

32/44/664.1)
2^e ex.

Ecologische typering van bodems

Deel 1 Raamwerk en humusvormtypologie

R.H.Kemmers
R.W. de Waal

BIBLIOTHEEK "DE HAAFF"
Droevendaalsesteeg 3a
6708 PB Wageningen

Rapport 667-1

Staring Centrum, Wageningen, 1999

REFERAAT

Kemmers, R.H. & R.W. de Waal, 1999. Ecologische typering van bodems; *Raamwerk en humusvormtypologie*. Wageningen, Staring Centrum. Rapport 667-1. 70 blz. 19 fig.; 8 tab.; 66 ref.; 1 kaart.

Bestaande bodemkundige informatie is ontoereikend voor ecologische vraagstellingen. Dit rapport presenteert een raamwerk voor een ecologische bodemtypologie, gebaseerd op specifiek daartoe in case studies verzamelde gegevens. De typologie integreert bodemkundige, hydrologische en vegetatiekundige kennis en benadert de bodem vanuit het perspectief van de ecosysteemtheorie volgens Jenny. Er wordt stilgestaan bij de verschillende facetten van het humusprofiel: de profielopbouw, de indicatieve betekenis voor processen, het successiestadium en de ruimtelijke variabiliteit. Aangegeven wordt welke ecosysteemfactoren onder welke fysiografische omstandigheden relevant zijn en wanneer het humusprofiel relevante ecosysteem informatie verstrekt. Tenslotte wordt een functionele humusvormklassificatie gepresenteerd en een aantal toepassingsmogelijkheden gedemonstreerd. Er worden aanbevelingen gedaan voor verder onderzoek.

Trefwoorden: ecologie, ecosysteemfactor, bodemkunde, humusprofiel

ISSN 0927-4499

Dit rapport is beschikbaar tot 2010 onder de naam: 667-1/07-99 van Staring Centrum, Wageningen, onder vermelding van Rapport 667-1. Dit heeft te maken met de W.O. en de W.O. en de W.O.

© 1999 Staring Centrum, Instituut voor Onderzoek van het Landelijk Gebied (SC),
Postbus 125, NL-6700 AC Wageningen.
Tel.: (0317) 474200; fax: (0317) 424812; e-mail: postkamer@sc.dlo.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 Staring Centrum.

Staring Centrum 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 gaat in op 1 januari 2000.

Projectnummer 85035

[Rapport 667-1/HM/07-99]

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Gangbare bodemkundige indelingen	13
2.1 Bodembioologische benaderingen	13
2.2 Interpretatieve benaderingen	13
2.3 Benaderingen via humusvormen	15
3 Uitgangspunten voor een ecologische bodemtypologie	17
4 Ecosysteemtheorie volgens Jenny	19
4.1 Bodem in een ecologisch kader	19
4.2 Bodem als onafhankelijke en afhankelijke factor	21
4.3 Terminologie	23
5 Het humusprofiel als sleutelfactor	25
5.1 Profielopbouw	25
5.2 Humusvorm als indicator van processen	29
5.3 Humusvorm en successie	32
5.4 Humusvormen en ruimtelijke variabiliteit	35
6 Het raamwerk	37
6.1 Gereedschapskist	37
6.2 Onafhankelijke factoren	37
6.2.1 Löss en mergelgronden	38
6.2.2 Kalkrijke droge duinen	39
6.2.3 Jonge kleigronden	39
6.2.4 Oude kleigronden	39
6.2.5 Buitendijkse riviergronden	40
6.2.6 Veengronden	40
6.2.7 Kwelgevoede zandgronden	40
6.2.8 Regenwatergevoede zandgronden	41
6.3 Afhankelijke bodemfactoren	45
6.3.1 Humusvormklassificatie	45
6.3.2 Semi-terrestrische humusvormen van bosecosystemen	47
6.3.3 Terrestrische humusvormen van bosecosystemen	50
6.3.4 Humusvormen van graslandecosystemen	52
7 Toepassingsmogelijkheden	55
7.1 Toepasbaarheid in natuurgebieden	55
7.1.1 Humusvormen in hoogveen	55
7.1.2 Humusvormen in beekbegeleidende broekbossen	56
7.1.3 Humusvormen in laagveenbroekbossen	57
7.1.4 Humusvormen in hardhoutooibossen	58
7.1.5 Humusvormen in schraalgraslanden	59
7.2 Toepasbaarheid in ecologische landevaluatie	60

7.2.1 Primaire strategie	62
7.2.2 Secundaire strategie	62
8 Aanbevelingen	65
Literatuur	67

Kaart

Raamwerk ecologische bodentypologie Fysiografische eenheden (schaal 1 : 1 000 000)

Woord vooraf

Voor u ligt een raamwerk voor een ecologische bodemtypologie. Waarom een *ecologische* bodemtypologie en waarom een *raamwerk*? In de landschapsecologische kartering Nederland (LKN) is een eerste aanzet voor een typologie gegeven waarbij steeds is uitgegaan van een ecologische interpretatie van bodemkenmerken die niet specifiek voor ecologische doeleinden waren verzameld. De voorliggende *ecologische* bodemtypologie is gebaseerd op gericht verzamelde bodemkenmerken waaraan belangrijke informatie kan worden ontleend over ecologische relevante processen zoals verzuring, verdroging en eutrofiëring. Deze kenmerken zijn vaak, maar niet uitsluitend, aanwezig in het humusprofiel. Het humusprofiel is een dynamisch compartiment van de bodem waaraan in de gangbare bodemtypologie nauwelijks aandacht is besteed. Vandaar dat een humusvormtypologie een belangrijk onderdeel vormt van een ecologische bodemtypologie. De humusvormtypologie is functioneel en vormt een hulpmiddel bij de interpretatie van de ecosysteemtoestand met betrekking tot de vocht-, zuur en nutriëntenhuishouding.

Het *raamwerk* vormt een systeem waarbinnen de humusvormtypologie is ingepast en dat kan worden uitgebreid naarmate meer kennis beschikbaar komt. Binnen het raamwerk wordt de humusvormtypologie afgestemd op andere ecosysteemfactoren. Het geeft daarbij aan wanneer het humusprofiel zinvolle informatie verstrekt en onder welke omstandigheden andere ecosysteemfactoren betere informatie verstrekken voor een interpretatie van de ecosysteemtoestand. Het raamwerk is daardoor als het ware een gereedschapskist, waaruit voor verschillende omstandigheden, verschillende instrumenten kunnen worden gekozen. Het raamwerk biedt een leidraad welk instrument waar het best kan worden ingezet.

Dit rapport is het eerste in een reeks van twee. In dit rapport worden het raamwerk en het theoretisch concept dat daaraan ten grondslag ligt, beschreven. Vervolgens wordt een voorlopige humusvormtypologie gepresenteerd. De humusvormtypologie is vooral toepasbaar in het natuurbeheer bij de interpretatie van de toestand van terreinen. Het tweede later te verschijnen deel richt zich op methoden voor ecologische landevaluatie waarmee de mogelijkheden voor natuurontwikkeling kunnen worden beoordeeld in gebieden met een voormalig landbouwkundige gebruik.

De ecologische bodemtypologie is gebaseerd op informatie afkomstig van diverse case-studies, waaraan sinds 1991 systematisch werd gewerkt door de medewerkers van de sectie Bodem, Bos en Natuur: S.P.J. van Delft, P.W.F.M. Hommel, P.C. Jansen, R.H. Kemmers, P. Mekking, J. Runhaar en R.W. de Waal.

Het initiatief voor een ecologische bodemtypologie is terug te voeren naar een opdracht voor een programmeringsstudie door de Raad voor Milieu- en Natuuronderzoek (RMNO) in 1987 aan het toenmalige Rijksinstituut voor Natuurbeheer en Stiboka. De aanbevelingen die uit deze programmeringsstudie naar voren kwamen zijn aanleiding geweest tot het starten van casestudy's met aanvankelijk een ad hoc karakter. De ervaringen in deze studies waren zo

bemoedigend dat later een reguliere financiering tot stand kwam in het kader van het DWK-onderzoeksprogramma Geodata Groene Ruimte. Het onderzoek werd (mede)gefinancierd vanuit verschillende organisaties (DLO, IKC-N, SBB, Provincie Gelderland) of onderzoeksprogramma's van het Ministerie van Landbouw (Bosecosystemen, Bosreservaten, Bosbegrazing, Overlevingsplan Bos en Natuur, Geodata Groene Ruimte). De meerwaarde van deze studies bleek vrijwel steeds voort te komen uit een geïntegreerde aanpak, waarbij het ecosysteem tegelijkertijd vanuit verschillende invalshoeken (water, bodem, vegetatie) wordt bestudeerd.

Samenvatting

Gangbare indelingen om bodemkundige informatie toe te snijden op ecologische vraagstellingen zijn te eenzijdig of op niet-specifiek ecologisch relevante informatie gebaseerd. Met name bodemeigenschappen die met kortetermijn bodemprocessen samenhangen, zoals voedings- en basentoestand zijn vaak veronachtzaamd. Meest gangbaar zijn bodembioologische en interpretatieve benaderingen en benaderingen via de humusvorm. Omdat een veelheid aan factoren het functioneren van ecosystemen bepaalt, moet een ecologische bodemtypologie de weerslag vormen van een bodemkundige interpretatie in het perspectief van ook andere ecosysteemfactoren. De ecosysteemtheorie van Jenny, waarbij afhankelijke en onafhankelijke ecosysteemfactoren worden onderscheiden, blijkt zeer geschikt te zijn als fundament voor een dergelijke interpretatiewijze. Daarbij is het noodzakelijk het humusprofiel als dynamisch compartiment van het onveranderlijke moedermateriaal te onderscheiden.

Het humusprofiel is in veel gevallen de sleutelfactor bij de interpretatie van actuele ecosysteemprocessen. De humusvorm is een concrete verschijning van het humusprofiel en wordt gedefinieerd als een toestand die de balans weergeeft tussen strooiselaanvoer en -omzetting. De mate van strooiselomzetting is als veldkenmerk waarneembaar door de aanwezigheid van specifieke horizonten. Door juist meer aandacht te schenken aan de humusvormen kunnen dynamische bodemprocessen in het ecosysteem in beeld gebracht worden. De humusvorm kan samen met de vegetatie een goede indicator zijn van de actuele vocht-, basen- of voedingstoestand en van trends, zoals successie, in het ecosysteem. In veel gevallen zal de actuele vegetatie sneller dit soort zaken aangeven. Vegetatiesuccessie gaat echter gepaard met een successie van het humusprofiel. Hierbij treden fysisch-chemische veranderingen op in horizonten, waardoor niches voor het wortelmilieu van nieuwe plantensoorten van een volgende successiefase kunnen ontstaan. Daardoor bestaan er talrijke situaties waarbij de humusvorm vooruitloopt op de vegetatieontwikkeling. In deze gevallen kan het humusprofiel belangrijke aanvullende informatie verschaffen. Ruimtelijke patronen zijn moeilijk vast te leggen omdat kenmerken van het humusprofiel over korte afstand sterk kunnen variëren. Wel lijkt er een verband te bestaan met vegetatiestructuren zoals afstand tot bomen of struiken.

Voor een ecologische typering van bodems is een raamwerk opgesteld dat de voor een systeem relevante afhankelijke en onafhankelijke factoren aangeeft. Het raamwerk biedt de mogelijkheid een ecosysteemanalyse efficiënt uit te voeren door alleen de relevante factoren te analyseren. Voor de ontsluiting van het raamwerk zijn drie interpretatiestappen aanwezig:

1. Een analyse van het ecosysteem gericht op identificatie van de daarin en daarop werkzame factoren. Met deze analyse kan ingeschat worden welke rol het moedermateriaal en humusvorm spelen ten opzichte van elkaar en van de andere onafhankelijke milieufactoren en de vegetatie en met welke kenmerken van bodem en/of humusvorm de toestand van het ecosysteem het best te beschrijven is;

2. Een klassieke bodemprofielbeschrijving, waarbij men zich zoveel mogelijk toespitst op ecologisch relevante kenmerken die uit de ecosysteemanalyse (1) volgen;
3. Een humusprofielbeschrijving, waarbij men zich beperkt tot de eerste 40 cm van het bodemprofiel. De beschrijving kan uitmonden in een toedeling aan een van de humusvormtypen van een "flexibele" humusvormtypologie.

Het raamwerk zelf is voorlopig van aard en bestaat uit twee niveau's. Op het eerste niveau zijn onafhankelijke factoren gegroepeerd tot acht fysiografische eenheden: mergel en lössgronden, kalkrijke droge duinen, jonge kleigronden, oude kleigronden, buitendijkse riviergronden, venen, kwelgevoede zandgronden en regenwatergevoede zandgronden. Voor fysiografische eenheden waar het humusprofiel een belangrijke rol speelt of kan spelen wordt een tweede niveau onderscheiden. Hiertoe is een functionele humusvormklassificatie opgezet voor zowel terrestrische als semi-terrestrische bos- en graslandecosystemen. Het humusvormtype is daarbij steeds indicatief voor een bepaalde ecosysteemtoestand. Bij de klassificatie is uitgegaan van het systeem volgens Klinka. Op onderdelen is dit systeem aangepast aan de Nederlandse situatie en uitgebreid. Alleen bij jonge kleigronden is het humusprofiel van geen betekenis voor een ecologische bodemtypering. Bij mergel en lössgronden, kalkrijke droge duinen, kwelgevoede zandgronden en oude kleigronden neemt het humusprofiel in betekenis toe bij een voortschrijdende verzuring. Bij buitendijkse riviergronden kan het humusprofiel een rol gaan spelen bij langdurig achterwege blijven van overstroming. In venen en regenwater gevoede zandgronden speelt het humusprofiel een dominante rol bij de bodemtypering.

De ecologische bodemtypologie is toepasbaar bij:

- diagnoses ten behoeve van de toestand van natuurterreinen;
- prognoses van effecten van inrichtings- en beheersmaatregelen bij natuurontwikkeling;
- monitoring van natuurterreinen op veranderingen in kwel, verdroging en verzuring. In dergelijke overgangssituaties zijn vegetatieveranderingen niet altijd goed te interpreteren. Analyse van de humusprofielontwikkeling kan duidelijkheid verschaffen over de recente trend van de processen;
- monitoring van grasland- en bossuccessie;
- ondersteuning van cultuurhistorisch of historisch-ecologisch onderzoek;
- onderzoek naar voedselgebieden voor op bodemfauna fouragerende diersoorten (weidevogels, dassen).

1 Inleiding

Er bestaat de laatste jaren een groeiende behoefte aan bodemkundige informatie die toepasbaar is bij onderzoek naar de toestand en de ontwikkelingsmogelijkheden van de natuur (Gleichman et al, 1989; Kemmers 1996). Het overgrote deel van het aanbod van bodeminformatie is echter in het verleden verzameld met als doel deze gegevens ten behoeve van de landbouw toe te passen. In wetenschappelijke zin was de belangstelling van de bodemkundige traditioneel gericht op de ontwikkeling van de bodem, waarbij vooral naar de resultaten van fossiele- en zeer langzame bodemvormingsprocessen werd gekeken. Deze visie leidde tot de ontwikkeling van een sterk morfometrisch classificatiesysteem (De Bakker en Schelling, 1989). Men ging er van uit dat eigenschappen, die met korte-termijn bodemprocessen samenhangen, zoals voedingstoestand en zuurtoestand, met behulp van kunstgrepen in de landbouwkundige praktijk, te manipuleren waren, en dus minder interessant waren. Juist deze processen blijken echter van essentieel belang in natuurlijke en halfnatuurlijke ecosystemen. De resultaten van deze bodemkundige traditie ijlen, ondanks de veranderende inzichten, nog steeds na in de nu beschikbare bodeminformatie zoals bijvoorbeeld bodemkaarten (o.a. Bodemkaart van Nederland 1 : 50 000 van DLO Staring Centrum) het Bodem Informatie Systeem (DLO Staring Centrum) en in de Nederlandse bodemklassificatie. Het is niet verwonderlijk dat vegetatiekundigen en ecologen steeds veel moeite hebben met de interpretatie van dergelijke bodemkaarten en classificaties. In het recente verleden zijn om deze reden pogingen gedaan om de bestaande bodeminformatie door enkele summiere aanvullingen en een nieuwe wijze van interpretatie geschikter te maken voor ecologische en milieukundige toepassingen. In een artikel van Klijn en De Waal (1992) is deze strategie uitgebreid aan de orde gekomen. Zij concluderen o.a. dat het streven naar een geheel nieuwe ecologische bodemklassificatie niet realistisch is. In zekere zin is deze conclusie nog steeds juist; ervaringen met projecten als "Boscosystemen" (Clerkx et al., 1995; Stortelder et al., 1998) tonen echter aan dat een substantiële vernieuwing gebaseerd op nieuwe inventarisaties van bodem- en standplaatsfactoren veelbelovend is. Bij deze vernieuwing staat naast de bodem als factor in het ecosysteem de aandacht voor humusvormen centraal.

In dit rapport wordt een raamwerk gepresenteerd voor een ecologische bodemtypologie. Het doel is ecologen en terreinbeheerders een raamwerk te bieden voor de toepassing van deze ecologische bodemtypologie en daarmee een stimulans te geven aan het gebruik en het bewerken van bodemkundige gegevens voor ecologische toepassingen.

In grote lijnen wordt in het rapport aangegeven op welke wijze men tot een ecologisch relevante beschrijving van de bodem kan komen door integratie van bodemkundige, hydrologische en vegetatiekundige kennis. Na deze inleiding wordt enige aandacht besteed aan gangbare indelingen (hoofdstuk 2) en worden de door ons gekozen uitgangspunten voor een ecologische bodemtypologie geformuleerd (hoofdstuk 3). Vervolgens wordt wat dieper ingegaan op de betekenis van de bodem vanuit het perspectief van de ecosysteemtheorie en op de door ons gehanteerde

terminologie (hoofdstuk 4). Er wordt uitvoerig aandacht besteed aan de verschillende facetten van het humusprofiel, die in diverse case studies naar voren zijn gekomen (hoofdstuk 5). Hoofdstuk 6 wordt het raamwerk gepresenteerd. Tenslotte worden de toepassingsmogelijkheden van dit raamwerk besproken (hoofdstuk 7) en conclusies getrokken (hoofdstuk 8).

2 Gangbare bodemkundige indelingen

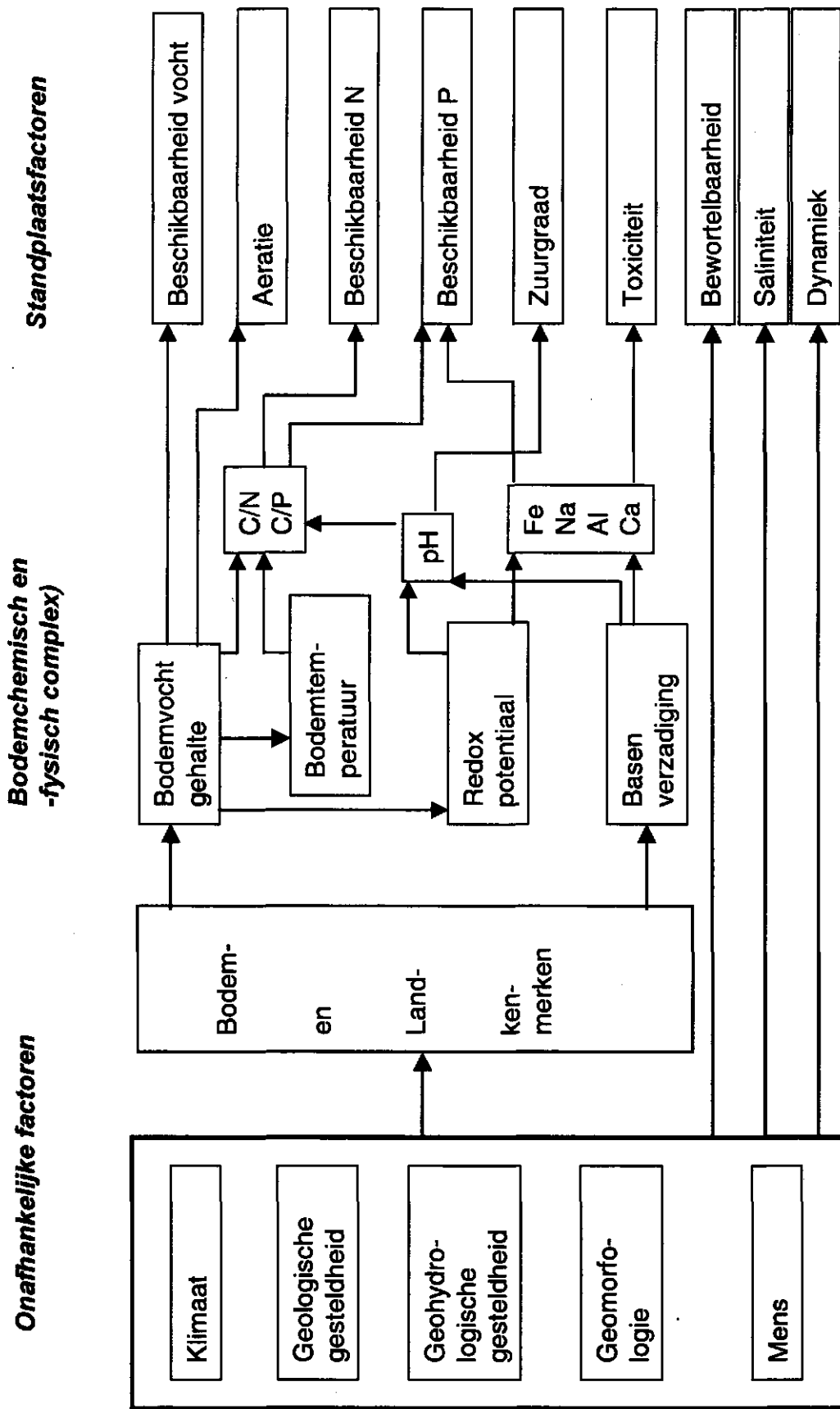
Op hoofdlijnen kunnen drie verschillende benaderingen worden onderscheiden waarmee in het verleden geprobeerd is bodemkundige informatie toe te snijden op ecologische toepassingen: een bodembioologische en een interpretatieve benadering en een benadering vanuit de humusvorm.

2.1 Bodembioologische benaderingen

Onder de vlag van ecologische bodemtypologie is werk verschenen van bodembioologen die het verband hebben beschreven tussen het voorkomen van micro- en macrofauna in de bodem, ecologisch relevante bodemparameters als pH, N- en P- beschikbaarheid (Miles, 1985; Sinnige et al., 1991a,b) en sterk gegeneraliseerde eenheden van de bodemkaart (Bongers, 1989). Nadeel van deze studies is dat in de gangbare veldpraktijk een inventarisatie over grotere gebieden uiterst bewerkelijk is. Ondanks de beperkte praktische toepasbaarheid van deze methodieken zijn dergelijke studies van groot nut door het inzicht dat ze verschaffen in de humus- en nutriëntenhuishouding in de bovengrond.

2.2 Interpretatieve benaderingen

Een tweede benadering wordt vertegenwoordigd door de Landschapsecologische Kartering Nederland (LKN: De Waal, 1992), waarbij uit een ecologische interpretatie van bestaande bodemgegevens een nieuwe bodemlegenda voortvloeide. Door van bestaande bodemgegevens van de Bodemkaart van Nederland (STIBOKA, SC-DLO) en het Bodemkundig Informatie Systeem (SC-DLO) uit te gaan werd met enkele aanvullende gegevens een ecologisch relevante bodemtypering afgeleid voor toepassingen op regionale en nationale schaal. In deze benadering wordt de bodem als standplaats voor de vegetatie gezien (Runhaar et al., 1987; Stevers et al., 1987; SWNBL 1986; Klijn en De Waal, 1992; De Waal, 1992) waarbij de standplaatsfactoren in het operationele milieu van de plant via interpretatie herleid kunnen worden uit het bodemchemisch en -fysisch complex, dat als het conditionele milieu wordt opgevat (Figuur 1). Via een dergelijk conceptueel model kunnen operationele standplaatsfactoren als zuurgraad en voedingstoestand via interpretatie worden geschat. Deze standplaatsbenadering is ook terug te vinden in het "ecoserie"-concept van Klijn (1997; Klijn et al., 1992). Klijn omschrijft de methode als een gecombineerde ecologische klassificatie van bodem en grondwater. Het perspectief van beide praktische interpretatiesystemen is enigszins beperkt omdat geen wezenlijk nieuwe informatie aan de systemen ten grondslag ligt en hun schaalniveau vrij globaal is. Beide methoden zijn weliswaar voorzien van een ecologisch fundament, maar maken nog steeds gebruik van basisgegevens die ecologisch merendeels niet onderscheidend zijn. Dit geldt zowel voor de gekozen variabelen als de kwantitatieve begrenzing hiervan (bijv. ontkalkingsdiepte en grondwaterfluctuaties). Tenslotte is in beide benaderingen geen aandacht voor de interactie tussen vegetatie en bodem binnen het ecosysteem.



Figuur 1 Operationele standplaatsfactoren als functie van het bodemchemisch en -fysisch complex van de bodem in relatie tot onafhankelijke ecosysteefactoren (naar Kemmers 1986; de Waal 1992)

2.3 Benaderingen via humusvormen

Een laatste benadering, die evenals de bodembioologische benadering zich beperkt tot het bodemsysteem, houdt zich bezig met de humusvormen. De grondslagen voor dit onderzoek zijn al aan het eind van de vorige eeuw gelegd (Müller, 1887). De Canadese bioloog Klinka (Klinka et al, 1981) heeft op deze kennis voortgeborduurd en een veel algemenere ecologische toepassing van de humusvormen gepropageerd. Zonder daarbij het woord ecologische bodemtypologie te hanteren houdt het onderzoek van humusvormen zich bezig met het meest dynamische onderdeel van het bodemsysteem, waardoor ook informatie over de meest actuele bodemprocessen beschikbaar is. De verbanden tussen de humus in de bodem enerzijds en de bodemfauna en -flora en de vegetatie anderzijds zijn zo belangrijk dat de stap van humusonderzoek naar interdisciplinair ecosysteemonderzoek niet groot lijkt. Een voorbeeld van een bodem-humus benadering is o.a. terug te vinden bij Kubiena (1948), Hartmann (1951) en Rehfuss (1990) in zijn beschrijvingsmethode van bosbodems. Alhoewel de meeste onderzoekers zich beperken tot de humusvormen van bosccosystemen blijken ook in halfnatuurlijke graslanden humusvormen te kunnen worden onderscheiden (Barrat, 1964; Van Delft, 1995a).

De humusvorm is niet alleen bruikbaar op het niveau van de standplaats en groeiplaats, maar verschaft vooral informatie over de relatie tussen vegetatie en bodem op het ecosysteemniveau. Figuur 2 illustreert dat de humusvorm steeds geanalyseerd moet worden in de context van de vegetatiesuccessie en andere ecosysteemfactoren. De relatie tussen vegetatie en humusvorm komt bv. naar voren in de gedetailleerde studie van Emmer (1995) naar de ontwikkeling van humusvormen tijdens de successie van een primaire opstand van Grove den. Een aanzet tot onderzoek van humusvormen in een landschapsecologisch kader wordt geleverd in een studie over veranderende landschappen in Toscane, Italië (Vos & Stortelder, 1992).

Een mogelijk nadeel van toepassing van humusvormen bij de beschrijving van ecosystemen en standplaatsen is dat de verleiding groot is de humusvormen in een star en rigide klassificatiesysteem te plaatsen. Bij de vergelijking van het oude systeem van humusvormklassificatie (Klinka et. al., 1981) en de vernieuwde geglobaliseerde indeling (Green et al., 1993) blijken Klinka en Green zich bewust van dit gevaar. Een ander nadeel van humusvormen is de karteerbaarheid door de grote variabiliteit van humusvormen over korte afstand.

3 Uitgangspunten voor een ecologische bodemtypologie

De door ons voorgestelde ecologische bodemtypologie heeft betrekking op de bodem als standplaats voor de vegetatie en als onderdeel van het ecosysteem. De vegetatie wordt in deze zienswijze voor een groot deel als "display" voor ecologisch relevante processen gezien (Stortelder, mond. med., 1996). Aan de gangbare ecologische bodemtyperingen zijn enkele belangrijke uitgangspunten ontleend om het raamwerk voor een ecologische bodemtypologie op te zetten:

- De bodem dient in perspectief gezien te worden van de andere ecosysteefactoren (ecosysteemtheorie). Het fundament voor deze interpretatiewijze wordt gevormd door de ecosysteemtheorie van Jenny (1941,1980). Een bodembioologische benadering gebaseerd op een enkele factor zoals de bodemfauna is voor brede toepassing te beperkt van waarde.
- Een ecologische bodemtypologie kan niet uitsluitend gebaseerd worden op de klassieke bodemklassificaties en bodeminformatie (Klijn en De Waal, 1992). De klassieke bodeminformatie levert echter in combinatie met andere gegevens, afhankelijk van het soort ecosysteem wel degelijk ecologisch relevante informatie;
- Bestudering van de humusvorm levert sleutel informatie op over de relaties tussen bodem(fauna), humus en vegetatie. Het humusprofiel is als grensvlak (zowel letterlijk als figuurlijk) tussen het abiotische en biotische milieu een zeer bruikbare indicator voor ecosysteemontwikkelingen (Jansen et al., 1994; Stortelder et al., 1998; Kemmers, 1996, De Waal, 1996; Hommel en de Waal, in voorb.; Van Delft, 1995b,1997);
- De typologie moet een eenduidige interpretatie mogelijk maken van een complex fenomeen, dat zich in talrijke vormen kan voordoen. Interpreteerbaarheid wil zeggen dat de typen in verband moeten kunnen worden gebracht met onderliggende processen.
- Op basis van typerende kenmerken moeten bij voorkeur karteerbare vlakken kunnen worden onderscheiden.
- De ecologische bodemtypologie dient praktisch hanteerbaar te zijn. De typologie moet een bijna eindeloze variatie aan verschijningsvormen binnen min of meer natuurlijke, complexe systemen beschrijven. Met andere woorden de typologie moet zo flexibel zijn dat voor elke nieuwe, wezenlijk afwijkende situatie een plekje kan worden gevonden in het "klassificatiesysteem". Een rigide, te gedetailleerde en dogmatische typologie loopt vroeg of laat vast in de grote variatie in natuurlijke systemen waardoor het overzicht in relevante ecologische processen verloren gaat.
- De ecologische bodemtypologie moet niet alleen in diagnostische maar ook in prognostische zin toepasbaar zijn. De humusvorm is via haar indicatieve functie een belangrijk hulpmiddel voor de diagnose van actuele toestanden van natuurgebieden. In veel gevallen zal ook behoefte bestaan om ontwikkelingsmogelijkheden voor natuur op voormalige landbouwgronden in te schatten.

Op elk van deze uitgangspunten zal in de volgende hoofdstukken nader worden ingegaan.

4 Ecosysteemtheorie volgens Jenny

4.1 Bodem in een ecologisch kader

Jenny (1941) onderscheidde in zijn theorie 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:

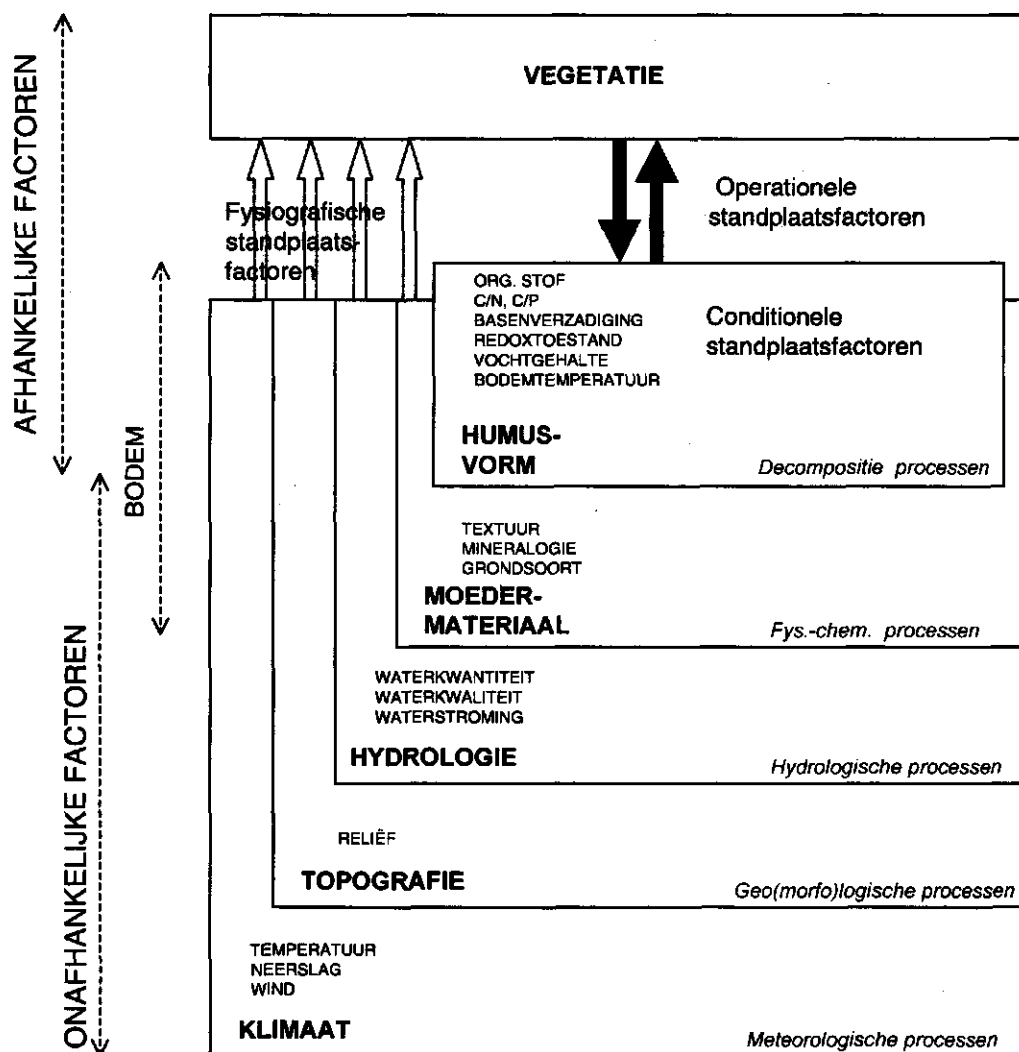
$$L, V, A, S = f(cl, \varnothing, r, p, t, \dots)$$

waarbij: L	= landschap, de eigenschappen van het totale systeem (respiratie, C-gehalte)
V	= vegetatie (biomassa, gemeenschappen)
A	= fauna (productiviteit, activiteit)
S	= bodem (pH, humus)
cl	= klimaat
$\varnothing$	= genetisch reservoir
r	= topografie en hydrologie
p	= moedermateriaal (uitgangssituatie)
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.

Van de ecosysteemtheorie volgens Jenny is in verschillende ecologische onderzoeken waarbij bodemgegevens werden toegepast gebruik gemaakt als theoretisch kader (o.a. Miles, 1985; Klijn et al., 1992; De Waal, 1992). Kemmers (1986) paste de theorie toe bij onderzoek naar de invloed van de hydrologie op bodemfactoren en vegetatie. Vos & Stortelder (1992) pasten als eersten de ecosysteemtheorie van Jenny toe in een landschapsecologische studie, waarbij het humusprofiel centraal staat. Voor de definiëring van bosgroeiplaatsen en bosccosystemen van Nederlandse bossen is deze theorie gehanteerd door Clerkx et al. (1994) en Stortelder et al. (1996).

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.



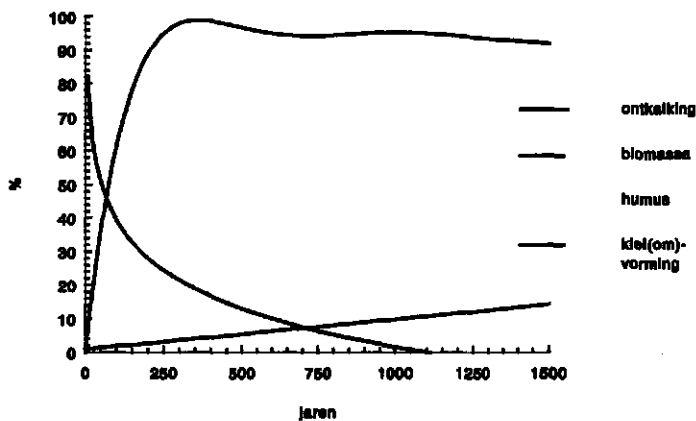
Figuur 2 Stelsel van afhankelijke en onafhankelijke factoren en processen als fundament voor een ecologische bodemtypologie. Dominantieverbanden lopen van buiten naar binnen, terugkoppelingen zijn in principe mogelijk.

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 2 is het fundament van de

ecologische bodemtypologie met de door ons gebruikte terminologie (zie verderop) in een schema weergegeven.

4.2 Bodem als onafhankelijke en afhankelijke factor

In de praktijk lijkt Jenny's formule in eerste instantie verwarrend en kunnen zelfs aspecten van de onafhankelijke factoren een sterk afhankelijk karakter hebben. Aldus blijkt volgens de ecosysteem-theorie van Jenny het fenomeen bodem een ambivalent karakter te hebben. Figuur 2 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. In figuur 3 is het verloop weergegeven van processen waarbij enkele belangrijke ecosysteemfactoren zijn betrokken.



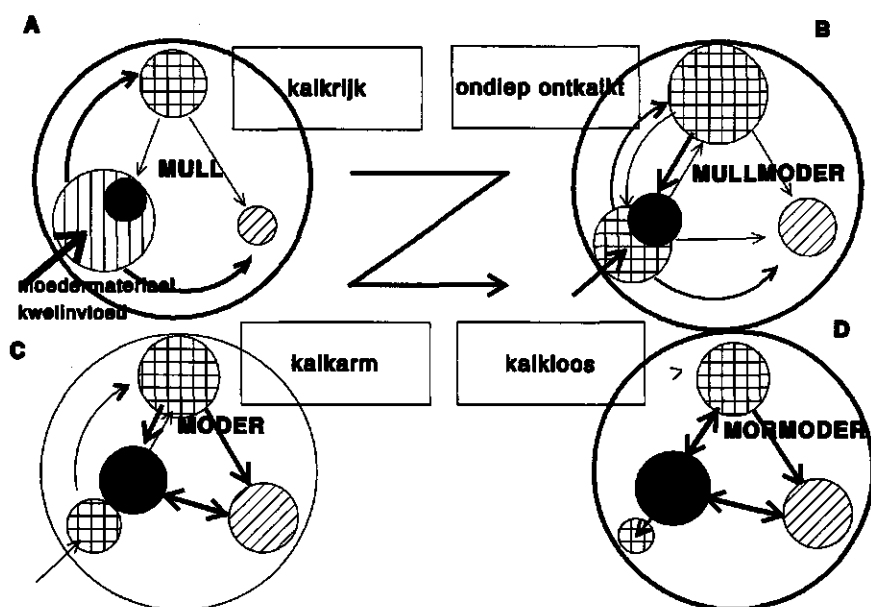
Figuur 3 Het relatieve tijdsverloop van enkele belangrijke ecosysteemfactoren (naar Jenny, 1980)

In veel groeiplaats- en standplaatsbeschrijvingen wordt de bodem als een onafhankelijke, vegetatiebepalende factor gezien (SWNBL, 1986, 1988; Runhaar et al., 1987; de Waal, 1992, Klijn, 1997). Bepaalde bodemkenmerken zijn inderdaad sterk gecorreleerd aan onafhankelijke factoren. Kenmerken als moedermateriaal, grondwater, en kenmerken die het gevolg zijn van zeer trage, deels niet meer werkzame bodemprocessen als kleiverplaatsing, macropodzolidatie en mineralogische klei-omvormingsprocessen vertegenwoordigen het onafhankelijke compartiment van de bodem. Door de vaak zeer lange termijn van het verloop van deze processen lijken deze kenmerken onveranderlijk. Daarom zijn vooral deze onafhankelijke factoren in het verleden sterk bepalend geweest voor het typeren van de bodem. Deze lange termijn bodemaspecten zijn echter mede bepalend voor de groei- of standplaatsontwikkeling van de vegetatie.

Andere kenmerken zoals ondiepe ontkalking, verzuring van de bovengrond en verdroging, maar ook successie vertonen grote samenhang met veranderingsprocessen in het afhankelijke compartiment van de bodem: het humusprofiel. Juist met deze korte termijnprocessen is de zuur- en nutriëntenhuishouding van het

ecosysteem nauw verbonden. Dit maakt dat deze kortetermijn bodemprocessen zeer relevant zijn voor ecologische interpretaties. Bij het begrip "kortetermijn" moet men, afhankelijk van het ecosysteem denken aan perioden van 10 tot 100 jaar (Miles, 1985; Sevink et al., 1993; Jansen et al., 1994; Emmer, 1995; Stortelder et al., 1998). Daarbij blijkt in de praktijk dat het niet altijd voorspelbaar is welke factor de duidelijkste indicatie voor op til zijnde veranderingen vormt.

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. In jonge ecosystemen is het onafhankelijke compartiment in de vorm van moedermateriaal doorgaands bepalend, terwijl in oudere systemen het humuscompartiment als afhankelijke factor sterk in betekenis kan toenemen. In figuur 4 is aangegeven hoe de betekenis van beide bodemcompartimenten kan wijzigen bij de ontwikkeling van een door onafhankelijke factoren en kalkhoudend water gestuurd bossysteem naar een afhankelijk verzuurd infiltratiesysteem als gevolg van ontwatering (Jansen et al, 1994).



Figuur 4 Schematische weergave van de (theoretische) ontwikkeling in een ontkalkend boscossysteem op grond van de samenhang tussen afhankelijke factoren (De Waal, 1996)

In de praktijk betekent dit niet dat de oude bodemtypologie onbruikbaar wordt en vervangen moet worden door een geheel nieuwe indeling. De klassieke vooral op bodemgenese en morfometrie gebaseerde indeling en daaraan gekoppelde informatie beschrijft immers grotendeels de onafhankelijke, standplaatsbepalende bodemfactoren. Het lijkt praktischer om oude indelingen en bestaande bodeminformatie aan te vullen met een module waarin de effecten van afhankelijke, kortetermijn bodemprocessen in de bovengrond in samenhang met de vegetatie beschreven zijn. Voor het overgrote deel zal deze "module" of bouwsteen betrekking hebben op het humuscompartiment eventueel aangevuld met een specificatie van ecologisch relevante grondwaterstandskarakteristieken en storende lagen, voor zover ze niet in

het conventionele systeem benoemd zijn. Een voorbeeld van deze werkwijze is de beschrijving van de abiotiek in het bosecosystemenproject. (Clerkx et al. 1994, Stortelder et al., 1998), waarbij gegevens opgenomen zijn over het humusprofiel, de grondwaterstand, overstromingsduur en waterkwaliteit.

4.3 Terminologie

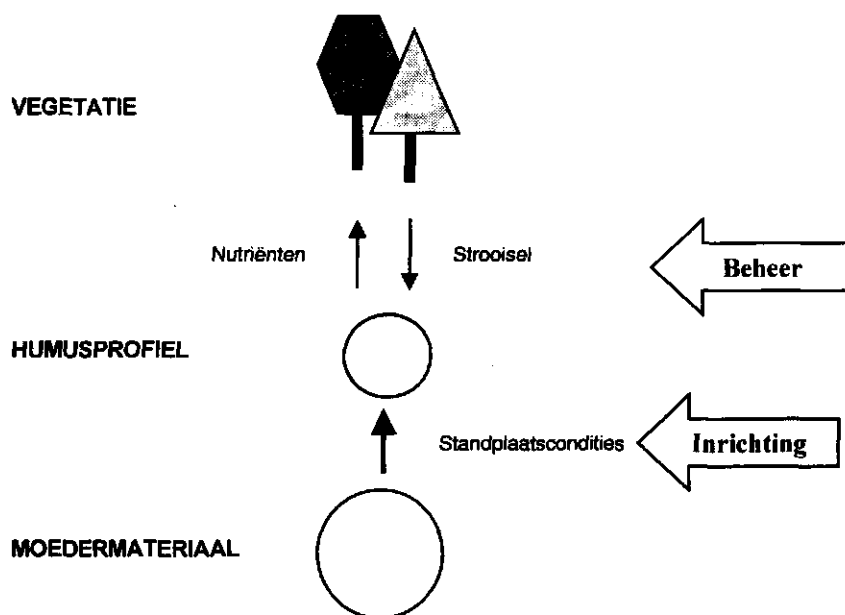
De veelheid aan typen van factoren die van invloed zijn op de vegetatie en het ambivalente karakter van het begrip bodem zijn voor ons aanleiding geweest te zoeken naar een eenduidige terminologie die niet tot verwarring kan leiden.

De term standplaatsfactor is tot nu toe in zeer ruime betekenis gebruikt. Alle afhankelijke en onafhankelijke factoren beïnvloeden de groei van de vegetatie. De manier waarop dit plaatsvindt is verschillend. Wij stellen voor om bij de afhankelijke standplaatsfactoren in aansluiting op van Wirdum (1979) onderscheid te maken tussen operationele en conditionele standplaatsfactoren. De operationele standplaatsfactoren zijn direct voor de fysiologie van de planten van belang: beschikbaarheid van vocht, voedingsstoffen, zuurstof, toxische stoffen en zouten. De beschikbaarheid van deze stoffen wordt doorgaands gecontroleerd door processen die wij tot het bodemfysisch en -chemisch complex van de bodem rekenen. De bodemtemperatuur, redoxtoestand, basenverzadiging, vochtgehalte, het organisch stofgehalte, de C/N en C/P verhouding van de organische stof zijn factoren die de beschikbaarheid van de operationele factoren conditioneren. Dergelijke factoren beschouwen wij als conditionele standplaatsfactoren. Zowel de operationele als de conditionele standplaatsfactoren zijn afhankelijk van aard en hebben een dynamisch karakter. De onafhankelijke standplaatsfactoren zijn eveneens van invloed op de groei van planten, maar worden daardoor althans op korte termijn niet wederkerig beïnvloed. Wij stellen voor dit fysiografische standplaatsfactoren te noemen. Moedermateriaal (textuur en mineralogische samenstelling) en alle bodemkenmerken die samenhangen met lange termijn bodemprocessen (podzoliatie, kleiïnspoeling, verwerking) behoren volgens onze opvatting tot de fysiografische factoren.

Vanwege het ambivalente karakter van het begrip bodem stellen wij voor deze term zo min mogelijk te gebruiken en van de humusvorm te spreken als we het dynamische en afhankelijke compartiment van de bodem bedoelen en van het moedermateriaal als we het onafhankelijke compartiment bedoelen.

5 Het humusprofiel als sleutelfactor

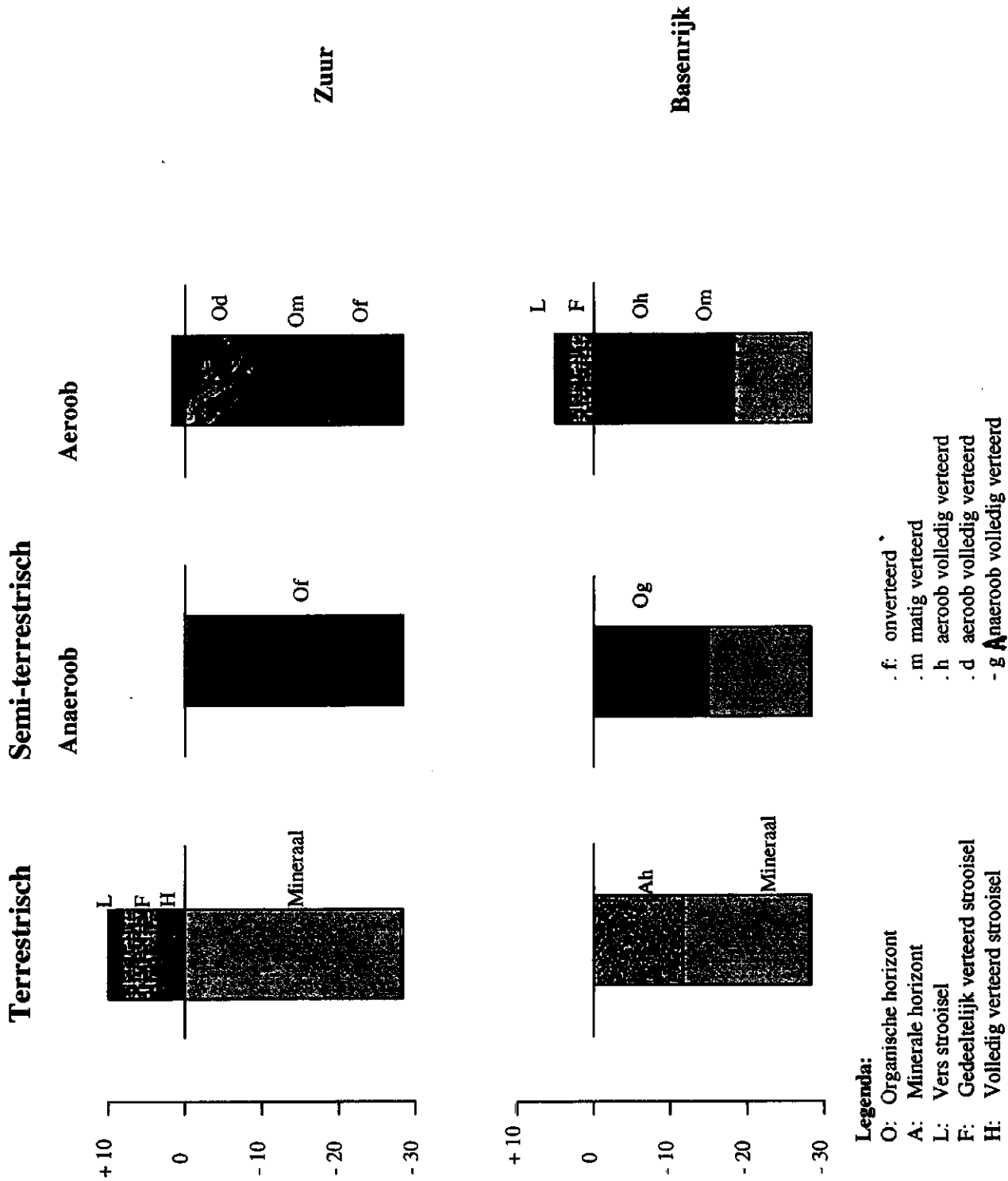
Het meest afhankelijke en dynamische deel van de bodem is het humusprofiel. Het is de 'interface' tussen de vegetatie en de onafhankelijke factor moedermateriaal (zie figuur 5). Het humusprofiel kan gezien worden als de balans tussen strooiselaanvoer en afbraak. Niet alleen geeft de humusvorm informatie over nutriëntenvoorraden en -kringloopsnelheden maar ook over de condities voor strooiselafbraak in terrestrische en semiterrestrische ecosystemen. De milieuomstandigheden zijn bepalend voor de snelheid waarmee strooisel dat op de grond valt wordt omgezet. De vegetatie, als bron van de humus is sterk bepalend voor de aard en de aanvoer van het strooisel. Het humusprofiel reageert zowel op beheersingrepen (maaïen, kappen, beweiden) als op milieuveranderingen (menselijk ingrijpen), waardoor het humusprofiel in hoge mate indicierend is voor veranderingen in het ecosysteem.



Figuur 5 Het humusprofiel als sleutelfactor voor beheers- en inrichtingsmaatregelen

5.1 Profielopbouw

Het humusprofiel komt steeds voor in een specifieke vorm: 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 & Stortelder, 1992; Kemmers, 1996). Verwarrend is in dit verband dat vooral in wat oudere literatuur ook over humusvorm wordt gesproken als de aard van de organische stof als substantie wordt bedoeld.



Figuur 6 Schematische weergave van het voorkomen van de verschillende horizonen in humusprofielen

Aldus vormen mor, moder en Mull verschillende substanties van organische stof. Het is naar onze mening beter de term humustype te gebruiken als de organisch stofsubstantie wordt bedoeld. Een humusvorm is opgebouwd uit horizonten waarin verschillende humustypen kunnen voorkomen. De humusvorm wordt wel vernoemd naar het dominerende humustype. Aan het humusprofiel zijn kenmerken verbonden die macroscopisch waarneembaar zijn. Deze kenmerken bestaan uit dikten, verteringsgraad en ontstaanswijze van de organische horizonten. De belangrijkste horizonten die in het humusprofiel worden onderscheiden staan vermeld in tabel 1 (zie ook figuur 6).

Tabel 1 Overzicht van codes voor de belangrijkste horizonten in humusprofielen met toevoegingen en ontstaanswijze

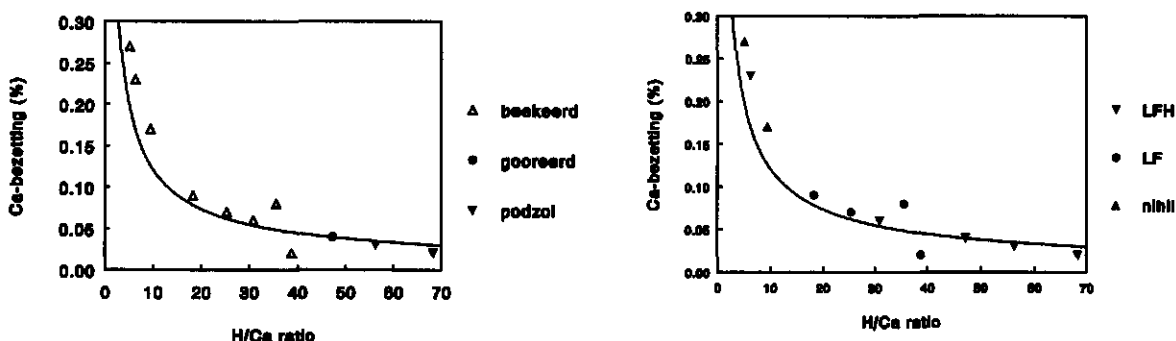
Code	Toevoeging	Omschrijving	Ontstaanswijze	Bijzonderheden
L	-	versgevalen bladstrooisel	terrestrisch	onder bos
F	-	gedeeltelijk verteerd strooisel	idem	
	m	idem door schimmelactiviteit	idem	
	z	idem door dierlijke activiteit	idem	
	a	idem door schimmel en dierlijke activiteit	idem	
H	-	volledig gehumificeerd organisch materiaal	idem	
	r	idem met enigszins herkenbare plantaardige residuen	idem	
	h	idem zonder macroscopische residuen	idem	
Ah	-	gehumificeerd organisch materiaal dat door idem dierlijke activiteit (bioturbatie) vermengd is met de minerale ondergrond	idem	
	e	idem met uitlogingskenmerken (micropodzol)	idem	
O(A)	-	veen (moerige laag)	semiterrestrisch	Onder bos en korte vegetaties
	f	onverweerd veen	idem	
	m	verweerd veen	idem	
	h	veraard veen	idem	Basenrijk, aëroob
	g	veraard (gyttja)	idem	Basenrijk, anaëroob
	d	veraard (gliede)	idem	Zuur, aëroob
M	-	wortelmateriaal	terrestrisch ?	Maaibeheer (korte vegetaties)
	f	matten van onverteerde dode wortelresten	idem	
	m	gedeeltelijk verteerde wortelresten	idem	
	h	sterk verteerde wortelresten	idem	

Het deel van het humusprofiel dat op de minerale ondergrond tot ontwikkeling is gekomen wordt ectorganisch genoemd. Het deel dat gehomogeniseerd is met de minerale ondergrond en de semi-terrestrische humusprofielen worden endorganisch genoemd. In (gemaaide) graslandsystemen vormen afgestorven wortels de belangrijkste bron van organische stof. Omdat wortelhorizonten een afwijkende ontstaanswijze hebben worden ze met een afzonderlijke code onderscheiden.

5.2 Humusvorm als indicator van processen

Door het onderscheiden en beschrijven van humusvormen is het mogelijk gebleken om subtiele processen als verdroging van moerasbossen in beeld te krijgen (Stortelder et al., 1998). Ook blijkt dat nauwelijks meer overstroomde hardhoutbossen aan het humusprofiel duidelijk zijn te onderscheiden van de nog functionerende frequenter overstroomde hardhoutooibossen (De Waal, 1996). Het humusprofiel is ook een goede indicator gebleken voor veranderingen in waterkwaliteit (Kemmers 1996b, De Waal & Kemmers, in voorb) en het wegvallen van kwelinvloed zowel in bos (Jansen et al., 1994; Jansen et al., 1996; Kemmers et al., 1995) als in schraalgraslanden (van Delft, 1995b). In alle gevallen is het humusprofiel daarbij niet alleen indicierend voor sturende factoren als zuurgraad en vocht, maar ook voor de snelheid van de nutriëntenkringloop en de voedingstoestand van het systeem.

Figuur 7 geeft een voorbeeld van verzuring van bekeerdgronden door het wegvallen van kwelinvloed (Jansen et al., 1994). Het oorspronkelijke proces van snelle strooiselvertering en ontwikkeling van endorganische humusvormen in de bovengrond voltrekt zich bij een calciumverzadiging van het adsorptiecomplex van boven de 25%. In een periode van ca. 25 jaar is de calciumverzadiging tot onder een kritische waarde van 25% gedaald en heeft zich een ectorganische humusvorm ontwikkeld door accumulatie van onverteerd strooisel op het minerale bodemprofiel. Duidelijk is dat de met kwel geassocieerde bekeerdgronden aan het verarmen en verzuren zijn en eigenschappen van podzolachtige bodems aannemen. De vegetatie draagt nog duidelijk de sporen van een door kwel beïnvloed *Pruno-Fraxinetum* waarin de minerale bodem de belangrijkste afhankelijke factor is. Elementen van het *Quercion* komen te voorschijn, waarbij de balans van een minerale bodem naar een (ectorganische) humusvorm verschuift, mede onder invloed van de langzaam veranderende samenstelling van de boomlaag. Het eindresultaat kan hier een Eiken-beukenbos zijn waarin humusvormen van decimeters dik (zie ook figuur 10), afhankelijk van boomlaag en ondergroei, het evenwicht bepalen en onafhankelijke factoren en kwel nauwelijks meer invloed hebben. Een ander voorbeeld kan worden gevonden in kalkrijke duinen waarin door moedermateriaal gedomineerde (bos)ecosystemen met vooral *Acer pseudoplatanus* overgaan in aanvankelijk ondiep ontkalkte boscystemen waar *Quercus* en ectorganisch strooisel een steeds belangrijker rol gaan spelen.



Figuur 7 Het verband tussen de H/Ca verhouding, de Ca-bezetting van het adsorptiecomplex van de minerale bovengrond en voorkomende bodemtypen (a) en het voorkomen van ectorganische humushorizonten (b) in een verzurend bosecosysteem door het wegvallen van kwel

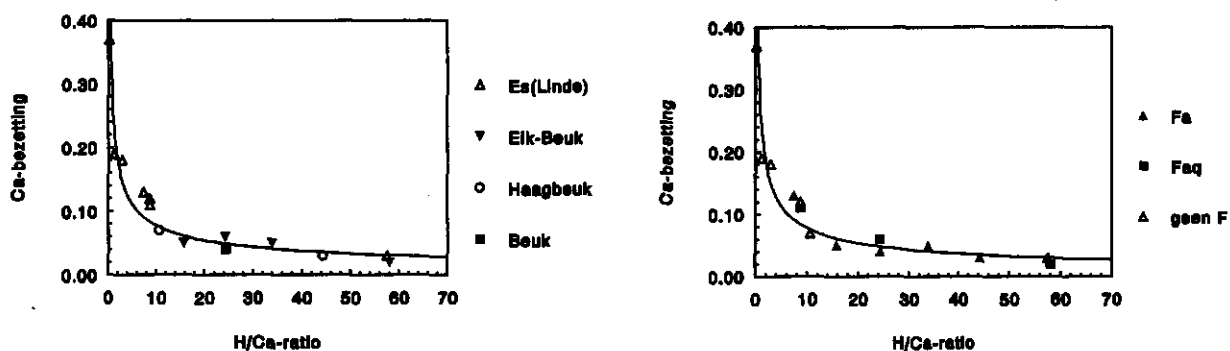
Het is opvallend dat indicierend geachte plantesoorten, tegen sommige theorieën in, nieuwe ontwikkelingen in het ecosysteem soms trager volgen dan het humusprofiel. Uit gecombineerd C^{14} - en micromorfologisch onderzoek van van Delft (1997) blijkt dat in dergelijke situaties de vegetatieontwikkeling volgend is op de bodemontwikkeling: verarming is primair een gevolg van een teruglopende bodemfauna-activiteit en kan niet worden toegeschreven aan een verschuiving in de vegetatiesamenstelling met soorten die een slecht afbreekbaar strooisel produceren.

Zo breidt Elzenzegge (*Carex elongata*), een soort van het natte kwelrijke beekdal, zich aanvankelijk sterk uit bij verdroging. Daarentegen begint zich in dit stadium al een herkenbare terrestrische strooisellaag te vormen in de vorm van permanente F- en een tijdelijke L-horizont (Clerkx et al., 1994). In geïsoleerde oligotrofe kernen van kraggen met Berk en diverse veenmossoorten zoals op de Nieuwkoopse plassen en het Naardermeer, kan de Appelbes (*Aronia prunifolia*, Clerkx et al. (1994), Stortelder et al. (1998)) zich via zijdelingse uitbreiding (vicinisme) vanuit drogere en eutrofe groeiplaatsen vestigen. Deze struik produceert een slecht verteerbaar cyanide-rijk strooisel, dat pleksgewijs als een dunne L- en F-laag accumuleert. Deze terrestrische ectorganische humusvorm verstikt de tot dan toe dominerende en sturende veenmoslaag (van Wirdum, 1991; Kooyman, 1993) en geeft de successie op de kragge een nieuwe wending.

Ook onder korte vegetaties is verschil in humusontwikkeling geconstateerd. In kort en sporadisch overstroomde graslanden op rivierduinen met Steenajer (*Dianthus deltoïdus*) verschilt het humusprofiel van de frequenter overstroomde en de niet overstroomde graslanden (Hommel et al., 1994; Hommel & de Waal, in voorb.). Uit werk van Van Delft (1995b) blijkt dat in schraalgraslanden bij het wegvallen van de kwel wortels afsterven en accumuleren in een viltige laag (M-horizont) in plaats van een relatief snelle omzetting van wortels en homogenisatie in de minerale bovengrond bij aanwezigheid van kwel.

Belangrijke verschillen in calciumverzadiging en daardoor beïnvloede mineralisatie van strooisel in bovengronden van boscosystemen op de overgang van arm naar rijk blijken duidelijk naar voren te komen in de humusvormen (Sioen et al. 1992, Jansen

et al., 1994, De Waal, 1996). Een mooi voorbeeld hiervan zijn de verschillende gradaties van ontkalking in de bovengrond op de Limburgse löss- en kalksteenhellingen die correleren met de verschillende humusprofielen (figuur 8). De ontkalking van deze profielen verloopt, door de aard van het moedermateriaal echter zo langzaam dat grenzen in de vegetatie, het humusprofiel en de groeiplaats vrijwel parallel verlopen. In dit gedeeltelijk ontcalcite "rijke" ecosysteemtype is het opstandstype van grote invloed op de humusontwikkeling. Zo blijkt uit figuur 8a dat Es (*Fraxinus*) en Linde (*Tilia*) niet meer voorkomen bij een Ca-verzadiging lager dan 10%. Onder dezelfde grenswaarde voor de Ca-verzadiging (figuur 8b) begint een ectorganisch humusprofiel tot ontwikkeling te komen, waarbij boomsoorten als Eik (*Quercus*), Beuk (*Fagus*) en Haagbeuk (*Carpinus*) het vegetatiebeeld bepalen (Mekkink et al., ongepubliceerd; De Waal, 1996).

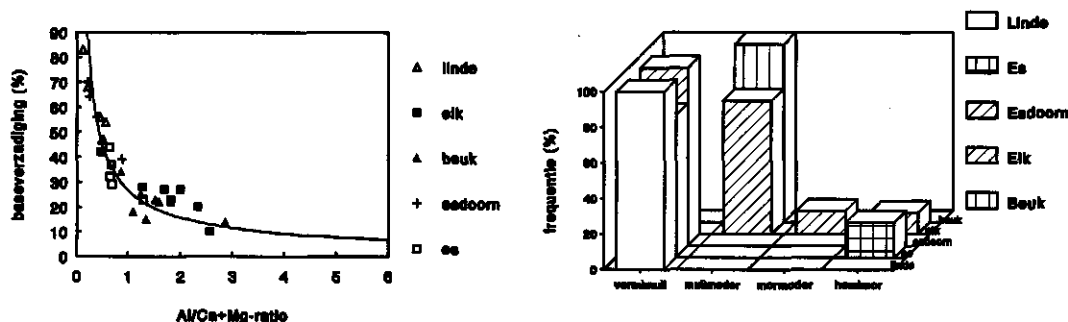


Figuur 8 Verband tussen H/Ca verhouding en de calciumbezetting en het voorkomen van dominante boomsoorten (a) en humushorizonten (b) op kalkverweringshellingen in Zuid-Limburg

Iets soortgelijks geldt ook voor de kustduinen. Ontkalking in de kalkhoudende duinen verloopt veel sneller dan hierboven voor de lösshellingen is geschetst (Blom et al., 1998). Het is een zeer belangrijk ecologische proces, dat, als het slechts over geringe diepte plaatsvindt, niet in beeld komt in de conventionele bodembeschrijving (Stortelder, Hommel, De Waal, Vrielink, Van Dort en Wolf in prep). Ook hier geldt weer dat de beschrijving van de humusvormen de op gang komende ontkalkingstrend goed kan aangeven. In een zeker stadium op de overgang van CaCO_3 -buffer naar de silicaat- en aluminiumbuffer (Van der Salm 1999, Verstraten, 1982) kan daarbij de samenstelling van de boomlaag van belang zijn voor de vertraging of juist de versnelling van de uitspoeling van basen en de ontwikkeling van het daarmee samenhangende humusprofiel. De basenstatus van de bodem is dan niet een onderdeel van de onafhankelijke factor moedermateriaal maar gedraagt zich als een afhankelijke ecosysteemfactor. Ook in duinvalleien bestaat er een verband tussen de vegetatie-ontwikkeling, grondwaterkwaliteit en organische stof (o.a. Doing, 1988; Besse, 1996; Sival & Grootjans, 1996). In hoeverre de humusvorm hier als aanvullende indicator dienst kan doen voor door naijling versluierde vegetatie-ontwikkelingen als gevolg van verdroging of verzuring, is nog onvoldoende onderzocht.

Uit onderzoek van Sioen et al. (1991) in het Hallerbos nabij Brussel blijkt dat er een belangrijke terugkoppeling vanuit de vegetatie naar de standplaats kan plaatsvinden. Dit uit zich in de ontwikkeling van verschillende humusvormen op homogeen moedermateriaal van goed doorlatend terrasleem. De boomlaag geeft hier een

duidelijke scheiding tussen een basenrijk en basenarm (figuur 9a) boscossysteem, wat tevens tot uiting komt in de humusvorm (figuur 9b). Onder Eik (*Quercus*) en Beuk (*Fagus*) blijkt een sterke verzuring en verarming te zijn opgetreden, waarvoor Moder en mor humusvormen indicierend zijn. Boomsoorten als Linde (*Tilia*), Esdoorn (*Acer*) en in mindere mate Es (*Fraxinus*) zijn kennelijk in staat via wortelopname en retentie in de strooisellaag basen in het ecosysteem te laten circuleren. Hierdoor blijft de basenverzadiging hoog en behoudt de humusvorm een endorganisch karakter (vermimull).



Figuur 9 Verband tussen de basenverzadiging en de $Al/(Ca+Mg)$ verhouding met dominante boomsoorten (a) en het verband tussen de samenstelling van de boomlaag en het humusprofieltype (b) in het Hallerbos (B). (Bron: Sioen et al., 1991)

5.3 Humusvorm en successie

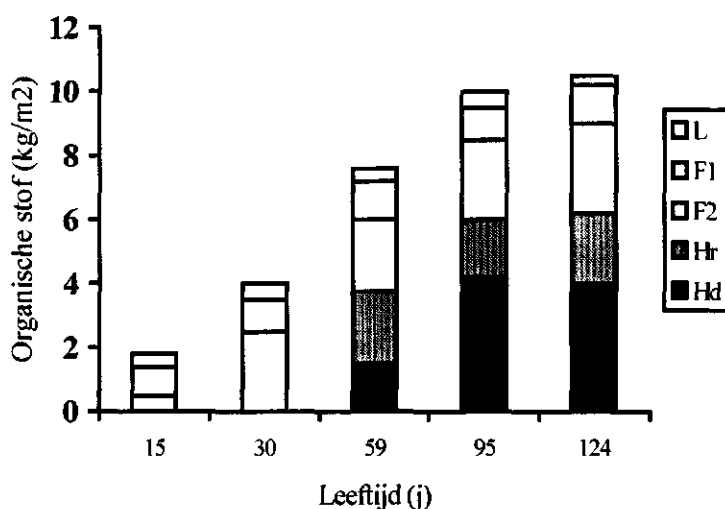
Niet alleen de invloed van abiotische factoren wordt geïndiceerd door de uiterlijke kenmerken van het humusprofiel. Ook biotische processen hebben hun invloed. Zo gaat successie van de vegetatie gepaard met een "successie" van humusvormen, waarbij in de loop der tijd een horizontdifferentiatie optreedt in het humusprofiel (figuur 10). In de beginstadia van de successie kunnen binnen betrekkelijk korte tijd relatief grote veranderingen optreden in de humusvormen.

Emmer (1996) constateert dat in overeenkomstige horizonten in bossen van verschillende leeftijden weinig verschillen in elementsamenstelling aanwezig zijn. Dit suggereert dat de verschillende horizonttypen kennelijk een karakteristieke chemische samenstelling ontwikkelen. Kenmerkend is in dit opzicht de dalende trend in de K/Ca verhouding van de L-, F- en H-horizont van het humusprofiel. De successie zal in bossen kunnen culmineren in een relatief stabiel, rijp stadium dat gekenmerkt wordt door een dikke humusvorm met een voorraad stabiele humus (figuur 11).

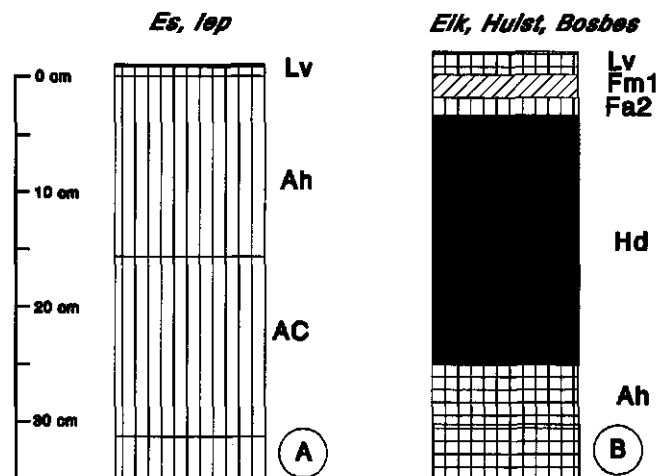
Een goed ontwikkeld humusprofiel is voor de nutriënten- en vochtvoorziening en voor de ontkieming van de planten een van de belangrijkste factoren (De Waal, 1996; Stockmar 1975). De minerale ondergrond (lees moedermateriaal) is in oude bossen nauwelijks meer van invloed op het ecosysteem (zie figuur 4). In dit stadium verkeert de humusontwikkeling in evenwicht met ontwikkeling van de ondergroei en de boomlaag.

Uit palynologische reconstructies (Stockmar, 1975; Aaby, 1983) blijkt dat de humusontwikkeling op de lange termijn in de rijpere stadia wel versneld maar niet gestuurd wordt door menselijk ingrijpen zoals strooiselwinning, begrazing, brand, tijdelijke akkerbouw en kap. Er zijn echter ook sterke aanwijzingen dat in bepaalde stadia de humusontwikkeling de ontwikkeling van de vegetatie stuurt. Dit blijkt bijvoorbeeld uit onderzoek van Emmer (1995) in een primaire successie van Grove den (*Pinus sylvestris*). De overgang van de *Deschampsia flexuosa*-fase naar een *Vaccinium/Empetrum*-ondergroei blijkt samen te hangen met het ontstaan van een sterk gehumificeerde humushorizont (H-laag). Door een differentiatie in chemische en fysische eigenschappen van de organische stof tijdens de pedogenese ontstaan niches voor het wortelmilieu van nieuwe plantensoorten van een volgende successiefase.

Een interessante vraag in dit opzicht is in hoeverre de vestiging van oude bossoorten (hulst, dalkruid, bosanemoon, heekruid, salomonszegel ed.) samenhangen met de factor tijd (bijv. voor zaaddispersie) of met de ontwikkeling van geschikte niches in het humusprofiel. Ook Bakker & van Tweel-Groot (1998) constateren dat oude bossoorten lijken samen te hangen met verschillen in de bodemgesteldheid, zonder daarbij overigens te wijzen op de mogelijke betekenis van het humusprofiel. Van nog maar weinig ecosystemen zijn volledige successiereksen van de humusvorm bekend. Met name van oudere successiestadia ontbreekt nog vaak informatie over het humusprofiel.



Figuur 10 Ontwikkeling van humushorizonten en organische stofvoorraden tijdens een primaire successie van grove-dennenbos (bron: Emmer, 1996)



Figuur 11 Humusvorm onder bos in een jong, kalkrijk milieu (a) en een humusvorm onder een oud, arm bos in een vergevorderd relatief stabiel successiestadium (b)

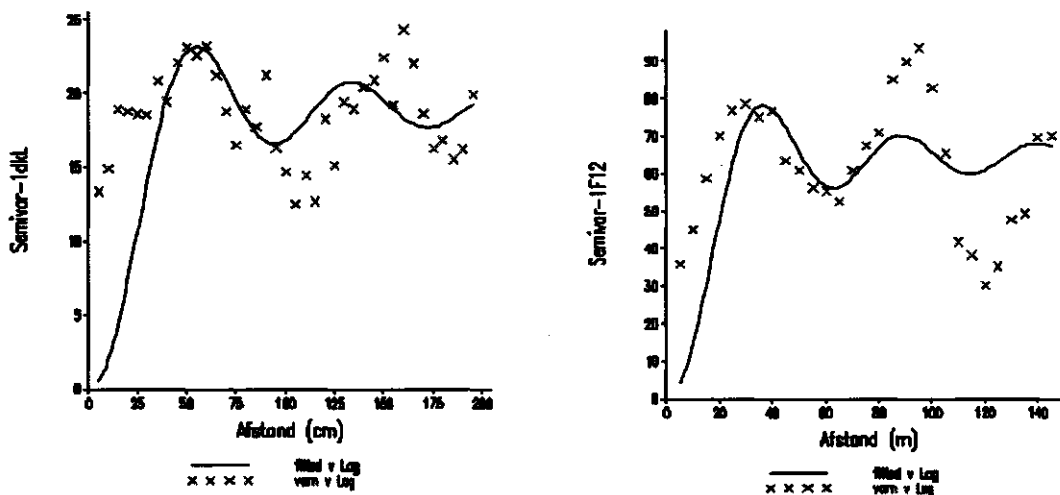
Naar de mogelijke verbanden tussen successiereeksen van vegetatie en humusontwikkelingen (Emmer 1995) is, ook internationaal, weinig onderzoek gedaan, maar de belangstelling lijkt groeiende (Babel, 1996). Mogelijk dat ecologische bodemtypen aan de hand van hun humusvorm in navolging van de vegetatie, gerangschikt kunnen worden in successiereeksen. Onderzoek naar dergelijke reeksen zullen gezien de traagheid in ontwikkeling in bepaalde stadia van sommige ecosystemen niet gemakkelijk met behulp van monitoring verricht kunnen worden (Sevink et al, 1993). Identificatie van verschillende stadia op vergelijkbare locaties (Bosecosystemen-onderzoek) en gegevens uit historisch ecologisch onderzoek (Stockmar, 1975; Aaby, 1983) zou hier soelaas kunnen bieden. De resulterende humusreeksen kunnen gezien worden als een verfijning op ecosysteemniveau van de "Ökoserie" volgens de Duitse groeiplaatsklassificatie (Wagner, 1968) en van het ecoserieconcept volgens Klijn (1997). Waarschijnlijk kan door uit te gaan van humusreeksen de karteerbaarheid van humusvormen en daarmee de karteerbaarheid van ecologische bodemeenheden vergroot worden.

Op bemeste en verrijkte, van oorsprong arme gronden, verloopt de vertering van de organische stof, ook bij vrijwel kalkloze situaties snel. Zelfs op al jaren geleden verlaten akkertjes in de duinen is dit bemestingseffect nog merkbaar door het ontbreken van ectorganische horizonten (behalve een dunne L) in het humusprofiel. Dit is van belang voor de bosontwikkeling op verlaten akkers in ontkalkte duin- en dekzandgebieden. Ontwikkeling van een permanente ectorganische humushorizont wijst in deze situatie erop dat de nutriëntenhuishouding de min of meer natuurlijke bij het moedermateriaal behorende toestand nadert. Het humusprofiel is hier dus, samen met de vegetatie een indicator van de vorderingen van de bosontwikkeling op verlaten akkers.

5.4 Humusvormen en ruimtelijke variabiliteit

Voor ecologische landevaluatie of systeemanalyses is het van belang patronen van bodemkenmerken te kunnen aangeven. Karting van humusvormen is voornamelijk een probleem omdat eigenschappen van het humusprofiel over korte afstanden sterk kunnen variëren. Oriënterend geostatistisch onderzoek in bos (Kemmers et al., 1998; Kemmers et al., 1999) laat zien dat diktes van humushorizonten over korte afstanden sterk kunnen variëren. Figuur 12 laat zien hoe binnen een opstand op homogeen moedermateriaal de variantie van de dikte van horizonten volgens een golfvormig patroon varieert als de afstand tussen de waarnemingspunten toeneemt. Dit golfvormige patroon doet zich zowel op de schaal van centimeters als van meters voor en lijkt de dichtheid van resp. de kruid-struiklaag en de boomlaag te weerspiegelen. Daarbij wordt de lengte van de golf groter naarmate de horizont uit sterker verteerd materiaal bestaat. De kruid-struiklaag beïnvloedt daarbij de diktefluctuatie van de oppervlakkige horizonten (L+F1) even sterk als de boomlaag. De invloed van de kruid-struiklaag op de diktefluctuatie van dieperliggende horizonten (F2+H, H) neemt steeds verder af. Dit impliceert dat de invloed van de dichtheid van de opstand in het ruimtelijke patroon lijkt te vervagen naarmate de strooiselomzetting verder is gevorderd.

De variatie in de dikteverhouding tussen horizonten (F/H-verhouding) blijkt niet te leiden tot overschreiding van grenswaarden die het onderscheidingscriterium vormen tussen humusvormtypen. Nader onderzoek zal moeten uitwijzen of dit betekent dat de karting van humusvormtypen minder problematisch is dan die van horizontdiktes.



Figuur 12 Het verband tussen de variantie van de horizontdikte en de afstand tussen de waarnemingspunten voor verschillende horizonten in een Eiken-berkenbos op zandig moedermateriaal

6 Het raamwerk

6.1 Gereedschapskist

Volgens de theorie van Jenny kunnen in elk ecosysteem steeds weer andere factoren bepalend zijn voor de ecosysteemontwikkeling. Een ecosysteemanalyse moet in eerste instantie uitsluitend geven of klimaat, moedermateriaal of topografie (water) dominant is. 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 ondergeschikt is aan fysiografische factoren en weinig aanvullende informatie verstrekt. In andere gevallen 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 instrumenten kunnen worden gekozen. Het raamwerk biedt een leidraad welk instrument waar het best kan worden ingezet.

Het raamwerk vormt een voorlopige versie van een ecologische bodemtypologie. De typologie kan op onderdelen nader worden ingevuld of aangepast naarmate meer kennis beschikbaar komt.

6.2 Onafhankelijke factoren

De hoofdstructuur van het raamwerk bestaat uit fysiografische eenheden, die zijn gebaseerd op combinaties van de onafhankelijke factoren moedermateriaal, topografie en hydrologie: veengronden, kwelgevoede zandgronden, regenwatergevoede zandgronden, buitendijkse riviergronden, jonge kleigronden, oude kleigronden, löss en mergelgronden en droge kalkrijke duinen. Wij hebben bewust ervan afgezien de fysiografische eenheden te benoemen naar het landschapstype waarin ze frequent voorkomen. Voor de verschillende fysiografische eenheden is in figuur 13 aangegeven welke factoren van dominante betekenis zijn voor (bos)ecosystemen. Daarbij is tevens aangegeven wanneer het humusprofiel een prominente rol speelt bij het functioneren van ecosystemen.

Voor de ontsluiting van het raamwerk kan de geaggregeerde bodemkaart als uitgangspunt worden genomen. Op kaart 1 is de ruimtelijke verspreiding van de fysiografische eenheden in Nederland weergegeven. Daarvoor zijn bodemeenheden toegedeeld aan de fysiografische eenheden op basis van moedermateriaal, topografie en hydrologie. Tabel 2 geeft de codes van de bodemeenheden die bij een bepaalde fysiografische eenheid zijn ingedeeld. Als bekend is tot welke fysiografische eenheid een ecosysteem behoort kan met het schema van figuur 13 worden nagegaan aan welke factoren bijzondere aandacht moet worden geschonken bij ecosysteemanalyses.

De fysiografische eenheden zijn verder onderverdeeld naar textuur, waardoor op lagere niveaus desgewenst nuances met betrekking tot vochtleverantie kunnen worden onderscheiden.

Tabel 2 Fysiografische eenheden in relatie tot eenheden van de bodemkaart

Fysiografische eenheden	Eenheden Bodemkaart 1 : 50 000 (code letterdeel)
1 Löss en Mergelgronden	BL,EL,L,MA,MK,MZ,FG,FK,KM,KK,KS,ABI,AH..
2 Kalkrijke droge duinen matig fijn tot grof uiterst en zeer fijn	EZ, pZg, Zn, Zd, AD, AZW Zn, Sn, pZg, Zn
3 Jonge kleigronden zavel homogeen zavel op zand lichte klei homogeen zwarte klei en/of zwarte ondergrond kleidek op veen	MOo, MOb, ROo, Rob, pMn, Mv, Mo, Mn, Rn, AZW BK, EK, pMv, pMo, pMd, Mo, pRv, pRn, Aem MOb, ROo, pMn, Mn, Rn, Rd, AZW, kZ...A kWp, kWz, Abk, Afk, AM. MOb, ROo, ROb, pMn, Mo, Mn, Ro, Rn, Rd, AAK, Aem, Aep, AO, AR, kZ... AK, Alu, AWZ, Mv, Mn, Rv, Ro, Rn, Rd Wo, Wg, EK, pMo, pMn, pMd, Mo, gMn, Md, pRn, Aem, Agm, Aek, Amm, Awg, Awo, EK, pMv, pRv, Awv kV, pV
4 Oude kleigronden zavel op zand keileem en oude kleigronden	pKRn, KRn KT, KX
5 Buitendijkse riviergronden	
6 Venen	hV, hEV, aV, aEV, Vo, V, AP, Avk
7 Kwalgevoede zandgronden	zWz, uWz, vWz, iWz, pZg, pZn, Abz, Afz
8 Regenwatergevoede zandgronden zonder duidelijke eerdlaag, leemarm en zwak lemig zonder duidelijke eerdlaag, zwak lemig en lemig met dunne of matig dikke eerdlaag, lemig tot leemarm enkeergronden	Y, Hn, Hd, Zn, Zd, Zb, GI, ABH, AS, AZI, tZd Y, Hn, Hd, BZ, Zn, Zd, Zb, tZd vWp, zWp, iWp, zV, iV, AAP, Abv Ezg, zEZ, bEZ

6.2.1 Löss en mergelgronden

Löss en mergelgronden beperken zich voornamelijk tot het heuvelland, maar zijn daaraan niet synoniem. Zij worden door ons gerekend tot de basenrijke terrestrische ecosystemen. Topografie en moedermateriaal zijn de meest invloedrijke onafhankelijke ecosysteefactoren. Hoewel in hydrologische positie vergelijkbaar met de hogere zandgronden, is de aard van het moedermateriaal (mergel, löss) ervan de oorzaak dat er een vrij permanent basenrijke karakter aanwezig is. De topografie wordt gekenmerkt door een sterk reliëf, waardoor hellingprocessen een belangrijke rol 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 kleïnspoeling. Het reliëf zorgt daarentegen voor erosie van het moedermateriaal. Door kleïnspoeling kan pseudo-gley ontstaan met stagnerend regenwater. In combinatie met de eigenschappen van het moedermateriaal kan de vochtretentie aanzienlijk zijn. Afhankelijk van de expositie van hellingen kan mesoklimaat een belangrijke invloed hebben op de vegetatie. De

humusvorm is overwegend endorganisch 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 ectorganisch humusprofiel (Mullmoder) en controleert de vegetatie de humusvorm.

6.2.2 Kalkrijke droge duinen

De kustduinen worden door ons onderverdeeld in basenrijke en basenarme terrestrische ecosystemen. In de beide typen zijn topografie en klimaat belangrijke onafhankelijke factoren via expositie aan wind (morfodynamiek), water (hydrodynamiek), zon (mesoklimaat) en zee (temperatuur, wind). In de kalkarme duinen zijn de ecosysteemrelaties vergelijkbaar met de regenwater- of kwelwater-gevoede ecosystemen. Bij de kalkrijke droge duinen is het moedermateriaal van grote invloed op de vegetatie en de humusvorm (zie mergel- en lössgronden). Een belangrijk verschil met mergel- en lössgronden is de grotere ontkalkingssnelheid van het moedermateriaal (Sival, 1997; Blom et al., 1998) en de nabijheid van de zee. Reeds bij ondiepe ontkalking (> 20 cm) kan de humusvorm sterk door de vegetatie bepaald worden en een ectorganisch karakter krijgen. De ecosysteemrelaties worden dan bij bosontwikkeling vergelijkbaar met de hogere zandgronden.

6.2.3 Jonge kleigronden

Onder jonge kleigronden verstaan wij de niet verweerde betrekkelijk recent afgezette zee- en rivierkleigronden. In het riviereengebied betreft dit de binnendijkse kleiafzettingen (komgronden) die nu niet meer door de rivier worden beïnvloed. Ook rekenen wij de veengronden met een kleidek waar geen actieve veenontwikkeling optreedt tot de jonge kleigronden. Wij rekenen de jonge kleigronden tot de basenrijke terrestrische ecosystemen. De verwerkingssnelheid is door de mineralogische samenstelling en het hoge lutumgehalte gering, waardoor het basenrijke karakter een vrij permanent karakter heeft. De ecosysteemrelaties worden gedomineerd door het rijke moedermateriaal en de kwantitatieve hydrologie. Textuurverschillen vormen een belangrijke differentierende factor. Voor het zeekleigebied komt daar de saliniteit bij. Het humuscompartiment speelt geen rol van betekenis en er komen geen ectorganische humusprofielen tot ontwikkeling

6.2.4 Oude kleigronden

Onder oude kleigronden verstaan we verweerde kleigronden zoals potklei, keileem en rivierterrassen. Bij de rivierterrassen kan sprake zijn van pseudo-gley door klei-ïnspoeling waardoor het vochthoudend vermogen door stagnatie groot kan zijn. De oude kleigronden zijn basenarm- noch basenrijk. De invloed van het moedermateriaal is minder dominerend. Dit uit zich in een meer prominente rol van het humuscompartiment. Het voorkomen van ectorganische humusprofielen indiceert hier een sterke mate van verwerking, maar beïnvloedt de nutriëntenhuishouding nog nauwelijks.

6.2.5 Buitendijkse riviergronden

Tot deze eenheid worden gronden gerekend 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 kleiïg (oeverwallen), zandig (rivierduinen, stroomruggen) of venig (verlande meanders) van karakter zijn. De relaties die bij kleiïg moedermateriaal een rol spelen zijn vergelijkbaar met die bij de jonge kleigronden. In dat geval zijn het moedermateriaal en de overstromingsduur dominant in hun betekenis voor de vegetatie ten opzichte van de humusvorm. Bij zandig moedermateriaal is de overstromingsfrequentie en -dynamiek bepalend voor de ontwikkeling van de humusvorm en de betekenis daarvan voor de vegetatie. Bij afwezigheid van overstromingen zal door uitloging van het moedermateriaal een ectorganisch humusprofiel tot ontwikkeling komen en zijn de relaties binnen het ecosysteem vergelijkbaar met die bij de hogere zandgronden. Incidentele extreme hoogwaterafvoeren kunnen leiden tot erosie van het ectorganische profiel (oobossen, de Waal 1996). Bij regelmatige overstroming zal door periodieke aanvoer van basen en/of slib een endorganische humusvorm tot ontwikkeling komen en de ecosysteemrelaties vergelijkbaar zijn met die van de basenrijke terrestrische ecosystemen. Bij venig moedermateriaal ontstaan ecosysteemrelaties die vergelijkbaar zijn met die welke zijn beschreven bij de venen.

6.2.6 Veengronden

Venen zijn semi-terrestrische ecosystemen, die voor hun ontwikkeling sterk bepaald worden door de fysiografische factoren topografie, 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. Regenwater gevoede systemen ontwikkelen zich tot hoogveen, terwijl grond- of oppervlaktewater gevoede systemen zich tot laagvenen ontwikkelen. Het "moedermateriaal" wordt in feite bepaald door de waterkwaliteit en de daarvan afhankelijke veenvormers: veen- en slaapmossen, zeggesoorten en riet. Het bijzondere is dat het ambivalente karakter van de bodem (sensu Jenny) hier zeer manifest aanwezig is: het moedermateriaal is hier tevens de humusvorm. Veendikte, de verteringsgraad van het veen, waterdiepte (en leem als complicatie van overstromingsfasen) zijn kenmerkende variabelen van het substraat die bepalend zijn voor het begroeiingstype. Afhankelijk van de laagveenontwikkeling en veendikte kan isolatie ten opzichte van het grond- en/of oppervlaktewater ontstaan, waardoor de invloed van regenwater in het systeem kan toenemen.

6.2.7 Kwelgevoede zandgronden

Kwelgevoede zandgronden komen voornamelijk voor in beekdalen, maar zijn er niet synoniem aan. Plaatselijk kunnen in beekdalen ook enigszins dynamische semi-

terrestrische ecosystemen tot ontwikkeling komen (zie venen). 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, hydroxiden, goethiet, pyriet) en voor een hoge basenverzadiging van het adsorptiecomplex zorgen. Het moedermateriaal is hierdoor mineralogisch verrijkt. Verrijking kan ook zijn ontstaan door leemafzetting tijdens inundaties vanuit beken.

De waterkwantiteit is behalve van belang voor de watervoorziening vooral van invloed op de redoxtoestand van het moedermateriaal en daarmee op de mate waarin mineralen al dan niet in opgeloste vorm kunnen voorkomen en van invloed zijn op de vegetatie.

Het moedermateriaal is voor de vegetatie van belang als een fysisch-chemisch complex waarbij de textuur en de mineralogische samenstelling een rol spelen bij processen als vochtretentie, basenregulatie, zuurbuffering en adsorptie van ionen die bij de nutriëntenhuishouding van de vegetatie een rol spelen. 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 gehomogeniseerd wordt met de minerale ondergrond.

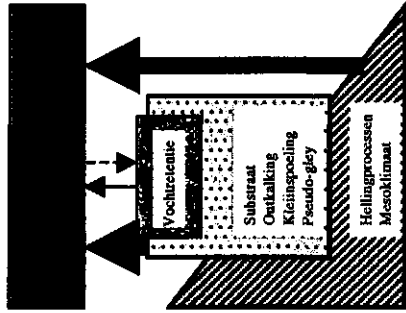
De humusvorm is ondergeschikt aan het moedermateriaal, heeft een endorganisch karakter en is indicatief voor ecosystemen met een snelle nutriëntenkringloop. De vegetatie wordt vanuit de humusvorm rijkelijk van voedingsstoffen voorzien. De vegetatie is nauwelijks van invloed op de eigenschappen van de humusvorm. De humusvorm versterkt het bufferende karakter (vochtretentie, adsorptie) van het moedermateriaal.

Bij verzuring (door afname van kwel) kan de humusvorm sterk in betekenis voor het ecosysteem toenemen (zie regenwatergevoede zandgronden), doordat zich een ectorganisch humusprofiel ontwikkelt. Typische bodems voor kwelgevoede zandgronden volgens het Nederlandse Bodemklassificatiesysteem (De Bakker & Schelling, 1989) zijn beekerdgronden. De ontwikkeling van een ectorganisch humusprofiel geeft in deze situatie aan dat 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.

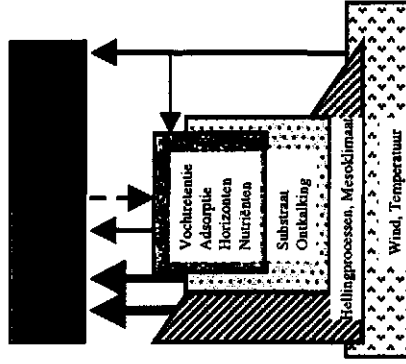
6.2.8 Regenwatergevoede zandgronden

De regenwatergevoede zandgronden worden door ons tot de basenarme terrestrische ecosystemen gerekend. Ook rekenen wij veengronden met een zanddek tot deze fysiografische eenheid. Topografie en hydrologie zijn hier van ondergeschikte betekenis voor de vegetatie. Het ecosysteem heeft een landschappelijke positie waarbij steeds sprake is van een neerwaartse grondwaterstroming en van grondwater-onafhankelijke processen.

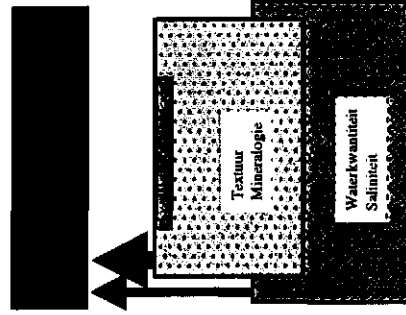
Mergel en lössgronden



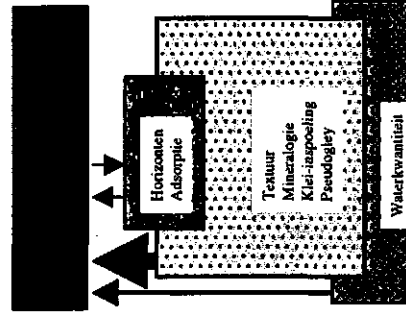
Kalkrijke droge duinen



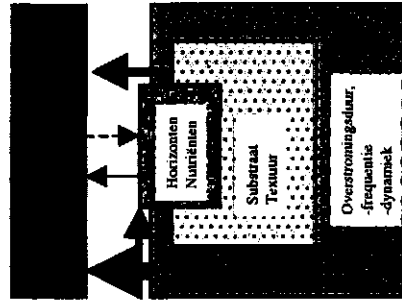
Jonge kleigronden



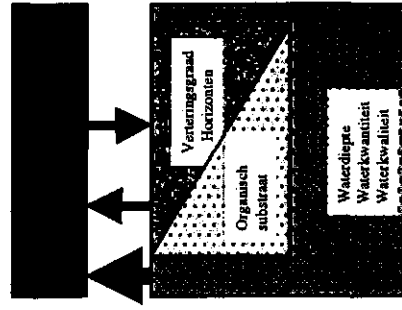
Oude kleigronden



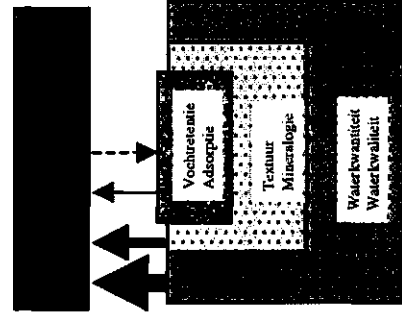
Buitendijkse riviergronden



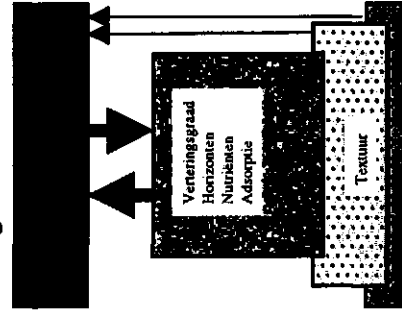
Venen



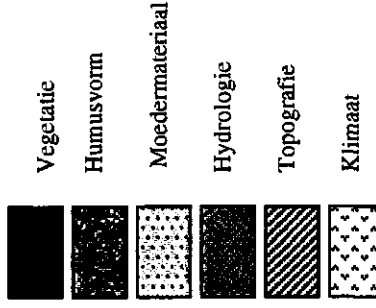
Kwelgevoede zandgronden



Regenwatergevoede zandgronden



Legenda



Figuur 13 De betekenis van verschillende ecosystemecompartimenten in relatie tot elkaar en de vegetatie in fysiografische eenheden binnen Nederland. Hoe dikker de peil of het kader des te belangrijker is het compartiment voor de vegetatie-ontwikkeling. Gestreepte peilen geven een mogelijke ontwikkeling naar ectorganische humusprofielen onder invloed milieuvananderingen. Per compartiment zijn enkele processen of variabelen vermeld die een sleutelrol vervullen.

Het moedermateriaal is (uiteindelijk) verweerd door verzurende processen en sterk verarmd door continue uitspoeling onder invloed van het neerslagoverschot. Het wordt gekenmerkt door podzolverschijnselen.

Het moedermateriaal 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 over het algemeen ongunstige condities voor bodemleven wordt strooisel slechts langzaam of niet afgebroken. Het strooisel accumuleert waardoor een ectorganisch 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 voedingstoffen voor de vegetatie en vormt een belangrijke buffer voor vocht en voedingstoffen (adsorptie). De dikte en het voorkomen van specifieke humushorizonten zijn variabelen die belangrijke informatie verstrekken over de nutriëntenvoorziening van de vegetatie. Typische bodems op deze zandgronden zijn de podzolen.

Onder mineralogisch rijkere omstandigheden hebben zich veelal Moderpodzolen (Y) ontwikkeld die in hun humusprofiel gekenmerkt worden een Fz- en een dikke Hh-horizont en een geleidelijke grens tussen het humusprofiel en de minerale ondergrond (Ah-horizont). Ook deze bodemtypen kunnen een fossiel karakter krijgen. Het zich ontwikkelende humusprofiel kan zoveel humuszuren produceren dat de onderliggende mineralogisch rijke horizont uitlooft en sterk verzuurt. Functioneel ontwikkelen deze bodemtypen zich van Moder- naar humuspodzolen.

6.3 Afhankelijke bodemfactoren

Binnen elk type ecosysteem ligt de balans tussen de afhankelijke factoren steeds weer anders. Ook in tijd kenmerkt een ontwikkeling van het ene naar het andere ecosysteem (successie) zich door een veranderende balans (zie figuur 4). De humusvorm speelt in een aantal fysiografische eenheden een sleutelrol bij informatie over processen die de ecosysteemtoestand sturen. Om enige structuur aan te brengen in de veelheid van humusvormen is door ons een humusvormklassificatie ontwikkeld, die functioneel van aard is, wat wil zeggen dat hij gebaseerd is op informatie over onderliggende processen.

6.3.1 Humusvormklassificatie

Om de "humusmodule" binnen de ecologische bodemtypologie hanteerbaar te maken is gebruik gemaakt van een humusvormklassificatie. De classificatie is gebaseerd op voorkomen, diktes van en verhoudingen tussen horizonten en moet 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 Nederlandse situatie.

Geen van de gangbare klassificatiesystemen voldoet volledig aan deze eisen. De indeling van Klinka et al. (1981) en Green et al. (1993) wordt internationaal veelvuldig toegepast (o.a. Canada, België, Italië, Oostenrijk, Nederland), is flexibel van opzet en kan zelfs toegepast worden op semi-terrestrische ecosystemen. De Franse indeling (Brethes et al., 1992) is gedeeltelijk geïnspireerd door Klinka maar kenmerkt zich door een oneindige variatie aan subtypen en is nog onvolledig en alleen in Frankrijk in gebruik. In Duitsland worden diverse humustypologieën gebruikt die echter internationaal weinig aanhang vinden en niet overal ecologisch relevant lijken (Kubiena 1953, Scheffer & Schachtschabel 1989, Ehwald 1958, Blume & Beyer 1996). In Nederland wordt Klinka al vele jaren toegepast in het bosreservatenprogramma (Broekmeyer, 1995). In het bosccosystemenproject is voor semi-terrestrische bosccosystemen (Clerkx et al., 1994) en basenrijke bosccosystemen (De Waal in voorb.) eveneens uitgegaan van deze typologie.

De oorspronkelijke indeling volgens Klinka et al. (1981) is op sommige plaatsen ingrijpend aangepast aan de Nederlandse situatie. Deze aanpassingen zijn nodig omdat de indeling volgens Klinka gebaseerd is op humusontwikkelingen in een ander werelddeel met een sterk van West-Europa afwijkend klimaat, vegetatie en landgebruik. Een belangrijke aanpassing is bijvoorbeeld het onderscheiden van een gytja-achtig humusprofiel (in de Duitse literatuur "Anmoor" en "Meereerdmoder" in Clerkx et al. 1994) dat onder semi-terrestrische, hoofdzakelijk anaërobe en kalkrijke omstandigheden tot ontwikkeling komt. Zulke omstandigheden doen zich bijvoorbeeld voor in bronbossen. Ook is onderscheid gemaakt tussen oligotrofe en eutrofe veraardingsprocessen en irreversibele turfvorming in oligotrofe veenresten (zie tabel 1).

Voor de arme droge ecosystemen zoals dekzand- en kalkloze stuifzandgebieden voldoet de indeling van Klinka slechts gedeeltelijk. Grootste probleem is het moeilijk in het veld herkennen van de door Klinka onderscheiden schimmelrijke F-horizonten (Bisdorf et al., 1996; Dijkstra, 1996). Tot nu toe is bij gebruik van Klinka voor de arme terrestrische ecosystemen geen gebruik gemaakt van dit onderscheid (Emmer, 1995; Dijkstra, 1996). Binnen de voorlopige humusvormindeling is veel ruimte gelaten voor aanvullingen en aanpassingen op grond van nieuwe veldervaringen, zodat er eerder sprake is van een raamwerk dan van een kant en klare klassificatie of typologie. Een ander voorbeeld van aanpassing van de indeling van Klinka aan de Nederlandse situatie is het onderverdelen van de "*Vermimulls*" ("*Wormmulls*") in een kalkrijke ("*Kalkwormmull*") en een zure ("*Zure wormmull*") variant en varianten met een F- en/of H-laag ("*Ecto-wormmull*": De Waal, in voorb.). Flexibiliteit is nodig om ruimte te creëren voor de grote variatie die natuurlijke fenomenen als humusontwikkeling kenmerken.

6.3.2 Semi-terrestrische humusvormen van bosccosystemen

De indeling van de humusvormen is gebaseerd op het onderscheid tussen semi-terrestrische en terrestrische ontstaanswijze, op dikte en aard van de diagnostische horizonten (lagen die gebruikt worden voor het differentiëren van de verschillende humusvormtypen). In tabel 1 zijn alle diagnostische horizonten weergegeven. Alleen de L-laag wordt bij het onderscheiden van de verschillende humusvormtypen niet gebruikt. In tabel 3 is de determineersleutel van de semiterrestrische humusvormtypen weergegeven. Alle humusvormen die binnen de eerste 40 cm voornamelijk bestaan uit een moerige (venige) laag of een minerale laag met hydromorfe kenmerken worden semiterrestrisch genoemd.

Het grondwater zal daarbij gedurende een belangrijk deel van het jaar boven of nabij het maaiveld staan (Green et al, 1993). In de praktijk zal de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) zich niet dieper dan 10 cm onder maaiveld bevinden. Met behulp van de dominante humushorizont (binnen de bovenste 40 cm van het humusprofiel) zijn de groepen *Veenmosmors*, *Mesimors*, *Eerdmoders*, *Hydromoders* en *Hydromulls* onderscheiden. De subdominante horizonten en in sommige gevallen het organisch stofgehalte of het kalkgehalte bepaald de subgroep. De humusprofieltypen geven een indicatie van zowel recente als actuele milieu-omstandigheden.

Tabel 3 Indeling van de semi-terrestrische humusvormen

Organische stof		Organische stof		Organische stof	
Organische stof		Organische stof		Organische stof	
Of dominant (<i>Veenmosmors</i>)		O > 20 cm	Od, Om 10-20 cm	<i>Eerdveenmosmor</i>	
			Overig	<i>Rauwveenmosmor</i>	
		O < 20 cm	<i>Vaagveenmosmor</i>		
Om dominant (<i>Mesimors</i>)		O > 20 cm	Irreversibel verdroogd (turf)		<i>Turfmesimor</i>
			Oh > 10 cm		<i>Eerdmesimor</i>
			Od > 10 cm		<i>Gliedemesimor</i>
			Of > 10 cm		<i>Rauwmesimor</i>
			overig	OS > 70%	<i>Veenmesimor</i>
		overig	OS < 70%	<i>Beekmesimor</i>	
		O < 20 cm	<i>Vaagmesimor</i>		
OAm dominant		<i>Moermesimor</i>			
Oh dominant (<i>Eerdmoder</i>)	F+H < 0,5cm	O > 20cm	OS > 70%	<i>Veeneerdmoder</i>	
			OS < 70%	<i>Beekeerdmoder</i>	
O < 20cm		<i>Vaageerdmoder</i>			
Og dominant		<i>Meereerdmoder</i>			
Od dominant		<i>Gliede-eerdmoder</i>			
OAh dominant	<i>Moereerdmoder</i>				
Oh,Od,OA dom	F+H 0,5-1cm	<i>Ecto-eerdmoder</i>			
F + H > 5cm (Fa)		O en OA	<i>moerige Hydromormoder</i>		
		Ahg*, geen O of OA	<i>vage Hydromormoder</i>		
		Oh, Og	<i>Eerdhydromoder</i>		
		OA	<i>Moerhydromoder</i>		
F+ H > 2cm (<i>Hydromoder</i>)		Ahg, geen O	<i>Vaaghhydromoder</i>		
		F=H > 5 cm		<i>Hydromullmoder</i>	
		geen O	F+H > 0,5-2 cm		<i>Ecto-hydromull</i>
F+H < 0,5cm	< 10cm ontkalkt		<i>Kalk-hydromull</i>		
	> 10cm ontkalkt		<i>Zure-hydromull</i>		
Aag, Apg dominant (<i>Hydromull</i>)		<i>Akker-hydromull</i>			
Ah, Aa, Ap > F+ H		<i>terrestrische Mulls (zie tabel 4)</i>			
Ah, Ae,E < F+H		<i>terrestrische Mullmoders, Moders, Mormoders en Mors (zie tabel 5)</i>			

* Ahg bij hydromormoder feitelijk veenrest met een org. stofgehalte van 6 tot 15%. Bij hydromull een echte Ah. De hydromormoder hoort bij een verdrogingsreeks van oligotrofe venen. De hydromoder bij verzurende mesotrofe venen. De hydromull bij eutrofe venen of verdrogingsreeksen op mesotroof mineraal moeder materiaal.

De semiterrestrische humusvormen geven een indicatie van verdroging, interne eutrofiëring en eventuele veranderingen in waterkwaliteit en dynamiek (tabel 4).

Tabel 4 Voorkomen en indicatieve waarde van de humusprofielen

Humusvormtype	Voorkomen	Indicatie
<i>Eerdveenmosmor</i>	hoogveen, vennen, laagveenkraggen, geïsoleerde beekdalen	Licht verdroogd zonder interne eutrofiëring, oligotroof
<i>Rauwveenmosmor</i>	hoogveen, vennen, laagveenkraggen, geïsoleerde beekdalen	Niet verdroogd, levend (groeïend) veen, oligotroof
<i>Vaagveenmosmor</i>	vennen, regenwaterlenzen in grondwater gevoede kwelplekken, geïsoleerde beekdalen	Beginnende of marginale oligotrofe veenvorming, zeer gevoelig voor verdroging en verstoring
<i>Turfmesimor</i>	oude hoogveenwinningen (hoogveendijkjes en -ruggen)	Irreversibel (snel) verdroogd, oligotroof hoogveen, extreem zuur met geringe vochthoudende capaciteit (valt niet te vernatten)
<i>Eerdmesimor</i>	Laagveengebied, zeer natte beekdalen	Licht verdroogd, mesotroof
<i>Gliedemesimor</i>	Hoogveen- en venranden, voormalige hoogvenen	Sterk verdroogd (geleidelijke verdroging), oligotroof veraard
<i>Rauwmesimor</i>	Geïsoleerde beekdalen, laagveenkraggen	Beginnende verandering van mengwater gevoed naar Een regenwater gevoed systeem (isolatie)
<i>Veenmesimor</i>	Laagveengebied	Niet verdroogd, levend (groeïend) mesotroof veen
<i>Beekmesimor</i>	natte beekdalen, laagveengebied	Niet verdroogd, levend (groeïend) meso- tot eutroof veen
<i>Vaagmesimor</i>	natte beekdalranden, en randen mesotrofe vennen	Beginnende of marginale meso- of eutrofe veenvorming
<i>Moermesimor</i>	Beekdalen	Niet vaak vanuit beken overstroomd
<i>Veeneerdmoder</i>	Laagveengebied	Marginale meso-, eutrofe veenvorming beïnvloed door overstroming vanuit beken
<i>Beekeerdmoder</i>	Beekdalen	Sterk verdroogd en veraard meso-eutroof veen, sterke interne eutrofiëring
<i>Vaageerdmoder</i>	Beekdalen, mesotrofe vennen, randen van laagveengebied	Verdroogd en veraard meso- en eutroof veen, sterke interne eutrofiëring
<i>Meereerdmoder</i>	Kwelrijke zones in beekdalen en bronbossen	Sterke verdroging, restant voormalige veenvorming (verdwijnd veen)
<i>Gliede-eerdmoder</i>	Hoogveen- en venranden, hoogveenresten	Grotendeels anaërobe, mesotrofe afbraak onder invloed van kalkhoudend grondwater
<i>Moer-eerdmoder</i>	Beekdalen, mesotrofe vennen	Sterk verdroogde oligotrofe venen
<i>Ecto-eerdmoder</i>	Algemeen	Sterk verdroogde veenrest (verdwijnd veen)
<i>Moer-hydromoder</i>	Beekdalen en venranden	Sterk verdroogd veen, overgang naar terrestrische humusvorming
<i>Eerdhydromoder</i>		Sterk verdroogd, veenrest, terrestrische humusvorm op semiterrestrisch relict
<i>Vaaghydromoder</i>	Beekdalen	
<i>Hydromullmoder</i>		
<i>Ecto-hydromull</i>	Beekdalen, eutroof moeras	Sterk verdroogd, verzurend, eutroof semiterrestrisch milieu
<i>Kalkhydromull</i>	Beekdalen, verdroogde bronnen, eutroof moeras	Eutroof, hoog dynamisch, kalkrijk, niet verdroogd; of
<i>Zure hydromull</i>	Beekdalen, eutroof moeras	Verdroogd, eutroof, kalkrijk
		Mesotroof hoogdynamisch, kalkloos
<i>Akker-hydromull</i>	Beekdalen, eutroof moeras	Verdroogd, eutroof, kalkloos
		Verdroogd, vermest

6.3.3 Terrestrische humusvormen van bosccosystemen

Terrestrische humusvormen zijn evenals de semiterrestrische te verdelen in *Mors*, *Moders* en *Mulls*. Daarnaast zijn twee tussencategorieën gedefinieerd de *Mullmoders* en de *Mormoders*.

Het onderscheid tussen *mulls* en de overige terrestrische humusvormtypen, althans voor bossen, is gebaseerd op het voorkomen van een substantiële horizont van gedeeltelijk verteerd of geheel gehumificeerd strooisel (resp. F- en H-horizont). De grens is daarbij gelegd bij een dikte van 2 cm.

Mulls (zie tabel 5) zijn humusvormen die voor het overgrote deel bestaan uit minerale substantie. De voornaamste horizont is in het algemeen de met organische stof verrijkte bovengrond, de "Ah". Deze profielen komen vooral voor in basenrijke substraten of in recent gesedimenteerde afzettingen die niet perse basenrijk hoeven te zijn. De omzetting van strooisel naar humus door de bodemfauna in de *mulls* verloopt zo snel dat geen stapeling van ectorganisch materiaal kan optreden. De humus wordt door diezelfde bodemorganismen gehomogeniseerd met de minerale ondergrond over een diepte variërend van enkele centimeters tot decimeters.

De orde der *mulls* is verdeeld in mulltypen waarin vooral wormachtigen actief zijn die gebonden zijn aan goed gebufferde (leemhoudende substraten) en *mulls* waarin de buffering gering is (leemarme substraten). Binnen de eerste groep verloopt verzuring en uitspoeling van basen (waaronder calcium) zo traag dat op de middellange termijn weinig veranderingen in het humuscompartiment zijn te verwachten, zodat zich een stabiele en rijke bodemfauna kan ontwikkelen die vooral gekenmerkt wordt door wormachtigen.

In de leemarme substraten kan door snelle verzuring en uitspoeling de samenstelling van de bodemfauna wel relatief snel veranderen. Deze *mulls* vormen het beginstadium van een ontwikkeling naar profielen waarin uiteindelijk een stapeling van strooisel leidt tot dikke ectorganische humusvormen (*moders*, *mormoders* en *mors*). De eerste groep wordt vanwege de rijkdom aan wormachtigen *wormmulls* genoemd, de leemarme groep wordt aangeduid als *zandmulls*. Uitzondering vormt de humusvorm die ontstaat op extreem kalkrijke mergelgronden. Deze z.g. *Krijtmulls* kenmerken zich door een rulle zwarte Ah-horizont met een hoge organisch stofgehalte (meer dan 8%). Deze Ah ontstaat door de gedeeltelijke blokkering van volledige humificatie van organische stof door de overmaat aan calcium. Hierbij ontstaat een hoog gehalte aan calciumhumaten in het bodemprofiel.

Bij afname van de hoeveelheid aan het uitwisselingscomplex gebonden basen kan op van oorsprong basenrijke gronden strooisel accumuleren. Bij een gecombineerde dikte van F en H-laag van meer dan 2 cm ontstaat een tussenvorm tussen *mull* en *moder*, een *mullmoder*. In deze humusvorm is de goed ontwikkelde Ah-horizont dikker dan de combinatie F en H-laag. Op sterk leemrijke gronden, bijvoorbeeld lössgronden, vormt de *mullmoder* meestal het eindstadium van de humusontwikkeling. Op lemige zanden gaat de ontwikkeling bij verdere uitspoeling van basen door tot een *moder* of *mormoder*profiel.

Tabel 5 Indeling van de terrestrische Mulls

Humushorizont	Humusmoder	Humusvorm	Leemtegehalte A	Opkleving	Organische stofgehalte A	Dikte F + H	Humusvariantie
Ah > F+H	< 2cm	Ah*	> 40%	0 cm	> 8%	0 cm	Krijtmull
> 20%			< 20cm	< 8%	< 0.5 cm	Kalkwormmull	
			> 20cm	< 0.5 cm	Zure Wormmull		
				0.5 -2 cm	Ecto-wormmull		
< 20%		< 20 cm	< 0.5 cm	Kalkzandmull			
		> 20 cm	< 0.5 cm	Zure Zandmull			
			0.5- 2 cm	Ecto-zandmull			
			Ap, Aa				
Geen A wel C			< 20cm		< 0.5 cm	Duinzandmull	
			> 20cm			Stuifzandmull	
Ah > F + H	> 2cm	Ah*	Terrestrische Mullmoders (zie tabel 5)				
Ah < F + H	> 2cm	Ah,Ahe,AE*	Terrestrische Moders, Mormoders en Mors				
O, Ahg > F +H (GHG < 20 cm)			Veenmos-, Mesimors, Eerdmoders, Hydromulls (zie tabel 1)				
O, Ahg < F+ H (GHG < 20 cm)			Hydromoders (zie tabel 1)				

* In ongestoorde toestand; mengvormen van bovengronden met de ondergrond als AC, AB, A/C of A/B worden bij de indeling niet tot Ah gerekend.

Moderprofielen kenmerken zich door de ontwikkeling van uitwendige (ectorganische) humushorizonten, waarvan de gecombineerde dikte groter is dan de dikte van de Ah (zie tabel 3). De omzetting vindt hoofdzakelijk plaats door de rijke bodemfauna met als resultaat de vorming van gedeeltelijk omgezette F-horizont (Fz) met een hoog gehalte aan excrementen (*moderbolletjes*). Deze Fz-horizont is typerend voor de moderprofielen (tabel 6). De *moders* worden verder onderverdeeld met behulp van de aard van de A-horizont en de dikte van de F1z- en F2z-horizont en de H-horizont indien deze te onderscheiden zijn. De F2-horizont is een overgangslaag naar de H-horizont en is in bodemchemisch opzicht verwant aan de H-horizont (tabel 6).

Mormoder-profielen zijn in Nederland de meest voorkomende humusvorm op arme zandig moedermateriaal. Zij onderscheiden zich van de *moders* door de aanwezigheid van een dominante Fa-horizont, een F-horizont waar de afbraak van de organische stof onder veel armere omstandigheden plaats vindt dan bij de Fz-laag. Onder deze zuurdere en basenarmere omstandigheden ontbreekt een uitbundige bodemfauna (vooral gebrek aan wormachtigen) en wordt een groot deel van de afbraak bewerkstelligd door schimmels (die overigens niet altijd zichtbaar zijn). De onderverdeling van de *mormoders* verloopt langs dezelfde lijnen als bij de *moders*. De aard van de minerale A-horizont, de dikte van F2+H ten opzichte van de F1 en de dikte van de Hh-horizont zijn onderscheiden voor de laagste indelingniveaus (tabel 6). De *mormoders* met een dikke Hh horen bij vooral oude stabiele loofboscossystemen (*holtmortmoder*). *Mormoders* zonder noemenswaardige H zijn typerend voor jonge boslocaties (bijvoorbeeld een jonge fase in de successie van bos op jong stuifzand. De *mormoders* met een extreme dikke F1 zijn typerend voor Naaldbossen, Larix in het bijzonder.

Mor-profielen kenmerken zich door een F-horizont waarin dierlijke activiteiten verwaarloosbaar klein zijn in vergelijking met de uitbundige schimmelactiviteit (Fm-horizont). De directe herkenning van schimmels in het veld stuit op problemen, daar schimmels (en daarvan meestal alleen de mycchoryza) alleen met het blote oog waarnembaar zijn in vochtige perioden. De afwezigheid van tekenen van een

actieve bodemfauna (moderbolletjes) wordt daarmee het kenmerk dat ze onderscheid van de *moders* en *mormoders*. Overigens vallen maar weinig humusprofielen in de Nederlandse situatie onder de *mors*. De *mors* zijn om deze reden minder ver uitgesplitst dan de andere humusvormen.

Tabel 6 Indeling terrestrische Mullmoders, Moders, Mormoders en Mors

Diepte van de moder	Verhouding van humus tot grond	Van moder tot grond	Van moder tot grond	Diepte van de moder	Verhouding van humus tot grond	Van moder tot grond	Van moder tot grond
< 2cm	Ah > F+H	Fz	Ah	Terrestrische Mulls (zie Tabel 4)			
> 2cm	Ah < F+H		Ah	< 2 cm		Vaagmullmoder	
				> 2 cm		Gewone Mullmoder	
			Ahe, AE, AC, AB, Aa. Ap	Wormmoder			
				< 2 cm		Vaagmoder	
				F1 < F2+H	2 -5 cm	< 2 cm	Humusmoder
					>5 cm		Bosmoder
				F1 > F2+H	> 2 cm	> 2 cm	Holtmoder
						Ruwmoder	
				< 2 cm		Vaagmormoder	
		F< F2+H		2 - 5 cm	> 2 cm	Humusmormoder	
				> 5 cm		Bosmormoder	
		F> F2+H		> 2cm	< 2cm	Holtmormoder	
Ruwmormoder							
		Hr > F	Bosmor*				
		Hh > F	Holtmor*				
		H < F	Ruwmor*				
	O, OA, Ahg, Aag, Cg (GHG < 20cm)	Semiterrestrische Mulls, Moders en Mors (zie Tabel 2)					

*) in Nederland niet onder alle omstandigheden te onderscheiden van de humusvormen met een dominante Fa

6.3.4 Humusvormen van graslandecosystemen

Ook onder korte vegetaties die aan een maairegime zijn onderworpen kunnen humusprofielen worden onderscheiden. De bron van strooisel bestaat voornamelijk uit afgestorven wortelmateriaal. Oriënterend onderzoek in schraalgraslanden (Van Delft, 1995) leerde dat ook onder korte vegetaties een verticale differentiatie in humushorizonten kan voorkomen afhankelijk van de activiteit van het bodemleven.

Het bleek mogelijk een globale indeling van humusvormen voor grasland op te stellen in relatie tot bodemcondities voor afbraak van organische stof. Bij deze indeling is onderscheid gemaakt naar terrestrische en semiterrestrische standplaatsen.. De indeling is nog voorlopig van aard. Een breder opgezet onderzoek naar humusprofielen onder graslanden is noodzakelijk om een vollediger beeld te verkrijgen. In tabel 7 en 8 is een voorlopige determinatiesleutel opgenomen.

Tabel 7 Indeling humusvormen van terrestrisch grasland

Grondwaterstand	Dikte M-horizont	Verhouding M/Ah-horizont	Gevoel Ah-horizont	Dikte Ah-horizont	Humusvormtype
≥ III	> 2 cm	M ≥ Ah	(Gewone) Moder		
		M < Ah	Mullmoder		
	≤ 2 cm	bioturbatie	Ahz > Ah	Wortelmull	
			Ahz < Ah	Wormmull	
		grondbewerking	Akkermull		
< III	Semiterrestrische Humusvormen				

Tabel 8 Indeling humusvormen van semi-terrestrisch grasland

Tabel 6: Inzetting humusvormen van semi-terrestrisch grasland					
	O-horizont	Ah-horizont	Verhouding M/O-horizont	Verhouding O-horizont	Humusvormtype
≤ III	≤ 2 cm	> 2 cm	Hydromull		
		< 2 cm	M ≥ O	Hydromoder	
			O > M	Of > 50%	Veenmosmor
				Om ≥ 50%	Mesimor
				Oh > 50%	Eerdmoder
		> 2 cm	> 2 cm	M ≥ O	Hydromoder
			O > M	Of > 50%	Veenmosmor
				Om ≥ 50%	Mesimor
Oh > 50%				Eerdmoder	
> III					Terrestrische Humusvormen

7 Toepassingsmogelijkheden

De ecologische bodemtypologie is vooral ontwikkeld vanuit de behoefte aan diagnostische informatie in natuurgebieden, waar naast traditionele bodemkundige gegevens ook gegevens van het humusprofiel voor handen zijn. Voor de prognose van de ontwikkelingsmogelijkheden van natuur op voormalige landbouwgronden biedt de typologie door de gekozen systematiek eveneens mogelijkheden.

7.1 Toepasbaarheid in natuurgebieden

De ecologische bodemtypologie is getuige de ervaringen in diverse case studies, makkelijk toepasbaar voor diagnoses van de ecosysteemtoestand op puntlocaties. Naast hulpmiddel voor een ecosysteemanalyse is de humusvorm door haar actuele informatie zeer geschikt voor monitoring van beheersmaatregelen en milieuveranderingen. Hoewel voor het verkrijgen van vlakinformatie veel ervaring is opgedaan met de klassieke bodemtypen, ligt dit voor het in kaart brengen van humusvormen anders. Bekend is dat diktes van humushorizonten over korte afstand sterk kunnen variëren. De aard van de horizonten, de dikteverhouding tussen horizonten en daarmee de humusvormtypen lijken minder onderhevig te zijn aan korte-afstandsvariatie.

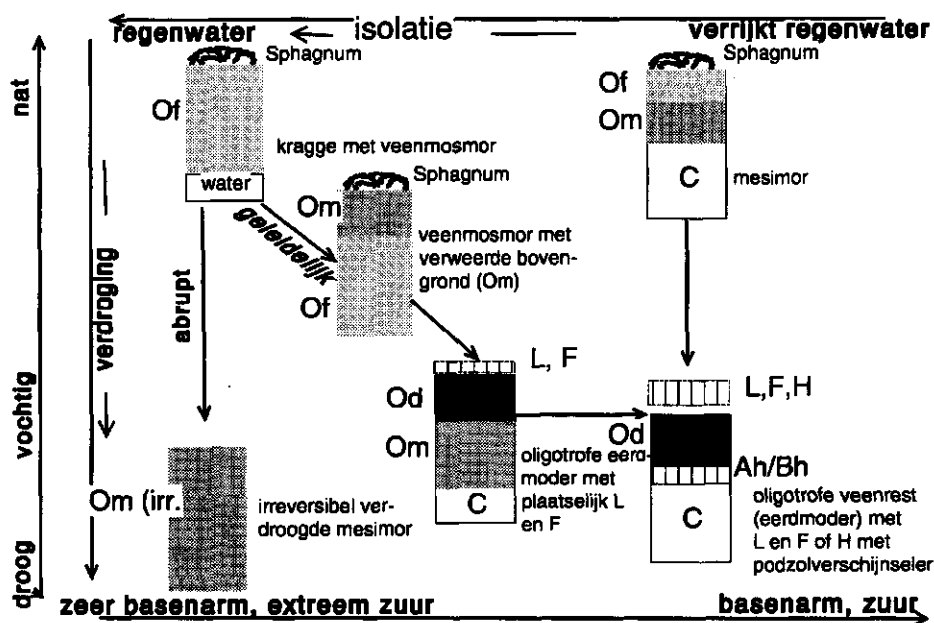
Het hanteren van een weinig flexibel humusklassificatiesysteem lijkt het in kaart brengen van humusvormen in dit opzicht eerder te belemmeren dan te bevorderen. Zonder nog over brede kennis te beschikken van de ruimtelijke variabiliteit kan reeds gesteld worden dat humusvormen beter gerangschikt kunnen worden in groepen humusvormen die qua aard en ontwikkeling vergelijkbaar zijn (humusreeksen). Dit wordt nog versterkt door op veldervaring gestutte vermoedens dat in tal van situaties het niet volledig oppervlakedekkend, maar volgens bepaalde patronen voorkomen van bepaalde humuskenmerken (kenmerkende heterogeniteit) indicierend kan zijn voor de ecosysteemontwikkeling.

Van een aantal ecosysteemtypen zijn de belangrijkste humusvormen inmiddels bekend. Vaak blijken de humusvormen in reeksen te kunnen worden geplaatst die verband houden met een verzurings- of verdrogingstoestand. Van lang niet alle ecosysteemtypen is het gedrag van de humusvorm in reactie op veranderende omstandigheden bekend. Verder onderzoek hiernaar is nog nodig om een volledig beeld te verkrijgen.

7.1.1 Humusvormen in hoogveen

In figuur 14 zijn de in hoogveen voorkomende humusvormen gerangschikt in een assenstelsel voor de vochttoestand en de zuurgraad. *Veenmesimors* kunnen als een initieel stadium van hoogveenontwikkeling worden beschouwd. Dit zijn dunne veenlagen met onverteerd veen op een wat dikkere laag verweerd veenmosveen. Bij

isolatie ontstaan hieruit onder zeer basenarme natte omstandigheden *veenmosmors*, gekenmerkt door een kragge die uit onverteerde veenmosresten bestaat. Bij abrupte verdroging ontstaan irreversibel ingedroogde *mesimors*, gekenmerkt door gedeeltelijk verteerd veenmos. Bij geleidelijke verdroging ontstaan *veenmosmors* met een verweerde bovengrond van enigszins verteerd (Om) veenmosveen. Bij verdere verdroging ontstaan *eerdmoders*, gekenmerkt door een volledig veraarde Od-horizont op een verweerde Om-horizont. Tevens ontwikkelt zich onder deze omstandigheden een ectorganische L- en F-horizont van onverteerd strooisel. Op termijn kan deze verdroging leiden tot een sterk veraarde veenrest, waaronder een micropodzol tot ontwikkeling kan komen.



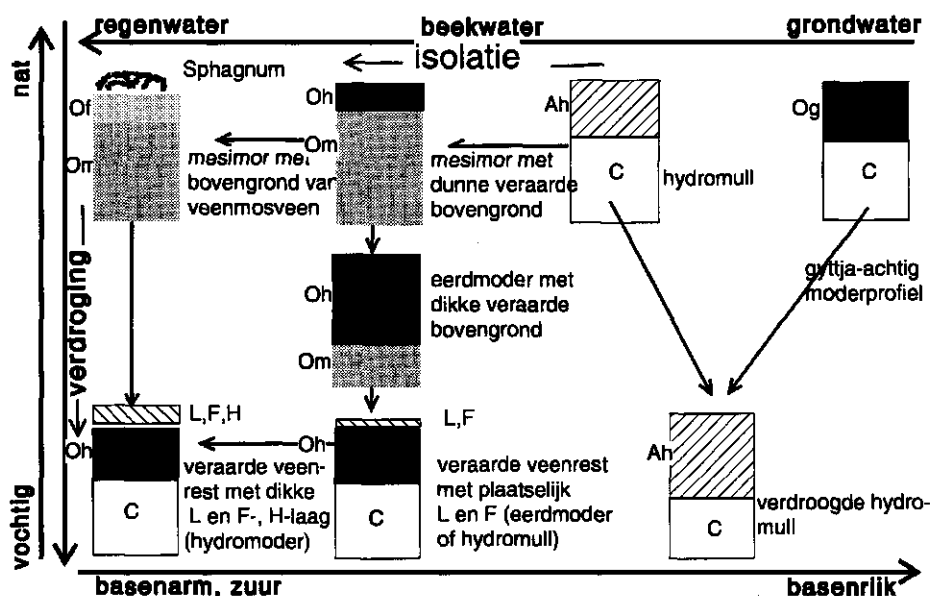
Figuur 14 Ontwikkeling van humusvormen in hoogveen

7.1.2 Humusvormen in beekbegeleidende broekbossen

In figuur 15 zijn de in beekdalen voorkomende humusvormen gerangschikt langs een assenstelsel voor de vocht- en basentoestand. Onder permanent natte en basenrijke omstandigheden (bronbossen) ontstaat een gyttja-achtig (bagger) afbraakproduct van organische stof. Moderprofielen zijn hier kenmerkend. Voor natte omstandigheden waarbij tijdelijk drogere perioden optreden (zomer) zijn hydromulls kenmerkend. Door een actief bodemleven wordt organische stof volledig omgezet en gehomogeniseerd met de minerale ondergrond. Bij verdroging ontstaan verdroogde hydromulls, waarbij vaak een ectorganische L- en F-horizont op de Ah-horizont tot ontwikkeling komt.

Onder permanent natte omstandigheden met regelmatig overstroming vanuit de beek komen mesimors tot ontwikkeling, gekenmerkt door een dikke laag verweerd veen (Om-horizont) met eventueel een dunne laag veraard veen (Oh-horizont). Als standplaatsen geïsoleerd zijn van de beek en een regenwaterlens gevormd is, zijn

mesimors met een bovengrond van veenmosveen (Of-horizont) kenmerkend. Bij verdroging ontwikkelen zich uit de mesimors eerdmoders, gekenmerkt door een dikke Oh-horizont van veraard veen. Uiteindelijk kan een dunne veraarde veenrest overblijven op de minerale ondergrond. In ernstige gevallen van verdroging ontwikkelt zich op de veenrest een ectorganische L- en F-horizont.

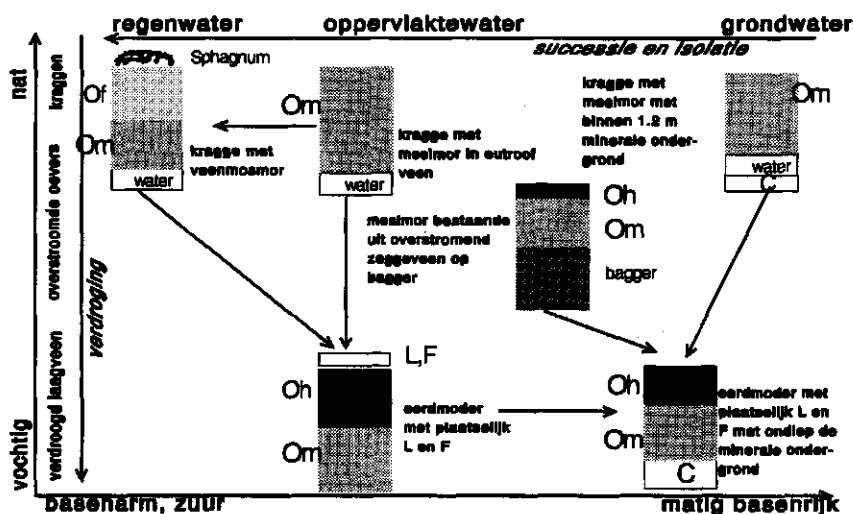


Figuur 15 Ontwikkeling van humusprofielen in beekbegeleidende broekbossen

7.1.3 Humusvormen in laagveenbroekbossen

In figuur 16 zijn de humusprofielen in laagveenbroekbos gerangschikt langs assen voor de vocht- en basentoestand. Kenmerkend voor matig basenrijke grondwaterafhankelijke omstandigheden zijn kraggen waarin zich mesimors hebben ontwikkeld met een dikke Om-horizont van verweerd veen.

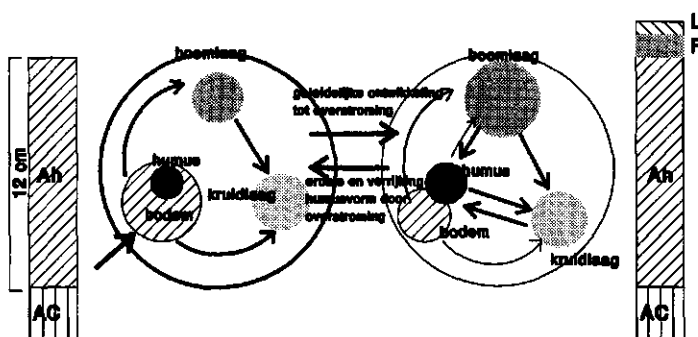
Bij regelmatige inundatie met rijk oppervlakte water kan er onder de kragge bagger worden afgezet en zich een veraarde Oh-horizont ontwikkelen op de Om-horizont. Door isolatie kan zich een regenwaterlens vormen waarin een veenmosmor tot ontwikkeling komt, gekenmerkt door nauwelijks verteerd veenmos (Of-horizont). Bij sterke verdroging zet de veraarding van Om-horizonten door en worden er meer of minder dikke Oh-horizonten gevormd. Onder zure omstandigheden kan daarbij bovendien een ectorganische L- en F-horizont worden gevormd.



Figuur 16 Ontwikkeling van humusprofielen in laagveenbroekbossen

7.1.4 Humusvormen in hardhoutooibossen

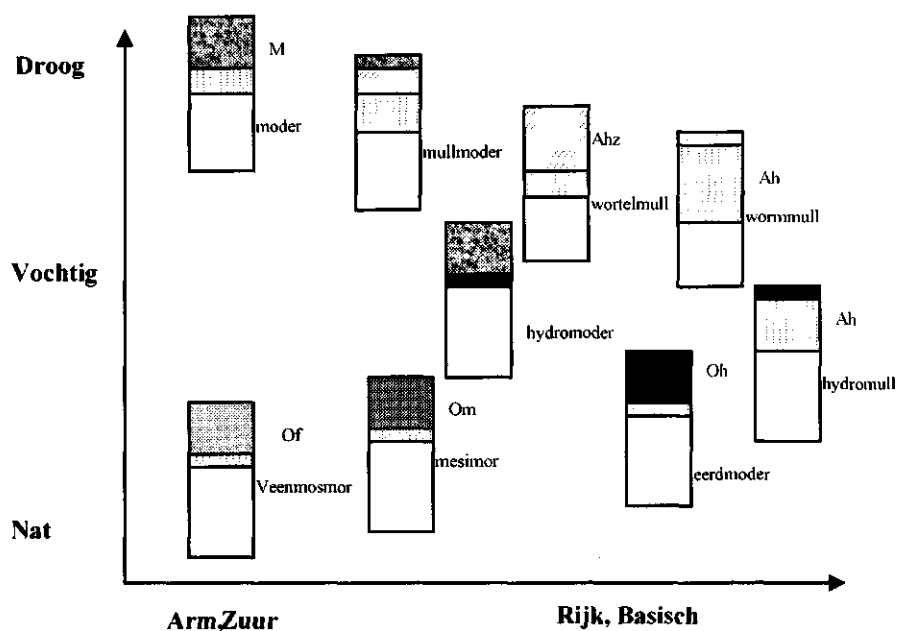
In figuur 17 zijn twee humusprofielen weergegeven die kenmerkend zijn voor ontwikkelingen in hardhoutooibos. Dit voorbeeld illustreert dat een humusprofiel ook misleidende informatie kan opleveren. Op het eerste gezicht lijkt de aanwezigheid van een ectorganische L- en F-horizont op plaatsen in deze bossen die slechts incidenteel overstromen te suggereren dat de ontwikkeling vergelijkbaar is met andere matig arme tot matig rijke bossen. Door natuurlijke uitspoeling ontwikkelt zich een ectorganisch profiel en neemt de betekenis van het humusprofiel voor het ecosysteem toe. De vegetatie lijkt hier na te ijlen op de humusontwikkeling. Echter na elke overstroming (eens per twintig tot dertig jaar) blijkt het humusprofiel door de overstroming door erosie te verdwijnen en zorgt de aanvoer van slib en of basenrijk materiaal, voor omstandigheden die wel degelijk bij het hardhoutooibos behoren.



Figuur 17 Humusprofielen in relatie tot andere ecosysteemcomponenten in hardhoutooibos.

7.1.5 Humusvormen in schraalgraslanden

In figuur 18 zijn enkele kenmerkende humusvormen van blauwgrasland op zandgrond gerangschikt langs een as voor de vocht- en basentoestand. Onder basenrijke vochtige omstandigheden zorgt een rijk bodemleven voor een intensieve afbraak van organische stof en homogenisatie van de humus met de minerale bovengrond. Karakteristiek voor deze situatie is een wormmull. Verdroging treedt doorgaands op als gevolg van het wegvallen van kwel, waardoor op den duur ook verzuring optreedt. Typerend voor een beginnende verdroging is een wortelmull, waarvoor de ontwikkeling van een horizont met veel dood slecht afgebroken wortelmateriaal (Ahz-horizont) kenmerkend is. Bij voortschreitende verzuring kan uiteindelijk een hoofdhorizont van slechtafgebroken wortelmateriaal (wortelmat) tot ontwikkeling komen: mullmoders. In dit stadium vestigt zich vaak ook veenmos hetgeen uiteindelijk tot horizontvorming kan leiden.



Figuur 18 Ontwikkeling van humusprofielen in schraalgraslanden

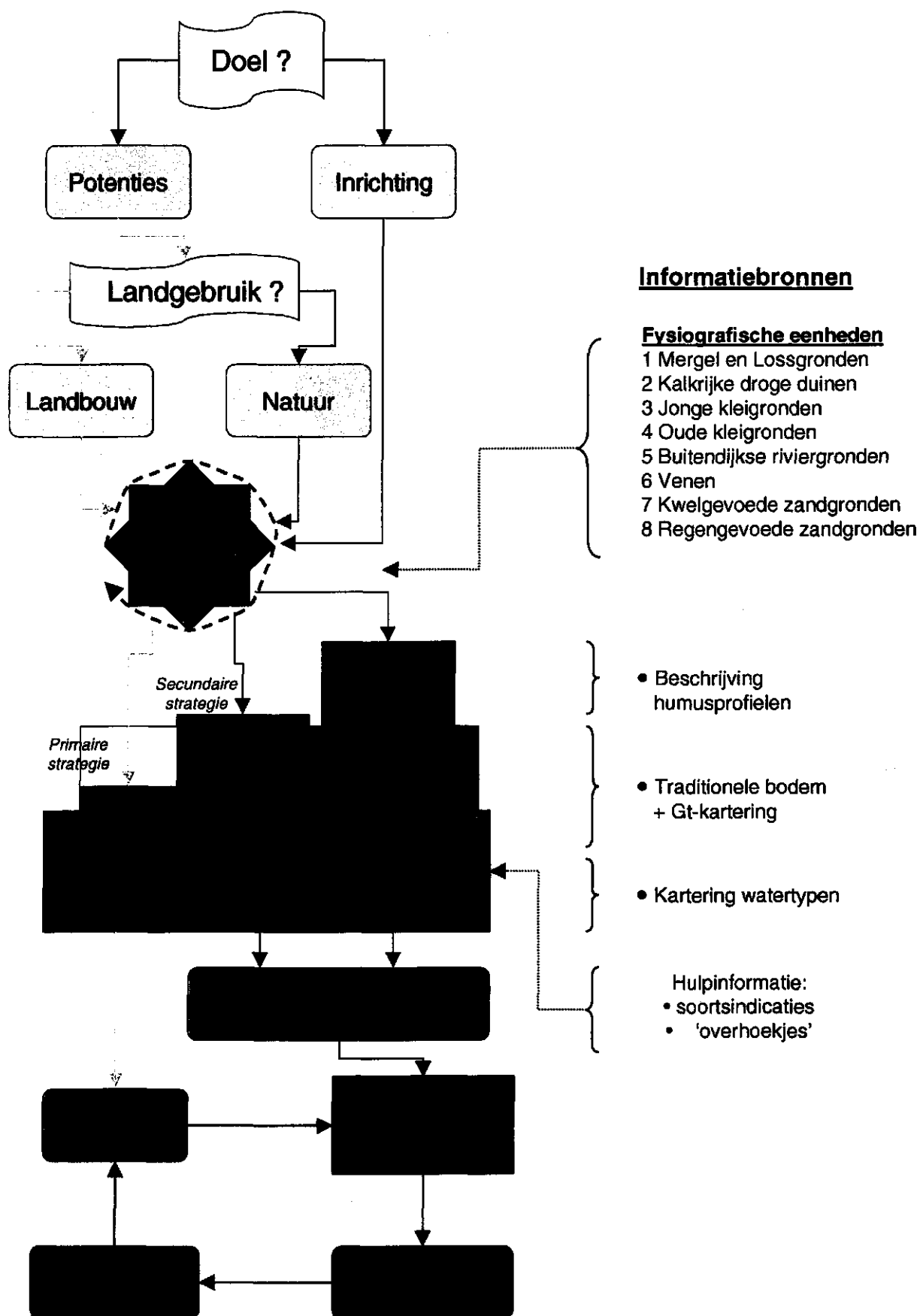
Onder natte basenrijke omstandigheden zijn *eerdmoders* de typerende humusvormen, gekenmerkt door sterk gehumificeerde organische O-horizonten. Bij verzuring als gevolg van verdroging ontwikkelen zich *hydromoders* met dikke wortelhorizonten.

7.2 Toepasbaarheid in ecologische landevaluatie

De ecologische hoofdstructuur van Nederland wordt voor een belangrijk deel op gebiedsniveau vorm gegeven in landinrichtingsprojecten. Hiertoe zijn veelal specifieke inrichtingsmaatregelen nodig. Landbouwecosystemen worden door kunstmatige maatregelen als bekalking, bemesting en drainage gekenmerkt door een endorganisch humusprofiel (= bouwvoor). Ploegen heeft de rol van bioturbatie overgenomen. Een endorganisch profiel is gerelateerd aan een hoge kringloop-snelheid van nutriënten, hetgeen voor een landbouwecosysteem gewenst is. Door landbouwkundig gebruik is de natuurlijke differentiatie in het landschap sterk genivelleerd. De verbroken relatie tussen de onafhankelijke en afhankelijke factoren van landbouwecosystemen wordt bij natuurontwikkeling hersteld, maar vergt een lange aanlooptijd. Ecologische landevaluatie beoogt de ontwikkelingsmogelijkheden voor natuur in beeld te brengen. Hierbij is behoefte aan kaarten met ecologische potenties in relatie tot gewenste natuurdoeltypen. De ecologische bodemtypologie kan daarbij behulpzaam zijn.

Bij natuurontwikkeling zijn op hoofdlijnen twee strategieën denkbaar, waarbij het probleem van de voedingstoestand van de bodem het uitgangspunt vormt (zie figuur 19). Bij de eerste strategie kan de bouwvoor (geheugen) worden verwijderd om de ecosysteemontwikkeling te laten starten op het oorspronkelijke moedermateriaal. Omdat de ecosysteemontwikkeling hierbij sterk wordt gestuurd door de primaire factoren stellen wij voor dit een primaire strategie te noemen. De tweede strategie is om de ecosysteemontwikkeling te laten starten met de aanwezige bouwvoor waarbij vooral de secundaire factoren richtinggevend zullen zijn: een secundaire strategie. Voor beide strategieën is een combinatie van de klassieke bodemkundige informatie en de humusvorm nodig om de potentie voor natuurontwikkeling te kunnen inschatten. Figuur 19 geeft in een schema aan welke informatie nodig is in afhankelijkheid van de vraagstelling en landgebruik. Een instrument dat kan worden ingezet om op basis van een ecosysteemanalyse een prognose van de potenties voor natuurontwikkeling te maken, is in ontwikkeling (NATLES). Het schema laat zien dat een ecologische landevaluatie een onderdeel kan zijn van een ecohydrologische systeemanalyse. Een analyse van de humusvorm is daarbij slechts een facet van de ecologische bodemevaluatie. Afhankelijk van de omstandigheden leveren een geomorfologische analyse of een traditionele bodemkartering eveneens belangrijke informatie.

In een tweede deelrapport over ecologische bodemtypologie zal een nadere uitwerking plaatsvinden van factoren en methoden die bij ecologische landevaluatie in het kader van landinrichting van belang zijn. In onderstaande paragrafen wordt daartoe een eerste aanzet gegeven.



Figuur. 19 Schema met een overzicht van informatiebronnen die afhankelijk van doelstelling en landgebruik kunnen worden ingezet bij ecologische landevaluatie

7.2.1 Primaire strategie

Vanwege hun dominante invloed op de ecosysteemontwikkeling kunnen de ontwikkelingsperspectieven van een "initieel" ecosysteem worden ingeschat op basis van de onafhankelijke factoren moedermateriaal, waterkwantiteit en waterkwaliteit. Combinaties van deze onafhankelijke factoren worden fysiotope genoemd, waarvan de ruimtelijke verspreiding op een fysiotopekaart kan worden weergegeven.

Gegevens over moedermateriaal en waterkwantiteit kunnen vrij eenvoudig worden herleid uit de traditionele bodem- en Gt-kartering die voor landinrichtingsgebieden wordt uitgevoerd. Een dergelijke fysiotopekaart zou daarbij iets meer moeten worden toegespitst op ecologisch relevante klassegrenzen (kalkdiepte en -gehalte, leem-, organische stofgehalte, zie bijv. tabel 2, 4 en 5). Patronen van de waterkwaliteit ontbreken echter. Pogingen om dit hiaat op te vullen zijn ondernomen door Kemmers et al. (1993) via meting van het elektrisch geleidingsvermogen als voorspeller van ecologisch relevante watertypen. Een andere mogelijkheid is de inventarisatie van plantensoorten die indicatief zijn voor bepaalde watertypen. Tenslotte kan informatie over de waterkwaliteit worden verkregen via een interpretatieve methode, waarbij gebruik wordt gemaakt van kenmerken van bodemtypen die informatie verstrekken over het dominante hydrologische proces tijdens de bodemvorming (uitspoelingshorizonten, gley-verschijnselen, planteresten in veen; Kemmers & van der Bolt, 1997). Een probleem bij deze interpretatieve benadering is dat bodems fossiele hydrologische informatie kunnen bevatten, omdat bv. kenmerkende kwel voor de bodemgenese is verdwenen. Toetsing van de relatie tussen bodemtypen en watertypen via een waterkwaliteitsmeetnet eventueel uitgebreid met de analyse van humusprofielen is dan aan te bevelen.

In een landinrichtingsgebied kan het voorkomen van natuurlijke elementen (kleine bosjes, 'overhoekjes', kleine natuurgebiedjes) worden aangegeven op een fysiotopekaart. Aan de hand van het humusprofieltype van deze natuurlijke elementen is een inschatting te maken van de aan- of afwezigheid van effectieve kwel en de verdrogingsstoestand van het fysiotoop (zie fig 19). Het humusprofieltype wordt hierbij gebruikt als een graadmeter voor de hydrologische toestand van het gehele fysiotoop.

Met de geschetste evaluatiemethode is, afhankelijk van de gewenste natuurdoeltypen en beheersvorm, doorvertaling van potenties naar verwachte vegetatie- of natuurdoeltypen mogelijk op een vrij hoog abstractieniveau (verbondsniveau of hoger).

7.2.2 Secundaire strategie

Natuurontwikkeling in situaties waarbij de bouwvoor niet wordt verwijderd, is afhankelijk van de invloed van waterkwaliteit, waterkwantiteit en het initieële moedermateriaal (=bouwvoor). Bij deze strategie is daarom deels dezelfde informatie nodig om ontwikkelingsperspectieven te schetsen als bij de vorige strategie. Een complicerende factor is de blijvende aanwezigheid van een bouwvoor. Dit

anthropogeen beïnvloede moedermateriaal zal over het algemeen een *akkerzandmull* als humusvormtype hebben, gekenmerkt door een snelle nutriëntenkringloop.

Bij een positie in een infiltratiegebied zal zich een ecosysteemontwikkeling inzetten in de richting van verarming en verzuring, waarbij zich na verloop van tijd via een *ectozaandmull* tenslotte een *ectomullmoder* ontwikkeld. *Mullmoders* zijn typisch voor rijk uitgangsmateriaal en worden gekenmerkt door accumulatie van strooisel. De snelle kringloop met een rijk aanbod van nutriënten uit het landbouwverleden verschuift geleidelijk naar een trage kringloop met matige beschikbaarheid van nutriënten. Over de snelheid van dit proces en van nutriëntenverliezen uit het systeem (uitspoeling) is nog weinig bekend. Op bemeste en verrijkte, van oorsprong arme gronden, verloopt de vertering van de organische stof, ook bij vrijwel kalkloze situaties snel. Zelfs op al jaren geleden verlaten akkertjes in de duinen is dit bemestingseffect nog merkbaar door het ontbreken van ectorganische horizonten (behalve een dunne L) in het humusprofiel. Dit is van belang voor de bosontwikkeling op verlaten akkers in ontkalkte duin- en dekzandgebieden. Ontwikkeling van een permanente ectorganische humushorizont wijst in deze situatie erop dat de nutriëntenhuishouding de min of meer natuurlijke bij het moedermateriaal behorende toestand nadert. Het humusprofiel is hier dus, samen met de vegetatie een indicator van de vorderingen van de bosontwikkeling op verlaten akkers.

In gebieden waar effectieve kwel aanwezig of te herstellen is, zal de bodem zich ontwikkelen in de richting van '*Mullmoders*'. De verzuring zal achterwege blijven, waardoor permanent gunstige afbraakcondities aanwezig zijn. Relatief voedselrijke vochtig tot natte omstandigheden zullen hier blijvend aanwezig zijn. De humusvorm zal steeds een endorganisch karakter behouden. Met name voor vernalte standplaatsen is te verwachten dat de mobiliteit van fosfor door desorptie zal kunnen toenemen. Stikstof kan door denitrificatie verdwijnen. Ook hier is weinig bekend over de snelheid van nutriëntenverliezen uit de kringloop. De potentiële vegetaties zullen waarschijnlijk een ruiger en rijker karakter houden dan op basis van het oorspronkelijke moedermateriaal (zie vorige strategie) kan worden verwacht.

8 Aanbevelingen

Bij alle toepassingen geldt dat het humuscompartiment niet op zichzelf staat maar belangrijke aanvullende informatie verschaft over het ecosysteem. Het is mogelijk om hiaten in informatie over vegetatie, cultuurhistorie, hydrologie en bodem te vullen met de analyse van het humusprofiel. Om dit te bewerkstelligen is het nodig dat:

- Het raamwerk verder wordt uitgebreid met referenties uit goed onderzochte ecosystemen;
- De typologie verder wordt ontwikkeld en aangepast via fundamenteel onderzoek en via veldonderzoek;
- Onderzoek wordt uitgevoerd naar successiereksen van humusvormen met speciale aandacht voor climaxstadia;
- Onderzoek wordt bevorderd naar het gedrag en de eigenschappen van humus in relatie tot nichedifferentiatie voor plantensoorten tijdens de successie (o.a. micromorfologie, bodemchemie, decompositie, elementverhoudingen);
- Onderzoek wordt bevorderd naar beïnvloeding van elementkringlopen door bomen als Linde en Esdoorn;
- Onderzoek naar de variabiliteit en karteringsmethoden van humusvormen wordt voortgezet;
- Onderzoek wordt verricht naar correlaties tussen lange termijn ontwikkelingen en menselijke ingrepen in het humusprofiel (palynologie);
- Een praktisch uitvoerbaar en kostenbeparend "meet- en analyse protocol" voor grondwater, bodem en humus wordt opgesteld;
- Onderzoek wordt uitgevoerd naar de ontwikkeling van humusprofielen op verlaten landbouwgronden;
- Van lang niet alle ecosysteemttypen is het gedrag van de humusvorm in reactie op veranderende omstandigheden bekend. Verder onderzoek hiernaar is nog nodig om een volledig beeld te verkrijgen;
- In natuurontwikkelingsgebieden waarbij geen humusprofiel aanwezig is voor bodemkundige informatie onderzoek wordt uitgevoerd naar de relevantie van secundaire of primaire ecosysteemfactoren en relevante klassegrenzen daarvan;
- Een methode wordt ontwikkeld voor beoordeling van natuurontwikkelingsmogelijkheden van (te) verlaten landbouwgronden

Literatuur

- Aaby, B., 1983. Forest development, soil genesis and human activity illustrated by pollen and hypha analysis of two neighbouring podzols in Draved Forest, Denmark. *Geological Survey of Denmark*, II. Series. No 114. København.
- Babel, U., 1996. Zum Stand unseres Nicht-Wissens über Humusformen. Uit "*Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*", 80, 201 - 204.
- Bakker, H. De en J. Schelling, 1989. Systeem van bodemklassificatie voor Nederland; de hogere niveaus. PUDOC, Wageningen.
- Bakker, M. & L. van Tweel-Groot, 1998. Historische referentiebeelden voor de bossen van Twente; historische ligging, beheer en samenstelling van bossen als referentie voor het huidige bosbeheer. DLO Staring Centrum. Rapport 521. Wageningen.
- Barrat, B.C., 1964. A classification of humus forms and micro-fabrics of temperate grasslands. *Journal of Soil Science* 15,2: 342-356
- Besse, 1996. Bodemonderzoek in vochtige en natte duinvalleien in de Amsterdamse Waterleidingduinen; een inventariserend onderzoek naar de relatie tussen grondwater, humusprofiel en vegetatie. Rapport. FGBL. Universiteit van Amsterdam.
- Bisdorf, E.B.A., O.H. Boersma, D. Schoonderbeek, J.D. Schreiber & J.F.Th. Schoute, 1996. Micromorfologische technieken en humusprofielkenmerken. In: Kemmers, R.H. (ed.), De dynamiek van strooisellagen. DLO Staring Centrum. Rapport 438. Wageningen.
- Blom, J. van, R. Coppus, L.C. Dekker & 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.
- Blume, H.P., L. Beyer, 1996. Zur Definition von Humusformen ackerbaulichen genutzter Böden I. Diagnostische Merkmale. Uit "*Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*", 80, 183 - 185.
- Bongers, T., 1988. Mogelijkheden ecologische bodemtypologie op de nematodenfauna. Uit *Nematoden in ecosystemen*. IVM-vakgroep Nematologie. Wageningen.
- Brethes, A., J.J. Brun, B. Jabiou, J.F. Ponge & F. Tactain, 1992. Humus form reference base. Excerpts from *Referentiel Pedologique*. INRA. Paris.
- Broekmeyer, M.E.A., 1995. *Bosreservaten in Nederland*. Wageningen, Instituut voor Bos- en Natuuronderzoek. IBN-rapport 133.

Clerkx, A.P.P.M., K.W. van Dort, P.W.F.M. Hommel, A.H.F. Stortelder, J.G. Vrielink, R.W. de Waal en R.J.A.M. Wolf, 1994. *Broekbossen van Nederland*. IBN-rapport 096. IBN-DLO/SC-DLO. Wageningen

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

Delft, S.P.J. van, 1995b. Gebruik van humusprofielen bij kartering standplaatsen in natte schraalgraslanden. In: Schoute et al.(eds), 1995. 'Waarheen met het landelijk gebied?' Alphen aan den Rijn, Samson HD Tjeenk Willink.

Delft, S.P.J. van, 1997. Decomposition of organic matter in grassland ecosystems; effects of litter quality and earthworm activity. Wageningen Agricultural University. Master thesis

Dijkstra, E.F., 1996. Development of humus profiles under Scots pine on driftsands. Thesis. Universiteit van Amsterdam.

Doing, H., 1988. Landscape ecology of the Dutch Coast. Leiden. European Union for Coastal Conservation.

Ehwald, E., 1958. Die einteilung der Waldhumusformen. Uit: *Forstliche Standortsaufnahme, Begriffe und fach ausdrücke*. 1.Aufl.Hrsg.Arbeitskreis Standortskartierung, Hiltrup bei Münster. 23-39

Emmer, I, 1995. *Humusform and soil development during a primary succession of monoculture Pinus sylvestris forests on poor sandy substrates*. Proefschrift, Universiteit van Amsterdam.

Emmer, I, 1996. Ontwikkeling van de stooisellaag als sturende factor in de primaire successie van een grove-dennenbos. In: R.H. Kemmers (ed.). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, Wageningen, 6 Oktober 1995.

Gleichman-Verheijen, E.C., H.E. van Capellenveen, J.A.Klijn, J.F.Th. Schoute, 1991. *Naar een ecologische klassificatie en beoordeling van bodems*. Raad voor het milieu en Natuuronderzoek. Publikatie nr.54. Rijswijk.

Green R.N., R.L.Trowbridge en K.Klinka, 1993. *Towards a taxonomic classification of humusforms*. Forest Science Monograph 29. Washington D.C. The Society of American Foresters.

Hartmann.F., 1951. Der Waldboden. Humus-, Boden- und Wurzeltypen als Standortanzeiger. Österreichisches Produktivitäts-Zentrum. Wien.

Hommel, P.W.F.M., G.H.P. Dirkx, A.H. Prins, H.P. Wolfert & J.G. Vrielink, 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.

Jansen, P.C., R.H.Kemmers en P.Mekkink, 1994. *Ecohydrologische systeembeschrijving van het landgoed 'De Wildenborch'*. SC-DLO, Rapport 304. Wageningen.

Jenny, H., 1941. *Factors of soil formation*. McGraw-Hill, New York.

Jenny, H., 1980. *The Soil Resource. Origin and Behavior*. Ecological Studies 37. Springer-Verlag, New-York.

Kemmers, R.H., 1986. *Perspectives in modeling of processes in the root zone of spontaneous vegetation at wet and damp sites in relation to regional watermanagement*. CHO-TNO, Verslagen en Mededelingen No. 34. Den Haag

Kemmers, R.H., 1993. Staalkaarten voor een ecologische landevaluatie. *Landschap* 10(1993)/1: 5-22

Kemmers, R.H., 1996a. *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., 1996b. Humusprofielen en bodemprocessen; beoordeling van mogelijkheden voor wateraanvoer. *Landschap* 13/3

Kemmers, R.H., F. Brouwer & J.R. Mulder, 1993. Kartering van waterkwaliteit; het elektrisch geleidingsvermogen als voorspeller van ecologisch relevante watertypen. *Landschap* 10(2).

Kemmers, R.H., P.C. Jansen & P.Mekkink, 1995. Humus form profiles and ecohydrological systems analysis. In Schoute et al. (eds), *Scenario studies for the rural environment*, 489-494. Kluwer Academic Publishers.

Kemmers, R.H. & 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). Wageningen. DLO Staring Centrum. Rapport 502.

Kemmers, R.H., P. Mekkink & 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., R.W. de Waal & P. Mekking, 1999. Ruimtelijke variabiliteit van eigenschappen van humusprofielkenmerken in een Eiken-Berkenbos op arme zandgrond. DLO Staring Centrum. Rapport 647. Wageningen.

Klijn, F., 1997. *A hierarchical approach to ecosystems and its implications for ecological land classification*. Proefschrift, Rijksuniversiteit te Leiden

Klijn, F., A. ter Harmsel & C.L.G. Groen, 1992. *Ecoseries 2.0. Naar een ecoserieklassificatie, met een praktische uitwerking op basis van gegevens van de Landschapsecologische Kartering Nederland ten behoeve van het eco-hydrologisch voorspellings model DEMNAT-2*. CML-rapport, Leiden

Klijn, F. en R.W. de Waal, 1992. Ecologische bodemklassificatie. Een pragmatische aanpak vanuit de standplaatsbenadering. *Landschap* 9(1992)/3:175-187

Klinka, K., R.N. Green, R.L. Trowbridge en L.E. Lowe, 1981. *Taxonomic classification of humusforms in ecosystems of British Columbia, First Approx.* Min of Forest. Prov. of British Columbia.

Kooyman, A.M., 1993. Changes in the bryophyte layer of rich fens as controlled by acidification and eutrophication. Thesis. Rijksuniversiteit Utrecht.

Kubiena, 1953. *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. Enke, Stuttgart

Miles, J., 1985. Soil in the ecosystem. Uit *"Ecological interactions in soil. Plants, Microbes and Animals"*. Edited by Fitter, Atkinson, Read and Usher. special publication no. 4 of the British Ecological Society, 407-427. Blackwell Scientific Publications. Oxford.

Müller, P.E. 1887. *Studien über natürlichen Humusformen und deren Einwirkung auf Vegetation und Boden*. Springer, Berlin.

Rehfuß, K.E., 1981. *Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung*. Parey, Hamburg/Berlin.

Runhaar, J. C.L.G. Groen, R. Van Der Meijden en R.A.M. Stevers, 1987. *Een nieuwe indeling in ecologische groepen binnen de Nederlandse flora*. Uit Gorteria deel 13, nummer 11/12-4 dec 1987. Rijksherbarium, Leiden

Salm, C. van der, 1999. Weathering in Forest Soils. Thesis University of Amsterdam. Drukkerij Elinkwijk B.V. Utrecht.

Scheffer, F. und P. Schachtschabel, H.P. Blume, K. H. Hartge en U. Schwertmann, 1982. *Lehrbuch der Bodenkunde*, 11e druk. Enke, Stuttgart

Sevink, J., R.H. Kemmers & I.M. Emmer, 1993. *Soil research in Dutch forest reserves: the implications of spatial and temporal soil variability*. In: Broekmeyer, M.E.A., W. Vos en H. Koop (eds), *European Forest Reserves*. Pudoc, Wageningen.

Sinnige, C.A.M., W.L.M. Tamis & F.Klijn, 1991a. *Aanzet tot een ecotopenklassificatie toegespitst op de bodemfauna*. CML-report 75, Leiden.

Sinnige, C.A.M., W.L.M. Tamis & F.Klijn, 1991b. *Indeling van bodemfauna in ecologische soortengroepen*. CML-report 80, Leiden.

Sioen, G., J. Neiryneck, D. Maddelein en B. Muys, 1991. *Site classification in a mixed hard-wood forest (Hallerbos, Belgium) with a homogeneous ground vegetation dominated by Hyacinthoides Non-scripta (L)*. Laboratory of Forestry University of Ghent.

Sival, F.P., 1997. Dune soil acidification threatening rare plant species. Thesis. Rijksuniversiteit Groningen

Sival, F.P. & A.P. Grootjans, 1996. Dynamics of seasonal bicarbonate supply in a dune slack: effects on organic matter, nitrogen pool and vegetation succession. *Vegetatio* 126:39-50

Stevens, R.A.M., J. Runhaar, H.A. Udo de Haes & C.L.G. Groen, 1987. Het CML-ecotopensysteem, een landelijke ecosysteemtypologie, toegespitst op de vegetatie. *Landschap* 4: 135-150.

Stortelder, A.H.F. , P.W.F.M. Hommel & R.W. de Waal, 1998. *Broekbossen van Nederland*. KNNV. Utrecht.

Stockmarr, J., 1975. Retrogressive forest development, as reflected in a mor pollen diagram from Mantingerbos, Drenthe, The Netherlands. In: *Paleohistoria XVII*. 37-52. Fibula-Vandishoeck, Bussum

SWNBL, 1986. *Interimrapport 1983-1985*. Studiecommissie waterbeheer, Natuur en Landschap. Utrecht.

SWNBL, 1988. Water boven water; studieresultaten 1983-1987. Utrecht

Vos, W. & A.H.F. Stortelder, 1992. *Vanishing Tuscan landscapes*. Pudoc, Wageningen.

Verstraten, J.M., 1982. *De bodem als bufferend systeem tegen verzuring, inaugurele rede aan de Universiteit van Amsterdam*, 18 oktober 1982.

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 bosecosystemen 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.

Wagner, A., 1968. Ökoserie, Ökoseriengruppe und Standortsguppe, neue Begriffe in der forstlichen Standortsaufnahme. *Allgemeine Forstzetschrift* 42: 731-732.

Wirdum, G. van, 1979. Dynamic aspects of trophic gradients in a mire complex. CHO-TNO. Proc. and Inform. No. 25. The Hague.

Wirdum, G. van, 1991. Vegetation and hydrology of floating rich fens. Datawyse. Maastricht

Niet gepubliceerde bronnen of publicaties in voorbereiding:

Hommel, P.W.F.M. en R.W.de Waal. *Ecosysteem van Dianthus deltoides op de Junner Koelanden langs de Overijsselse Vecht*. In voorb.

Jansen, P.C., R.H. Kemmers, P. Mekking & R.W. de Waal, 1996. *Humusprofielen en diagnose van kwelmilieu's langs de Hierdensche Beek*. DLO-Staring Centrum, Interne Mededeling 393, Wageningen.

Mekking, P., J.G. Vrielink & R.W. de Waal, ongepubliceerd. Analyseresultaten bodemonderzoek hellingbossen in Zuid-Limburg.

Projectgroep Bosecosystemen, in voorb. *Ooibossen van Nederland*. IBN-DLO/SC-DLO, Wageningen.

Waal. R.W. de, in voorb. *Humusvormen van de rijke bossen*. SC-DLO, Wageningen.
Waal. R.W. de, in voorb. *Semiterrestrische humusvormen*. SC-DLO, Wageningen.

Waal R.W. & R.H. Kemmers, in voorb. Humusprofielonderzoek OBN Koelbroek

RAAMWERK ECOLOGISCHE BODEMTYPOLOGIE FYSIOGRAFISCHE EENHEDEN

schaal 1 : 1 000 000



- Loss en Mergelgronden
- Kalkrijke droge duinen
- Jonge kleigronden
- Oude kleigronden
- Buitendijkse riviergronden
- Venen
- Kwelgevoede zandgronden
- Regengevoede zandgronden



0 10 50 km



DLO - STARRING CENTRUM

Realisatie: F. de Vries
Bron: Bodemkaart, 1 : 50 000
Projectnummer 81045
juni 1999