; together with some Remedies Humbly proposed. Verhandeling aan koning Karel II.
  - Farjon, J.M.J., 1982: Landschapsecologische relaties via het oppervlaktewater op nationaal en regionaal niveau. De Dorschkamp, Wageningen. Rapport nr. 316. 183 pp., 1 losse kaart.
  - Geraedts, W.H.J.M., 1986: Voorlopige atlas van de Nederlandse dagvlinders- Rhopalocera. Vakgroep natuurbeheer LH, Wageningen.
  - Heukels, H. & R. van der Meyden, 1983: Flora van Nederland. 20° druk Wolters-Noordhoff, Groningen.
-

- 
- Heukels, H. & S.J. van Oostroom, 1975: Flora van Nederland. 18<sup>e</sup> druk. Wolters-Noordhoff, Groningen. 913 pp.
  - Hof, G.T.A., 1983: Toelichting bij de fysisch-geografische landschappenkaart van Nederland, schaal 1: 600.000. Geografisch Tijdschrift XVII/4: 263-268
  - Intermediair, 1986 (nr. 42, 17 oktober; J. Schildermans): Zure neerslag. pp. 57-61.
  - Isachenko, A.G., 1973: Principles of landscape science and physical geographic regionalization. J.S.Massey (ed.), Melbourne, Australia. 311 pp.
  - Kalkhoven J.T.R., A.H.P. Stumpel & S.E. Stumpel-Rienks, 1977: Landelijke Milieukartering. Een landschapsecologische kartering van het natuurlijk milieu in Nederland ten behoeve van de ruimtelijke planning op nationaal niveau. 141 pp., 2 losse kaartbijlagen. RIN Verhandeling 9, Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Keuning, H.J., 1934; in Keuning, H.J., 1965: Het Nederlandse volk in zijn woongebied. Leopolds, Den Haag. 23 pp.
  - Kloosterhuis, J.L. & J.C. pape, 1976: Toelichting bij de bodemkaart van Nederland 1: 200.000 ten behoeve van de Landelijke Milieukartering. Stiboka, Wageningen. 85 pp.
  - Kwak, R.G.M. et al. 1987: Broedvogeldistricten van Nederland: Een ruimtelijke visie op de Nederlandse avifauna. RIN/Dorschkamrapport.
  - Lands Directorate Environment Canada, 1981: diverse publicaties.
  - Loman, H. et al., 1984: Verzuring door atmosferische depositie. Effecten van 'zure regen' op de bodem. Publicatierreeks Milieubeheer 84/2 van de Ministeries van L&V en VROM.
  - Leser, H., 1976: Landschaftsökologie. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 432 pp.
  - Mennema, J., A.J. Quené-Boterenbrood & C.L. Plate (red.), 1985: Atlas van de Nederlandse flora. Deel 2: Zeldzame en vrij zeldzame planten. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht. 349 pp.
  - Middelburg, R. et al., 1988: Toelichting landschappenkaart. Staatsbosbeheer, Utrecht.
  - Milieu Kompas, 1988 (Ministerie VROM): Nieuwsbrief Nationaal Milieubeleids Plan, nr. 12 (15 maart 1988).
  - Staatsbosbeheer/NMF (Ministerie van Landbouw & Visserij), 1984: Natuurgebieden, bossen en natuurwaarden in het agrarisch landschap. Inspectie Natuurbehoud, 's-Gravenhage.
-

- Ministerie VROM, 1986: Discussienota Bodemkwaliteit. 22 pp.
  - Ministeries VROM, L&V en V&W, 1985: IMP-Milieubeheer 1986- 1990; Tweede Kamer 1985-1986, 19204, nrs. 1-2. Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Ministeries VROM, L&V en V&W, 1986: IMP-Milieubeheer 1987- 1991; Tweede Kamer 1986-1987, 19707, nrs. 1-2. Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Piket, J.J.C. et al., 1987: Atlas van Nederland. Deel 16: Landschap. 23 pp., 1 losse bijlage. Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland; Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Pulles, J.W., 1985: Beleidsanalyse van de waterhuishouding van Nederland (PAWN). Ministerie V & W, 's- Gravenhage. 431 pp.
  - Roelofs, H.J., Th.J. Beukeboom, A. Ebregt & W. Vos, 1982: Landschapsecologische relaties via het grondwater op nationaal en regionaal niveau. De Dorschkamp, Wageningen, rapport nr. 317. 122 pp, 5 losse kaarten.
  - Rijkswaterstaat (Directie Benedenrivieren), 1985: Identificatie baggerspecie Benedenriviereengebied. 16 pp.
  - Salomons, W. & U Förstner, 1984: Metals in the hydrocycle. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York Tokyo. 349 pp.
  - Scheffer, F. & P. Schachtschabel, 1976: Lehrbuch der Bodenkunde. Enke-Verlag, Stuttgart. 394 pp.
  - Schneider, T. & A.H.M. Bresser, 1987: Verzuuringsonderzoek eerste fase. Tussentijdse evaluatie. Nr. 00-04 van : Dutch Priority Programme on Acidification. RIVM 1987. 75 pp.
  - Snijders, F.L., 1985: Fysische geografie in de provincie Groningen. PPD-Groningen, afd. Milieu- en landschapsonderzoek. 51 pp.
  - Staatsbosbeheer & NMF (Ministerie L & V), 1984: Natuurgebieden, bossen en natuurwaarden in het agrarisch cultuurlandschap. 36 pp., 4 losse bijlagen.
  - Steur, G.G.L., et al., 1985: Atlas van Nederland, deel 14: Bodem. Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland, Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Stevers, R.A.M., J. Runhaar & H.A. Udo de Haes, 1984: Beleidsanalyse kustverdediging Texel: De effecten van kustverdedigingsalternatieven op het natuurlijk milieu. CML-mededelingen, Leiden.
  - Stevers, R.A.M, J. Runhaar, H.A. Udo de Haes & C.L.G. Groen 1987a: Het CML-ecotopensysteem, een landelijke ecosysteemtypologie toegespitst op de vegetatie. Landschap 4/2 (1987): 135-150
-

- Stevers, R.A.M., J. Runhaar & C.L.G. Groen, 1987b: Het CML-ecotopensysteem. Uitwerking voor Noord-, West- en Zuidwest-Nederland. CML-mededelingen 34, Leiden. 110 pp.
  - Stiboka, 1987a: Onderzoek naar de effecten van mestbeperking op de nitraatuitspoeling in waterwingebieden in Overijssel. 1: Beschrijving van RENLEM: een nitraatuitspoelingsmodel voor toepassing op regionale schaal. Rapport nr. 1935, Wageningen. 86 pp.
  - Stiboka, 1987b: Bodemkundige informatie voor een globaal vermistingsmodel. Rapport nr. 2007, Wageningen. 30 pp.
  - Stiboka & Rijks Geologische Dienst (RGD), 1977: Geomorfologische kaart van Nederland 1: 50.000. Legenda. 20 pp.
  - Teixeira, R.M. (red.), 1979: Atlas van de Nederlandse broedvogels. Vereniging tot behoud van Natuurmonumenten/SOVON. 431 pp.
  - Ulrich, B., 1980: Production and consumption of hydrogen ions in the ecosphere. In: T.C. Hutchinson & M. Havas (1980): Effects of acid precipitation on terrestrial ecosystems. pp 255- 282. Plenum Press, New York/London.
  - Ulrich, B., 1983: Soil acidity and its relations to acid deposition. In: B. Ulrich & J. Pankrath (1983): Effects of accumulation of air pollutants in forest ecosystems, pp. 127- 146. Reidel Publ. Company
  - USDA (Soil Survey Staff), 1977: US Soil Taxonomy, 7th approximation. US Dept. Agriculture, Washington DC.
  - Van der Maarel, E. & P.L. Dauvellier, 1978: Naar een Globaal Ecologisch Model voor de ruimtelijke ontwikkeling van Nederland. Staatsuitgeverij, den Haag.
  - Van der Molen, 1975: Agrohydrologie. Syllabus LH wageningen, afd. Cultuurtechniek, herziene uitgave.
  - Van der Salm, C., 1985: Verzuring van bosbodems in de boswachterij Doorwerth in de periode 1950- 1983. Rapporten van het Fys. Geogr. & Bodemk. Lab., UvA, nr. 19.
  - Van de Ven, G.P. et al., 1986: Atlas van Nederland, deel 15: Water. Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland, Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Van de Weg, R.F. (red.), 1981: Veldwerksyllabus voor de richtingen 3 en 4. Fys. Geogr. & Bodemk. Lab., UvA, Amsterdam. 103 pp.
  - Van Duijvenbooden, W. & A Breeuwsma (red.), 1987: Kwetsbaarheid van het grondwater. 69 pp., 12 losse kaartbijlagen. RIVM rapport 840387003
  - Van Staalduinen, C.J., 1979: Geologische Overzichtskaart van Nederland 1: 600.000. Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
-

- Veelenturf, P.W.M. (red.), 1985a: Landschapsecologische Kartering van Nederland. Fase I: Methode-ontwikkeling en resultaten voor een proefgebied in de provincie Utrecht. 146 pp. Concept-rapport Rijksplanologische Dienst, Den Haag.
- Veelenturf, P.W.M. (red.), 1985b: Landschapsecologische Kartering van Nederland. Fase IIa: Analyse van de knelpunten uit fase I. 147 pp. Concept-rapport Rijksplanologische Dienst, Den Haag.
- Veelenturf, P.W.M. (red.), 1987a: Landschapsecologische kartering van Nederland, Fase 1. Studierapport 39. Rijksplanologische Dienst. Staatsuitgeverij, Den Haag.
- Veelenturf, P.W.M. et al. (Themagroep Milieukwaliteit RPD), 1987: Milieukwaliteit in beeld. Conceptrapport van de themagroep milieukwaliteit over de kennisvragen ten behoeve van de 4<sup>e</sup> Nota over de milieukwaliteiten op nationale schaal.
- Verstraten, J.M., 1982: De bodem als bufferend systeem tegen verzuring. Inaugurele rede, 18 oktober 1982. 16 pp. Univ. van Amsterdam.
- Vink, A.P.A., 1963: Aspects de pédologie appliquée. La Bacconnière, Neuchâtel.
- Vink, A.P.A., 1975: Land use in advancing agriculture. Springer Verlag, Berlin. 394 pp.
- Vink, A.P.A., 1980: Landschapsecologie en landgebruik. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht. 151 pp.
- Visscher, H.A., 1972: Het Nederlandse landschap. Een typologie ten behoeve van het milieubeheer. 155 pp. Het Spectrum, Utrecht.
- Visscher, H.A., 1975: De Nederlandse landschappen. Ontstaan, wetenschappelijke betekenis, belevingswaarde. Aula Paperback 32, Het Spectrum, Utrecht/ Antwerpen. Deel 1: 238 pp.; deel 2: 224 pp.
- Vissers, H.J.S.M., N.H.S.M. de Wit & W. Bleuten, 1985: Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater. Bedreiging van de kwaliteit van grond- en oppervlaktewater en gevolgen voor de natuur en waterwinnings op de Nederlandse zandgronden. Vakgroep Fysische Geografie, RU Utrecht. 245 pp., 4 losse kaarten.
- Voorlopige Technische Commissie Bodembescherming, 1986: Advies Bodemkwaliteit. 97 pp. + bijlagen. Ministerie VROM, Den Haag.
- Vos, W., W.B. Harms & A.H.F. Stortelder (red.), 1982: Vooronderzoek naar landschapsecologische relaties tussen ecosystemen. De Dorschkamp, rapp. nr. 246, Wageningen. 209 pp.
- Walter, H., 1973: Vegetation of the earth in relation to climate and the eco-physiological conditions. Springer Verlag, New York Inc.
-

- 
- Walter, H., 1979: Vegetation of the earth and ecological systems of the geo-biosphere. 2nd ed., Springer Verlag, New York Inc.
  - Westhoff, V. & A.J. den Held, 1969: Plantengemeenschappen in Nederland. Thieme, Zutphen.
  - Wiken, E.B. & G. Ironside, 1977: The development of ecological (biophysical) land classification in Canada. Landscape Planning 4: 273-275.
  - Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen (red.), 1975: Toelichting bij de Geologische Overzichtskaarten van Nederland. Rijks Geologische Dienst, Haarlem. 134 pp., 6 losse bijlagen.
  - Zagwijn, W.H., et al., 1985: Atlas van Nederland, deel 13: Geologie. Stichting Wetenschappelijke Atlas van Nederland, Staatsuitgeverij, Den Haag.
  - Zonneveld, I.S., 1979: Land evaluation and land(scape) science. ITC-textbook, Enschede, Vol VII, 4 (2nd ed.)
  - Zonneveld, J.I.S., 1985: Levend Land; de geografie van het Nederlandse landschap. Bohn, Scheltema & Holkema, Utrecht/Antwerpen. 296 pp.
-

---

MILIEUBEHEERGEBIEDEN

Bijlagen

---

## BIJLAGE 1

---

### GEBRUIKTE INDELINGEN EN RELEVANTE KAARTEN

#### Abiotische facetkaarten

##### Klimaat

- Klimaatgebieden 1: ca. 2.000.000 (Van der Maarel en Dauvellier, 1978)
- Klimaat-Atlas van Nederland (KNMI)
- Grote Bos-atlas

##### Gesteente

- Landelijke Overzichtskartering Geologie 1: 600.000 (Zagwijn & Van Staalduinen, 1975)
- Nieuwe Geologische Kaart van Nederland: subregio's 1: 4.000.000 (Rijks Geologische Dienst)
- Vereenvoudigde Geologische kaart 1: 2.000.000 naar de Rijks Geologische Dienst (Zonneveld, 1985)

##### Geomorfologie

- Landelijke Overzichtskartering Geomorfologie 1: 600.000 (Stiboka)
- Onderscheid 'lage' en 'hoge' gronden (Pulles, 1985)
- Wetenschappelijke Atlas van Nederland, deel Geologie (Zagwijn et al., 1986) 1: 1.000.000
- Kaartbladkartering 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)

##### Grondwater

- Hydrologische indeling van Nederland 1: ong. 2.000.000 (Engelen, 1980)
- Landelijke Overzichtskartering Geohydrologie 1: 500.000 (RGD/ TNO-DGV)
- Kartering horizontale relaties via het grondwater (diverse kaarten 1: 500.000) (Roelofs et al., 1982) (onder meer Her- en inkomstgebieden grondwater)
- Kwetsbaarheidskartering grondwater (Van Duijvenbooden & Breeuwsma, 1987)
- Kaartbladkartering grondwatertrappen 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)

##### Oppervlaktewater

- Drainageregio's 1: ca. 1.500.000 (alleen de hoge gronden) (Pulles, 1985)
  - Kartering horizontale relaties via het oppervlaktewater (diverse kaarten 1: 500.000) (Farjon, 1982)
  - Districtindeling en regio-indeling PAWN (Pulles, 1985)
  - Nationale en belangrijkste regionale waterhuishoudkundige infrastructuur 1: ca. 1.700.000 (Pulles, 1985)
  - Wetenschappelijk Atlas van Nederland: deel Water (kaart met oppervlaktewateren 1: 1.000.000 (Van de Ven et al., 1985)
  - Oppervlaktewateren 1: 1.000.000 in De Jongh & Vaessen (1985)
-

- Globale landschappenkaart van Nederland naar visuele kenmerken van water 1: 1.000.000 (De Jongh & Vaessen, 1985)

#### Bodem

- Globale Bodemkaart van Nederland 1: 1.000.000 (De Bakker & Schelling, 1966)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem 1: 600.000 (Stiboka)
- Bodemkaart naar Edelman 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Bodemkaart naar De Bakker & Schelling 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Vereenvoudigde bodemkaart met de belangrijkste gradiënten 1: ca. 2.000.000 (Baaijens, 1985)
- Grondsoortenkaart 1: ca. 2.000.000 (Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
- Natuurlijke voedselrijkdom van de bodem 1: ca. 2.000.000 (in: Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
- Grondsoortenkaart 1: ca 1.500.000 (Pulles, 1985)
- Wetenschappelijk Atlas van Nederland: Bodem (kaart 1: ca. 1.000.000) (Steur et al, 1985)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: Nebo-kaart 1: 200.000 (Stiboka)
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: Nieuwe Nebo-kaart 1: 250.000
- Landelijke Overzichtskartering Bodem: generalisatie in het kader van de Landelijke Milieu Kartering (LMK) 1: 200.000 (Kloosterhuis & Pape, 1976; Kalkhoven et al., 1977)
- Kaartbladkartering bodem 1: 50.000 (Stiboka) (nog niet landsdekkend)

#### Abiotische integratiekaarten

- Fysisch geografische Landschappenkaart van Nederland 1: 600.000 (Hof, 1983)
- Nederland: de grote natuurlijke landschapseenheden 1: 2.200.000 (Keuning, 1965 naar Keuning, 1934; zie Hof, 1983)
- Fysisch geografische landschapseenheden 1: 1.300.000 (De Gans & Schoutte, 1973; zie Hof, 1983)
- Fysisch geografische provincies van Nederland 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Fysisch geografische landschapstypen 1: ca. 2.000.000 (Zonneveld, 1985)
- Fysisch geografische landschappen 1: ca. 2.500.000 (Visscher, 1975)
- Landschappen met geleidelijke overgangen ofwel milieugradiënten 1: ca. 1.500.000 (in: Van der Maarel & Dauvellier, 1978)

#### Biotische facetkaarten

##### Landgebruik

- Statistiek van het bodemgebruik (CBS) (geen overzichtskaart)
  - Vierde Bosstatistiek (CBS/ SBB) (geen overzichtskaart)
  - Kartering van bossen, natuurgebieden en WAC's (SBB/NMF, 1984)
  - Landbouwgebieden 1: ong. 1.500.000 (CBS, 1986)
-

### Plantegroei

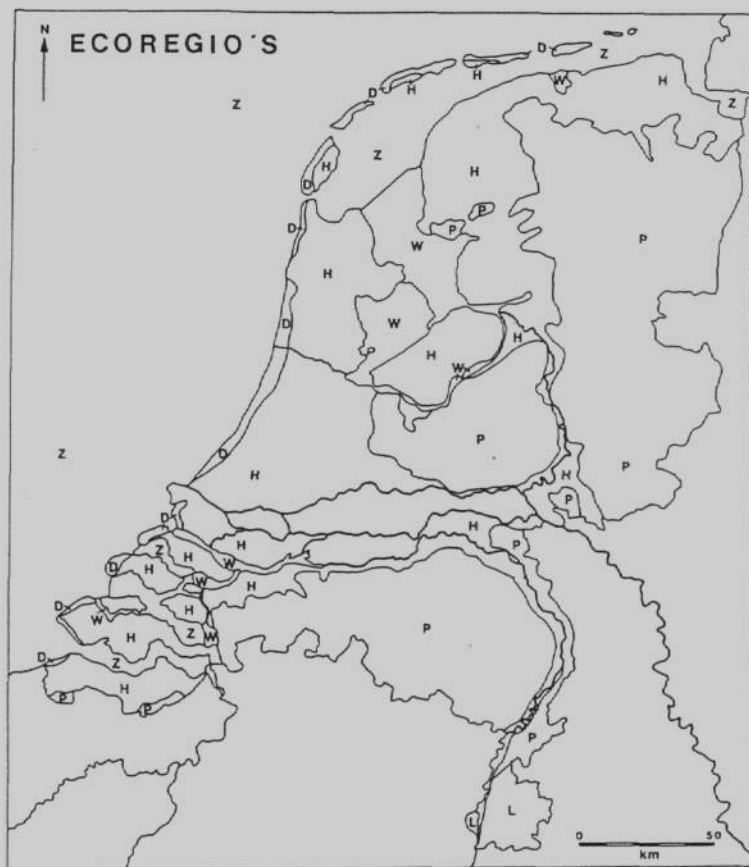
- Atlasproject Nederlandse Flora: atlassen met verspreidingskaarten van de Zeer Zeer Zeldzame, Zeer Zeldzame en Zeldzame soorten
- Plantengeografische districten 1: ong. 2.500.000 (in: Heukels en Van Oostroom, 1975; Heukels & Van der Meyden, 1983)
- Verspreiding van epifyten (Barkman, 1958)
- Korstmossenarchief van Nederland (De Wit, 1976)
- Landelijke milieukartering: kaart natuurwaarden (Kalkhoven et al., 1977)

### Fauna

- Broedvogeldistricten van Nederland (5 x 5 km-hokken) (Kwak et al., 1987)
- Atlas van de Nederlandse broedvogels (idem) (Teixeira, 1979)
- Atlas van de Nederlandse winter- en trekvogels (idem) (Bekhuis et al., 1987)
- Voorlopige atlas van de Nederlandse dagvlinders (idem) (Geraedts, 1986)
- Her- en inkomstgebieden van waterdieren (Vos et al., 1982)
- Hydrobiologische districten van Nederland 1: ca. 3.000.000 (De Lange & Ruiter, 1977; in Vos et al., 1982)

### Abiotisch-biotische integratiekaarten

- Landelijke Milieukartering: potentieel natuurlijke vegetatie (interpretatie van de bodemkaart) 1: 250.000 (Kalkhoven et al., 1977)
  - Geotopenkaart van Nederland 1: 2.500.000 (Visscher, 1972)
  - Geotooptypen 1: ca. 1.500.000 naar Visscher (1972) (Van der Maarel & Dauvellier, 1978)
  - Landschapstypen naar cultuurhistorische kenmerken volgens De Boer, Entrop & Tack (Renes, 1982)
  - Wetenschappelijke Atlas van Nederland: deel Landschap. Landschappen van Nederland 1: 1.000.000 (Piket et al., 1987)
-



**CML / RIVM**

februari 1988

**ECOREGIO'S**

- L Heuvelland  
Zuid-Limburg
- P Oude zandgronden en hoogveen  
Hoog Nederland
- D Kustduinen  
Duinen
- H Laagveen- en kleigebieden  
Laag Nederland
- W Zoete wateren  
Binnenwateren
- Z Zoute wateren  
Getijdewateren

BIJLAGE 2

ECOREGIO L: Heuvelland

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Vast gesteente uit Tertiair en Krijt, vaak met oudere rivierafzettingen (zand en grind) en/of löss bedekt.  
Dicht patroon van parallelle breuken.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Heuvelland. Hoogte 40 tot 300 m.  
Door breuken en rivier- en beekinsnijdingen bepaalde landvormen (rivier- en breukterrassen). Actieve processen: watererosie en sedimentatie.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied. Interne drainage via breuken, mijnen en oplossingsgangen, gedeeltelijk naar Duitsland (bruinkoolmijnen).  
Bronniveaus van diep grondwater op hellingen.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afwatering, weinig gereguleerd.  
Sterk versneld landschap met dendritisch, gedeeltelijk door breuken bepaald bekenpatroon.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Dunne tot dikke bodems, afhankelijk van de positie. Kalkloze (löss)leemgronden, kalkloze en kalkrijke verweringsgronden (kleefaarde). Goed vochthoudende bodems met zeer diepe (tot ondiepe) grondwaterstanden.

-----  
BEGROEIING

Kalkgraslanden, gemengde loofbossen (hellingbossen), beekbegeleidende vegetaties.

-----  
FAUNA

p.m.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw, natuur, delfstoffenwinning.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Versnelde erosie, verdroging via diep grondwater, verontreiniging met zware metalen (beekdalen), vermisting grondwater.

BIJLAGE 2

ECOREGIO P: Oude zandgronden en hoogveen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Zandgronden (rivierzanden van de grote rivieren, door ijs bewerkte rivierzanden en windafzettingen) en hoogveen. Voornamelijk Pleistoceen.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Golvend laagland met heuvel- en plateauvormen. Overwegend flauwe welvingen met ondiepe beekdalen. Hoogte 0 tot 100 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigt- en doorstroomgebied. Overwegend doorlatende (watervoerende) pakketten met plaatselijk stagnerende lagen in de ondergrond.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming, meestal gereguleerd met stuwen en kunstmatig versneld. Vennen, laaglandbeken, kanalen en wijken. Oorspronkelijk oligotroof en mesotroof water.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Diepe, kalkloze, leemarme en lemige zandgronden, humeuze en moerige zandgronden en (hoog)veengronden.  
Grondwater zeer diep en diep (tot ondiep).

-----  
BEGROEIING

Naaldbossen, gemengde loofbossen van arme en matig rijke grond, heidevel- den, broekbossen, beekbegeleidende vegetaties. Hoogveenvegetatie.

-----  
FAUNA

p.m.

-----  
LANDGEBRUIK

Bosbouw, landbouw (intensieve veehouderij), drinkwaterwinning, natuur.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Verzuring, vermesting, verdroging.

BIJLAGE 2

ECOREGIO D: Kustduinen

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Duin- en strandzand (fijn zand). Holoceen.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Duinen en duinvalleien, strandvlakten.  
Actieve processen: verstuiving, kustafslag en -aanwas.  
Hoogte 0 tot 50 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied, geïsoleerd. Vrijwel geheel watervoerend pakket; zoetwaterbel op zout grondwater in de ondergrond.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming (rellen); soms kunstmatige waterinfiltratie. Duinmeren en infiltratieplassen. Oorspronkelijk oligotroof.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Humusarme kalkrijke en kalkloze zandgronden, soms moerig.  
Gering vochthoudend vermogen; grondwater zeer diep (tot ondiep).

BEGROEIING

Open duinvegetatie, struwelen en duinbossen; valleivegetaties.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Zeewering, natuur, waterwinning, recreatie.

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Verdroging door waterwinning, kustafslag en polderpeilverlaging (H).  
Verontreiniging en/of eutrofiëring door waterinfiltratie. Kustafslag.

BIJLAGE 2

ECOREGIO H: Laagveen- en kleigebieden

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Rivier- en zeeklei (zandige tot zware klei), laagveen. Holoceen.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Vlakkland: riviervlakte, getij-afzettingsvlakte en randveengebied met polders. Actieve processen: sedimentatie, inklinking.  
Hoogte -8 tot 50 m (Maasdal).

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroom- en kwel, gedeeltelijk geïsoleerd. Zoet grondwater met toenemende invloed van zout grondwater in de ondergrond in noordelijke en westelijke richting.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding; polders, dijken, gemalen, stuwen en sluisen. Inlaat en uitslag (doorspoelen). Rivieren, plassen, boezemwateren en sloten. Zoet, eutroof; in westen en noorden soms brak.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Zeekleigronden, rivierkleigronden en laagveengronden.  
Grondwater ondiep tot diep.

BEGROEIING

Water- en moerasvegetatie, rietlanden, broekbossen.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Landbouw (akkerbouw, weidebouw, fruitteelt), recreatie, natuur.

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Verdroging (inklinking, oxydatie), verontreiniging oppervlaktewateren.

BIJLAGE 2

ECOREGIO W: Zoete wateren

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Fijne slib- en zandafzettingen (baggerspecie).

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Afgedamde riviertakken, estuaria, zeearmen en binnenzeeën, met de buitendijkse gronden.

Hoogte 1 tot -25 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroom; veelal geïsoleerd.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding: peilbeheer met dammen, sluizen en spuiwerken. Nationale boezemwateren (buffer) met onregelmatige peilfluctuaties en relatief geringe peilverschillen. Eutroof zoet tot brak water.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Buitendijkse (periodiek overstroomde) aanslibbingen en waterbodems: ongerijpte klei- en zandige kleigronden.

BEGROEIING

Water- en oevervegetaties (rietlanden, ruigten), wilgenvloedbos. Fytoplankton.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Verkeer, recreatie, waterwinning (landbouw en drinkwater).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Verontreiniging van water en waterbodem, vermessing (eutrofiëring met algenbloei). Hoge waterstanden bij piekafvoeren of opwaaiing.

BIJLAGE 2

ECOREGIO Z: Zoute wateren

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Zeezand, Leemarm en lemig fijn zand.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Open estuaria, zeearmen en zoeën met geulen, banken, platen, slikken en gorzen. Actieve processen: uitschuring en afzetting (sedimentatie).

Hoogte 2 tot -50 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

-

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke en gedeeltelijk gereguleerde waterhuishouding: getijden. Zout water of met een gradiënt van brak naar zout (instroom van eutroof zoet water).

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden en zeekleigronden.

BEGROEIING

Kweldervegetaties, watervegetaties (wieren) van hard en zacht substraat. Fytoplankton.

FAUNA

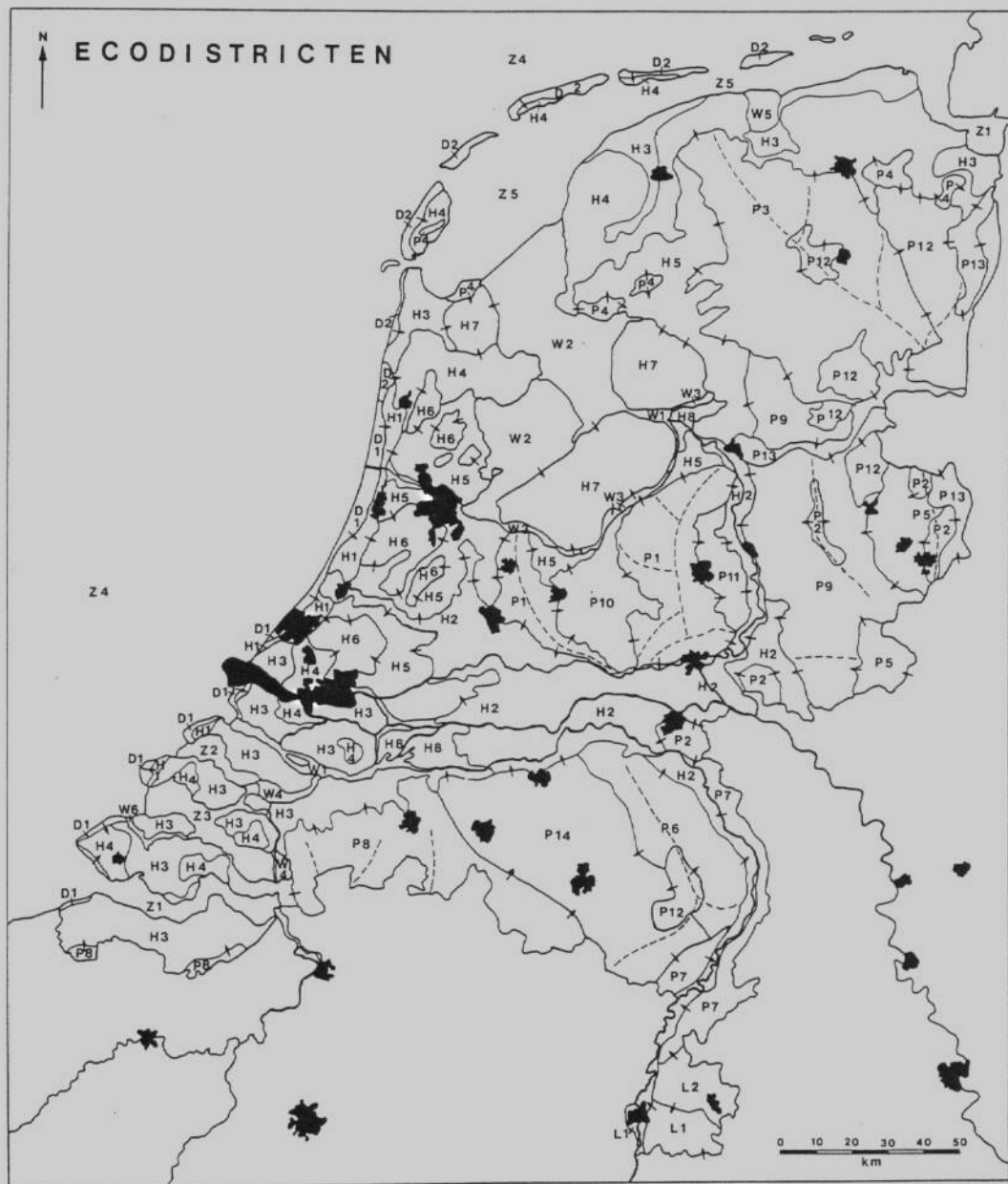
p.m.

LANDGEBRUIK

Visserij, verkeer, natuur, recreatie.

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Verontreiniging van water en slib, vermessing (eutrofiëring leidend tot algenbloei (zeeschuim)). Zeespiegelrijzing.



- Hoofdstroomrichting grondwater
- - - - - Belangrijke grondwaterscheiding
- Grote steden / industrie

CML/RIVM

1988

## ECODISTRICTEN

- L1: Krijtlandschap  
Krijtland
- L2: Lössgebied  
Mijnstreek
- P1: Midden Nederlands stuwalcomplex  
Veluwe  
Utrechtse Heuvelrug en Gooi
- P2: Geïsoleerde stuwallen  
Stuwval van Nijmegen  
Montferland  
Haarler- en Holterberg  
Tankenberg  
Kuiper- en Bramsberg
- P3: Geïsoleerd keileemplateau  
Fries-Drentse plateau
- P4: Pleistocene opduikingen  
Woldstreek  
Gaasterland  
Wieringen  
Berg van Texel
- P5: Overige keileemgebieden  
Midden- Twente  
Plateau van de Achterhoek
- P6: Horsten  
Peelhorst
- P7: Oude rivierterrassenlandschap  
Oost-Lisburg  
Leubeekgebied
- P8: Zuid-west Nederlands rivierzandgebied  
West- Brabants zandgebied  
Vlaams zandgebied
- P9: Oost Nederlands dekzandgebied  
Gelders-Overijssels zandgebied
- P10: Glaciaal bekken  
Gelderse Vallei
- P11: Pijnwaierlandschap  
Veluwezoom
- P12: Hoogveen(ontginnings)landschap  
Fries-Drentse hoogveengebied  
Oost Nederlands hoogveengebied  
Gronings-Drentse veenkolonien  
Peel
- P13: Beekdalcomplexen  
Westerwolde  
Overijsselse Vechtdal  
Dinkeldal
- P14: Centrale Slenkgebied  
Midden- Brabants bekengebied
- D1: Kalkrijke duinen  
Duinen van Zeeuws-Vlaanderen  
Duinen van Walcheren  
Duinen van Schouwen  
Duinen van Goeree  
Voorn Duin  
Vastelandsduinen ten zuiden van Bergen
- D2: Kalkarme duinen  
Vastelandsduinen ten noorden van Bergen  
Duinen van Texel  
Vlieland  
Duinen van Terschelling  
Duinen van Ameland  
Schiermonnikoog  
Rottumeroog
- H1: Strandsallengebied  
Achterduinlandschap
- H2: Rivierengebied  
Maasdal  
Oude IJsselgebied  
IJsseldal  
Centraal rivierengebied  
Oude Rijngebied  
Utrechtse Vechtgebied
- H3: Jonge IJndijkken  
Dollardpolders  
Noordgronings en Friese landsaanwinningen  
Het Bildt- Middelzee  
Zijpe  
Westland  
Zeeuws en Zuidhollandse eilanden  
Noordwest Brabant
- H4: Zeekei-inversielandschap  
Fries-Gronings terpengebied  
West-Friesland  
Zuid-Hollandse en Zeeuwse poelgrondengebieden
- H5: Laagveengebied  
Fries-Overijssels veengebied  
Veluwerand  
Eemvallei  
Vechtplassengebied  
Noordhollands veenweidegebied  
Hart van Holland  
Krispenerwaard  
Alblasserwaard en Vijfheerenlanden
- H6: Droogmakerijen  
Heerhugowaard  
Beemster  
Purmer  
Worser  
Haarlemmermeer  
Schieland
- H7: Polders  
Wieringermeer  
Noordoostpolder  
Oostelijk Flevoland  
Zuidelijk Flevoland
- H8: Deltagebieden  
Biesbosch  
IJsseldelta
- W1: Sedimentatiebekkens  
Hollands Diep/ Haringvliet  
Ketelseer
- W2: Grote verzoete binnenzeeën  
IJsselmeer  
Markermeer- IJmeer
- W3: Randsaen  
Zwarte Meer  
Veluwemeer- Drontermeer  
Wolderwijd- Muldermaw  
Eemmeer- Gooimeer
- W4: Verzoetende estuaria  
Volkerak- Zoomeer
- W5: Verzoete zeeën  
Lauwersmeer
- W6: Brakke zeeën  
Veerse Meer
- Z1: Estuaria  
Westerschelde  
Eem-Dollard
- Z2: Zoute zeeën  
Grevelingen
- Z3: Zeearmen  
Oosterschelde
- Z4: Randzee  
Noordzee
- Z5: Waddenzee  
Waddenzee

BIJLAGE 3

ECODISTRICT L1: Krijtlandschap

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Kalksteen, soms met grind of vuursteendek.  
Plaatselijk rivierzandafzettingen. (Boven Krijt en Formaties van Sterk-  
sel, Tegelen en langs de beken Singraven).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Heuvelland met plateauresten, beekdalen.  
Actieve processen: watererosie en sedimentatie; oplossing kalksteen.  
Hoogte 40- 300 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijgings- en doorstroomgebied. Infiltratie tot grote diepte door kalk-  
steen, oplossingsverschijnselen. Bronnen.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Concentratie in beken (dendritisch patroon): Geul  
met zijbeken.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze leem- (löss) en kleigronden (kleefaarde), kalkrijke kalksteen-  
verweringsgronden, siltige beekdalgronden.  
Grondwaterstanden zeer diep (tot ondiep).

-----  
BEGROEIING

Kalkgraslanden, graften, hellingbossen (gemengd loofbos), beekbegelei-  
dende begroeiing, zinkflora.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Limburgs district

-----  
LANDGEBRUIK

Akkerbouw, weidebouw, natuurgebieden (delfstoffenwinning, recreatie).

-----  
BIJZONDERHEDEN

Erosie en sedimentatie van hellingmateriaal. Vervuiling met zware metalen  
langs de beken: oevererosie.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT L2: Lössgebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Grind op lemig fijn zand, lemig fijn zand (op fijn zand).  
Lössdek op zandafzettingen (Formaties van Veghel en Sterksel) en vast  
gesteente (Mioceen, Oligoceen en Eoceen). Veel breuk(lijn)trappen.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Heuvelland met plateau-(breuklijn) en rivierterrassen.  
Actieve processen: watererosie en sedimentatie  
Hoogte 40- 150 m

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijgings- doorstroomgebied. Bronnen.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming: concentratie. Bekenpatroon longitudinaal.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze siltige en zandige leemgronden (löss) en siltige beekdalgronden  
(colluvium).  
Grondwater zeer diep.

-----  
BEGROEIING

Hellingbossen (loofbos), beekbegeleidende begroeiing.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Limburgs district

-----  
LANDGEBRUIK

Akkerbouw, industrie (wonen, delfstoffenwinning).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Erosie en sedimentatie van hellingmateriaal. Mijnafvalbergen: uitspoelen  
verontreiniging.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P1: Midden-Nederlands stuwwallencomplex

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemarm fijn zand en grof zand. Gestuwde afzettingen van Rijn en Maas (Formatie van Drente en ouder), met variabel dek van dekzand en/of stuifzand (Formaties van Twente en Kootwijk).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Stuwwallen met smeltwatermorfologie en stuifzandgebieden. Hoofdwaterscheiding. Hoogte 5- 100 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied, hoofdgrondwaterscheiding. Vrijwel uitsluitend diep grondwater; geen slecht doorlatende lagen boven watervoerend pakket.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Spreiding via weinige beken.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze grof- en fijnzandbodems (podzolen, enkeerdgronden, duinvaaggronden). Grondwater zeer diep.

-----  
BEGROEIJING

Naaldbossen, heide met vliegdennen, droog eiken-berken en beuken-eikenbos.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Veluwe en Centraal zanddistrict

-----  
LANDGEBRUIK

Bosbouw, natuurgebied (recreatie, drinkwaterwinning).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Nationale Parken 'De Hooge Veluwe' en 'De Veluwezoom'  
Nationaal Landschap 'De Veluwe'

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P2: Geïsoleerde stuwwallen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Grof zand, soms leemarm fijn zand op grof zand. Gestuwde afzettingen van Rijn en Maas: zand en grind met plaatselijk leeminschakelingen (Formaties van Drente en ouder, Twente).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Stuwwallen met smeltwatermorfologie. Secundaire waterscheidingen. Hoogte 5- 100 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied, grondwaterscheiding. Bronnen op de flanken.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Weinige bronbeken.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze grof- en fijnzandige bodems (podzolen). Grondwater zeer diep.

-----  
BEGROEIJING

Naaldbossen en gemengde loofbossen, plaatselijk bronbos.

-----  
FAUNA

Broedvogeldistrict: Centraal- en Drents-Brabants zanddistrict

-----  
LANDGEBRUIK

Bosbouw (drinkwaterwinning, recreatie, natuur).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT P3: Geïsoleerd keileemplateau

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig fijn zand en fijn zand met keileeminschakelingen. Grondmorene op gestuwde zanden (Formatie van Drente) met dekzandbedekking van wisselende dikte en beekafzettingen (Formaties van Twente en Singraven).

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Grondmorenewelving (plateau) met dekzandrelief en beekdalen. Waterscheiding. Hoogte 0- 30 m.

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijing/ doorstroom (complex van fijsazige inzijing, isolatie en kwel). Grondwaterscheiding. Scheiding ondiep en diep grondwater (on-doorlatende lagen).

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Spreiding via radiaal patroon: veel beken. Vennen.

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden, moerige zandgronden en veengronden, meestal met keileem binnen 1.20 m diepte (veldpodzolen met bekeergronden en broekveengronden). Grondwater diep tot ondiep.

## BEGROEIING

Naaldbossen, natte en droge heiden met jeneverbesstruweel, beekbegeleidende vegetaties (vochtige graslanden).

## FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Drents vennendistrict

## LANDGEBRUIK

Akkerbouw (weidebouw, bosbouw, drinkwaterwinning, recreatie, natuur).

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT P4: Pleistocene opduikingen

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

(Lemig) fijn zand met keileeminschakelingen. Gestuwde grondmorene en oudere rivierafzettingen, soms verspoeld (Formaties van Drente en Twente)

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Overreden stuwwallen en keileemopduikingen. Hoogte 0- 15 m.

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inziggings- en herkomstgebied. Alzijdige afstroming. Voornamelijk ondiep grondwater (slecht doorlatende pakketten).

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

-

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden en moerige zandgronden, veelal met keileem binnen 1.20 m diepte (podzolen). Grondwater diep.

## BEGROEIING

Gemengde loofbossen, perceelsbeplantingen (houtwallen, tuinwallen)

## FAUNA

p.m.

## LANDGEBRUIK

Bosbouw, landbouw (recreatie, natuur).

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P5: Overige kelleemgebieden

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemig en leemarm fijn zand met keileeminschakelingen, vast gesteente vaak op geringe diepte. Grondmorene op en tussen gestuwde rivierafzettingen met dekzand van wisselende dikte (Formaties van Drente en Twente).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Grondmorenewelvingen en complexe bekkens met kleinere stuwwallen. Beekdalen.

Hoogte 10- 85 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Herkomst- doorstroombied (fijnmazig complex van infiltratie, isolatie en kwel). Bronnen. Voornamelijk ondiep grondwater, geen diep watervoerend pakket (vast gesteente, impermeabele kleien).

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Parallel en dendritisch bekenpatroon: veel beken.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden en moerige zandgronden, soms met keileem of andere oude kleilagen binnen 1.20 m diepte (podzolen, eerdgronden). Grondwater diep tot ondiep.

-----  
BEGROEIING

Loofbos, houtwallen, beekbegeleidende vegetaties (natte graslanden).

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Centraal zanddistrict

-----  
LANDGEBRUIK

Weidebouw (natuur, recreatie, drinkwaterwinning, bosbouw)

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P6: Horsten

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Grof zand met plaatselijk een dun dek van fijn zand (plaatselijk hoogveen en grindvoorkomens). Maas- en Rijnafzettingen (Formaties van Veghel en Kreftenheye) met dun dekzanddek (Formatie van Twente).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Geologische horst (door breuken begrensd) met stuifzanden. Hoogte 10 - 40 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied, langs de randen complex van inzijging en kwel. Secundaire grondwaterscheiding.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afwatering. Spreiding via beken, overwegend naar het oosten.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden en moerige zandgronden, soms met grind binnen 1.20 m diepte (podzolen, enkeerdgronden en duinvaaggronden). Grondwater diep tot zeer diep.

-----  
BEGROEIING

Naaldbossen, natte en droge heiden.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Drents- Brabants zanddistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Akkerbouw (intensieve veehouderij), drinkwaterwinning (natuur, recreatie).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT P7: Oude rivierterrassenlandschap

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

Grof zand (soms met leemarm fijn zand) en lemig fijn zand op grind (Formaties van Veghel, Sterksel en Kreftenheye). Plaatselijk dekzand (Formatie van Twente)

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Rivierterrassen en breuklijntrappen, landduinen.  
Hoogte 10- 100 m

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijgings- /doorstroombied (fijnmazig complex van inzijging en kwel).

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming, concentratie via beken naar de Maas. Vennen.

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze fijn en grofzandige gronden, plaatselijk kalkloze oude rivierklei (enkeerdgronden, podzolgronden en vaaggronden)  
Grondwater: diep en zeer diep

## BEGROEIING

Naaldbossen, natte en droge heiden

## FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Limburgs district en Drents Brabants zanddistrict

## LANDGEBRUIK

akkerbouw, bosbouw, natuur, drinkwaterwinning

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT P8: Zuidwest-Nederlands zandgebied

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig fijn zand met soms grof zand. Klei en grofzand van de Rijn (Formatie van Tegelen) en lokale afzettingen (Formatie van Kedichem). Plaatselijk dun dekzand en/of stuifzand (Formaties van Twente en Kootwijk)

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Flauw golvende riviervlakte met dekzandmorfolgie, stuifduinen en beekdalen.

Hoogte 0- 30 m

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Herkomst- doorstroombied (complex van inzijging, isolatie en kwel). Voornamelijk ondiepe grondwaterstromen (boven slecht doorlatende pakketten).

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Concentratie via dendritisch bekenpatroon met sloten. Afwatering naar het noorden via Marke en Dintel.

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden en humeuze zandgronden (podzolen, enkeleerdgronden, beek- en gooreerdgronden, duinvaaggronden; vaak met leem binnen 1.20 m diepte). Grondwater: diep tot ondiep.

## BEGROEIING

Naaldbossen, beekbegeleidende vegetaties, populierenplantages

## FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Drents-Brabants zanddistrict

## LANDGEBRUIK

akkerbouw (intensieve veehouderij) en weidebouw (bosbouw, drinkwaterwinning en natuur).

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P9: Oost-Nederlands zandgebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemarm fijn zand (op grof zand). Dekzand (Formatie van Twente) op verspoelde rivierzanden. Langs beken Formatie van Singraven.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Flauwolvende dekzandmorfologie op dalopvulling. Beekdalen. Hoogte 0- 20 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtig- doorstroomgebied (complex van inzigtig, isolatie en kwel). Kwel langs beken. Nauwelijks afdekking van watervoerend pakket.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Parallel bekenpatroon. Diepe sloten met stuwen.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden (podzolen en vaaggronden) en huseuze en moerige zandgronden (beekeerdgronden, enkeerdgronden). Grondwater diep tot ondiep.

-----  
BEGROEING

Naaldbossen, beekbegeleidende bossen, houtwallen.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Centraal en Drents-Brabants zanddistrict

-----  
LANDGEBRUIK

Akkerbouw (intensieve veehouderij), recreatie.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P10: Glaciaal bekken

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leinig (en leemarm) fijn zand. Dekzand en verspoelde rivierzanden (Formatie van Twente), beekafzettingen.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Glaciaal tongbekken met dekzandmorfologie en beekdalen. Hoogte 0- 20 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroomgebied en isolatie, kwelzones langs de stuwallen. Fijnmazige afwisseling van inzigtig en kwel. Bovenregionaal: inzigtiggebied.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Dendritisch bekenpatroon: concentratie. Diepe sloten.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze huseuze en moerige zandgronden (beekeerd- en enkeerdgronden). Grondwater ondiep tot diep.

-----  
BEGROEING

Houtwallen, kleine gemengde loofbosjes, beekbegeleidende vegetatie.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Centraal zanddistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (intensieve veehouderij), recreatie, natuur.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P11: Puinwaaierslandschap

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemarm fijn zand op grof lemig zand en grof zand. Verspoelde rivierzanden (met grind en/of leem) met plaatselijk dekzand (Formatie van Twente).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Puinwaaiers vanaf Veluwemassief met dekzandmorfolgie.  
Hoogte 0- 20 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroomgebied (kwel voor diep grondwater).

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Parallele bronbeken (sprengen), sloten, kanaal.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze humeuze (lemige) zandgronden (beekeerd-, gooreerd-, enkeerdgronden en vlakvaaggronden).  
Grondwater ondiep tot diep.

-----  
BEGROEIING

Gemengde loofbosjes, houtwallen, bron- en beekbegeleidende vegetatie.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Centraal zanddistrict

-----  
LANDGEBRUIK

landbouw (weidebouw), natuur, recreatie.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P12: Hoogveen(ontginnings)landschap

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

(Resten hoogveen op) leemarm (en soms lemig) fijn zand. Hoogveen (Formatie van Griendsvveen) op verspoelde rivierzanden met plaatselijk dekzand (Formaties van Drente en Twente).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Dekzandvlakten met hoogveenbulten.  
Hoogte 0- 20 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Geïsoleerd/ herkomstgebied.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Spreiding. Geforceerd door kanalen en wijken, gereguleerd door stuwen.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze veengronden (meerveengronden) en moerige zandgronden met een zanddek: veenmosveen (op broekveen) met zand binnen 1.20 m diepte. Plaatselijk hoogveen (vlierveengronden). Grondwater diep tot ondiep.

-----  
BEGROEIING

Hoogveen, veenplassen, natte heide, loof- en naaldbos.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Drents vennendistrict, Drents-Brabants zanddistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Akkerbouw (intensieve veehouderij), natuur (bosbouw).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Hoogveenrestanten in natuurgebieden Fochteloëe en Peel. Verdroging door ontwatering in omgeving.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P13: Beekdalcomplexen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig en leemarm fijn zand. Beekafzettingen (formatie van Singraven), dekzanden en verspoelde rivierzanden (Formaties van Twente en Drente), plaatselijk stuifzand (Formatie van Kootwijk).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Beekdal morfologie met landduinen  
Hoogte 0 - 20 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomst- doorstroombied (kwel). Concentratie.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Concentratie. Beken, oude lopen, kanalen, sloten. Gereguleerd door stuwen.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Associatie van kalkloze moerige en lemige zandgronden (beekerdgronden en vlakvaaggronden), beekkleigronden en laagveen.  
Grondwater ondiep tot diep.

-----  
BEGROEIJING

Beekbegeleidend loofbos, houtwallen, struwelen, natte graslanden.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Drents Brabants zanddistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Natuur (landbouw, recreatie)

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT P14: Centrale Siengebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

(Lemig) fijn zand. Dekzand (Formatie van Twente) en dekzand op rivierafzettingen: grof zand, soms lemig (Formatie van Sterksel). Beekafzettingen en stuifzanden (Formaties van Singraven en Kootwijk)

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Beekdalen in flauwolvende dekzandmorfologie, stuifzanden.  
Hoogte: 0 - 40 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroombied (fijnmazig patroon van inzijing, isolatie en kwel)

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming. Concentratie door dendritisch bekenpatroon (Beerze en Dommel). Sloten (ondiep) met stuwen. Vennen.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze zandgronden (haar- en veldpodzolgronden), humeuze en moerige zandgronden (enkeerd-, beekerd- en gooreerdgronden), vaak met grof zand of grind binnen 1.20 m diepte. Grondwater diep tot ondiep.

-----  
BEGROEIJING

Naaldbos, heiden met vennen, populierenbossen, beekbegeleidende vegetaties (broekbossen).

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Brabants vennendistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (intensieve veehouderij en akkerbouw), bosbouw, recreatie, natuur, drinkwaterwinning.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Vermosting van de beekdalen door ondiepe grondwaterstromen. Verontreiniging met zware metalen in de Kempen.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT D1: Kalkrijke duinen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Duinzand. Kalkrijke duin- en strandafzettingen: fijn zand (Jonge Duin- en Strandafzettingen).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Kustduinen met valleien en uitblazingslaagten.  
Hoogte 0- 50 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied. Waterscheiding met zoetwaterbel drijvend op zout grondwater in de diepte.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke afstroming: spreiding. Duinmeren, infiltratieplassen (waterwinning), bronbeekjes (rellen).

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke humusarme zandgronden (duinvaaggronden en vlakvaaggronden).  
Grondwater zeer diep (tot ondiep).

-----  
BEGROEIING

Open duinbegroeiing, valleivegetaties, struwelen en duinbossen (gemengd loofbos).

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Hollands en Zeeuws duindistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Zeevering, natuur, waterwinning, recreatie.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT D2: Kalkarme duinen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Duinzand. Kalkarme duin- en strandafzettingen: fijn zand (Jonge Duin- en Strandafzettingen).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Kustduinen met valleien en buitendijkse aanwassen boven gemiddeld hoogwater.  
Hoogte 0- 50 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied. Waterscheiding met zoetwaterbel drijvend in zout grondwater.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Duinmeren.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze humusarme zandgronden (duin- en vlakvaaggronden).  
Grondwater zeer diep (tot ondiep).

-----  
BEGROEIING

Open duinbegroeiing, duinheiden, struwelen, naaldbossen en kwelders.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Waddendistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Zeevering, natuur, drinkwater, recreatie.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H1: Strandwallengebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Geul- en strandzand, soms met veen. Kalkrijke duin- en strandwalafzettingen, fijn zand (Oude Duin- en Strandafzettingen) en laagveen op deze afzettingen (Hollandveen).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Strandwallen en strandvlakten  
Hoogte 0- 3 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomst-doorstroombied (kwel). Zoet grondwater afstromend over zoute onderlaag.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Vaarten, sloten.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijk humeus en moerig zand (enkeerdgronden en bekeerdgronden, vlakvaaggronden). Grondwater ondiep (tot diep).

-----  
BEGROEIING

Gemengde loofbossen, parkbossen (landgoederen).

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Hollands en Zeeuws duindistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Weidebouw/ bollen, wonen, recreatie, natuur.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H2: Rivierengebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Klei en klei op grof zand of grind. Rivierafzettingen van Rijn, Maas en IJssel: zanden (oeverwallen en overslaggronden), lichte klei en zware komkleien (Formaties van Betuwe en Tiel).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Oeverwallen en kommen, uiterwaarden. Tichelgaten en grindgaten.  
Hoogte 0- 50 m (Maas bij Maastricht)

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomst- doorstroombied (kwel). Diepe grondwaterstroom door oerstromdalen onder huidige rivierengebied.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde afstroming en bemaling van polders. Rivieren, kanalen, vaarten, sloten; stuwen, sluizen, gemalen. Grote fluctuaties waterstand in uiterwaarden.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke jonge rivierkleigronden (poldervaaggronden en ooivaaggronden) en ontcalcite rivierkleigronden, soms op veen (drechvaaggronden, polder- vaaggronden). Grondwater diep tot ondiep.

-----  
BEGROEIING

Stroomdalflora, grienden, wilgenloedbos (in tichelgaten), elzenbroekbos.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Oostelijk rivierendistrict en Hoge kleidistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (weide-, akker- en fruitbouw), houtteelt (populier, griend), delfstoffenwinning. (natuur, recreatie).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H3: Jonge indijkingen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Geul- en strandzand, soms lemig. Kalkrijke zavel- en zeekleiafzettingen (Formatie van Duinkerken).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Getij-afzettingsvlakte, vlakland met kreekruggen.  
Hoogte -1 tot 2 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Geïsoleerd (inkomst-doorstroom) gebied. Zout grondwater op enige diepte.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde afwatering. Geïsoleerd en/of aanvoer vanuit het nationale systeem. Sloten en vaarten, poldergemalen. Plaatselijk (licht) brak.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeekleigronden (poldervaaggronden), soms met zand binnen 1.20 m diepte (vlakvaaggronden met een kleidek).  
Grondwater diep.

-----  
BEGROEIING

Dijkvegetaties, slootkantbegroeiing.

-----  
FAUNA

p.m.  
Broedvogeldistrict: Zeeuws kleidistrict, Noordhollands Zeekleidistrict en Zeekleipolderdistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (akkerbouw, fruitteelt).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H4: Zeeklei- inversielandschap

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Klei op (lemig) fijn zand. Oorspronkelijk kalkrijke zavel- en zeekleiafzettingen (Formatie van Duinkerken)

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Getij- afzettingsvlakte met kreekruggen.  
Hoogte -2 tot 1 m

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomst-doorstroombied (kwel). Zout grondwater op enige diepte.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde afwatering door poldergemalen. Geïsoleerd of aanvoer vanuit nationaal systeem. Sloten en vaarten. Plaatselijk licht brak.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze en kalkrijke jonge zeekleigronden, soms met veen soms op zand (poldervaaggronden, drechtvaaggronden, leekerd- woudeerd- en tochteerdgronden). Grondwater ondiep (soms diep).

-----  
BEGROEIING

Dijkvegetaties, krekken en kommen (natte graslanden).

-----  
FAUNA

p.m.  
Broedvogeldistrict: Zeeuws kleidistrict, Noordhollands zeekleidistrict en Zeekleipolderdistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (weidebouw), recreatie, natuur.

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H5: Laagveengebied

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Veen, soms met een dun kleidek, op lemig fijn zand. Laagveen (Holland-veen) op zeelei- en zeezandafzettingen (Calais en Duinkerken); soms met rivierklei (Formaties van Betuwe en Tiel).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Vlakland. Veenvlakte met ontveningsplassen (petgaten en legakkers), 'bovenlanden'.  
Hoogte -2 tot 1 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomstgebied en inkomst-doorstroom (kwel). Soms zout grondwater op enige diepte (ook zoute kwel).

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding (polder, gemalen). aanvoer vanuit het nationale systeem. Boezemwateren, vaarten en sloten; zeer veel water.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkloze veengronden en veengronden met een kleidek (laagveen: broekveen, soms met veemosveen (hoogveen)).  
Grondwater ondiep.

-----  
BEGROEIING

Broekbossen, rietvelden, natte (schraal)graslanden, slootkantbegroeiing, plasbegroeiing.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Veenpolderdistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Weidebouw, (natuur, recreatie)

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT H6: Droogmakerijen

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Klei op fijn zand. Oude zeeleiafzettingen (Calais).

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Vlakland. Droogmakerijen van oude getijafzettingen (haf).  
Hoogte: beneden -2 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomstgebied (kwel). Zout grondwater ondiep, vaak zoute/ brakke kwel.

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding. Poldergemalen, doorspoeling (aanvoer vanuit nationaal systeem en uitslag). Sloten en vaarten. Plaatselijk licht brak (zomer).

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke oude zeeleigronden (poldervaaggronden) en kalkloze humeuze zeeleigronden (tochteerd- en plaseerdgronden).  
Grondwater diep.

-----  
BEGROEIING

wegbeplanting, slootkantbegroeiing.

-----  
FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Veenpolderdistrict en Zeeleipolderdistrict.

-----  
LANDGEBRUIK

Landbouw (akker- en weidebouw)

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT H7: Polders

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lichte klei. Zeeklei en fijn zand (Calais en Duinkerken), Zuiderzee-afzettingen: lichte klei.

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Zeebodenvlakte, vlakland.  
Hoogte: beneden -1 m.

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomstgebied (kwel). Kwelstroom vanaf het oude land en omliggende wateren (soms zoute kwel: Wieringermeer).

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding. Poldergemalen: aanvoer nationaal systeem en uitslag. Kanalen, vaarten, sloten, Oostvaardersplassen. Soms licht brak.

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeekleigronden (poldervaaggronden), soms op zand, plaatselijk met veen (drechvaaggronden).  
Grondwater diep.

## BEGROEIING

Loof- en naaldbossen, rietvelden, ruigten en schietwilgenbossen.

## FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Flevodistrict, Zeekleipolderdistrict.

## LANDGEBRUIK

Landbouw, bosbouw, wonen, natuur.

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

## ECODISTRICT H8: Deltagebieden

## GESTEENTE/ GEOLOGIE

Klei-afzettingen en veen van delta's. Rivierkleien.

## RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Getijde-afzettingsvlakte met delta. Slikken, kreken en kreekruigten, oeverwallen.  
Hoogte: 0- 3 m.

## GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inkomst- doorstroomgebied (kwel): onbelangrijk door overheersing oppervlaktewater.

## OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijk/ halfgereguleerd. Stromend en stilstaand water van rivier, kreken en geulen, oude lopen. Afhankelijk van rivierregime: waterstandsfluctuaties. Zoet.

## BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke jonge rivier- en zeekleiafzettingen (poldervaaggronden), soms op zand.  
Grondwater ondiep.

## BEGROEIING

Moeras- en rietland, vloedbossen, vochtige graslanden.

## FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Veenpolderdistrict.

## LANDGEBRUIK

Natuur, recreatie, landbouw (akkerbouw in poldertjes, weidebouw), drinkwaterwinning.

## BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W1: Sedimentatiebekkens

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Zandige klei en klei-afzettingen van delta's en bagger op fijn zand.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Brede riviermond, geulen en ondiepten.  
Diepte 0 tot 10 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerd (sluizen en spuiwerken). Waterstandsfluctuaties door opwaaiing en spuiregime. Zwak stromend, zoet, eutroof water.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Ongerijpte kalkrijke klei- en zandgronden: baggerspecie (slikvaag- en gorsvaaggronden).

BEGROEIING

Moeras- en rietland, gorzen/ ruigten, wilgenvaldebos.

FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Zeekleipolderdistrict.

LANDGEBRUIK

Recreatie, (verkeer, natuur, visserij, veiligheid).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Sedimentatie vervuilde baggerspecie. Verondieping.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W2: Grote verzoete binnenzeeën

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Klei en zandige klei. Bagger op zandige klei (IJsselmeerafzettingen op Zuiderzeeafzettingen).

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Zeebodems. Geulenstelsels en banken.  
Diepte: 0-10 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzigtgebied. Zout grondwater op enige diepte.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerd peil: sluizen en spuiwerken. Fluctuaties door opwaaiing en spuiregime. Stagnant, zoet tot licht brak, eutroof water. Steile korte golfslag.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke ongerijpte kleigronden (baggerspecie) (slikvaaggronden).

BEGROEIING

Oevervegetaties, waterplanten.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Visserij, recreatie (drinkwater, veiligheid, natuur).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W3: Randmeren

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemarm fijn zand (Zuiderzee-afzettingen).

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Zeebodem en strandvlakte.  
Diepte 0- 5 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Doorstroomgebied (kwel voor oude land, inzijging voor polders).

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding: peilbeheer, gedeeltelijk gecompartmenteerd door sluizen. Stagnant, zoet, eutroof water.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zand- en slibgronden (vlakvaaggronden).

BEGROEIING

Water- en oevervegetaties: riet- en moerasland, Schietwilgenbos

FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Flevodistrict.

LANDGEBRUIK

Recreatie, (natuur, verkeer).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W4: Verzoetende estuaria

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig fijn zand.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Estuariummorfologie: geulen, kreken, platen, slikken, gorzen.  
Hoogte: 2 tot -25 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

-

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding: peilbeheer door sluizen en spuiwerken met zoet-zout scheiding. Inlaat Rijnwater, afvoer naar Westerschelde: licht brak, eutroof water; stagnant.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zand- en slibgronden (slikvaag- en gorsvaaggronden).

BEGROEIING

Oevervegetaties, ruigten op voormalige schorren en slikken.

FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Zeekleipolderdistrict.

LANDGEBRUIK

Verkeer, natuur, recreatie.

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

Afgesloten van Oosterschelde op 20 april 1987.

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W5: Verzoete zeearmen

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Geul- en strandzand. Lemig fijn zand en leemarm fijn zand (Waddenzee-afzettingen).

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Getijafzettingen met geulen, prielen en gorzen.  
Hoogte 1 tot -8 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerd; peilbeheer met sluisen. Afgedamd van de Waddenzee. Brak, eutroof meer; stagnant.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden (vlakvaaggronden).

BEGROEIING

Oude grazige kweldervegetatie, ruigten en jong gemengd loofbos.

FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Fries- Gronings kwelderdistrict.

LANDGEBRUIK

Natuur (recreatie, defensie).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT W6: Brakke meren

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig fijn zand. (Geul- en strandafzettingen).

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Voormalige zeearm: geulen en platen.  
Hoogte 1 tot -8 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerd; peilbeheer met sluisen; sterk verschillend zomer- en winterpeil. Afgedamde zeearm. Brak, eutroof meer met zoet-zout stratificatie ('spronglaag').

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden (vlakvaaggronden).

BEGROEIING

Jong gemengd loofbos, oevervegetaties (grazige ruigten).

FAUNA

p.m.

Broedvogeldistrict: Zeeuws kleidistrict.

LANDGEBRUIK

Recreatie, (natuur).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT Z1: Estuaria

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemig fijn zand. Afzettingen van Schelde en Ems.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Estuarium-morfologie: geulen, prielen, platen, banken, slikken, gorzen.  
Hoogte I tot -25 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijing.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke waterhuishouding. Getijden (ongeveer 3 m.) met wisselende  
aanvoer vanuit rivieren: zoet-zout gradiënt. Sterke stromingen. Eutroof.  
Netto sedimentafvoer.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezand- en zeekleigronden (vlakvaag-, slikvaag- en gorsvaag-  
gronden).

BEGROEIJING

Kwelder- en slikbegroeiing, wieren.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Verkeer, (natuur, recreatie).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT Z2: Zoute meren

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemig fijn zand (getijde-afzettingen)

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Estuarium-morfologie: geulen, platen, gorzen, jonge duintjes.  
Hoogte: 5 tot -25 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

-

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding: doorspoelmechanisme via sluizen, spul en  
hevel. Stagnant zout meer.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden (vlakvaaggronden).

BEGROEIJING

Duin- en plaatbegroeiing met struwelen, kweldervegetaties; zeegrasvelden.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Natuur, recreatie, schelpdierkweek, (visserij).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT Z3: Zeearmen

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemig fijn zand en leemarm fijn zand.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Zeearm-morfologie: geulen, platen, slikken.  
Hoogte: 1 tot -50 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

Inzijing.

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Gereguleerde waterhuishouding met afsluitbare stormvloedkering. Getij (tot 2,8 m.): sterke stromingen. Zoute, halfafgesloten zeearm.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden (vlakvaaggronden)

BEGROEIING

Kwelder- en inlagenvegetaties; zeegrasvelden; wieren van rotskusten.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Natuur, visserij, (recreatie, veiligheid).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

BIJLAGE 3

ECODISTRICT Z4: Randzee

GESTEENTE/ GEOLOGIE

Leemarm fijn en grof zand. Keileemvoorkomens met keien en blokken.

RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Zeebodem-morfologie: geulen- en bankenstelsels, muien.  
Diepte: 0 tot 50 m.

GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

-

OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke waterhuishouding: getijdewater met netto noordwaarts langs de kust gerichte reststroom. Warme golfstroom. Deining, branding.

BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezandgronden (plaatselijk keileem en/of grind).

BEGROEIING

Wieren van zacht substraat, langs de kust ook van hard substraat.

FAUNA

p.m.

LANDGEBRUIK

Visserij, verkeer, (delfstoffenwinning, natuur, recreatie).

BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

ECODISTRICT Z5: Waddenzee

-----  
GESTEENTE/ GEOLOGIE

Lemig fijn zand, deels met keileem. Getijde-afzettingen  
Dalingsgebied.

-----  
RELIEF/ GEOMORFOLOGIE

Wadden-morfologie:geulen, prielen, platen, slikken, gorzen.  
Sedimentatiegebied.  
Hoogte: 1 tot -50 m.

-----  
GEOHYDROLOGIE (diep/ ondiep)

-

-----  
OPPERVLAKTEWATERHYDROLOGIE

Natuurlijke waterhuishouding. Getijden met sterke stroming tussen de  
eilanden en in de geulen, weinig tot geen stroming op de wantijen.

-----  
BODEM/ GRONDWATERSTAND

Kalkrijke zeezand- en zeekleigronden (vlakvaag-, slikvaag- en gorsvaag-  
gronden).

-----  
BEGROEIING

Slik- en kwelderbegroeiing, zeegrasvelden, wieren.

-----  
FAUNA

p.m.

-----  
LANDGEBRUIK

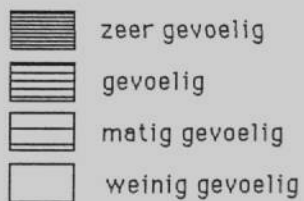
Natuur, (recreatie, visserij, delfstoffenwinning).

-----  
BIJZONDERHEDEN EN MILIEUPROBLEMEN

---

## Verzuring

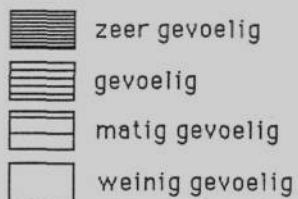
gevoeligheid van de ecodistricten voor verzuring  
van bodem en ondiep grondwater



CML/RIVM  
mei 1988

## Vermesting

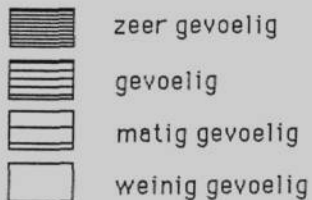
gevoeligheid van de ecodistricten voor  
uitspoeling van nitraat naar het grondwater



CML/RIVM  
mei 1988

## Vermesting

gevoeligheid van de ecodistricten voor fosfaat-eutrofiering van oppervlaktewateren/ doorslag van fosfaat



CML/RIVM  
mei 1988

## Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor accumulatie van  
organische microverontreinigingen in de bovengrond/waterbodem



CML/RIVM

mei 1988

## Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor uitspoeling van organische microverontreinigingen naar het grondwater



CML/RIVM

mei 1988

## Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor accumulatie van zware metalen in de bovengrond/ waterbodem



CML/RIVM  
mei 1988

## Verontreiniging

gevoeligheid van de ecodistricten voor uitspoeling van  
zware metalen naar het grondwater



CML/RIVM

mei 1988

## Verdroging

gevoeligheid van de ecodistricten voor effecten van een verlaging van de grondwaterstand



CML/RIVM

mei 1988