

Ecologische typing van bodems

Ecologische typering van bodems

Deel 3 Van typering naar kartering

**R.H. Kemmers
R.W. de Waal
S.P.J. van Delft**

Alterra-rapport 352

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2001

REFERAAT

Kemmers, R.H., R.W. de Waal & S.P.J. van Delft, 2001. *Ecologische typering van bodems: Deel 3 Van Typering naar kartering*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 352. 56 blz. 5 fig.; 4 tab.; 38 ref.

In dit rapport wordt een overzicht gegeven van inventarisatiemethoden om bodems ecologisch te kunnen typeren en karteren. Aangegeven wordt welke inventarisatiemethoden moeten worden ingezet om de actuele milieomstandigheden in natuurgebieden vast te stellen of om potenties voor natuurontwikkeling in landbouwgebieden in te schatten. De methodiek is geordend binnen een raamwerk. Het raamwerk wordt ontsloten afhankelijk van toekomstige functie, huidig landgebruik en fysiografische setting van het studiegebied. Via een getrapt systeem worden op drie steeds gedetailleerder niveaus fysiografische eenheden, fysiotopen en humusvormen onderscheiden, die informatie verstrekken over abiotische randvoorwaarden. Er worden acht fysiografische eenheden onderscheiden. Fysiotopen en humusvormen zijn geordend in een typologie. Op elk van de onderscheiden niveaus zijn methoden beschikbaar of in ontwikkeling waarmee ecologische bodemtypen vlakdekkend kunnen worden geïnventariseerd. De belangrijkste hiaten in onze kennis worden vermeld.

Trefwoorden: abiotische kansrijkdom, actuele ecosysteemtoestand, ecologische bodemtypering, ecologische bodemkaarten, humusvorm., landgebruik, potentiële fysiotopen, raamwerk

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 48,75 (€22) over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 352. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

© 2001 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,
Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.
Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Alterra is de fusie tussen het Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek (IBN) en het Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC). De fusie is ingegaan op 1 januari 2000.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
2 De systematiek van ecologische bodemtypering	15
2.1 Concept	15
2.2 Definities	17
2.3 Getrapte werkwijze	19
2.3.1 Bodemgebruik als ingang	20
2.3.2 Actuele en potentiële natuur	20
2.3.3 Instrumentarium	21
3 Het raamwerk	23
3.1 Eerste niveau: fysiografische eenheden	23
3.2 Tweede niveau: fysiotypologie	29
3.3 Derde niveau: humusvormtypologie	30
3.3.1 Humushorizonten	30
3.3.2 De humusvorm	31
3.3.3 Humusvormtypologie	32
Karteringen	37
4.1 Fysiografische eenheden	37
4.2 Fysiotopen en primaire factoren	38
4.2.1 Fysiotopen	38
4.2.2 Primaire factoren	38
4.3 Humusvormen en secundaire factoren	39
4.3.1 Humusvormen	39
4.3.2 Secundaire factoren	40
5 Hiaten	41
Literatuur	43
Aanhangsels	
1 Raamwerk Ecologische Bodemtypologie	47
2 Toedeling van bodemtypen aan fysiotopen	49
3 Overzicht van humusvormen met differentierende kenmerken	51
4 Fysiotopenkaart van de Vechtstreek	53
5 Contourkaart zuurgraad 1997 in het broekbos Koelbroek	55

Woord vooraf

Dit rapport vormt het laatste deel in een reeks van drie rapporten over ecologische typering van bodems. Het onderzoek dat ten grondslag ligt aan onze huidige kennis over de typering van bodems voor ecologische doeleinden is uitgevoerd in het kader van DWK programma 328.

Het eerste deel (SC-DLO Rapport 667-1) werd uitgegeven in 1999 en beschreef de contouren van een raamwerk dat het kader vormde voor ecologische bodemtypering. Tevens werden daarin onze eerste inzichten over een humusvormtypologie opgeschreven. Deze typologie had nog slechts betrekking op bosesystemen. In deel 2 (Alterra-rapport 268) is een uitvoerige analyse gemaakt van humusvormen in korte vegetaties in relatie tot standplaatsfactoren die de humusvorm vorm geven.

Het huidige (en voorlopig laatste) rapport is een 'state of the art' op het gebied van ecologische bodemtypologie, waarin niet alleen onze voortschrijdende inzichten worden gemeld, maar waarin ook één geïntegreerde humusvormtypologie voor bossen en korte vegetaties wordt gepresenteerd. Meer nog dan een overzicht van een aantal typologieën voor verschillende schaalniveaus presenteert het rapport de ecologische bodemtypologie als een werkwijze of een gereedschapskist met instrumenten, die onder verschillende omstandigheden moeten worden gebruikt.

Het rapport vormt tevens een afsluiting van een fase waarin typering centraal stonden. Dit impliceert niet dat we nu alles weten. Er lijkt een schier eindeloze variatie aan humusvormen. Het raamwerk is daarom dan ook flexibel opgezet, zodat nieuwe humusvormen later gemakkelijk kunnen worden geïntegreerd. Het rapport vormt tevens een overgang naar een nieuwe episode waarin de vertaalslag van typering naar kartering zal moeten worden gemaakt. Een eerste aanzet wordt daartoe in het rapport gegeven.

Aan het onderzoek hebben de afgelopen jaren velen een bijdrage geleverd. In de eerste plaats zijn dat de medewerkers van het team Bodem, Water en Natuur. Het team heeft het vanaf zijn 'oprichting' in 1991 min of meer als een missie beschouwd om het thema 'Ecologische bodemtypologie' vorm te geven als aanvulling op het Nederlandse Bodemclassificatiesysteem. Daarnaast hebben ook Gilbert Maas en Maarten van der Werff regelmatig een belangrijk aandeel geleverd. Het bureau voor Biologische projecten "Giesen & Geurts" bleek over uitstekende faciliteiten te beschikken voor de vele bodemchemische analyses van de uiteenlopende humushorizonten. Tenslotte hebben we zeker in de beginjaren belangrijke steun gehad aan de samenwerking met het Bodemfysisch laboratorium van de Universiteit van Amsterdam onder de inspirerende leiding van Prof. Jan Sevink.

Samenvatting

In het eerste rapport over ecologische bodemtypering is een raamwerk gepresenteerd dat door voortschrijdende inzichten inmiddels verder is ontwikkeld. Omdat wij in het kader van nieuwe case-studies steeds in aanraking komen met nieuwe humusvormen is het raamwerk ook verder ingevuld. Dit vormde de aanleiding tot het bijstellen van het oorspronkelijke raamwerk. Naast aandacht voor deze veelheid aan humusvormen in relatie tot hun diagnostische waarde voor actuele milieumomstandigheden in natuurgebieden, is in het nieuwe raamwerk meer aandacht besteed aan methodische aspecten om het raamwerk te ontsluiten. Daarbij wordt ook aandacht besteed aan de analyse van potenties voor natuurontwikkeling in relatie tot primaire factoren. Het nieuwe raamwerk biedt een kader waarbinnen wordt aangegeven onder welke omstandigheden, welke van deze factoren van doorslaggevend belang zijn voor de ecosysteemontwikkeling. Het vernieuwde raamwerk vormt daarom veeleer een instrumentarium en een methode van inventariseren om te komen tot een typologie dan een overzicht van bodemtypen.

Naast ecologische typering van bodems dient zich ook steeds vaker de behoefte aan om te beschikken over ecologische bodemkaarten, waarop bv. de actuele bodemkundige randvoorwaarden of potenties voor natuurontwikkeling zichtbaar zijn. Dit betekent dat er methoden moeten worden ontwikkeld om ecologische bodemtypen om te zetten in kaartbeelden. Soms gaat het daarbij om zogenaamde 'single value' informatie waarin slechts een enkele factor in kaart moet worden gebracht. Andere keren betreft het 'composite value' informatie zoals een bodem- of humusvormtype. In beide situaties moeten daartoe karteerbare kenmerken in verband gebracht worden met de bodemeigenschappen of -typen. Het rapport geeft een overzicht van de huidige mogelijkheden op het gebied van ecologische bodemkaarten.

In het rapport wordt eerst een kort overzicht geschetst van concepten en definities en de systematiek van werken die volgens het raamwerk moet worden gevolgd. Als concept wordt uitgegaan van de ecosysteemtheorie volgens Jenny. Met behulp van deze theorie is duidelijk te maken dat in elk ecosysteem steeds weer andere factoren een bepalende rol kunnen spelen voor de vegetatie-ontwikkeling. Het denkmodel is een goed hulpmiddel om ecosystemen te beschrijven en te karakteriseren en om duidelijk te maken dat de bodem niet een uniform reagerend systeem is. Onder ecologische bodemtypering verstaan we de classificatie van bodems op basis van primaire en secundaire ecosysteemfactoren. Ecologische bodemkartering richt zich op het verzamelen en vlakdekkend vastleggen van bodeminformatie ten behoeve van toepassing in natuurbeheer en -ontwikkeling.

Het raamwerk is gebaseerd op een onderscheid tussen fysiografische en conditionele factoren. Onder fysiografische factoren verstaan we primaire factoren, die niet wederkerig door de vegetatie worden beïnvloed. Conditionele factoren zijn bepalend

voor de activiteit van bodemorganismen die betrokken zijn bij decompositieprocessen of voor de regulatie van bodemfysische of –chemische processen.

Het raamwerk biedt een systematiek die aangeeft wanneer, welke inventarisatiemethoden moeten worden ingezet om bodems te typeren. Daarbij wordt een getrapte werkwijze aangehouden. De belangrijkste ingang voor de ontsluiting van het raamwerk is de functie van een gebied in relatie tot natuur: functieconsolidering, functieverandering en functieafweging. Bij functieconsolidering is er sprake van actuele natuurwaarden die meestal afhankelijk zijn van secundaire factoren. Bij functieverandering is sprake van potentiële natuur die vooral van primaire factoren afhankelijk is. Bij functieafweging zijn meestal primaire factoren in het spel en moet binnen een gebied de functie natuur worden afgewogen tegen andere vormen van bodemgebruik.

Omdat ecosystemen worden aangestuurd door een hiërarchisch stelsel van factoren vindt de verdere ontsluiting van het raamwerk plaats door inzet van analysemethoden die op drie verschillende hiërarchische niveaus insteken. Voor elk niveau is een typologie ontwikkeld, waarbinnen de belangrijkste typen worden onderscheiden.

Op het hoogste niveau worden acht fysiografische eenheden onderscheiden op basis van aggregatie van kaarteenheden naar moedermateriaal, topografie en hydrologie: mergel- en lössgronden, kalkrijke zandgronden, jonge kleigronden, oude kleigronden, buitendijkse riviergronden, veengronden, kwelgevoede zandgronden en regenwatergevoede zandgronden. Op het tweede niveau worden fysiotopten onderscheiden. Een fysiotoop is een (kaart)eenheid die homogeen is ten aanzien van een bepaalde combinatie van de primaire factoren: drainage basis, basenrijkdom grondwater en moedermateriaal. De indeling van fysiotopten is in een fysiotoptentypologie ondergebracht. Deze fysiotoptentypologie is gebaseerd op voorkomen in nog slechts vier fysiografische eenheden: jonge kleigronden, venen, kwelgevoede en regenwatergevoede zandgronden. Met behulp van fysiotoopkaarten wordt een beoordeling gegeven van de abiotische kansrijkdom voor natuurontwikkeling op landbouwgrond. Een belangrijk probleem bij de fysiotoopbenadering is dat vlakdekkende informatie over de grondwaterkwaliteit ontbreekt, zodat daarvoor een interpretatieve methode wordt gebruikt. Op het derde niveau is een humusvormtypologie ontwikkeld, waarin alle tot nu toe onderzochte humusvormen een plaats hebben gekregen. De humusvorm geeft informatie over nutriëntenvoorraden, kringloopsnelheden, bodemcondities voor strooiselafbraak en de beheersvorm. Afhankelijk van de fysiografische eenheid kan de humusvorm een sleutelrol spelen bij informatie over processen die de ecosysteemtoestand sturen. De humusvormtypologie is van toepassing op bossen en graslanden in zowel terrestrische als semi-terrestrische ecosystemen. De typologie is een hiërarchische indeling waarbij orden (5), suborden(9), groepen (15) en subgroepen (79) worden onderscheiden. In een aantal gevallen zijn de subgroepen nog onderverdeeld in fasen, om bepaalde kenmerken niet verloren te laten gaan. De gepresenteerde typologie is flexibel van opzet zodat nieuwe informatie gemakkelijk kan worden geïntegreerd.

Ten behoeve van de planvorming en het terreinbeheer zijn methoden ontwikkeld (of in ontwikkeling) waarmee ecologische bodemtypen, als vlakdekkende informatie over natuurgerichte randvoorwaarden, in kaart kunnen worden gebracht. Sleutelfactoren daarbij zijn de vochttoestand, de zuur/basentoestand en voedingstoestand van de bodem in relatie tot natuurdoelen. Vlakdekkende informatie op het niveau van landinrichtingsprojecten of natuurgebieden vraagt bij de landinventarisatie om maatwerk in plaats van standaard bodemkartering.

Kaarten van fysiografische eenheden komen tot stand door aggregatie van bodemeenheden op basis van voornamelijk overeenkomst in de primaire factor grondsoort (moedermateriaal) en topografie (hydrologische positie in landschap). Dergelijke kaarten zijn richtinggevend voor voortgezet inventariserend onderzoek. De kaarten geven voor eventueel vervolg onderzoek een beeld waar welke factoren van doorslaggevend belang zijn voor de ecosysteemontwikkeling.

Fysiotopkaarten kunnen worden gebruikt voor gebieden waar de potenties moeten worden ingeschat van omvorming van landbouwgronden in natuur. Kaartvlakken bestaan uit aggregaties van bodemeenheden die overeenkomen in primaire factoren. Interpretatie vindt plaats naar vocht-, zuur/basen- en voedingstoestand. De kaarten geven informatie over ruimtelijke patronen van abiotische randvoorwaarden aan de hand waarvan allocatie van natuurdoeltypen in een plangebied mogelijk is of de kansrijkdom voor de ontwikkeling van gewenste natuurdoeltypen kan worden ingeschat. Een hiaat is dat vlakdekkende informatie over grondwaterkwaliteit ontbreekt. Operationele methoden om puntinformatie over de grondwaterkwaliteit te extrapoleren naar vlakinformatie ontbreken. Onderzoek naar extrapolatiemethoden met behulp van continue variabelen zoals bodemgebruik en geleidingsvermogen is veelbelovend.

Bij de ontwikkeling van een methode om puntinformatie over de humusvorm te extrapoleren naar vlakdekkende informatie is tot nu de grote ruimtelijke variatie van de humusvorm over korte afstand het grootste probleem gebleken. Het blijkt moeilijk deze variatie in verband te brengen met continue hulpvariabelen. Nieuwe pogingen worden ondernomen door complexen of mozaïeken van humusvormen te onderscheiden in plaats van individuele humusvormen. Minder problematisch is het om secundaire factoren, die ten grondslag liggen aan de humusvorm, in kaart te brengen. Ruimtelijke patronen van de bodemzuurgraad, voedingstoestand of organisch stof gehalte zijn via interpolatietechnieken vrij eenvoudig te herleiden uit puntgegevens die in een monitoring netwerk zijn opgenomen.

De belangrijkste hiaten die bij het raamwerk aan het licht zijn gekomen betreffen

- de beperking van de fysiotopentypologie tot slechts vier van de acht fysiografische eenheden,
- de ondervertegenwoordiging van humusvormen uit bepaalde fysiografische eenheden,
- een methode voor de kartering van humusvormen,
- een methode voor kartering van de grondwaterkwaliteit,
- een methode voor het vaststellen van de voedselrijkdom van landbouwgronden.

1 Inleiding

Historie

Aan het begin van de 90-er jaren zijn de eerste aanzetten gegeven om bodemtypering op een meer ecologische grondslag te funderen. In de afgelopen jaren zijn belangrijke vorderingen gemaakt bij het typeren van bodems voor ecologische toepassingen. Deze inspanningen kwamen voort uit het besef dat bestaande bodemkundige informatie niet specifiek is toegesneden op ecologische vraagstellingen. In 1999 werd een eerste rapport gepubliceerd over ecologische typering van bodems (Kemmers en de Waal, 1999). In dat rapport werd het raamwerk voor een ecologische bodemtypologie gepresenteerd. Een belangrijk onderdeel daarvan was de presentatie van een voorlopige humusvormtypologie. Sindsdien is dit raamwerk verder ingevuld en zijn wij in het kader van diverse case-studies in aanraking gekomen met een grote variatie aan humusvormen. Dit was een van de aanleidingen voor het bijstellen van het oorspronkelijke raamwerk.

Veranderlijke en onveranderlijke eigenschappen

In het bestaande raamwerk is veel aandacht besteed aan informatie die in het humusprofiel van de bodem ligt opgesloten. Dit is een logisch gevolg geweest van het feit dat, indien aanwezig, in het humusprofiel veel ecologisch relevante informatie ligt opgeslagen, waaraan nooit systematisch onderzoek is verricht. Het humusprofiel bevat informatie over de zgn. secundaire factoren. Dit zijn dynamische bodemfactoren die tijdens de bodemvorming aan verandering onderhevig zijn. Dit dynamische bodemcompartiment had behoefte aan een inhaalslag. Juist in natuurgebieden is het humusprofiel van de bodem in gave vorm aanwezig en is daar vaak uiterst nuttig gebleken bij het diagnostiseren van de actuele verdrogings-, verzurings- of vermessingstoestand. Anders ligt het in landbouwgebieden die omgevormd zullen worden naar natuur. Door ploegen, bemesten en bekalken is het humusprofiel niet in evenwicht met de onderliggende primaire factoren, die in natuurgebieden doorgaands bepalend zijn voor de 'vormgeving' van het humusprofiel. De primaire factoren hebben juist een onveranderlijk karakter. In landbouwgebieden kunnen de potenties voor natuurontwikkeling daarom alleen gebaseerd worden op deze primaire factoren. Voorzover dit grondsoort, moedermateriaal en grondwaterregime betreft, is er in de traditionele bodemkartering veel ervaring opgedaan om patronen daarvan in kaart te brengen. Met een van de belangrijkste ecologische primaire factoren, de grondwaterkwaliteit is echter nauwelijks ervaring aanwezig.

Een raamwerk voor typering

Ecologische typering van bodems beperkt zich dus niet tot een interpretatie van uitsluitend het humusprofiel. Zowel de secundaire factoren als de onderliggende primaire factoren kunnen van belang zijn om bodems voor ecologische doeleinden te typeren. Het raamwerk biedt een kader waarbinnen wordt aangegeven onder welke omstandigheden welke factoren van doorslaggevend belang zijn voor de ecosysteemontwikkeling. Soms zijn dat secundaire factoren, soms primaire factoren

en soms is het een combinatie van beide factoren. Het raamwerk biedt een systematiek die aangeeft wanneer welke inventarisatiemethoden moeten worden ingezet om bodems ecologisch te typeren. Het raamwerk vormt daarom veeleer een instrumentarium en een methode van inventariseren om te komen tot een typologie dan een overzicht van bodemtypen.

Kartering

Naast ecologische typering van bodems dient zich ook steeds vaker de behoefte aan om te beschikken over ecologische bodemkaarten, waarop bv. de actuele bodemkundige randvoorwaarden of potenties voor natuurontwikkeling zichtbaar zijn. Dit betekent dat er methoden moeten worden ontwikkeld om ecologische bodemtypen om te zetten in kaartbeelden. Soms gaat het daarbij om zogenaamde 'single value' informatie waarin slechts een enkele factor in kaart moet worden gebracht. Andere keren betreft het 'composite value' informatie zoals een bodem- of humusvormtype. In beide situaties moeten daartoe karteerbare kenmerken in verband gebracht worden met de bodemeigenschappen of -typen. Hiermee is nog weinig ervaring aanwezig, juist omdat het kenmerken en eigenschappen betreft (b.v. voedingstoestand, basen- en zuurtoestand) die in de traditionele bodemkaarten niet zijn opgenomen. Wel zijn er inmiddels belangrijke aanzetten voor ecologische bodemkaarten gegeven, die in dit rapport zullen worden besproken.

Doel en leeswijzer

Het doel van dit rapport is om een overzicht te geven van onze huidige kennis van inventarisatiemethoden om bodems ecologisch te kunnen typeren en karteren.

Na deze inleiding worden in hoofdstuk 2 eerst enkele begrippen gedefinieerd en het concept besproken dat aan ecologische bodemtypering ten grondslag ligt. Vervolgens zal worden ingegaan op ecologische bodemtypering als systematiek om bodems te analyseren in relatie tot het functioneren van ecosystemen. In het derde hoofdstuk wordt het raamwerk gepresenteerd als een getrap systeem met drie niveaus en uiteengezet hoe het systeem kan worden ontsloten. Vervolgens worden de drie niveaus waarop naar bodems kan worden gekeken verder toegelicht. In hoofdstuk 4 wordt de stand van zaken gepresenteerd over onze kennis over ecologische bodemtypering en kartering. Tenslotte wordt in het laatste hoofdstuk aangegeven welke hiaten er nog bestaan in onze kennis.

2 De systematiek van ecologische bodemtypering

In dit hoofdstuk zal een kort overzicht worden gegeven van concepten, definities en de systematiek van werken die volgens het raamwerk moet worden gevolgd.

2.1 Concept

Jenny (1941) onderscheidde in zijn ecosysteemtheorie factoren die bepalend zijn voor de ecosysteemontwikkeling en sturend werken ("state factors", ook wel onafhankelijke of primaire factoren genoemd) tegenover factoren die een functie zijn van de onafhankelijke factoren (afhankelijke of secundaire factoren). Jenny stelde de volgende ecosysteemfunctie op, waarbij de bodem als afhankelijke component van het ecosysteem werd beschouwd:

$$L, V, A, S = f(\text{cl}, \emptyset, r, p, t, \dots)$$

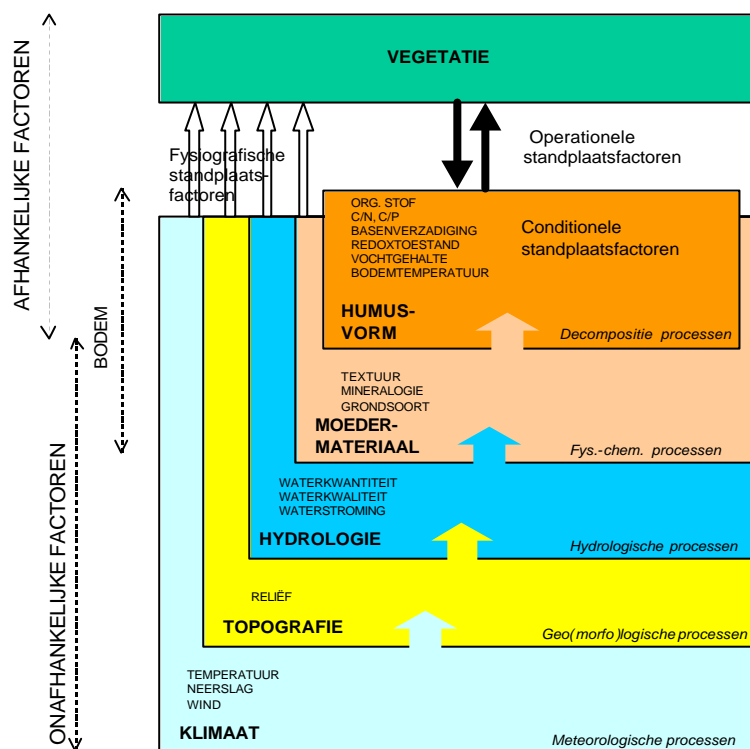
waarbij:

L	= landschap, de eigenschappen van het totale systeem (respiratie, C-gehalte)
V	= vegetatie (biomassa, gemeenschappen)
A	= fauna (productiviteit, activiteit)
S	= bodem (secundaire eigenschappen)
cl	= klimaat
\emptyset	= genetisch reservoir
r	= topografie en hydrologie
p	= moedermateriaal (primaire eigenschappen)
t	= tijd, leeftijd
...	= incidentele conditionerende factoren als menselijk ingrijpen, brand, erosie, orogenese

Alle afhankelijke factoren zijn daarbij van elkaar afhankelijk en op een complexe manier aan elkaar gecorreleerd met meervoudige interacties. De onafhankelijke factoren of groepen van factoren zijn in principe onafhankelijk van elkaar en ongecorreleerd.

Het voordeel van gebruik van een ecosysteemtheorie is dat men gedwongen is de bodem in een groter ecologisch kader te zien, waardoor de daarop gebaseerde bodemtypologie minder snel een eigen geïsoleerd leven zal gaan leiden. Volgens de theorie is het ecosysteem het best te beschrijven met behulp van onafhankelijke tegenover daarvan afhankelijke factoren. Met behulp van deze theorie is duidelijk te maken dat in elk ecosysteem steeds weer andere factoren een bepalende rol kunnen spelen voor de operationele standplaatsfactoren. In het ene systeem worden de standplaatsfactoren voornamelijk bepaald door klimaat, in andere systemen is het moedermateriaal weer dominant of in weer andere situaties speelt het water de

belangrijkste rol. Het denkmodel is een goed hulpmiddel om ecosystemen te beschrijven en te karakteriseren. Door van te voren inzicht te hebben in de relatie tussen standplaats, ecosysteem en de daarin werkzame factoren, kan het duidelijk worden welke bodemkenmerken ecologisch relevant zijn en de moeite waard om te onderzoeken. Om deze redenen hebben wij de ecosysteemtheorie van Jenny als fundament voor een ecologische bodemtypologie gekozen. Daarbij hebben wij een synthese gemaakt tussen humuskenmerken in samenhang met de vegetatie enerzijds en de belangrijke sturende factoren klimaat, topografie, hydrologie en moedermateriaal anderzijds. In figuur 1 is het fundament van de ecologische bodemtypologie met door ons gebruikte terminologie in een schema weergegeven.



Figuur 1: Overzicht van processtelsels die ecologisch relevante (bodem) factoren aansturen; hiërarchisch systeem van onafhankelijke en afhankelijke (bodem)factoren; bodem opgesplitst in een onveranderlijk (substraat) en veranderlijk (humusvorm) compartiment

Figuur 1 geeft aan dat bodem volgens de theorie niet als één uniform reagerend systeem beschouwd kan worden. Sommige bodemkenmerken reageren als onafhankelijke (lange termijn) andere als afhankelijke (kortere termijn) factor. De theorie van Jenny biedt echter de mogelijkheid de bodem opgesplitst te denken in een onafhankelijk en een afhankelijke compartiment en deze in één typologie te verenigen.

2.2 Definities

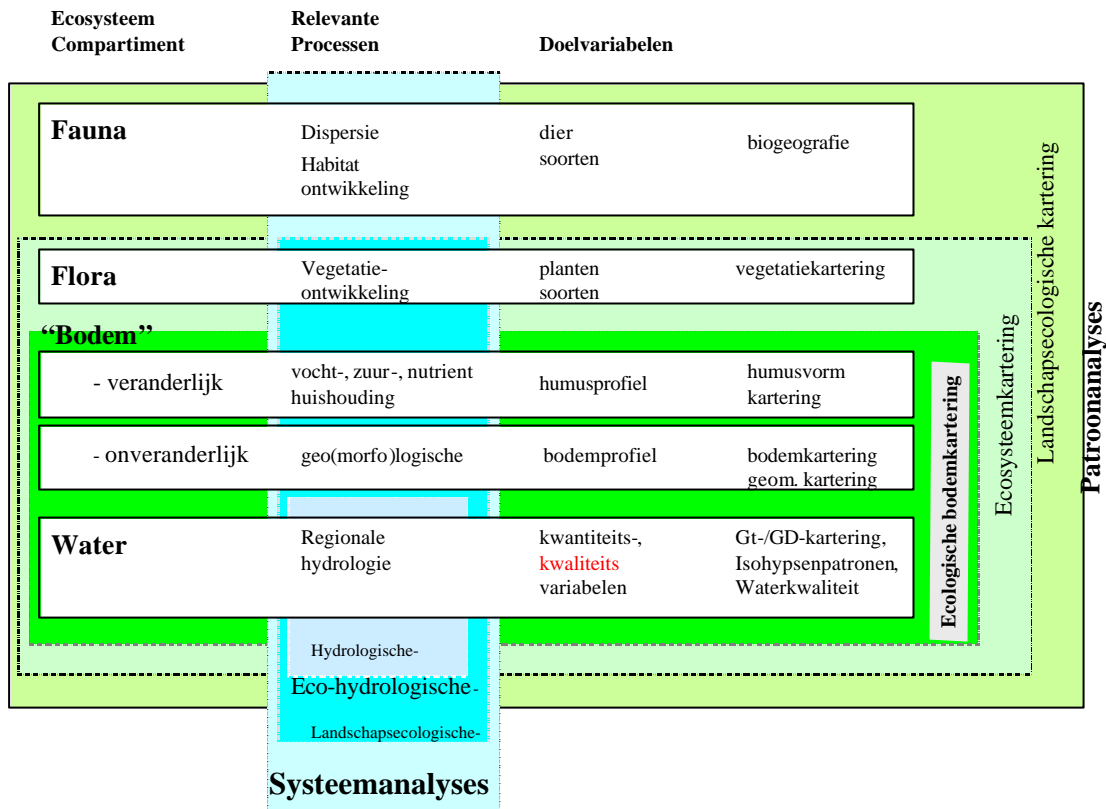
In deze paragraaf willen we een aantal begrippen nader omschrijven die veelvuldig worden genoemd en een belangrijk element vormen bij typering en kartering van bodems.

Ecologische bodemtypering

Onder ecologische bodemtypering verstaan we de classificatie van bodems op basis van primaire en secundaire ecosysteemfactoren, die informatie geven die voor natuurbeheer of -ontwikkeling relevant zijn. Een ecologische bodemtypering is dus ruimer dan een humusvormclassificatie of een 'traditionele' bodemclassificatie (De Bakker en Schelling, 1989), die zich beperken tot secundaire respectievelijk primaire factoren.

Ecologische bodemkartering

Ecologische bodemkartering richt zich op het verzamelen en ruimtelijk vastleggen in vlakken van bodeminformatie ten behoeve van toepassing in natuurbeheer en -ontwikkeling. Evenals bij ecologische bodemtypering is ecologische bodemkartering ruimer dan humusvormkartering of traditionele bodemkartering. In figuur 2 is een overzicht gegeven op welke doelvariabelen uit verschillende ecosysteemcompartimenten de verschillende patroonanalyses zich richten en door welke processen deze doelvariabelen worden aangestuurd. Ten grondslag aan de patrooninformatie liggen systeemanalyses die zich richten op het ontrafelen van relevante processen en het identificeren van sleutelfactoren.



Figuur 2 Overzicht van relevante processen en doelvariabelen per ecosysteemcompartiment; systeemanalyses richten zich op identificatie van processen en het functioneren van systemen; patroonanalyses leggen de ruimtelijke verspreiding van sleutelfactoren en doelvariabelen vast;

Fysiografische factoren

Welke typologie van bodems dan ook, is gebaseerd op bodemfactoren. In relatie tot de vegetatie kunnen deze bodemfactoren op verschillende hiërarchische niveaus worden gegroepeerd.

Fysiografische factoren zijn synoniem aan primaire factoren en worden niet wederkerig door de vegetatie beïnvloed. Zij worden eenzijdig aangestuurd vanuit meteorologische, geo(morfo)logische, (geo)hydrologische en fysisch-chemische processen. Fysiografische factoren kunnen op verschillende schaalniveaus worden onderscheiden. Voor de combinatie van fysiografische factoren worden op de verschillende abstractieniveaus verschillende benamingen gebruikt. Een fysiografische eenheid is een abstracte combinatie van de primaire factoren moedermateriaal en topografie. Dit komt min of meer overeen met het begrip 'Ecodistrict' volgens Klijn (1997), dat wordt omschreven als 'soil groups determined by the same parent material'. Door ons worden 8 fysiografische eenheden onderscheiden binnen Nederland (zie paragraaf 3.1).

Op een lager meer concreet niveau kunnen binnen de fysiografische eenheden landschappelijke eenheden worden onderscheiden die fysiotoop (ecosection sensu Klijn, 1997) worden genoemd. Ook een fysiotoop bestaat uit een combinatie van de

primaire factoren moedermateriaal, topografie en hydrologie, maar dan in hun landschappelijke samenhang zoals door geomorfologische processen bepaald bv. een bron, een beekdal, een helling. Vaak zijn dergelijke fysiotopten niet vlakdekkend (bijvoorbeeld bronnen) en daarom moeilijk uit bodemkaarten te herleiden.

Verwarrend is dat het begrip fysiotoop niet alleen vanuit een geomorfologische invalshoek maar ook vanuit een bodemkundig-hydrologische invalshoek wordt gebruikt (ecoseries sensu Klijn, 1997). Doorgaands gaat dit om concrete kaartvlakken die getypeerd worden door eenzelfde bovengrond (klei-, leem-, kalk-, organisch-stofgehalte, zand) in combinatie met een bepaalde drainage klasse of Gt.

Binnen het raamwerk wordt gebruik gemaakt van zowel fysiografische eenheden als fysiotopten (=ecoseries).

Conditionele factoren

Conditionele factoren zijn bepalend voor de activiteit van bodemorganismen die betrokken zijn decompositie processen. Conditionele factoren worden wederkerig door de vegetatie beïnvloed tijdens de ecosysteemontwikkeling. Het gaat om factoren die de zuur-, basentoestand, de voedingstoestand, de vochttoestand, de redoxtoestand en de temperatuur etc. van de bodem aangeven en die tevens bepalend zijn voor plantengroei. Conditionele factoren zijn vaak gebufferd, waardoor hun temporele variabiliteit getemperd wordt. Al deze factoren zijn bepalend voor de mate waarin bodemorganismen actief zijn bij de decompositie en mineralisatie van organische stof. De mate van deze activiteit kan worden afgelezen aan het humusprofiel van de bodem. Het humusprofiel is daardoor bij uitstek een bodemkenmerk dat indicatief is voor conditionele factoren.

Het humusprofiel vormt daarom een belangrijke peiler voor een ecologische bodemtypologie.

Operationele factoren

Operationele factoren zijn bepalend voor het fysiologisch functioneren (groeiprocessen) van de plant. Vaak gaat het om fluxen (vocht, voedingsstoffen) vanuit het humuscompartiment naar de plant met een sterk dynamisch karakter. Juist door het dynamische karakter zijn deze factoren minder geschikt om in een typologie te worden opgenomen.

2.3 Getrapte werkwijze

Het raamwerk voor een ecologische bodemtypologie is gebaseerd op een combinatie van primaire fysiografische factoren en op secundaire factoren gebaseerde humusvormen. Het raamwerk biedt een kader waarbinnen wordt aangegeven onder welke omstandigheden welke factoren van doorslaggevend belang zijn voor de ecosysteemontwikkeling. Het raamwerk biedt een systematiek die aangeeft wanneer welke inventarisatiemethoden (instrumenten) moeten worden ingezet om bodems ecologisch te typeren.

2.3.1 Bodemgebruik als ingang

De belangrijkste ingang voor de ontsluiting van het raamwerk is het doel wat met de ecologische bodemtypering moet worden gediend. Het doel is sterk gekoppeld aan het huidige functie (bodemgebruik) van een gebied waarvoor een ecologische bodemtypologie moet worden opgezet. Aan de orde zijn 1) functieconsolidering, 2) functieverandering en 3) functieafweging.

Functieconsolidatie

In dit aspect zijn terreinbeheerders als belangrijkste geïnteresseerde klant aan te wijzen. Het gaat om herstel van abiotische condities van terreinen die al de bestemming natuur hebben, maar waar omstandigheden verslechterd zijn (verdroging, verzuring, vermeting). Specifieke vragen waarop een antwoord verwacht wordt, betreffen de actuele abiotische conditie in relatie tot een historische referentie. Naast ruimtelijke analyses in de vorm van ecologische bodemkaarten, kan een ecologische bodemtypologie ook worden ingezet bij monitoring van (herstel)processen.

Functieverandering

In dit aspect zijn instanties (DLG, Provincies) geïnteresseerd die bij de beoordeling van mogelijkheden van omvorming van landbouwgronden naar natuur zijn betrokken. Specifieke vragen waarbij een ecologische bodemtypering of -kartering kan worden ingezet betreffen de biotische kansrijkdom voor specifieke natuurdoeltypen gegeven de abiotische randvoorwaarden of de toetsing van natuurdoelen aan natuurgerichte randvoorwaarden. Ook zijn vragen met betrekking tot monitoring bij functieverandering aan de orde.

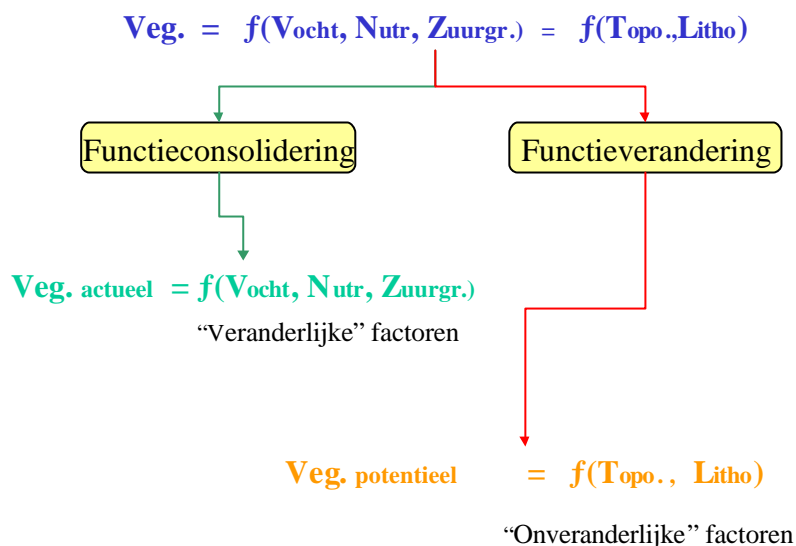
Functieafweging

Vooraf instanties die betrokken zijn bij de inrichting van het landelijk gebied (DLG) moeten afwegingen maken ten aanzien van de optimale inrichting van een gebied waarbinnen verschillende vormen van landgebruik voorkomen. Het betreft doorgaands specifieke vragen over het optimale grondwaterregime (GGOS) in een gebied met verschillende vormen van landgebruik (landbouw, natuur, recreatie).

2.3.2 Actuele en potentiële natuur

Afhankelijk van het doel waartoe een ecologische bodemtypering wordt ingezet is er behoefte aan verschillende inventarisatiegegevens. De actuele vegetatie in een natuurgebied kan worden beschouwd als een functie van de secundaire factoren vocht, voedingsstoffen en zuurgraad, waarvan de toestand aan het humusprofiel kan worden afgelezen (zie figuur 3). De potentiële vegetatie van een landbouwgebied dat wordt omgevormd in een natuurgebied, kan niet worden herleid uit de secundaire factoren. De potentiële vegetatie is immers niet in evenwicht met de actuele toestand waarin de secundaire factoren (c.q. het humusprofiel) verkeren. Om een prognose van de potentiële vegetatie te kunnen maken, kan daarom alleen gebruik worden gemaakt van de onveranderlijke primaire factoren. Deze primaire factoren zijn

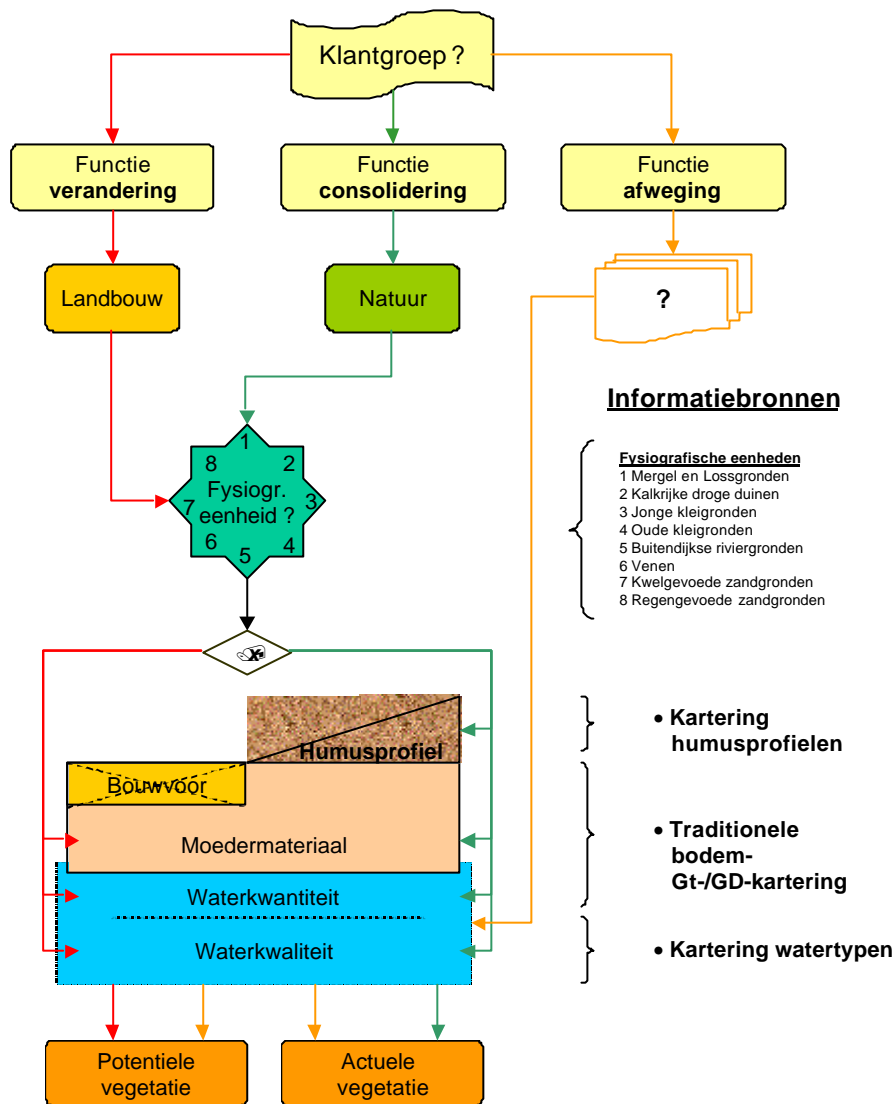
immers niet wederkerig beïnvloed door de vegetatie (c.q. het gewas) maar sturen wel de toekomstige secundaire factoren en de daarmee in evenwicht komende vegetatie aan. Het betreft met name de primaire factoren moedermateriaal (Lithofunctie) en topografie (Topofunctie), waarmee vooral de macro-hydrologie wordt bedoeld zoals die op landschapsniveau werkzaam is.



Figuur 3 Vegetatie is bij natuurbeheer (functieconsolidatie) te beschouwen als functie van veranderlijke factoren en bij natuurontwikkeling (functieverandering) als functie van onveranderlijke factoren; voor de verschillende situaties moeten verschillende gegevens worden verzameld.

2.3.3 Instrumentarium

Afhankelijk van de benodigde inventarisatiegegevens zullen ook verschillende informatiebronnen moeten worden ontsloten met elk hun eigen inventarisatiemethode. Volgens de theorie van Jenny kunnen in elk ecosysteem steeds weer andere factoren bepalend zijn voor de ecosysteemontwikkeling. Een ecosysteemanalyse (zie figuur 2) moet in eerste instantie uitsluitsel geven of klimaat, moedermateriaal of topografie dan wel hydrologie of een combinatie daarvan bepalend is voor de ecosysteemontwikkeling. Combinaties van deze fysiografische factoren zijn op hoofdlijnen richtinggevend voor de ecosysteemontwikkeling. De ecologische bodemtypologie is daarom geplaatst in een raamwerk met een hiërarchische structuur, waarbij eerst moet worden bepaald welke onafhankelijke factoren bepalend zijn voor de ecosysteemontwikkeling en waarbij in tweede instantie kan worden ingezoomd op de afhankelijke factoren. Dit heeft tot gevolg dat de humusvorm soms (voornamelijk in open min of meer dynamische systemen) ondergeschikt is aan fysiografische factoren en weinig aanvullende informatie verstrekt. In andere gevallen (voornamelijk stabiele evenwichtige systemen) kan de humusvorm juist van dominante betekenis zijn voor het ecosysteem. Het raamwerk is daardoor als het ware een gereedschapskist, waaruit voor verschillende omstandigheden, verschillende inventarisatiemethoden (instrumenten) kunnen worden gekozen. Het raamwerk biedt een leidraad welk instrument waar het best kan worden ingezet. In figuur 4 zijn de verschillende instrumenten aangegeven. De vermelde informatiebronnen moeten daarbij



Figuur 4 Afhankelijk van het huidig en toekomstig bodemgebruik (functie) zullen verschillende gegevensbronnen moeten worden geraadpleegd om relevante informatie te verkrijgen

met specifieke inventarisatiemethoden worden ontsloten. Bij ruimtelijke analyses zijn dat karteringen van verschillende abiotische ecosysteemcompartimenten. Naast kaartbronnen kan hier ook puntinformatie als ondersteuning van kaartinformatie worden gebruikt.

De informatiebronnen voor ecologische karteringen zijn dus steeds wisselend. Soms volstaat een traditionele bodem- en Gt-kartering. In andere gevallen zijn juist patronen van de waterkwaliteit belangrijk of levert inventarisatie van het humusprofiel relevante informatie. In geval van traditionele karteringen zullen klassegrenzen veelal aangepast moeten worden. Ook puntinformatie kan de weergave van een ecologische toestand ondersteunen.

3 Het raamwerk

Het raamwerk is een hiërarchisch systeem dat uit drie niveaus bestaat. In aanhangsel 1 is een overzicht gegeven van welke fysiografische eenheden informatie beschikbaar is over de verschillende niveaus. Op het hoogste niveau (schaal 1 : 1 000 000) worden op basis van moedermateriaal en geohydrologie acht fysiografische eenheden onderscheiden. Op het tweede niveau worden fysiotopten onderscheiden op basis van moedermateriaal, geohydrologie en drainagetoestand (schaal 1 : 50 000). Tenslotte worden op het laagste niveau humusvormen onderscheiden op basis van secundaire factoren (schaal 1 : 5 000).

3.1 Eerste niveau: fysiografische eenheden

Er worden acht fysiografische eenheden onderscheiden op basis van een aggregatie van kaarteenheden naar moedermateriaal, topografie en hydrologie. Daartoe zijn bodemeenheden (1 : 50 000) toebedeeld aan de fysiografische eenheden, waarbij de aard van de bovengrond bepalend was voor de toedeling. Eventueel kan een verfijning naar textuur worden aangehouden. Tabel 1 geeft de codes van bodemeenheden die zijn toegewezen aan een fysiografische eenheid. In figuur 5 is per fysiografische eenheid aangegeven welke factoren sterk bepalend zijn voor de ecosysteemontwikkeling.

Tabel 1 Overzicht van fysiografische eenheden en toegewezen bodemtypen (code letterdeel; 1 : 50 000)

Fysiografische eenheden	Eenheden Bodemkaart
Mergel- en lössgronden	BL,EL,L,MA,MK,MZ,FG,FK,KM,KK,KS,ABI,AH..
1. Kalkrijke zandgrond	EZA, pZgA, ZnA, ZdA,ZbA, AD, AZW, Sn,
2. Jonge kleigronden	MOo, MOb, ROo, ROb, pMn, Mv, Mo, Mn, Rn, AZW BK, EK, pMv, pMo, pMd, pRv, pRn, Aem, Rd, kZ...A, kWp, kWz, Abk, Afk, AM, Ro, AAK, Aep, AO, AR, kZAK, Alu, AWZ , Rv, Wo, Wg, EK, pMd, Mo, gMn, Md, Agm, Aek, Amm, Awg, Awo,EK, Awv, kV,pV
3. Oude kleigronden	PKRn, KRn KT, KX
4. Buitendijkse riviergronden	
5. Venen	hV, hEV, aV, aEV, Vo, V, AP,Avk, vWz, uWz, vWp
6. Kwelgevoede zandgronden	zWz, pZg, pZn, Abz, Afz,L
7. Regenwatergevoede zandgronden	Y, Hn, Hd, Zn, Zd, Zb, G1, ABH, AS, AZ1, tZd, Y, Hn, Hd, BZ, Zn, Zd, Zb, tZd, zWp, zV, iV, AAP, Abv, iWp, iWz, Ezg, zEZ, bEZ

Mergel- en lössgronden

Mergel- en lössgronden worden door ons gerekend tot de basenrijke terrestrische ecosystemen. Topografie en moedermateriaal zijn de meest invloedrijke onafhankelijke ecosysteemfactoren. Door de aard van het moedermateriaal is een vrij permanent basenrijk karakter aanwezig. De topografie wordt gekenmerkt door een sterk reliëf, waardoor hellingprocessen een belangrijke rol spelen.



Figuur 5 De betekenis van de verschillende ecosystemefactoren in relatie tot elkaar en de vegetatieontwikkeling voor de verschillende fysiografische eenheden. Hoe dikker de pijl of hoe groter het kader, hoe belangrijker. Per compartiment zijn enkele processen of variabelen genoemd die een sleutelrol spelen

Hydrologisch is door een sterke oppervlakkige afvoer van neerslag de omvang van de infiltratie gering, waardoor uitspoelingsprocessen een minder belangrijke rol spelen bij ontkalking en klei-inspoeling. De humusvorm is overwegend endo-organisch van karakter en is evenals de vegetatie ondergeschikt aan moedermateriaal en topografie, tenzij sprake is van een verregaande ontkalking (> 50 cm). In deze laatste situatie ontwikkelt zich een ecto-organisch humusprofiel (mullmoder).

Van deze eenheid is uitsluitend informatie beschikbaar die is verzameld in boscystemen (Bosreservaten Vijlnerbos: Maas en van der Werff, 1990; De Schone Grub: Mekking, 1993; Lindeproject (Hommel et al., in voorbereiding). Over korte vegetaties en landbouwgronden is geen informatie beschikbaar.

Kalkrijke (duin-)zandgronden

Kalkrijke (duin-)zandgronden komen voornamelijk voor in het noordelijke duindistrict maar zijn daartoe niet beperkt. Zij worden door ons tot de basenrijke terrestrische ecosystemen gerekend. In de duinen zijn topografie (relief, expositie) en klimaat (wind, water) belangrijke onafhankelijke factoren. Bij de kalkrijke zanden is het moedermateriaal van grote invloed op de vegetatie en de humusvorm. Een belangrijk verschil met mergel- en lössgronden is de veel grotere ontkalkingssnelheid van het moedermateriaal (Sival, 1997; Blom et al., 1998). Reeds bij ondiepe ontkalking (> 20 cm) kan de humusvorm sterk door de vegetatie bepaald worden en een ecto-organisch karakter krijgen (Hommel et al., 1999). De ecosysteemrelaties worden dan bij bosontwikkeling vergelijkbaar met de hogere zandgronden.

Van deze eenheid zijn alleen gegevens beschikbaar uit natuurgebieden met bos (Elswout; Hommel et al, 1999) en korte vegetaties (OBN; Van Delft, in voorbereiding, Beets et al., 2000,2001).

Jonge kleigronden

Jonge kleigronden zijn niet-verweerde, betrekkelijk recent afgezette zee- en rivierkleigronden. Wij rekenen de jonge kleigronden tot de basenrijke ecosystemen, die onder gedraineerde omstandigheden een terrestrisch en onder natte omstandigheden een semi-terrestrisch karakter kunnen aannemen. De verwerkingssnelheid en uitspoeling is door de mineralogische samenstelling en het hoge lutumgehalte gering, waardoor het basenrijke karakter vrij permanent is. In het rivierengebied betreft dit de binnendijkse klei-afzettingen (komgronden) die nu niet meer door de rivier worden beïnvloed. Ook rekenen wij de veengronden met een klei(ig)dek (% lutum >10%) waar geen actieve veenontwikkeling optreedt, tot de jonge kleigronden, omdat lutum grote invloed heeft op de basentoestand en de daarvan afhankelijke biologische activiteit. Naast het rijke moedermateriaal, kan onder natte omstandigheden ook de hydrologie een belangrijke factor worden voor de ecosysteemrelaties. Textuurverschillen vormen een belangrijke differentiërende factor voor de invloed van de kwantitatieve hydrologie. Voor het zee- en riviergebied komt daar de saliniteit bij. Het humuscompartiment speelt geen rol van betekenis en er komen geen ecto-organische humusprofielen tot ontwikkeling, tenzij extreme vernatting optreedt of er sprake is van zilte omstandigheden.

Voor deze eenheid is een fysiotopentypologie ontwikkeld voor het beoordelen van potenties voor natuurontwikkeling op landbouwgronden (Eiland van Dordrecht; Mekking et al., 1999 en Vechtstreek; Brouwer et al., ongepubl.). Voor deze eenheid zijn in verschillende case-studies (o.a. Van Delft, in prep., Beets et al., 2000, 2001) humusvormen beschreven voor bosecosystemen (Hollandse Hout; Mekking, 1997) en terrestrische en semi-terrestrische korte vegetaties.

Oude kleigronden

Oude kleigronden zijn verweerde kleigronden zoals potklei, keileem en en kleien die gevormd zijn in oude rivierterrassen. De oude kleigronden zijn basenarm- noch basenrijk. Bij keileem en rivierterrassen kan sprake zijn van pseudo-gley door klei-inspoeling of door gelaagdheid waardoor het vochthoudend vermogen door stagnatie groot kan zijn. De invloed van het moedermateriaal is minder dominerend dan bij de jonge kleigronden. Dit uit zich in een meer prominente rol van het humuscompartiment. Het voorkomen van ecto-organische humusprofielen indiceert hier een sterke mate van verzuring, maar beïnvloedt de nutriëntenhuishouding van het wortelsubstraat voor de ondergroei nog nauwelijks. De boomsoort is er bepalend voor de voortgang van de verzuring en verarming (de Waal, 1996; Hommel et al., in voorb.).

Van deze eenheid ontbreken gegevens waarmee de kansrijkdom voor natuurontwikkeling op landbouwgronden kan worden ingeschat. Humusprofielen zijn beschreven voor zowel korte vegetaties (Van Delft, in prep.) al bossen (Hommel et al., in voorb.).

Buitendijkse riviergronden

Buitendijkse riviergronden zijn gronden die onder invloed staan van de dynamiek van rivieren. Er is sprake van een grote diversiteit aan voornamelijk dynamische ecosystemen. De kwantitatieve hydrologie is een zeer belangrijke factor in de vorm van overstromingsduur, -frequentie en -dynamiek en waterstandsfluctuaties. Het moedermateriaal wordt, evenals de topografie, gegenereerd door de rivier zelf en is een weerspiegeling van het dynamische karakter van dit landschap en kan kleiig (oeverwallen), zandig (rivierduinen, stroomruggen) of venig (verlande meanders) van karakter zijn. Bij afwezigheid van overstromingen zal bij zandig moedermateriaal door uitloging ecto-organisch humusprofiel tot ontwikkeling komen en zijn de relaties binnen het ecosysteem vergelijkbaar met die bij de hogere zandgronden. (Hommel et al., 1994). Incidentele extreme hoogwaterafvoeren kunnen leiden tot situaties waarbij de tendens van verarming en uitloging tijdelijk wordt teruggedet door erosie van het ecto-organische profiel en aanvoer van basen met het overstromingswater (De Waal, 1996; Wolf et al., 2001). Bij regelmatige overstroming zal door periodieke aanvoer van basen en/of slib een endo-organische humusvorm tot ontwikkeling komen en de ecosysteemrelaties vergelijkbaar zijn met die van de basenrijke terrestrische ecosystemen (Hommel et al., 1994; Wolf et al., 2001). Bij venig moedermateriaal ontstaan ecosysteemrelaties die vergelijkbaar zijn met die welke zijn beschreven bij de venen.

Van deze eenheid ontbreken gegevens waarmee de kansrijkdom voor natuurontwikkeling op landbouwgronden kan worden ingeschat. Humusprofielen zijn beschreven voor bossen (Wolf et al., 2001) en terrestrische (Hommel et al., 1994) en brakke semi-terrestrische korte vegetaties (Van Delft, in voorb.)

Veengronden

Veengronden zijn semi-terrestrische ecosystemen, die voor hun ontwikkeling sterk bepaald worden door de fysiografische factoren, (topografisch bepaalde) hydrologie en moedermateriaal. In deze systemen is de waterkwantiteit een randvoorwaarde voor veenontwikkeling. De waterkwaliteit (als functie van de hydrologische positie) is bepalend voor het type veen en daarmee voor de aard van de vegetatie en vice versa (Stortelder et al., 1998). Door regenwater gevoede systemen ontwikkelen zich tot hoogveen, terwijl door grond- of oppervlaktewater gevoede systemen zich tot laagvenen ontwikkelen. Het “moedermateriaal” wordt in feite bepaald door de waterkwaliteit in relatie tot de daarvan afhankelijke veenvormers: veen- en slaapmossen, zeggesoorten en riet. Het ambivalente karakter van de bodem (sensu Jenny) is hier zeer manifest aanwezig: het moedermateriaal is tevens de humusvorm, zodat voor typering van deze fysiografische eenheid ook van het tweede niveau van het raamwerk, de humusvorm, gebruik kan worden gemaakt (Beets et al., 2000, 2001).

Voor deze eenheid is een fysiotoptypologie ontwikkeld voor het beoordelen van potenties voor natuurontwikkeling op landbouwgronden middels case studies in het stroomgebied van de Drentse Aa (Kemmers en van der Bolt, 1997) en de Vechtstreek (Brouwer et al., ongepubl.)

Kwelgevoede zandgronden

Kwelgevoede zandgronden worden door ons tot de basenrijke terrestrische ecosystemen gerekend. Zij worden in hoge mate bepaald door de hydrologie, waarbij grondwater via kwel toestroomt naar het maaiveld. Via kwel worden met name ijzer- en calciumionen aangevoerd, die nabij het maaiveld in verschillende vormen kunnen zijn geprecipiteerd (carbonaten, goethiet, pyriet) en voor een hoge basenverzadiging van het adsorptiecomplex zorgen (Kemmers et al., 2000). Het moedermateriaal is hierdoor mineralogisch verrijkt. Verrijking kan ook zijn ontstaan door leemafzetting tijdens inundaties vanuit beken. De waterkwantiteit is behalve voor de watervoorziening vooral indirect van belang voor de aëratie en de redoxtoestand van het moedermateriaal en daarmee voor de mate waarin mineralen (e.g. ijzerfosfaatverbindingen), al dan niet in opgeloste vorm, kunnen voorkomen en van invloed zijn op de vegetatie. Door het rijke karakter van het moedermateriaal en de vochtige omstandigheden zijn er gunstige condities voor een actief bodemleven waardoor strooisel snel wordt afgebroken en endo-organische humusvormen kenmerkend zijn. De humusvorm is ondergeschikt aan het moedermateriaal en is indicatief voor een snelle nutriëntenkringloop. Bij verzuring (o.a. door afname van kwel en/of verdroging) kan de humusvorm sterk in betekenis voor het ecosysteem toenemen, doordat zich een ecto-organisch humusprofiel ontwikkelt. Typische bodems voor kwelgevoede zandgronden volgens het Nederlandse Bodemclassificatiesysteem (De Bakker en Schelling, 1989) zijn beekerdgronden. De

ontwikkeling van een ecto-organisch humusprofiel op deze gronden geeft aan dat er sprake is van een fossiel bodemtype, waar zich een nieuwe bodemontwikkeling heeft ingezet met een zuur- en nutriëntenhuishouding die sterk afwijkt van het oorspronkelijke bodemtype.

Voor deze eenheid is een fysiopotentypologie ontwikkeld voor het beoordelen van potenties voor natuurontwikkeling op landbouwgronden middels een case studie in het stroomgebied van de drentse Aa (Kemmers en van der Bolt, 1997). Humusprofielen zijn beschreven voor bossen (Jansen et al., 1994) en korte vegetaties (Van Delft, in voorb., Beets et al., 2000, 2001).

Regenwatergevoede zandgronden

Regenwatergevoede zandgronden worden door ons tot de basenarme terrestrische ecosystemen gerekend. Ook rekenen wij de drogere veengronden met een zanddek tot deze fysiografische eenheid. Het ecosysteem heeft een landschappelijke positie waarbij steeds sprake is van een neerwaartse grondwaterstroming. Het moedermateriaal is (uiteindelijk) verweerd door verzurende processen en sterk verarmd door continue uitspoeling onder invloed van het neerslagoverschot. Het wordt gekenmerkt door podzolverschijnselen en is van beperkte betekenis voor de vegetatie. De textuur (leemgehalte) is bepalend voor het vochthoudend vermogen en de verwerkingssnelheid en daarmee voor de mineralogische rijkdom van het moedermateriaal. Door de ongunstige zure en droge condities voor bodemleven wordt strooisel slechts langzaam of niet afgebroken. Het strooisel accumuleert, waardoor een ecto-organische humusvorm tot ontwikkeling komt die indicatief is voor een trage nutriëntenkringloop. Het moedermateriaal, de topografie en hydrologie zijn ondergeschikt aan de humusvorm in hun betekenis voor de vegetatie. De vegetatie controleert in sterke mate de eigenschappen van de humusvorm. De humusvorm is op haar beurt de belangrijkste bron van voedingsstoffen voor de vegetatie (Muys, 1994) en vormt een belangrijke buffer voor vocht en voedingsstoffen (adsorptie). Typische bodems op deze zandgronden zijn de humuspodzolen (H). Onder mineralogisch rijkere omstandigheden hebben zich veelal moderpodzolen (Y) ontwikkeld, die gekenmerkt worden door een humusprofiel dat op een grotere biologische activiteit wijst. Ook deze bodemtypen kunnen een fossiel karakter krijgen. Het zich ontwikkelende humusprofiel kan zoveel humuszuren produceren dat de onderliggende mineralogisch rijke horizont uitloopt en sterk verzuurt. Functioneel ontwikkelen deze bodemtypen zich van moder- naar humuspodzolen. Onder bos speelt in deze ontwikkeling de boomsoort een belangrijke rol (Hommel et al., in voorb.).

Voor deze eenheid is een fysiopotentypologie ontwikkeld voor het beoordelen van potenties voor natuurontwikkeling op landbouwgronden middels een case studie in het stroomgebied van de drentse Aa (Kemmers en van der Bolt, 1997). Humusvormen zijn beschreven voor diverse bosreservaten (o.a. Mekking 1992,1995) en korte vegetaties (Van Delft, in voorb.).

3.2 Tweede niveau: fysioto pentypologie

Fysiotoop is een ruim begrip dat niet eenduidig is en op verschillende schaalniveaus wordt gebruikt. De inhoud van een fysiotoop is daardoor per onderzoek vaak wisselend. In grofschalige studies is het fysiotoop min of meer synoniem met 'ecosectie' (sensu Klijn, 1997), waarmee dan vaak een abstracte landschappelijke eenheid wordt bedoeld in relatie tot geomorfologische processen. Soms kan het ook om een niet vlakdekkende, maar wel concrete eenheid gaan, zoals een helling, een bron, een plateaurand of een plateaurest.

In het raamwerk wordt een fysiotoop als een (kaart)eenheid beschouwd die homogeen is ten aanzien van een bepaalde combinatie van primaire factoren, die uit een bodemkaart kunnen worden herleid. Voor nog slechts een beperkt aantal fysiografische eenheden zijn op deze wijze vlakdekkende fysiotoopkaarten gemaakt met een beoordeling van de abiotische kansrijkdom voor natuurontwikkeling op landbouwgronden op basis van primaire factoren. Bij deze benadering wordt ervan uitgegaan dat de bouwvoor via afgraven of ontgronden wordt verwijderd.

Via een interpretatie van de bodemkaart (1 : 50 000) worden bodemeenheden getypeerd naar drainage basis (i.e. diepte van de geologische grondwaterspiegel resp. GLG), basenrijkdom van het grondwater op GLG-niveau en moedermateriaal c.q. nutriëntvoorraden. Bodemeenheden die overeenkomen in een bepaalde combinatie van deze primaire factoren worden vervolgens geaggregeerd tot fysiotopen. De aard van de bovengrond is daarbij steeds doorslaggevend. Informatie over de aard van het moedermateriaal en de diepte van de drainagebasis is rechtstreeks afgeleid uit de bodem- en Gt-kaart (1 : 50 000). Informatie over de basenrijkdom komt tot stand door een interpretatie van de hydrologische positie van bodems in het landschap in combinatie met bodemkundige informatie die op kwel (gehomogeniseerde bodems, veensoort) of wegzijging (gestratificeerde bodems, podzolidatie) duidt. Criteria voor toewijzing van bodemeenheden aan fysiotopen worden vermeld in Kemmers en van der Bolt (1997). Tabel 2 geeft een overzicht van onderscheiden fysiotooptypen. Aanhangsel 2 geeft een overzicht van de toedeling van bodemtypen aan de fysiotopen.

Een belangrijk probleem bij deze fysiotoopbenadering is dat in tegenstelling tot bij moedermateriaal en GLG-niveau vlakdekkende informatie over de grondwaterkwaliteit ontbreekt. De interpretatieve methode om de grondwaterkwaliteit vast te stellen is onbevredigend. In paragraaf 4.2.2 wordt nader op dit probleem ingegaan.

Tabel 2 Overzicht van onderscheiden fysiototypen

Legenda eenheid	Naam
111	Ombrotrofe venen
211	Ombrotrofe natte veengronden
311	Ombrotrofe vochtige veengronden
411	Ombrotrofe wisselvochtige veengronden
511	Ombrotrofe verdroogde veengronden
112	Gegraven plassen/vennen met regenwater
212	Natte heidegronden
312	Vochtige heidegronden
412A	Wisselvochtige arme heidegronden
412B	Wisselvochtige rijke heidegronden
512A	Droge arme heidegronden
512B	Droge rijke heidegronden
121	Basenarme venen
221	Natte beekbegeleidende dunne veengronden
321	Vochtige beekbegeleidende dunne veengronden
421	Wisselvochtige beekbegeleidende dunne veengronden
521	Verdroogde beekbegeleidende dunne veengronden
122	Gegraven plassen/vennen met lokale kwel
222	Natte beekbegeleidende zandgronden
322	Vochtige beekbegeleidende zandgronden
422	Wisselvochtige beekbegeleidende zandgronden
522	Droge beekbegeleidende gronden
131	Basenrijke venen
231	Natte beekbegeleidende dikke veengronden
331	Vochtige beekbegeleidende dikke veengronden
431	Wisselvochtige beekbegeleidende dikke veengronden
531	Verdroogde beekbegeleidende dikke veengronden
133	Overstromingsvenen
233	Natte overstromingsgronden
333	Vochtige overstromingsgronden
433	Wisselvochtige keileemgronden
533	Droge keileemgronden

3.3 Derde niveau: humusvormtypologie

3.3.1 Humushorizonten

Het toenemend aantal standplaatsen waarvan humusprofielen zijn beschreven leidt tot een voortschrijdend inzicht in de relevantie van bepaalde kenmerken. In tabel 3 is een actueel overzicht gegeven van diagnostische horizonten die momenteel binnen het humusprofiel worden onderscheiden en bij de humusvormtypologie een differentierende betekenis hebben. Dit overzicht kan daardoor afwijken van dat in een eerdere publicatie (Kemmers en de Waal, 1999).

Bij de horizontindeling wordt onderscheid gemaakt tussen 'ectorganische' en 'endorganische' horizonten. Van ectorganische horizonten is sprake als strooisel op de minerale ondergrond is gelegen. Bij endorganische horizonten vindt de input van strooisel plaats in het profiel door afsterven van wortels of door bioturbatie.

Tabel 3 Overzicht van codes voor de belangrijkste horizonten in humusprofielen met toevoegingen

Code	Toevoeging	Omschrijving
L	-	versgevalen bladstrooisel
F	-	gedeeltelijk verteerd strooisel
	m	idem door schimmelactiviteit
	z	idem door dierlijke activiteit
	a	idem door schimmel en dierlijke activiteit
H	-	volledig gehumificeerd organisch materiaal
	r	idem met enigszins herkenbare plantaardige residuen
	h	idem zonder macroscopische residuen
	w	idem met veel herkenbare houtresten
Ah	-	gehumificeerd organisch materiaal dat door dierlijke activiteit (bioturbatie) vermengd is met de minerale ondergrond
	e	idem met uitlogingskenmerken (micropodzol)
	g	idem met gleyverschijnselen
A	a	minerale horizont die door bemesting is verrijkt met organische stof
E	-	Ontijzerde en uitgeloopte horizont
B	-	Horizont met ijzer- en humusinspoeling
O(A)	-	veen (moerige laag)
	f	onverweerd veen
	m	verweerd veen
	h	eutroof veraard veen
	g	anaeroob veraard, mesotroof (gyttja)
	d	aeroob oligotroof veraard (gliede)
M	-	wortelmateriaal
	f	matten van onverteerde dode wortelresten
	m	gedeeltelijk verteerde wortelresten
	h	sterk verteerde wortelresten

3.3.2 De humusvorm

Een humusvorm wordt gedefinieerd als een toestand in de bovenste 40 cm van de bodem die de balans weergeeft tussen strooiselaanvoer en strooiselafbraak en die wordt gekenmerkt door een karakteristieke combinatie van organische horizonten die van elkaar verschillen in verteringsgraad (Vos en Stortelder, 1992; Kemmers, 1996).

De humusvorm is de 'interface' tussen de vegetatie en de onafhankelijke factoren moeder materiaal en hydrologie (zie ook figuur 1). Niet alleen geeft de humusvorm informatie over nutriëntenvoorraden en kringloopsnelheden, maar ook over de condities voor strooiselafbraak in terrestrische en semi-terrestrische ecosystemen. De milieu-omstandigheden zijn bepalend voor de snelheid waarmee strooisel dat op de grond is gevallen, wordt omgezet. De humusvorm is de verschijningsvorm van het over de tijd geïntegreerde verloop van de vocht- en zuurhouding in de bodem. De vegetatie als bron van het strooisel is sterk bepalend voor de aard van het strooisel.

Daarnaast is ook de beheersvorm van invloed op het humusprofiel. In dit opzicht is er een markant verschil aanwezig tussen humusprofielen van grasland- en boscystemen. Bij bosbeheer vormen bladval, takken, 'dood hout' en schors de belangrijkste bronnen van strooisel (De Waal et al., 2001), terwijl bij graslandbeheer (maaien) afgestorven wortelmateriaal de belangrijkste strooiselbron vormt (van Delft, 1995). Het humusprofiel reageert daarom zowel op beheersingrepen (maaien,

kappen, plaggen, beweiden; Smit, 2000) als op milieuveranderingen (menselijk ingrijpen, verdroging, verzuring), waardoor het humusprofiel in hoge mate indicierend is voor veranderingen in het ecosysteem.

Afhankelijk van de fysiografische eenheid kan de humusvorm een sleutelrol spelen bij informatie over processen die de ecosysteemtoestand sturen (zie paragraaf 3.1). Door het onderscheiden en beschrijven van humusvormen is het mogelijk gebleken om subtiele processen als verdroging en verzuring in beeld te krijgen.

3.3.3 Humusvormtypologie

Om enige structuur aan te brengen in de veelheid van humusvormen is door ons een humusvormtypologie ontwikkeld die functioneel van aard is, wat wil zeggen dat hij gebaseerd is op informatie over onderliggende processen. De typologie is gebaseerd op voorkomen, diktes van en verhoudingen tussen horizonten en moest aan de volgende eisen voldoen:

- Er moet een relatie gelegd kunnen worden met eco-pedogenetische processen (functionele typologie).
- Het systeem moet niet star zijn, maar ruimte overlaten om nieuwe, nog niet beschreven ecologisch relevante fenomenen toe te voegen (flexibele typologie).
- Het systeem moet aansluiten bij gangbare (internationale) indelingen.
- Het systeem moet toepasbaar zijn voor het brede scala van ecosystemen in de Nederland-se situatie.

Ook ten aanzien van de humusvormtypologie is er sprake van voortschrijdend inzicht. In eerdere publicaties (Kemmers en de Waal, 1999; Kemmers et al., subm.) was de humusvormtypologie nog uitsluitend van toepassing voor bosccosystemen. Inmiddels is ook het onderzoek van humusvormen in korte vegetaties zover gevorderd dat er één geïntegreerde humusvormtypologie tot stand is gekomen, waarin humusvormen van zowel bossen als korte vegetaties van terrestrische en semi-terrestrische systemen zijn opgenomen.

De humusvormtypologie is een hiërarchische indeling waarbij orden, suborden, groepen en subgroepen worden onderscheiden (Van Delft, in voorb.). In een aantal gevallen zijn de subgroepen nog onderverdeeld in fasen, om bepaalde kenmerken niet verloren te laten gaan. De gepresenteerde typologie zal nog veranderen wanneer van ondervertegenwoordigde fysiografische eenheden (bijvoorbeeld Löss- en Mergelgronden) meer gegevens beschikbaar komen.

Tabel 4 geeft een overzicht van humusvormen tot op het niveau van subgroepen. De in de tabel gegeven standplaatsindicaties geven een globaal beeld van de milieumstandigheden waar de humusvorm voorkomt. Op subgroepniveau is deze indicatie te verfijnen. Op het hoogste niveau worden vijf orden onderscheiden: mulls, mullmoders, moders, mormoders en mors. Mormoders worden uitsluitend in bosccosystemen aangetroffen. Op dit niveau is de mate waarin de organische stof is veraard of geaccumuleerd van doorslaggevend belang. Op grond van de

hydrologische positie zijn de orden onderverdeeld in 9 terrestrische en semi-terrestrische suborden. Er worden 15 groepen en 79 subgroepen onderscheiden op basis van kalk- of leemgehalte van de bovengrond, mate van veraarding en veensoort of het voorkomen van wortelmatten. In aanhangsel 3 wordt een overzicht van humusvormen en differentierende kenmerken gegeven tot op het niveau van subgroepen.

Tabel 4 Overzicht van orden suborde en groepen van humusvorm en hun standplaatsindicatie

Orde	Suborde	Groep	Standplaatsindicatie
Mull	Semiterrestrisch	Hydromull	Basenrijk overstromingsmilieu
	Terrestrisch	Vaagmull	Jonge afzetting in dynamisch milieu
		Krijtmull	Kalksteen, mergel
		Akkermull	Anthropogeen verrijkt
		Zandmull	Basenarm, niet uitgeloogd substraat
		Wormmull	Basenhoudend, niet uitgeloogd substraat
Mullmoder	Semiterrestrisch	Hydromullmoder	Moerassig milieu op basenrijk substraat
	Terrestrisch	Mullmoder	Ontkalkende en verarmende leemgronden
Moder	Semiterrestrisch	Eerdmoder	Verdrogend basenarm veen of Niet verdroogd bronmilieu
		Hydromoder	Verdroogd veen of Matig verrijkt overstromingsmilieu
	Terrestrisch	Moder	Verzurend basenarm tot basenhoudend milieu, of oude droge heide
Mormoder	Terrestrisch	Mormoder	Zuur, droog milieu onder loofbos of droge heide
Mor	Semiterrestrisch	Veenmosmor	Regenwater gevoed veen
		Mesimor	Grondwater gevoed veen
	Terrestrisch	Mor	Zuur, droog milieu onder naaldbos, of droge heide

De orden

Mulls komen alleen voor op minerale bodems. Organische stof is steeds vrijwel volledig opgenomen in endorganische horizonten. Accumulatie van organische stof in F, H, M, AMh of OM horizonten is zeer beperkt. Deze horizonten zijn nooit dikker dan 2 cm. Ook bodems zonder enige humusaccumulatie horen bij de mulls.

Mullmoders komen vrijwel alleen voor op minerale bodems. Ze kunnen ook voorkomen op veenbodems met een klei- of zanddek van meer dan 20 cm dikte. De organische stof is in mindere mate opgenomen in endorganische horizonten dan bij de mulls. Door accumulatie van organische stof zijn F, H, M, AhM, OM of O horizonten ontstaan die dikker dan 2 cm zijn, maar de onderliggende A horizonten zijn altijd dikker dan deze ectorganische horizonten.

Moders zijn zowel onderscheiden voor minerale gronden waarop zich organische horizonten ontwikkelen, als voor moerige of veengronden, waar zoveel organische stof is geaccumuleerd dat het het een hoofdbestanddeel van het profiel is geworden. Bij moders op minerale gronden is de dikte van de organische horizonten (F, H, AhM of OM) groter dan 2 cm en groter dan de onderliggende Ah horizont, waarin enige uitloging (Ahe) kan voorkomen. Indien het humusprofiel in een moerig of veenprofiel voor meer dan de helft uit veraard organisch materiaal (Oh, Og, Od, of OA) bestaat, wordt het tot de moders gerekend.

Mormoders komen alleen onder bos op zandgronden voor. Dit is vooral het geval onder loofbos, maar beperkt zich daar niet toe. Doordat het strooisel slecht afbreekt als gevolg van droge en zure omstandigheden accumuleert ruw strooisel waarin zich Fa- en H-horizonten ontwikkelen. Een Fa-horizont wordt gekenmerkt door zowel zoögene als mycogene activiteit. De ectorganische horizonten (F, H) zijn altijd dikker dan de onderliggende Ah-horizont. In de Ah-horizont komen altijd uitlogingsverschijnselen voor (Ahe- of E-horizont).

Bij de mors is de afbraak van het strooisel het minst ver gevorderd als gevolg van extreme omstandigheden (zuur, droog, nat, arm). Bij de terrestrische mors zijn Mm- en Mh-horizonten dominant, terwijl AMh- en Ah-horizonten ontbreken. In plaats daarvan komen wel AE of E horizonten voor en neemt de Mh de positie in van de Ah-horizont. Bij de semiterrestrische mors is een Of- of Om horizont dominant met slecht resp. matig verteerd veen.

Suborden

Bij elke orde wordt een terrestrische en een semi-terrestrische suborde onderscheiden. Als criterium voor een semi-terrestrische humusvorm geldt dat

- 1) binnen 25 cm-mv gley verschijnselen aanwezig moeten zijn of
- 2) GHG tussen 0 en 25 cm-mv of
- 3) duidelijke O of OA horizont aanwezig moet zijn.

Bij terrestrische humusvormen zijn deze kenmerken afwezig.

Groepen

De hydromulls vormen de enige groep binnen de semi-terrestrische mulls. Op subgroepniveau worden de hydromulls nader onderscheiden.

Binnen de terrestrische mulls worden de vaagmulls onderscheiden door het ontbreken van een A-horizont ($A < 2$ cm) of de aanwezigheid van een vage AC-horizont. De akkermulls worden gekenmerkt door de aanwezigheid van een antropogene Aa-horizont. Zandmulls hebben een Ah-horizont die dikker dan 2 cm is en een leemgehalte van minder dan 20% (leemarm) heeft. In wormmulls wordt de Ah-horizont juist gekenmerkt door lemig materiaal. Een krijtmull heeft een extreem kalkrijke Ah-horizont met een organisch stofgehalte $> 8\%$ en zwart gekleurd is.

Zowel de terrestrische als de semi-terrestrische mullmoders worden alleen op subgroepniveau nader onderverdeeld.

Binnen de semi-terrestrische moders onderscheiden de eerdmoders zich van de hydromoders door de dominantie van een O-horizont. In hydromoders is de A-horizont dominant. De terrestrische moders worden alleen op subgroepniveau onderscheiden.

De mormoders komen alleen in terrestrische boscystemen voor en worden alleen op subgroepniveau nader onderscheiden.

Binnen de semi-terrestrische mors onderscheiden de veenmosmors en de mesimors zich van elkaar door een dominante Of- resp. Om-horizont. Terrestrische mors worden gekenmerkt door stapeling van slecht verteerd strooisel (Fm) op de minerale ondergrond.

Subgroepen

Op het niveau van de subgroep worden triviale namen voorgevoegd aan de naam van de groep. De volgende triviale namen kunnen voorkomen: heide-, zand-, beek-, duin-, vlak-, nes-, enk-, rade-, kroft-, tuin-, schraal-, ecto-, zure-, kalk-, moer-, worm-, leem-, akker-, veen-, meer-, vaag-, gliede-, veld-, schor-, ligno-, humus-, ruw-, bos-, holt-, eerd-, rauw- en turf-. Differentiërende kenmerken zijn daarbij:

- ontkalkingsdiepte,
- leemgehalte,
- organische stofgehalte
- aanwezigheid uitlogingsverschijnselen
- mate van veraarding van organische stof in veenprofielen
- aanwezigheid van wortelmatten
- de verteringsgraad van ectorganisch strooisel.
- de dikte van strooiselhorizonten

4 Karteringen

Binnen Alterra bestaat een ruime traditie in de kartering van bodems. De bodemkenmerken waarop de kaarten gebaseerd zijn betreffen echter doorgaands bodemeigenschappen die van belang zijn voor landbouwkundige vraagstellingen, zoals producerend vermogen voor bepaalde gewassen of draagkracht in relatie met bewerkbaarheid.

De Landschapsecologische Kartering van Nederland (LKN; de Waal, 1992) leverde de eerste aanzet om bodems te interpreteren voor ecologische doeleinden. Daarbij werd nog uitsluitend gebruik gemaakt van de traditionele bodemkaart (1 : 50 000), waarbij bodemeigenschappen zijn gebruikt die niet specifiek zijn toegesneden op ecologische processen.

Inmiddels is de vraag naar bodemkundige informatie in relatie tot natuurontwikkeling sterk toegenomen. Bij de planvorming en het terreinbeheer is er een duidelijke behoefte aan vlakdekkende informatie over natuurgerichte randvoorwaarden. Sleutelfactoren daarbij zijn de vochttoestand, de zuur/basentoestand en voedingstoestand van de bodem in relatie tot natuurdoelen. Vlakdekkende informatie op het niveau van landinrichtingsprojecten of natuurgebieden vraagt dan bij de landinventarisatie om maatwerk in plaats van standaard bodemkartering.

In onderstaande paragrafen wordt voor elk van de drie onderscheiden niveaus van het raamwerk aangegeven in hoeverre methoden beschikbaar zijn om ecologische bodeminformatie vlakdekkend weer te geven.

4.1 Fysiografische eenheden

Kaarten van fysiografische eenheden komen tot stand door aggregatie van bodemeenheden op basis van voornamelijk overeenkomst in de primaire factor grondsoort (moedermateriaal) en topografie (hydrologische positie in landschap). De kaarten geven zeer globale informatie en er is geen sprake van maatwerk (zie Kemmers en de Waal, 1999). De kaarten bieden een kader dat aangeeft in welke richting het inventariserend onderzoek moet inslaan om meer specifieke ecologische informatie te verzamelen. De kaarten geven een beeld waar welke factoren van doorslaggevend belang zijn voor de ecosystemontwikkeling.

4.2 Fysiotopen en primaire factoren

4.2.1 Fysiotopen

De fysiotopkaarten zijn eveneens gebaseerd op combinaties van meerdere primaire factoren. Fysiotopkaarten kunnen worden gebruikt voor gebieden waar de potenties moeten worden ingeschat van omvorming van landbouwgronden in natuur. De kaarten komen tot stand door een interpretatie van bestaande bodemkundige informatie naar vochttoestand, zuur/basentoestand en voedingstoestand (zie paragraaf 3.2). Ter ondersteuning kan geomorfologisch kaartmateriaal van belang zijn. Kaartvlakken bestaan uit aggregaties van bodemeenheden die overeenkomen in primaire factoren. De kaarten geven informatie over ruimtelijke patronen van abiotische randvoorwaarden aan de hand waarvan allocatie van natuurdoeltypen in een plangebied mogelijk is of de kansrijkdom voor de ontwikkeling van gewenste natuurdoeltypen kan worden ingeschat.

De methode is toegepast in het stroomgebied van de Drentse Aa (Kemmers en van der Bolt, 1997) en in de Vechtstreek (Brouwer et al., ongepubliceerd), waarmee de gradiënt van pleistocene zandgronden met beekdalen naar holocene laagveengebieden met kleiafzettingen als gevolg van inundaties kan worden bestreken.

In aanhangsel 4 is de fysiotopenkaart van de Vechtstreek weergegeven die is vervaardigd in opdracht van de Dienst Landelijke Gebieden ten behoeve van de planvorming voor het Strategische Groenproject "Vechtstreek". De kaart geeft een sterk vereenvoudigd beeld van de ruimtelijke patronen in relatie tot ecologische mogelijkheden in vergelijking met de bodemkaart.

4.2.2 Primaire factoren

Bij de fysiotopenbenadering is eerder aangegeven dat in tegenstelling tot bij moeder-materiaal en waterkwaliteit vlakdekkende informatie over de grondwaterkwaliteit ontbreekt. De interpretatieve methode om de grondwaterkwaliteit vast te stellen is onbevredigend.

Er is echter regelmatig behoefte aan informatie op maat ten aanzien van ruimtelijke patronen van de grondwaterkwaliteit. Juist de kwaliteit van grondwater is vaak een sleutelfactor bij het inschatten van potenties voor natuurontwikkeling bij omvorming van landbouw naar natuur. De grondwaterkwaliteit is een variabele die is samengesteld uit verschillende parameters. Op basis van de concentratie van en de verhouding tussen deze variabelen worden in relatie tot potenties voor natuurontwikkeling vier basistypen onderscheiden: regenwater, grondwater, zeewater en oppervlaktewater, die met drie variabelen (Ca^{2+} , Cl^- , EC) zijn te typeren. Puntinformatie van de grondwaterkwaliteit is daarbij geen probleem. Het probleem dat de natuurlijke differentiatie in de waterkwaliteit van het landschap door menselijke invloeden (bemesting, bekalking) wordt vereffend, kan worden opgelost

door toepassing van technieken waarmee de verontreinigingsruis kan worden gefilterd.

Methoden om deze watertypen vlakdekkend in kaart te brengen ontbreken echter. Problemen die zich daarbij voordoen zijn de temporele variabiliteit en de ruimtelijke variabiliteit in verticale en horizontale richting. Door Jansen (2001) is in enkele proefgebieden onderzoek gedaan naar mogelijkheden om met beperkte inspanning puntgegevens over de waterkwaliteit gebiedsdekkend te extrapoleren. Daarbij werd nagegaan welke waterkwaliteitsvariabelen en watertypen correleren met continue terreinkenmerken. Met als voorwaarde dat alleen eenvoudig te meten waterkwaliteitsvariabelen mogen voorkomen bleek bijvoorbeeld dat het aandeel regenwater in het bodemprofiel goed kon worden geschat uit de pH van het water en de maaiveldhoogte. Naast maaiveldhoogte bleken ook bodemgebruik en elektrisch geleidingsvermogen goede voorspellers te zijn. In een vervolgonderzoek zullen verschillende variabelen en watertypen volgens deze methoden gebiedsdekkend worden geëxtrapoleerd en de uitkomsten via steekproeven worden geverifieerd.

4.3 Humusvormen en secundaire factoren

4.3.1 Humusvormen

Horizontdiktes

Dikteverhoudingen tussen horizonten vormen een criterium voor toedeling van humusprofielen aan een humusvorm. Horizontdiktes variëren echter sterk over korte afstanden. Uit transectstudies in bosreservaten bleek dat in de ruimtelijke variatie van de diktevariabelen een herhaald patroon voorkomt met een herhalingslengte van enkele meters tot tientallen meters (Kemmers et al., 1998 en Kemmers et al., 1999). Deze repeterende patronen werden in verband gebracht met de dichtheid van bomen en struiken in de opstand. De ontwikkeling van een methode om deze patronen vlakdekkend in kaart te brengen leidde niet tot bevredigende resultaten. Als hulpvariabelen voor de extrapolatie van puntwaarnemingen van de dikte van humushorizonten naar vlakken werden boomafstanden vanaf het waarnemingspunt en de lichttransmissiviteit van het kronendak op het waarnemingspunt gemeten resp. berekend. De relatie tussen horizontdikte en de hulpvariabelen bleek te gering ($r^2 < 0.13$, Kemmers ongepubl.) om als basis te dienen voor ruimtelijke extrapolaties.

Humusvormcomplexen

Recent is onderzoek gestart in een gebied met afwisselend heide, loof- en naaldbos met overgangen van hogere gronden naar een beekdal. Doel van het onderzoek is een methode te ontwikkelen om ruimtelijke patronen van humusvormen in kaart te kunnen brengen. Er zal worden onderzocht of humusvormen zijn te karteren door op een hoger hiërarchisch niveau 'complexen' van humusvormen te onderscheiden en gebruik te maken van hulpvariabelen als gedetailleerde hoogtemetingen (AHN). Vooralsnog lijkt daarbij meer perspectief aanwezig dan bij kartering van individuele humusvormen.

4.3.2 Secundaire factoren

De kartering van secundaire factoren is gebaseerd op toepassing van interpolatietechnieken. In het kader van het Overlevingsplan Bos en Natuur (OBN) zijn in verschillende broekbossen monitoringnetwerken uitgezet voor periodieke meting van de verzurings-, voedings- of eutrofieringstoestand. Hoewel het humusprofiel een goede indicator is voor deze toestandsvariabelen is kartering van het humusprofiel niet haalbaar gezien de grote ruimtelijke variabiliteit. In deze situaties worden rechtstreeks puntmetingen van bodemchemische variabelen in het monitoring netwerk verricht. Ruimtelijke patronen van bijvoorbeeld zuurgraad, basentoestand, organisch stofgehalte en anorganisch fosfaatgehalte worden na interpolatie tussen waarnemingspunten met een eenvoudige krigingstechniek in de vorm van contourlijnen vastgelegd. In aanhangsel 5 is als voorbeeld de contourkaart van de bodemzuurgraad (0-5 cm-mv) in het broekbos Koelbroek in 1997 weergegeven (Boxman (ed), 2000).

5 Hiaten

Het publiceren van het vernieuwde raamwerk impliceert nog niet dat nu alles bekend is over ecologische bodemtypering of -kartering.

De fysiopotentypologie is van toepassing op nog slechts vier van de acht fysiografische eenheden. Dit betekent dat voor Jonge kleigronden, Venen, kwelgevoede zandgronden en Regenwatergevoede zandgronden bodemtypen volgens de bodemkaart (1 : 50 000) kunnen worden toegewezen aan een fysiotoop op basis van een interpretatie van primaire factoren. Dergelijke interpretaties en toewijzingen komen tot stand bij de uitvoering van case studies die al dan niet in het kader van een opdracht worden uitgevoerd (Kemmers en van der Bolt, 1997; Brouwer et al., ongepubliceerd). Voor Mergel- en Lössgronden, kalkrijke zandgronden, Oude kleigronden en Buitendijkse gronden is nog geen fysiopotentypologie beschikbaar. Hierbij zijn we afhankelijk van opdrachten in gebieden waar betreffende fysiografische eenheden aanwezig zijn. Tot nu toe hebben die zich nog niet voorgedaan.

De humusvormtypologie is gebaseerd op een zeer omvangrijke set inventarisatie gegevens die zijn verzameld in het kader van het bosecosystemen (o.a. Stortelder et al., 1998; Wolf et al., 2001) en het bosreservatenonderzoek (o.a. Mekking, 1992, 1997). Daarnaast zijn zeer veel gegevens verzameld in systemen met korte vegetaties die bij elkaar gebracht zijn door van Delft (in voorb.). In deze laatste categorie is echter sprake van een onevenwichtige verspreiding over de fysiografische eenheden. Sterk ondervertegenwoordigd op het totale bestand van 346 onderzochte standplaatsen zijn Buitendijkse rivier(klei)gronden (3), Oude kleigronden (2) en Löss- en Mergelgronden (2). Ook in dit geval geldt dat voor aanvulling van gegevens wij afhankelijk zijn van opdrachten in gebieden met betreffende fysiografische eenheden. deze nieuwe informatie kan leiden tot bijstelling van de humusvormtypologie en bijstelling van onze inzichten.

Ten aanzien van het verzamelen van vlakdekkende informatie bestaan er nog hiaten bij de humusvormen en de grondwaterkwaliteit. Bij de humusvorm doet zich het probleem voor van de grote variatie over korte afstand (Kemmers et al., 1999). Voortgezet onderzoek is gewenst om methoden te ontwikkelen waarmee het probleem van humusvormkartering kan worden opgelost.

Informatie over de grondwaterkwaliteit is een van de belangrijkste primaire factoren bij prognoses van de kansrijkdom voor natuurontwikkeling in landbouwgebieden die worden omgevormd naar natuur. Op puntlokaties doet zich in de eerste plaats al het probleem voor dat de potentiële waterkwaliteit moeilijk is vast te stellen als gevolg van verontreiniging door menselijk handelen (bemesten, bekalken). Als dit probleem is opgelost, is de volgende stap om de puntwaarneming te extrapoleren naar vlakken. De ruimtelijke variatie van de grondwaterkwaliteit doet zich zowel voor in horizontale als in verticale richting. Onderzoek is nodig om vast te stellen:

- welke parameters geschikt zijn om snelle veldinventarisaties geschikt zijn voor puntwaarnemingen,
- op welke diepte relevante informatie moet worden verzameld en
- welke continue hulpvariabelen kunnen worden gebruikt voor de ruimtelijke extrapolatie.

Tenslotte blijft nog een belangrijk hiaat aanwezig dat slechts terzijde aan bod is gekomen in deze rapportage. Bij omvorming van landbouw naar natuur zijn de primaire factoren doorslaggevend bij prognoses voor natuurontwikkeling. De secundaire factoren zijn afhankelijk van de primaire factoren, maar zijn tevens daarmee niet in evenwicht. In veel gevallen zal er sprake zijn dat de met meststoffen verrijkte bovengrond via plagmaatregelen kan worden verwijderd. In die gevallen waarbij dat niet mogelijk of te kostbaar is, moet een inschatting worden gemaakt wat de invloed is van de actuele voedselrijkdom op de natuurontwikkeling. Met name de invloed van fosfaatrijke gronden is daarbij moeilijk in te schatten. Drempelwaarden voor stikstof en fosfor zijn daarbij moeilijk aan te geven. Voortgezet onderzoek naar de voedselrijkdom van de bodem in relatie tot natuurontwikkeling is daartoe noodzakelijk.

Literatuur

Bakker, H. de en J. Schelling. 1989. Systeem van bodemclassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. 2^e gewijzigde druk. Pudoc. Wageningen.

Beets, C.P., P.W.F.M. Hommel en R.W. de Waal. 2000. Selectie van referentiepunten ten behoeve van het SBB-project terreincondities. Fase 1: resultaten inventarisatie 1999. Staatsbosbeheer/Alterra. Driebergen.

Beets, C.P., P.W.F.M. Hommel en R.W. de Waal. 2001. Selectie van referentiepunten ten behoeve van het SBB-project terreincondities. Fase 2: resultaten inventarisatie 2000. Staatsbosbeheer/Alterra. Driebergen.

Blom, J. van, R. Coppus, L.C. Dekker en J. Sevink. 1998. De bodems van de loofbossen op de oudere duinen en strandwallen van de Nederlandse kust; Profielontwikkeling en bodemverzuring. Netherlands Centre for Geo-ecological Research. ICG Rapporten 98/9. Amsterdam.

Boxman, A.W. (ed.) 2000. Referentieproject Koelbroek; beschrijving van de uitgangssituatie en de uitvoering van maatregelen op praktijkschaal. Katholieke Universiteit Nijmegen. OBN-rapport.

Brouwer, F., R.H. Kemmers en F.P.Sival. Ongepubliceerd. Landinventarisatie en Ruimtelijke systeemanalyse "De Vechtstreek" Fase 1 Vooronderzoek. Alterra. Wageningen.

Delft, S.P.J. van. 1995. Humus- en bodemprofielen in natte schraalgraslanden. Resultaten van een bodemkundig onderzoek in 13 referentiegebieden voor het onderzoek naar Effectge-richte Maatregelen tegen verzuring (EGM). SC-DLO, Rapport 309. Wageningen.

Delft, S.P.J. van. in voorb. Ecologische typering van bodems. Deel 2 Humusvormtypologie korte vegetaties. Alterra. Rapport 268. Wageningen.

Hommel, P.W.F.M., P.C. de Hullu, J. Den Ouden en R.W. de Waal. (in voorb). Boomsoortkeuze en soortenrijkdom op verzuringsgevoelige bodems. Nederlands Bosbouw tijdschrift.

Hommel, P.W.F.M., G.H.P. Dirx, A.H. Prins, H.P. Wolfert en J.G. Vrieling, 1994. Natuurbehoud en natuurontwikkeling langs de Bloemenbeek en Boven-Dinkel; gevolgen van ingrepen in de waterhuishouding van het Dinkelsysteem voor enkele karakteristieke vegetatietypen. DLO-Staring Centrum, Rapport 304. Wageningen.

Hommel, P.W.F.M., J.A. Ingberg en R.W. de Waal. 1999. Vegetatiekartering, Stinzenplanten en bosontwikkeling in het landgoed Elswout. Buro Bakker & SC-DLO. Assen, Wageningen.

- Jansen, P.C. 2001. Inventarisatie van waterkwaliteit voor ecologische doeleinden. Alterra. Rapport 185. Wageningen.
- Jansen, P.C., R.H. Kemmers en P. Mekking. 1994. Ecohydrologische systeem-beschrijving van het landgoed "De Wildenborch". SC-DLO, Rapport 304. Wageningen.
- Jenny, H., 1941. Factors of soil formation. McGraw-Hill. New York.
- Kemmers, R.H., 1996. Bodemkartering voor ecologische toepassingen. In: R.H. Kemmers (ed). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, Wageningen, 6 oktober 1995.
- Kemmers, R.H. en F.J.E. van der Bolt, 1997. Fysiotopentypologie voor beekdallandschappen; een ruimtelijke schematisering van het beekdallandschap voor het Geïntegreerd Ruimtelijk Evaluatie-Instrumentarium voor Natuurontwikkelings-scenario's (GREINS). DLO-Staring Centrum, Rapport 502. Wageningen.
- Kemmers, R.H., P. Mekking en R.W. de Waal, 1998. De uitgangstoestand van bodemvariabelen in Norgerholt en Tongerense hei; basisprogramma bosreservaten. DLO-Staring Centrum, Rapport 592. Wageningen.
- Kemmers, R.H. en R.W. de Waal. 1999. Ecologische typering van bodems. Deel 1. Raamwerk en humusvormtypologie. DLO Staring Centrum. Rapport 667-1. Wageningen.
- Kemmers, R.H., R.W. de Waal en P. Mekking, 1999. Ruimtelijke variabiliteit van eigenschappen van humusprofielkenmerken in een Eiken-Berkenbos op arme zandgrond. DLO-Staring Centrum, Rapport 647. Wageningen.
- Kemmers, R.H., P.C. Jansen en S.P.J. van Delft. 2000. De regulatie van de basentoestand van kwelafhankelijke schraalgraslanden en laagvenen. Rapport-8 OBN. Expertisecentrum LNV, Alterra. Wageningen.
- Kemmers, R.H., R.W. de Waal, S.P.J. van Delft en P. Mekking. (subm.) Ecologische typering van bodems; actuele informatie over bodemkundige geschiktheid voor natuurontwikkeling. Landschap.
- Klijn, F., 1997. A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification. Thesis, Rijksuniversiteit te Leiden.
- Maas, G.J. en M.M. van der Werff. 1990. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 2: Vijlnerbos. DLO Staring Centrum. Rapport 98-2. Wageningen.
- Mekking, P. 1992. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 9: Schoonloërveld. DLO Staring Centrum. Rapport 98-9. Wageningen.

- Mekkink, P. 1993. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 13: De Schone Grub. DLO Staring Centrum. Rapport 98-2. Wageningen.
- Mekkink, P. 1995. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 15: Dieverzand. DLO Staring Centrum. Rapport 98-15. Wageningen
- Mekkink, P. 1997. De bodemgesteldheid van bosreservaten in Nederland. Deel 26: Hollandse Hout. DLO Staring Centrum. Rapport 98-2. Wageningen.
- Mekkink, P., P.C.Jansen, H.Runhaar en G.H.P. Dirkx. 1999. De ecohydrologische en bodemkundige gesteldheid van de natuurontwikkelings- en Randstadgroen-structuurgebieden in het Strategisch Groenproject Eiland van Dordrecht. DLO Staring Centrum. Rapport 682. Wageningen
- Muys, B. 1991. Strooisel en Humus; onbekend is onbemind. Groene Band 83-84:11-35, Gent.
- Sival, F.P. 1997. Dune soil acidification threatening rare plant species. Thesis. Rijksuniversiteit Groningen.
- Smit, A.. 2000. Impact of grazing on carbon and nutrient cycling in a grass-encroached Scots pine forest. PhD Thesis. University of Amsterdam.
- Stortelder, A.H.F., P.W.F.M. Hommel en R.W. de Waal, 1998. Broekbossen van Nederland. KNNV. Utrecht.
- Vos, W. en A.H.F. Stortelder. 1992. Vanishing Tuscan landscapes. Pudoc, Wageningen.
- Waal, R.W. de, 1992. Landschapsecologische kartering van Nederland: Bodem en grondwatertrappen. LKN-rapport nr 2. SC-DLO-rapport 132. DLO-Staring Centrum, Wageningen.
- Waal, R.W. de, 1996. De dynamiek van strooisellagen in boscystemen op de overgang van kalkrijk naar kalkarm. In: R.H. Kemmers (ed). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, Wageningen, 6 oktober 1995.
- Waal, R.W. de, R.J. Bijlsma, E. Dijkman & M. van der Werff, 2001. Stekelvarendominantie in bossen op arme bodems. De Levende Natuur. mei, 102e jaargang.
- Wolf, R.J.A.M., A.H.F. Stortelder en R.W. de Waal. 2001. Ooibossen. KNNV. Utrecht.

Aanhangsel 1 Raamwerk Ecologische Bodemtypologie

Primaire factoren (1 : 1 000 000) FYSIOGRAFISCHE EENHEDEN

1. Mergel- en Lossgronden

- 1.1 Landbouw
- 1.2 Natuur
 - 1.2.1 Bos (Bosreservaten, Lindeproject)
 - 1.2.2 Korte vegetaties:

2. Kalkrijke (duin)zandgronden

- 2.1 Landbouw (?)
- 2.2 Natuur
 - 2.2.1 Bos (Elswout)
 - 2.2.2 Korte vegetaties (OBN, SBB-referenties)

3. Jonge kleigronden

- 3.1 Landbouw: (Eiland van Dord, Vechtstreek)
- 3.2 Natuur
 - 3.2.1 Terrestrisch
 - 3.2.1.1 Bos (Hollandse Hout)
 - 3.2.1.2 Korte vegetaties (Tielerwaard, Veenkampen, Vechtstreek)
 - 3.2.2 Semi-terrestrisch (Zijdebrug, Hengstpolder, OBN, SBB-referenties)

4. Oude kleigronden

- 4.1 Landbouw
- 4.2 Natuur
 - 4.2.1 Bos (Lindeproject)
 - 4.2.2 Korte vegetaties (SBB-referenties)

5. Buitendijkse riviergronden

- 5.1 Landbouw
- 5.2 Natuur
 - 5.2.1 Zoet water
 - 5.2.1.1 Terrestrisch
 - 5.2.1.1.1 Bos (Hardhout ooibos)
 - 5.2.1.1.2 Korte vegetaties (Kleine rivieren)
 - 5.2.1.2 Semi-terrestrisch
 - 5.2.1.2.1 Bos (Zachthout ooibos)
 - 5.2.2 Brak water (SBB-referenties)

6. Venen

- 6.1 Landbouw (Vechtstreek, Drentse Aa)
- 6.2 Natuur
 - 6.2.1 Bos (Broekbossen, OBN)
 - 6.2.2 Korte vegetaties (OBN, SBB-referenties)

7. Kwelgevoede zandgronden

- 7.1 Landbouw (Drentse Aa)
- 7.2 Natuur
 - 7.2.1 Bos (Wildenborch, OBN)
 - 7.2.2 Korte vegetaties (OBN, SBB-referenties)

8. Regenwatergevoede zandgronden

- 8.1 Landbouw (Drentse Aa)
- 8.2 Natuur
 - 8.2.1 Bos (Bosreservaten)
 - 8.2.2 Korte vegetaties (SBB-referenties)

Funcieverandering: Potenties Primaire factoren (1: 50 000) FYSIOTOPENTYPOLOGIE

Funcatiebehoud: Actuele toestand Secundaire factoren (1: 5 000)

HUMUSVORMTYPOLOGIE

zie Aanhangsel 3
en
paragraaf 3.3.3

Terrestrische humusvormen

Terrestrische humusvormen

Semi-terrestrische humusvormen

Semi-terrestrische humusvormen

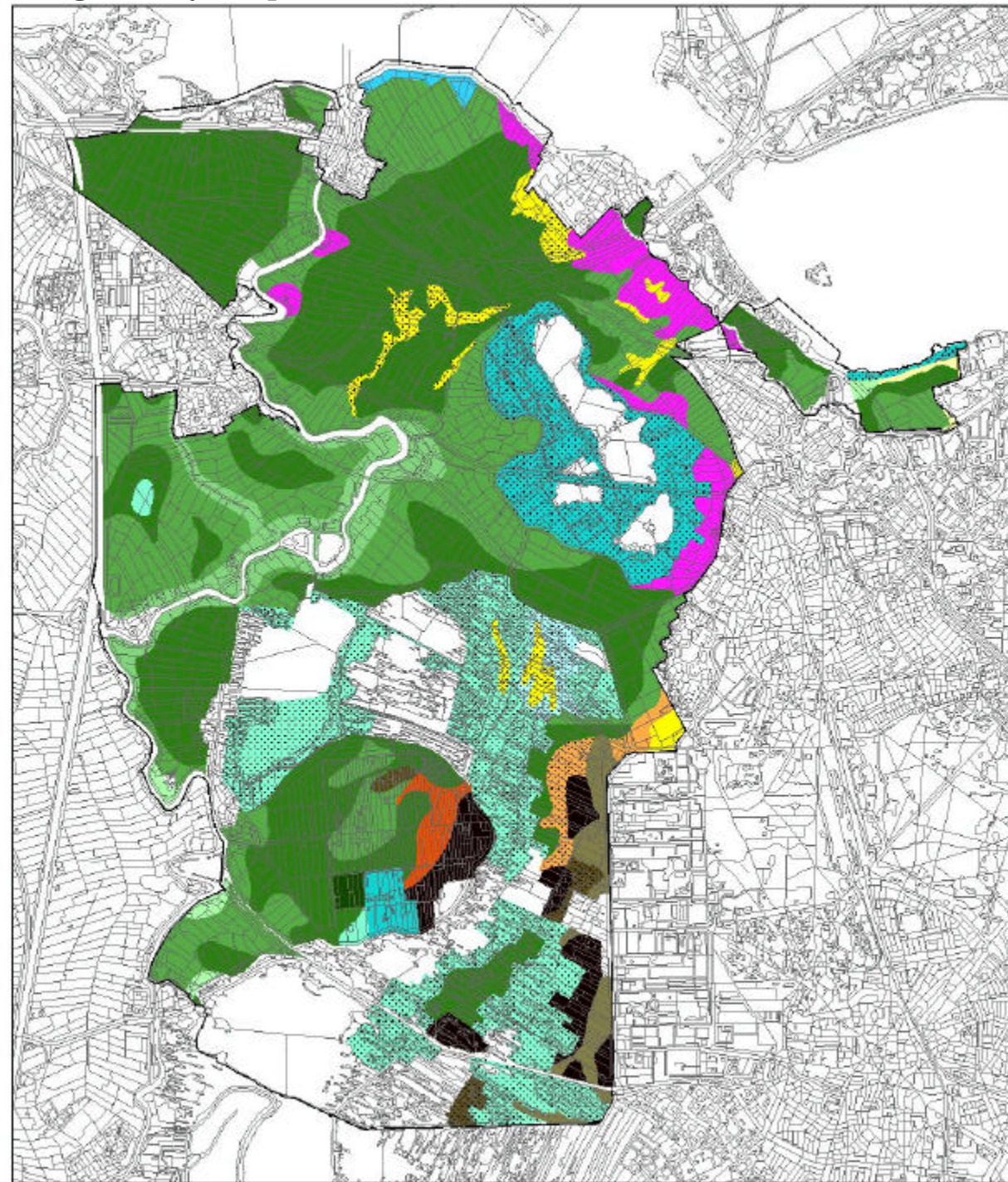
Mariene humusvormen

Aanhangsel 2 Toedeling van bodemtypen aan fysiotoepen

Gt	GLG	GHG	Ombroetroof/Zuur		Basenarm		Basenrijk		
			Veen	Zand	Veen	Zand	Veen	Klei	
				Rijk					
I	<50	Inund	Vs <i>111</i>	<i>112</i>	Vz,vWz <i>121</i>	<i>122</i>	Vc,Vo <i>131</i>	kVc,pRn <i>133</i>	
II II*	50-80	-	(i)V _s ,aV _p , (i)V _p ,vW _p <i>211</i>	<i>212</i>	aV _z ,V _z ,vW _z ,AB, ABV <i>221</i>	pZg <i>222</i>	aV _c ,V _c ,zV _c , V _d <i>231</i>	hV _c ,hV _d ,hV _k ,h V _r ,hV _s ,hV _z , pV _c ,kV _b ,kV _c ,k V _r ,kV _s ,kV _z , Mo,Mv,Rn,Rv, Wg,Wo,gMn <i>233</i>	
III III* IV	80-120	-	zV _s ,zV _p , vW _p ,V _s ,iV _p iV _s ,aV _p <i>311</i>	zW _p , Hn <i>312A</i>	cHn <i>312B</i>	aV _z ,V _z ,vW _z ,zV _z , iV _z <i>321</i>	pZn,zW _z , pZg <i>322</i>	aV _c ,(i)V _c , <i>331</i>	hV _c ,hV _z ,pV _c , kV _c ,kV _z ,Mn, pMn,pMv,Mo, Mv,Rn,pRn,Rv, Wg,gMn,kHn, KX <i>333</i>
V V*	>120	<40	(i)V _p ,vW _p <i>411</i>	Hn,Zn <i>412A</i>	cHn <i>412B</i>	aV _z ,vW _z <i>421</i>	pZn,pZg <i>422</i>	aV _c <i>431</i>	Mn,pMn,Rn,KX <i>433</i>
VI VII VIII	>120	>40	vW _p ,zW _p , iW _p <i>511</i>	zW _p ,Hn Y,Hd, Zn,Zd, Zb <i>512A</i>	cY, cHn, cHd, zEz <i>512B</i>	vW _z ,iV _z <i>521</i>	zW _z ,pZg, pZn <i>522</i>	<i>531</i>	Rn, KX <i>533</i>

Cursieve getallen vertegenwoordigen de cijfercode voor het betreffende fysiotootype.

Aanhangsel 4 Fysiotopenkaart van de Vechtstreek



Schaal 1: 50 000

Veengronden:

■ zuur (oligotroof);	nat (Gt II):	211
■ zuur (oligotroof);	vochtig (Gt III en IV):	311
■ basenarm (mesotroof);	zeer nat (Gt I):	121
■ basenarm (mesotroof);	nat (Gt III):	221
■ baserijk (eutroof);	zeer nat (Gt I):	131
■ baserijk (eutroof);	nat (Gt III):	231

Jonge kleigronden of gronden met een kleidek of kleiige bovengrond:

■ baserijk (eutroof);	zeer nat (Gt I):	133
■ baserijk (eutroof);	nat (Gt III):	233
■ baserijk (eutroof);	vochtig (Gt III en IV):	333
■ baserijk (eutroof);	wisselvochtig (Gt V):	433
■ baserijk (eutroof);	droog (Gt VI en VII):	533

Regenwatergevoede zandgronden:

■ arm moedermateriaal;	vochtig (Gt III en IV):	312A
■ arm moedermateriaal;	droog (Gt VI en VII):	512A
■ rijk moedermateriaal;	nat (Gt II):	212B
■ rijk moedermateriaal;	vochtig (Gt III en IV):	312B
■ rijk moedermateriaal;	droog (Gt VI en VII):	512B

Kwelwatergevoede zandgronden:

■ basenarm (mesotroof);	vochtig (Gt III en IV):	322
-------------------------	-------------------------	-----

Aanhangsel 5 Contourkaart zuurgraad 1997 in het broekbos Koelbroek

