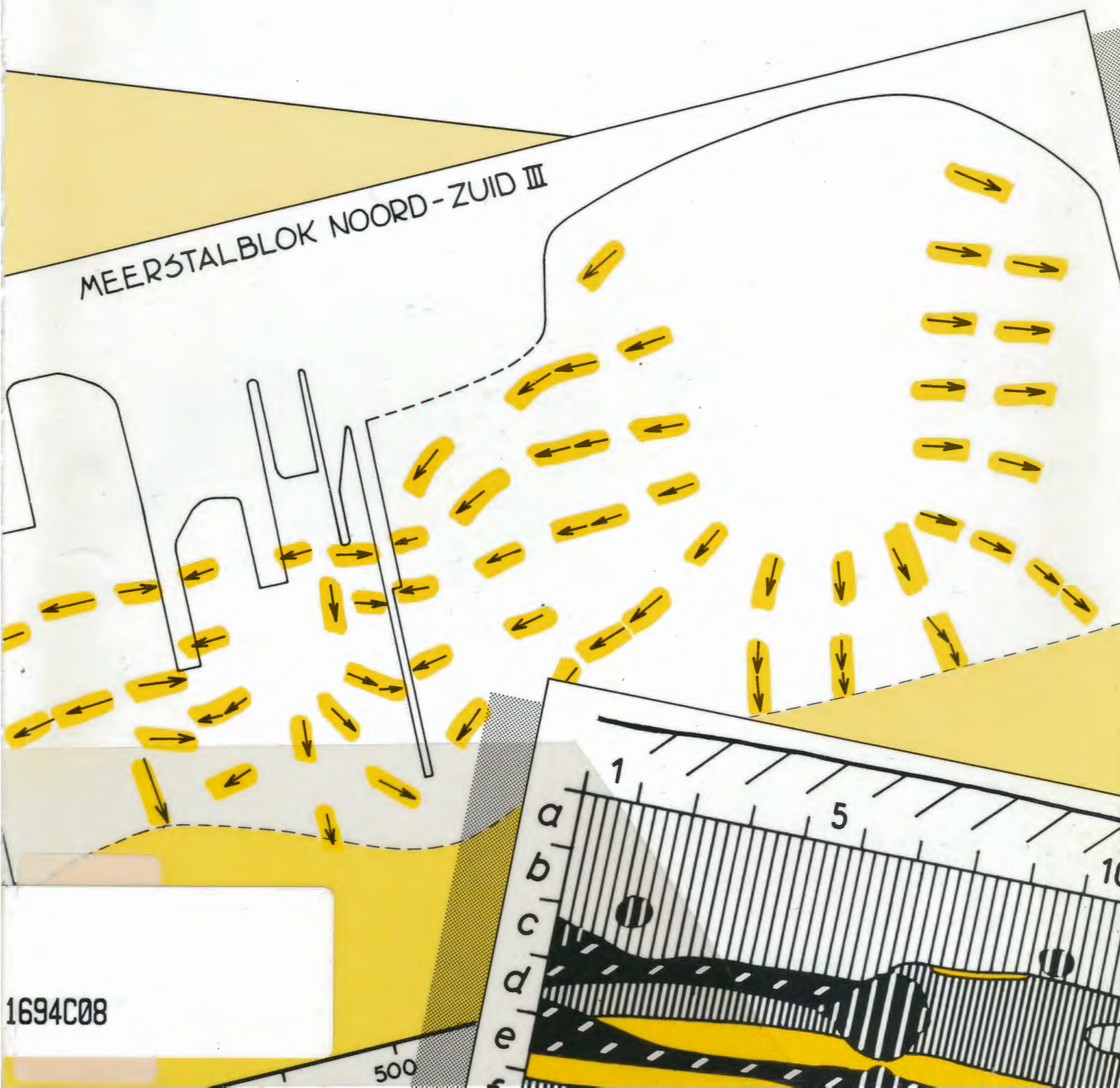


DE HYDROLOGIE VAN HOOGVEEN SYSTEMEN

J. G. STREEFKERK
EN W. A. CASPARIE



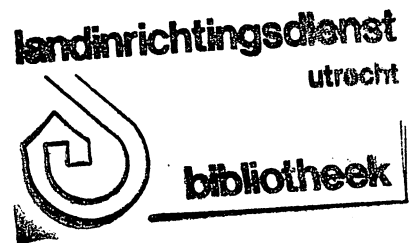
staatsbosbeheer



1694C08

DE HYDROLOGIE VAN HOOGVEENSISTEMEN
UITGANGSPUNTEN VOOR HET BEHEER

J.G. Streefkerk¹ & W.A. Casparie²



¹ Staatsbosbeheer, Utrecht

² Biologisch-Archaeologisch Instituut, Groningen

INHOUD

Blz.

TEN GELEIDE

DEEL I DE HYDROLOGIE VAN HOOGVEENSYSTEMEN

1.	INLEIDING	1
1.1.	<u>Hoogveen in Nederland en zijn algemene betekenis</u>	1
1.2.	<u>De waterhuishoudkundige problematiek van bestaande hoogveenrestanten</u>	2
2.	RUIMTELIJKE EN TEMPORELE ASPECTEN EN UITGANGSSITUATIES VAN HOOGVEENVORMING	3
2.1.	<u>Algemeen</u>	4
2.2.	<u>Ontstaan en ontwikkeling; ruimtelijke en temporele aspecten</u>	4
2.2.1.	Inleiding	4
2.2.2.	De eerste veenafzettingen	5
2.2.3.	Moerasveenvormingen	6
2.2.4.	Veenrandgebied, laggzone	7
2.2.5.	Kwelveen	7
2.2.6.	Het begin van hoogveenvorming	8
2.2.7.	Sterk vergaan mosveen	9
2.2.8.	Bult-slenksystemen en gewelfde complexen	9
2.2.9.	Weinig vergaan mosveen en meerstallen	13
2.2.10.	Contactzones en hoogveenmeren	14
2.3.	<u>Uitgangssituaties voor hoogveenvorming</u>	14
2.3.1.	Uitgangssituaties van de (minerale) ondergrond, waarbij Sphagnumveen tot ontwikkeling kon komen	14
2.3.2.	Veenvormende substraten, in het verleden ontstaan, waarbij toenemende oligotrofie een rol speelde aan het begin van de hoogveenvorming	16
2.3.3.	Door recent of subrecent menselijk ingrijpen in veenafzettingen ontstane sterk veranderde hydrologische situaties	17
3.	KLIMAAT - DE PLAATS VAN NEDERLANDSE HOOGVENEN IN EUROPA	19
3.1.	<u>Algemeen</u>	19
3.2.	<u>Klimaat en hoogveen in Europa: ruimtelijk gezien</u>	20
3.2.1.	Verbreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa	20
3.2.2.	Verspreiding van hoogvenen in Nederland in relatie tot het klimaat	24

	<u>Blz.</u>
3.3. <u>Klimaat en hoogveen: temporeel gezien</u>	26
3.3.1. <u>Veengroei en klimaatsontwikkelingen</u>	27
3.3.2. <u>Meteorologisch onderzoek naar klimaatsontwikkelingen</u>	31
3.4. <u>Conclusies</u>	33
4. <u>OECOLOGISCHE ASPECTEN VAN EEN HOOGVEENSYSTEEM</u>	35
4.1. <u>Algemeen</u>	35
4.2. <u>Vocht- en voedselhuishouding van veenmossen</u>	35
4.2.1. <u>Interne en externe vochthuishouding</u>	35
4.2.2. <u>Voedselhuishouding</u>	37
4.3. <u>Specifieke abiotische kenmerken van hoogvenen</u>	38
4.3.1. <u>Morfologie van het veenoppervlak in relatie tot de waterhuishouding</u>	38
4.3.2. <u>Karakterisering van acrotelm en catotelm</u>	41
4.3.3. <u>Systeemgebonden afvoer</u>	47
4.3.4. <u>Ombrotrofie als kenmerk van hoogvenen</u>	50
4.4. <u>Conclusies</u>	55
5. <u>ENKELE BELANGRIJKE HYDROLOGISCHE KENMERKEN UIT WATERBALANSSTUDIES VAN HOOGVENEN IN HET BIJZONDER VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE</u>	57
5.1. <u>Algemeen</u>	57
5.2. <u>De waterbalansvergelijking voor hoogvenen</u>	57
5.3. <u>Gevolgtrekkingen uit buitenlandse meerjarige waterbalansstudies van levende hoogveengebieden</u>	58
5.3.1. <u>De neerslag</u>	59
5.3.2. <u>Neerslag en verdamping van hoogvenen, gaande van West naar Oost-Europa en in het bijzonder de Nederlandse situatie</u>	59
5.3.3. <u>De relatie tussen neerslag en afvoer uit hoogvenen, gaande van West naar Oost in Europa en in het bijzonder de Nederlandse omstandigheden</u>	61
5.4. <u>Nadere beschouwing van de verdamping</u>	63
5.4.1. <u>Gemiddelde jaarlijkse verdamping van hoogvenen met verschillende begroeiingen</u>	63
5.4.2. <u>Verdamping van veenmossen</u>	64
5.5. <u>Oppervlakkige afvoer uit hoogveengebieden</u>	65
5.6. <u>Ondergrondse afvoer; in het bijzonder de wegzijging</u>	66
5.6.1. <u>Horizontale en verticale doorlatendheid van het veen</u>	66
5.6.2. <u>Wegzijging</u>	68

	<u>Blz.</u>
5.7. <u>Proeve van de waterbalans van een levend hoogveen voor de Nederlandse situatie</u>	69
5.8. <u>Conclusies</u>	71
6. CULTUURHISTORISCHE ONTWIKKELING; EINDE VAN GROOTSCHALIGE HOOGVEENVORMING EN UITGANGSSITUATIES VOOR HET HUIDIGE HOOGVEENBEHEER	72
6.1. <u>Algemeen</u>	72
6.2. <u>De grootschalige ontginning van hoogveen</u>	73
6.3. <u>Inklinkingseffecten van begreppeling van levend hoogveen</u>	74
6.4. <u>Vervening; van hoogveen tot ontginningslandschap</u>	76
6.5. <u>Uitgangssituaties voor het huidige hoogveenbeheer</u>	78
6.5.1. Licht ontwaterde niet vergraven hoogveenrestanten; (t.b.v. de boekweitbrandcultuur)	78
6.5.2. Matig ontwaterde, niet vergraven hoogveenrestanten; (t.b.v. de bovenveencultuur)	79
6.5.3. Deels afgegraven hoogveenrestanten	79
6.5.4. Tot een restveenlaag afgegraven hoogveenrestanten	79
6.5.5. Afgegraven hoogveen (zonder restveenlaag)	79
6.5.6. Dalgronden	80
6.6. <u>Overige uitgangssituaties voor het hoogveenbeheer</u>	80
6.6.1. Pingoruïnes	80
6.6.2. Afgesnoerde beekdalen	81
6.6.3. Stuifkuilen	81
6.6.4. Hangwaterveentjes	82
6.6.5. Keileemdepressies	82
6.6.6. Afgesneden meanders	82
6.6.7. Antropogene situaties	82
 DEEL II <u>UITGANGSPUNTEN VOOR HET BEHEER</u>	
7. INLEIDING	84
8. BEHEERSDOELSTELLINGEN, MOGELIJKHEDEN EN RANDVOORWAARDEN VAN HOOGVEENVORMING: IN HET BIJZONDER VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE	85
8.1. <u>Beheersdoelstellingen</u>	85

	<u>Blz.</u>
8.2. <u>Mogelijkheden tot hoogveenvorming in het algemeen</u>	85
8.2.1. Klimatologische mogelijkheden	85
8.2.2. Bodemkundige mogelijkheden	86
8.3. <u>Randvoorwaarden van hoogveenvorming in Nederland</u>	86
8.3.1. Beheersbare en niet-beheersbare randvoorwaarden bij hoogveenvorming	86
8.3.2. Beheersbare randvoorwaarden	87
8.3.3. Hydrologische randvoorwaarden van de hoogveenvorming	88
8.4. <u>Conclusies</u>	89
9. HET HYDROLOGISCH BEHEER VAN HOOGVENEN IN NEDERLAND	91
9.1. <u>Algemeen</u>	91
9.2. <u>Luchtverontreiniging en de mogelijke invloed op hoogvenen</u>	91
9.3. <u>Effecten van ontwatering en vervening van hoogvenen</u>	92
9.3.1. Oppervlakkige ontwatering van hoogvenen	94
9.3.2. Afgraving van hoogvenen en ontwatering van de omgeving	96
9.3.3. Samenvatting van de problematiek in Nederlandse hoog- veengebieden	102
9.4. <u>Hoogveenregeneratie; scheppen van voorwaarden voor oligotrofe veengroei</u>	103
9.4.1. Hoogveenregeneratie in niet afgegraven hoogveenrestanten	103
9.4.2. Hoogveenregeneratie op deels afgegraven hoogveenrestanten	108
9.4.3. Verlanding van waterplassen in een voedselrijker milieu	110
10. SAMENVATTING	112
 LITERATUUR	 114
 BIJLAGEN	

TEN GELEIDE

Leeswijzer

Dit rapport handelt over de hydrologische aspecten van hoogveengroei. Het is vooral bedoeld om beheerders van veengebieden inzicht te verschaffen in de mogelijkheden, die zij hebben een beheer te ontwikkelen, dat kan leiden tot regeneratie van de hoogveenvorming.

Het rapport bestaat uit twee delen. In deel 1, dat de hoofdstukken 1-6 omvat, wordt de ruimtelijke, de historische of temporele en de hydrologische basisinformatie gegeven. Uitgangspunt hierbij is de vraag: kan op basis van hydrologische kennis en veenstratigrafische kennis de hoogveenvorming, die vroeger in grote delen van Noordwest-Europa aanwezig was, verklaard worden voor de Nederlandse situatie? Naast analyse van de omvangrijke hydrologische kennis op dit gebied en toetsing van de gegevens aan de beschikbare veenstratigrafische opvattingen, zijn specifieke oecologische kenmerken van de hoogveenvormingsprocessen toegevoegd. Voor een landschapsecologische indeling van veentypen wordt verwezen naar o.a. Succow (lit. 59 en 60), Bellamy en Moore (lit. 6), v. Wirdum (lit. 64), A.J.M. Jansen en Oosterveld (lit. 37). Een landschapsecologische beschrijving van de huidige situatie, die als verfijning hierop aan zou kunnen sluiten, is achterwege gelaten. Een dergelijke benadering is nog niet goed mogelijk; bovendien ligt in dit rapport de nadruk op de grote lijnen van de hoogveenvorming.

Deel 2, dat uit de hoofdstukken 7-9 bestaat, bespreekt de beheersmogelijkheden, uitgaande van de informatie van deel 1. Hierbij staat de vraag centraal: kunnen er thans in Nederland nog zodanige situaties gecreëerd worden, dat met name in natuurterreinen ombrotrofe veenvormende oecosystemen in stand blijven of zich opnieuw kunnen vestigen.

In dit rapport is een integratie nagestreefd van de twee disciplines: hydrologie en veenonderzoek. Het totaal van de conclusies van beide delen is niet bedoeld als directe handleiding voor de beheerder van een veengebied; de conclusies schetsen gezamenlijk de beheersmogelijkheden. Deel 1 geeft, globaal gesproken, het kader waarin hoogveenvorming plaats kan vinden; deel 2 gaat vooral in op de beheersproblematiek.

Aanleiding

De aanleiding van dit rapport vormden de zogenaamde hoogveenbezinningsdagen in oktober 1985, waar beheerders en onderzoekers in het veld informatie over het hydrologisch beheer van hoogveenreservaten uitwisselden. Veelal bleef bij de onderlinge discussies de achtergrondinformatie over het hoe en waarom van een bepaald gevoerd beheer afwezig. Daarom is door de afdeling Waterhuishouding, Bodem en Lucht van Staatsbosbeheer, het idee opgevat deze informatie in een rapport te bundelen.

Verantwoording

Het geheel is tot stand gekomen in een project dat in opdracht van het Managementteam van het Staatsbosbeheer is uitgevoerd. De schrijvers van dit rapport werden begeleid door ir. W.P.C. Zeeman en drs. H. Joosten van Staatsbosbeheer. Met hen zijn uitgebreide discussies geweest.

Het concept-rapport is becommentarieerd door de volgende personen:

drs. G.J. Baaijens (Rijks Instituut voor Natuurbeheer);
dr. ir. T.W.M. Bakker (Staatsbosbeheer);
ing. C. Beets (Staatsbosbeheer);
drs. A.J.M. Jansen (Bureau Van der Wal en Langbroek);
dr. G. Londo (Rijks Instituut voor Natuurbeheer);
drs. P.C. Schipper (Staatsbosbeheer);
ir. J. Schouwenaars (Landbouw Universiteit);
ir. N. Straathof (Natuurmonumenten);
dr. J.T.A. Verhoeven (Rijks Universiteit Utrecht);
ing. W. de Wilde (Natuur, Milieu en Faunabeheer);
ing. R.J. Zandstra (Staatsbosbeheer);

Voor hun commentaar en adviezen worden zij door de schrijvers ten zeerste bedankt.

DEEL I - DE HYDROLOGIE VAN HOOGVEENSYSTEMEN

1. INLEIDING

1.1. HOOGVEEN IN NEDERLAND EN ZIJN ALGEMENE BETEKENIS

Hoogvenen zijn in ons land ontstaan op plaatsen waar accumulatie van organisch materiaal kon plaatsvinden boven de oorspronkelijke ontwateringsbasis. Hand in hand daarmee ging een verhoging van de grondwaterspiegel, totdat, uiteindelijk, de voeding met water en nutriënten praktisch gesproken nog slechts door de neerslag plaatsvond. "Vom Regen nur und Thau des Himmels aufgewachsen" schreef de Deense geoloog Dau al in 1823 in een raadseltje, waarin hij hoogvenen vergeleek met wortelloze bomen met een zeer korte stam en een brede, zeer platte kruin. Een levend hoogveen is dan ook te definiëren als een organogeen systeem van veenvormende levensgemeenschappen die voor hun voeding vrijwel uitsluitend zijn aangewezen op de atmosfeer, met een zeer hoge, door het systeem zelf in stand gehouden grondwaterspiegel. Door het laatste onderscheidt het zich van andere systemen waarin humusaccumulatie plaatsvindt.

In bovenstaande definitie is het woord "vrijwel" gebruikt in verband met de voeding; dat is gedaan omdat de ondergrond zich in nog al wat gevallen toch verraadt in de vegetatie en daardoor aanleiding vormt tot het ontstaan van verschillende veentypen. De isolatie ten opzichte van de ondergrond is nooit echt compleet, niet alleen in de randzones maar ook midden in hoogveencomplexen. Binnen hoogvenen vindt voorts een herverdeling van water en nutriënten plaats, zodat ook bij een in principe gelijkmatige aanvoer vanuit de atmosfeer door stroming van materie en energie differentiatie optreedt. Verschillende te onderscheiden deelsystemen zijn bulten en slenken, randzones, veenbeken, meerstallen. Deze verschillen geven aanleiding tot het ontstaan van verschillende vegetatietypen.

Omstreeks 5000 v. Chr. is in Nederland voor het eerst hoogveenvorming opgetreden; echter pas vanaf zo'n 3000 jaar voor onze jaartelling zijn de hoogvenen pas goed tot ontwikkeling gekomen.

De hoogvenen die zich in Nederland hebben ontwikkeld en in bovenstaande definitie worden gekarakteriseerd, behoren tot de lenshoogvenen (of "raised bogs"). Naar schatting moet er 1.000.000 ha hoogveen in Nederland aanwezig zijn geweest; hiervan is ongeveer driekwart door de zee weggespoeld of afgedekt met klei. Door het in cultuur brengen van deze gebieden (bv. ontwateren en bemesten van het veen en turfgraven) en door de invloed van de zee is de hoogveen-groei tot stilstand gekomen, het areaal verder afgenomen en zeer veel hoogveen afgegraven, zodat nu minder dan 1% van de vroegere oppervlakte is overgebleven. Op de hogere gronden van ons land is nu nog een oppervlakte van ca. 8000 ha met hoogveen aanwezig, waarvan zo'n kleine 6000 ha in eigendom of beheer is bij natuurbeschermingsorganisaties. Deze restanten zijn van betekenis uit natuurlijk en historisch oogpunt. Uit dat oogpunt gezien is het van belang dat deze restanten, met nog kenmerkende planten en dieren uit het milieu van weleer, zo goed mogelijk beschermd en behouden blijven. Een goed voorbeeld van een geheel compleet hoogveenlandschap met bijbehorende levensgemeenschappen is in Nederland eigenlijk niet meer aanwezig. Wel vinden we kleinere systemen met hoogveenkenmerken, in de vorm van vennen of veentjes, maar deze zijn zo klein, dat essentiële kenmerken van de omvangrijke systemen, zoals meerstallen en hoogveenbeken ontbreken. Er is hier ook geen sprake van een hoogveenlandschap. Daarom dienen ontwikkelingen te worden gestimuleerd om het hoogveenlandschap met bijbehorende levensgemeenschappen terug te krijgen. De waterhuishouding speelt daarbij een belangrijke rol. Dat

brengt ons dan dichterbij de waterhuishoudkundige problematiek van de bestaande hoogveenrestanten.

1.2. DE WATERHUISHOUDKUNDIGE PROBLEMATIEK VAN BESTAANDE HOOGVEENRESTANTEN

Optimalisatie van de hydrologische bescherming en het beheer van hoogveenrestanten zijn ingewikkelde zaken, omdat vrijwel alle restanten in Nederland zijn ontwaterd of gedeeltelijk zijn afgegraven. Specifiek hydrologisch onderzoek aan levende hoogvenen is in Nederland in het verleden niet verricht. Het meer fundamentele onderzoek in Europa startte pas in de tweede helft van de 20e eeuw. De hoogvenen in Nederland waren toen al grotendeels afgegraven, waardoor de hydrologische situaties ingrijpend veranderd waren. Door de Nederlandse natuurbeschermingsorganisaties is de laatste 15 jaar voornamelijk langs empirische weg, en niet zonder succes, gewerkt aan het herstel van het hoogveenlandschap in Nederland. Daarbij is in toenemende mate specifieke hydrologische kennis toegepast om randvoorwaarden af te leiden, waarbij regeneratie van hoogveen mogelijk is. Over de specifieke hydrologische kenmerken van hoogvenen is bij beheerders in het algemeen weinig bekend. De hierop betrekking hebbende buitenlandse vakliteratuur is veelal slecht toegankelijk. Om deze reden wordt aan dit aspect in dit rapport aandacht besteed met als doel de beheerders van hoogvenen en plannemakers van landinrichtingsobjecten informatie te verschaffen over de ontwikkelingsmogelijkheden en de instandhouding van deze unieke veengebieden. Uitgangspunt hierbij is kennis van het oorspronkelijke systeem van hoogveen.

In het nu volgende hoofdstuk wordt allereerst ingegaan op de vorming van veen in het algemeen en op het ontstaan en de ontwikkeling van hoogveen in het bijzonder, met inbegrip van de ruimtelijke aspecten van hoogveenvorming.

2. RUIMTELIJKE EN TEMPORELE ASPECTEN EN UITGANGSSITUATIES VAN HOOGVEENVORMING

2.1. ALGEMEEN

Het meest in het oog vallend aspect van een hoogveenlandschap in historische tijd was ongetwijfeld het enorme ruimtebeslag van hoogvenen. Zo was bij voorbeeld in Noordoost Nederland meer dan de helft van het bewoonbare gebied uiteindelijk onder het veen verdwenen. Reeds eerder ontstonden in het kustgebied van Noord- en West-Nederland enorme venen, die als gevolg van de rijzende zeespiegel weer werden opgeruimd. Ook de prehistorische mens werd met het oprukkende veen geconfronteerd. Het bewoonbare areaal van het landschap werd niet alleen veel kleiner; het landschap werd in hoge mate gecompartmenteerd en door de vaak kilometers brede, slecht begaanbare veenbarrières steeds moeilijker toegankelijk. Pas na de Middeleeuwen slaagde de mens erin deze "bedreiging" een halt toe te roepen door het veen te ontwateren.

Een ander belangrijk aspect van het veen is zijn betekenis als reservoir van fossiele energie. Dit was ongetwijfeld reeds de prehistorische mens bekend, maar de effectieve ontginning van deze energiebron in de vorm van turfgraven kreeg eigenlijk pas na de 16e eeuw AD zijn beslag.

In de huidige tijd ontleent het hoogveen vooral zijn betekenis aan de bijzondere vegetaties en de opmerkelijke voeding hiervan: de ombrotrofie; het enkel gevoed worden door de neerslag. De huidige zeldzaamheid van het ecosysteem wijst op de grote kwetsbaarheid ervan voor menselijke aantasting. De landschappelijke waarde wordt gewoonlijk met matig gekenschetst; de recreatieve waarde lijkt gering te zijn en de wetenschappelijke waarde wordt soms zeer hoog geacht. Dit laatste is vooral het geval als de mate van verstoring der veenvormende vegetaties gering is. Ongestoorde hoogvenen zijn in Nederland niet meer aanwezig; in Noordwest-Europa zijn ze - indien nog aanwezig - zeer zeldzaam.

De prehistorische mens trachtte herhaaldelijk het veen te betreden; daartoe heeft hij o.a. (houten) wegen in het veen aangelegd. Deze konden het gehele veen overbruggen, waarbij we van echte verbindingswegen kunnen spreken, of ze waren bedoeld om iets in het veen te bereiken. Een waardevolle grondstof was moerasijzererts, dat in kwelveenafzettingen of in moerasveen onder hoogveen aanwezig kon zijn. De prehistorische betreding van het veen wordt duidelijk door de in het veen achtergebleven voorwerpen, die gewoonlijk veenvondsten worden genoemd. Een deel van die voorwerpen zal indertijd verloren of vergeten zijn; een deel had ongetwijfeld de functie van offer. Hoogveen heeft daarom een sacrale of rituele betekenis gehad. In de Middeleeuwen bleek met zeewater doordrenkt hoogveen uitstekend geschikt te zijn voor de zoutwinning. De "selnering" heeft grote veranderingen in diverse kustgebieden veroorzaakt.

Hoogveen bleek in historische en recente tijd, behalve voor brandstof, voor verschillende toepassingen bruikbaar; als walbeschoeiing, voor tuinturf, voor de bereiding van filterkool, als isolatiemateriaal en zelfs voor huizenbouw. Hoogveen kende ook enkele industriële toepassingen.

In de landschapsgenese sinds de laatste ijstijd, vanaf ongeveer 10.000 jaar geleden, hebben de kustvenen een belangrijke rol gespeeld. Als onderdeel van de omhooggroeiende kustbarrières vrijwaarden ze aanzienlijke delen van het achterliggende land voor geregelde of periodieke overstroming door de zee. Grote delta-gebieden bleven hierdoor voor de prehistorische mens gedurende geruime tijd exploiteerbaar en bewoonbaar. Uiteindelijk nam de zee toch bezit van deze gebieden; er vormden zich, op wat hoger niveau, nieuwe kustbarrières die vervolgens

weerstand tegen de zee boden. Dit proces herhaalde zich vele malen tot de 10e à 12e eeuw AD, toen de mens zich achter dijken tegen de zee ging beveiligen. Mede als gevolg van het selneren konden de kustvenen de zee niet meer buiten het land houden.

Als archief van botanisch en zoölogisch materiaal hebben de venen, zowel hoogveen als moerasveen, een grote wetenschappelijke waarde. De Laat-Pleistocene en Holocene vegetatiegeschiedenis is als het ware geworteld in het onderzoek van veenafzettingen.

2.2. ONTSTAAN EN ONTWIKKELING; RUIMTELIJKE EN TEMPORELE ASPECTEN

2.2.1. Inleiding

Het inzicht in het ontstaan en de opbouw van het hoogveen en in de veengroei-mechanismen is vooral gebaseerd op de resultaten van het paleobotanisch en veen-stratigrafisch onderzoek. De doelstellingen van dit onderzoek zijn vooral documentatie van de veenopbouw en de vegetatie-ontwikkeling, verklaring van biologische processen, verklaring van prehistorische activiteiten, beschrijving van de vegetatie-ontwikkeling en landschappelijke ontwikkelingen, het begrijpen van veenvormingsprocessen en van de ontwikkeling van het klimaat. Paleobotanisch veenonderzoek, dat direct tot doel had inzicht in de hydrologie van veencomplexen te verkrijgen, is tot nu toe nauwelijks verricht. Toch kan uit dit veenonderzoek veel informatie verkregen worden over allerlei hydrologische aspecten van de (hoog-)veenvorming (Casparie 1972, 1980, 1984, Casparie, Van Geel en Teunissen 1981, Dupont 1985, Van Geel 1976 en 1978, Van Zeist 1955; zie respectievelijk lit. 11, 12, 14, 13, 20, 28, 29 en 66).

HOLOCEN	Subatlanticum	IX	AD 0
			BC
			1000
	Subboreaal	VIII	2000
			3000
	Atlanticum	VII	4000
LAAT-GLACIAAL			5000
	Boreaal	VI	6000
		V	7000
	Preboreaal	IV	8000
PLENIGLACIAAL	Jongere Dryas	III	9000
	Allerød	II	10000
	Oudere Dryas	I	11000
	Bølling		
PLENIGLACIAAL			

Dit geldt vooral voor het veen in een aantal gedetailleerd onderzochte gebieden, met name in het zuidelijke deel van het Bourtangerveen ten oosten van Emmen, tussen Emmererfscheidenveen en Klazienaveen en in het huidige Bargerveen.

Hoewel een beschrijving van de veenopbouw en de veenvormingsprocessen hier achterwege blijft zijn de onderzoeksresultaten van deze gebieden in sterke mate bepalend voor het hierna volgende betoog. De geldigheid van de uitspraken blijft echter niet beperkt tot het Bourtangerveen.

De onderzochte veengebieden zijn gesitueerd in de Hunzelaagte, het restant van het oerstroomdal van de Hunze (beter: de Ems). De oudste afzettingen dateren van het Laatglaciaal, nog vóór het Allerød-interstadiaal, ongeveer 11.000 voor Chr. (tabel 1).

Tabel 1.

Dateringstabel voor de biogeologische perioden na het Weichsel-Pleniglaciaal. De voor Noordwest-Duitsland door F. Overbeck en S. Schneider ontworpen, en nog veel gehanteerde, indeling is in Romeinse cijfers gegeven. Deze indeling en tijdstabel zijn ook in fig. 7 vermeld.

De veenvorming is, met tal van min of meer diepgaande onderbrekingen doorgegaan tot de definitieve ontwatering van het Bourtangerveen ten behoeve van het turfgraven. Dit proces startte reeds in de 16e eeuw nabij Groningen. Globaal gezegd is er tegen het ondergrondreliëf/veenoppervlakreliëf in ontwaterd.

In het gebied ten oosten van Emmen begonnen vooral in de 19e eeuw de belangrijkste ontwateringswerkzaamheden met het graven van een aantal kanalen. De hoogveenvorming was vrij zeker reeds in de 17e eeuw sterk gereduceerd en in die tijd mogelijk al grotendeels tot stilstand gekomen. In het wat zuidelijker gelegen Bargerveengebied speelden deze processen zich wat later af, maar ook hier was tegen het einde van de 19e eeuw van hoogveenvorming al geen sprake meer.

In bijlage 1 is een geschematiseerde doorsnede gegeven van de veenopbouw in het Bourtangerveen ten oosten van Emmen.

2.2.2. De eerste veenafzettingen

De eerste Laatglaciale veenvorming betreft in zeer veel gevallen Hypnaceaeveen (slaapmossen), dat - gezien de soortensamenstelling (tabel 2) - onder zeer vochtige omstandigheden is ontstaan. Tal van geulvormige laagten zoals ondiepe beekdalen, maar ook komvormige depressies (o.a. pingo-ruïnes), hebben een 10 - 30 cm dik Hypnaceaeveenpakket (Braunmoorstorf) aan de basis. Het begin van deze veenvorming valt vaak in de Oudere Dryas periode, de op één na laatste koude fase van het Weichselglaciaal. De veenvorming komt vaak in de loop van de hierop volgende warme periode, de Allerød, tot een einde, meestal samenvallend met het einde van de Betulafase van die periode.

Tabel 2. Botanische resten (zaden, vruchten, blaadjes, pollen), aangetroffen in Laatglaciale Hypnaceaeveen ("Braunmoorstorf") in het Hunzedal ten oosten van Emmen.

Soort/type	Frequentie	Soort/type	Frequentie
<i>Betula pubescens</i>	veel	<i>Myriophyllum spec.</i>	matig
<i>Potentilla anserina</i>	weinig	<i>Potamogeton spec.</i>	matig
<i>Comarum palustre</i>	matig	cf. <i>Puccinella</i>	matig
<i>Menyanthes trifoliata</i>	matig	<i>Scorpidium scorpioides</i>	weinig
<i>Typha latifolia</i>	weinig	(= <i>Hypnum scorpioides</i> L.)	
<i>Carex cf. trinervis</i>	matig	<i>Calliergon sarmentosum</i>	veel
<i>Carex cf. paniculata</i>	veel	(= <i>Hypnum sarmentosum</i> Wahl.)	
cf. <i>Scirpus fluitans</i>	veel	<i>Drepanocladus indet.</i>	veel

Deze veenvorming werd mogelijk toen, als gevolg van een geringe klimaatsverbetering de permafrost oppervlakkig wat wegdooide, waardoor aan het oppervlak een aanzienlijk aanbod van water ontstond, dat niet in de ondergrond kon verdwijnen. Het is daarnaast niet uitgesloten, dat bovendien de neerslag omstreeks die tijd iets toenam.

Het - meestal abrupte - einde van de veenvorming kan toegeschreven worden aan het wegvallen van de permafrost, waardoor er ontwatering op aanzienlijk grotere diepte mogelijk werd door de daling van de grondwaterstand en de Hypnaceaevegetaties verdroogden. In de Pinusfase van de Allerød kwam veenvorming veel spaarzamer voor, vrij zeker door te geringe neerslag.

In de Jongere Dryas, het laatste stadiaal van de laatste ijstijd, was op veel plaatsen weer een permafrost aanwezig, die als waterondoorlatende laag fungeerde voor hernieuwde Hypnaceaveenvorming, die in de loop van dit stadiaal afbrak bij het wederom wegvallen van de permafrost. Dit jongere Braunmoostorfpakket is gewoonlijk dunner dan het eerder gevormde pakket.

Waar een slecht doorlatende ondergrond in stand bleef, zoals in keileemgebieden en in pingo-ruïnes, ontbreekt gewoonlijk de uitdroging, maar is de daling van de waterstand - en dus de verminderde toevoer van water naar lage plekken - wel herkenbaar aan een ander type veen of een zekere stagnatie in de veenvorming. Hier en daar was een zodanige aanvoer van water, dat in zulke depressies open water aanwezig was, waarin zich gyttja kon vormen. Afwisselingen van Braunmoostorf en gyttja komen eveneens voor.

2.2.3. Moerasveenvormingen

Vaak pas geruime tijd na het wegvallen van de permafrost in de Jongere Dryas ontstaan op diverse plaatsen zodanige vochtige situaties, dat zich hier moerasveen kan vormen. Het is meestal een zeer compact veen, waarbij *Betula*, diverse zeggensoorten en *Phragmites*, naast waterplanten als *Menyanthes* en *Drepanocladus*soorten, belangrijke veenvormers zijn. Dit type veen kan zich, globaal gesproken, ontwikkelen vanaf het begin van de definitieve klimaatsverbetering na de laatste ijstijd; dit is de overgang naar het Preboreaal.

Hoewel de aanwezigheid van waterplanten op zeer natte veenvormende omstandigheden wijst, is de accumulatie van organisch materiaal over het algemeen gering. Bovendien verraden houtskoollaagjes in de afzettingen herhaalde onderbrekingen in de veenvorming als gevolg van uitdroging en brand. Er is kennelijk voldoende neerslag geweest om natte situaties te creëren; anderzijds is er vermoedelijk niet altijd sprake geweest van een neerslagoverschot. De neerslag (en niet de temperatuur) is vrij zeker de beperkende factor.

De vochtige tot natte situaties deden zich voor in afgesnoerde beek- en rivierdalen, in depressies zoals pingo-ruïnes en in geulvormige laagtes, waarin zich reeds Braunmoostorf had kunnen ontwikkelen. Deze pakketten vormen als het ware een prop in het afvoersysteem, waardoor de afwatering in belangrijke mate gestagneerd werd.

In zijn totaliteit gezien steeg de grondwaterspiegel geleidelijk, waardoor gedurende zeer lange tijd een voor moerasveenvorming geschikte omstandigheid zich kon handhaven, resulterend in soms meters dikke pakketten moerasveen. Daarbij zal in de loop van het Boreaal de neerslag toch wel iets toegenomen zijn.

Op het uitgedroogde veen kon *Pinus* zich enkele malen vestigen. Tegen het einde van het Boreaal deed *Alnus* zijn intrede. Deze boom vond op het moerasveen uitermate geschikte groeiomstandigheden, zodat bij de overgang naar het Atlanticum op veel plaatsen de vorming van elzenbroekveen op gang kwam. Aan de stijging van de grondwaterspiegel kwam op diverse plaatsen langzaam maar zeker een einde; in veel gevallen was de depressie dan geheel met moerasveen gevuld. Hierbij was de minerale ondergrond bijna altijd waterverzadigd en was in het moerasveenpakket een grote watermassa vastgelegd, waarin nauwelijks of geen stromingen meer optraden. De invloed van de directe neerslag op het veenvormende milieu nam duidelijk toe. De aanvankelijk eutrofe tot mesotrofe veenvegetaties maakten plaats voor mesotrofe of zwak-mesotrofe vegetaties. Tot de boomlaag behoorden, naast *Alnus* vooral *Betula* en *Pinus*; *Scheuchzeria* en *Carex limosa* kwamen soms tot opmerkelijk omvangrijke velden op zeer natte plekken.

De zich in oligotrofe richting ontwikkelende veenvorming werd ook aanzienlijk zuurder. Op een dergelijk substraat vestigden zich naast diverse *Ericaceae* als *Calluna vulgaris*, *Erica tetralix*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium vitis-idaea* en

V. oxycoccus, en Empetrum nigrum, de eerste Sphagna, waaronder de veenvormers Sphagnum rubellum en Sphagnum fuscum. De invloed van het grondwater op de veenvorming is nu zeer gering geworden; in plaats van moerasveen is hier sprake van overgangsveen.

Dit is in veel gevallen de basis van het hoogveen.

Deze ontwikkeling in oligotrofe richting in steeds zuurder milieu, van moerasveen via een overgangsveenlaag naar hoogveen, is niet tijdgebonden. De klimatologische situatie was sinds het begin van het Atlanticum in het algemeen geschikt voor het op gang komen van de ombrogene veenvorming.

2.2.4. Veenrandgebied, laggzone

Rondom moerasveen ontwikkelt zich vaak een bijzondere zone, die enerzijds extra nat kan zijn en anderzijds extra gevoelig is voor uitdroging. In perioden met sterke afvoer van water uit het moerasveen bij een waterverzadigde ondergrond ontstaan soms uitgebreide plassenstelsels rondom het veenpakket, waarin het plaatselijk tot gyttjavorming kan komen. De waterdiepte in deze geïnundeerde plekken is meestal beperkt en bij vermindering van de waterafgifte uit het moerasveen of bij (tijdelijke) daling van de grondwaterstand kan dit randgebied tamelijk snel aanzienlijk droger worden. Moerasbosvegetaties met Alnus en Betula kunnen zich hier dan uitbreiden. Als de waterspiegel daarna weer hoger komt, handhaven deze bossen zich geruime tijd. De bomen staan dan vaak met de voet in het water. Er vormt zich hierbij broekbosveen.

Rondom hoogveencomplexen kan een gordel aanwezig zijn met veenvormende vegetaties, die kenmerken hebben van zowel moerasveen als hoogveen. Zo'n laggzone is een menggebied van grondwater en neerslagwater. Scheuchzeria palustris en Carex limosa kunnen hier tot massa-uitbreiding komen. Daarnaast zijn plassen met Sphagnum cuspidatum en S. recurvum aanwezig, komen Alnus en Betula voor en kan hier en daar b.v. Sphagnum rubellum tot ontwikkeling komen. Deze zone is sterk uitdrogingsgevoelig, evenals dit bij de boven genoemde veenrandgebieden het geval is.

Laggzones komen vooral voor rondom venen op een tamelijk vlakke ondergrond. Het gevormde veenpakket, waarin Scheuchzeria palustris en Sphagnum cuspidatum vaak duidelijk herkenbaar zijn, is meestal 1 - 4 dm dik. Toevoer van zuur, voedselarm doch humusrijk water uit nabije ombrotrofe veencomplexen stimuleert de ontwikkeling van een laggzone. De humus vlokt in of op de zandondergrond uit. Dit bevordert de afdichting van de ondergrond.

Laggzones groeien met de uitbreiding van hoogveencomplexen langs de zeer vlakke hellingen rondom het veen langzaam mee omhoog. Ze zijn, wat hun vorming betreft dus niet tijdgebonden. Reeds tegen het einde van het Boreaal waren de geomorfologische en hydrologische condities geschikt voor het ontstaan van een laggzone. De basis van de laggveenafzetting is gewoonlijk de zandbodem, die zeer sterk gepodzoleerd kan zijn (veenpodsol), vooral als het een jonge laggzone betreft (Subboreaal, Subatlanticum). Op laggafzettingen kan het gemakkelijk tot ombrogene veenvorming komen.

2.2.5. Kwelveen

Reeds in het begin van het Atlanticum is op enkele plaatsen kwel aanwezig, die aanleiding geeft tot uitgebreide veenvorming gedurende vele eeuwen; soms zelfs duizenden jaren. In dit kwelveen hebben Hypnaceae de overhand. Daar waar de kwelbanen langs ijzerhoudende en fosfaathoudende afzettingen zoals keileem en

mariene sedimenten strijken is het gevormde kwelveen ijzerhoudend en soms ook fosfaathoudend. Inzigtgebieden zijn vaak honderden hectares groot. Het kunnen relatief hooggelegen veencomplexen zijn, waarbij het wegzijgende water elders als kwel te voorschijn komt; de Odoornerven en Bargerveen zijn hier voorbeelden van.

Kwelveengebieden zijn meestal ook honderden hectares of nog groter. Kwelveenpakketten kunnen, afhankelijk van de rijkdom aan kwel en het ondergrondreliëf meer dan een meter dik worden. Het oppervlaktereliëf van kwelveen weerspiegelt in eerste instantie de kwelintensiteit. Het veen heeft weinig gelaagdheid, waarmee het zich duidelijk onderscheidt van moerasveenafzettingen.

Voor een aantal gevallen kon berekend worden, dat een hoogteverschil tussen infiltratiegebied en kwelgebied van 2 à 3 m voldoende is om over een afstand van 2 à 8 km de kwel zeer lang in stand te houden; tot ca. 2.000 jaren.

Naarmate het hoogteverschil tussen infiltratiegebied en kwelgebied afneemt (wat meestal het geval is bij kwelveenvorming), neemt op den duur het aandeel van de directe neerslag op het veenvormende milieu toe. Uiteindelijk kan een milieu ontstaan, waarin de ombrotrofe soorten de overhand krijgen. Fluctuaties in de kweltoevoer zijn vaak slecht waar te nemen in kwelveenpakketten, behalve waar dit leidt tot de omslag in de richting van hoogveenvorming. In de praktijk is het meestal een kwestie van daling van het kwelniveau tot dit wat lager is dan het veenvormende niveau. In deze gevallen blijft de kwel wel in stand en blijft de minerale ondergrond dus waterverzadigd. Een enkele maal blijkt drainage van het infiltratiegebied tot drastische daling van het kwelniveau te hebben geleid. In zo'n situatie kan een scherpe overgang van kwelveenvorming naar moerasveen of zelfs naar hoogveen ontstaan. Hierbij is vrij zeker de minerale ondergrond gedurende een bepaalde tijd niet meer waterverzadigd geweest.

2.2.6. Het begin van hoogveenvorming

De overgang van niet-ombrogene veenvorming naar hoogveenvorming is in veenprofielen in de regel goed te zien. Het gaat hierbij niet alleen om het voorkomen van veenvormende *Sphagna* (zoals *S. rubellum*), maar ook blijken veel hoogveenbegeleiders, waaronder diverse *Ericaceae* en *Eriophorum vaginatum* vanaf die overgang aanwezig te zijn in het veen. De overgang is, zoals reeds is gemeld, niet tijdgebonden.

Globaal gezegd, is de klimatologische randvoorwaarde reeds minimaal 7.000 jaar aanwezig. De tijdsduur van de overgang kan sterk variëren, van enkele jaren tot ongeveer 5 eeuwen. Ook de veenaccumulatie toont grote verschillen. De dikte van het veenpakket, waarbinnen de overgang plaats vond, is soms maar enkele centimeters; in andere gevallen wel driekwart meter. De microtopografie van de veenwanden laat zien, dat de overgang geen uniform proces is geweest. In enkele gevallen is het optreden van een (kortstondige) uitdroging als aanleiding voor de overgang aantoonbaar; het overgangsniveau kan uit bosveen bestaan en er is soms een duidelijk hiaat in de veenontwikkeling aanwezig.

De overgang geeft aan, dat de voedingstoestand van het water (o.a. de ionogene belasting), de pH en de beschikbaarheid van het water zodanig zijn, dat veenvormende vegetaties, waarin *Sphagnum* een belangrijke component is, zich lange tijd kunnen handhaven. Er is een grote diversiteit van uitgangssituaties en substraten - zowel minerale als organische - waarin resp. waarop hoogveenvorming van start kan gaan. Voor een deel zijn dit door menselijk ingrijpen ontstane situaties en substraten. In paragraaf 2.3. wordt hier nader op ingegaan.

2.2.7. Sterk vergaan mosveen

De belangrijkste veenvormers in de meeste hoogvenen zijn *Sphagnum rubellum* en/of *Sphagnum fuscum*. Het aandeel van hoogveenbegeleidende planten is in het algemeen groot; er zijn echter zowel ruimtelijk als in de tijd, grote verschillen aanwezig. Het sterk vergane karakter van dit veen maakt de veenwanden vaak slecht leesbaar; van een uniforme veenopbouw is evenwel geen sprake. Reeds in de eerste helft van het Atlanticum heeft het veenvormende vegetatiedek duidelijke nat-droog patronen gehad, slenken met *Sphagnum cuspidatum* en *Scheuchzeria palustris* en bulten, die rijk waren aan *Eriophorum vaginatum* en *Calluna vulgaris* (zie 2.2.8). Het merendeel van de slenken zal slechts in beperkte mate open water hebben gehad; de groei van *Sphagnum rubellum*, die primair als bultvormer opgevat moet worden, stagneert namelijk in open water.

In enkele goed onderzochte veengebieden (Bargerveen) blijken grote concentraties slenken met open water aanwezig te zijn geweest; oppervlakkige wateraccumulaties die kennelijk de veenvorming in stand konden houden.

Het sterk-vergaan-veen-vormende vegetatiedek heeft ook grote velden met overwegend *Eriophorum vaginatum* gehad; hier traden waarschijnlijk relatief grote schommelingen in de waterstand op.

De neerslag heeft sinds het begin van het Atlanticum in het algemeen voldoende water geleverd om de hoogveenvorming in stand te houden (3.3.). Veel veenoppervlakken vertonen een licht reliëf, waardoor waterstromingen aan het veenoppervlak optreden. De kwaliteit van dit water wijzigt zich gedurende deze loop enigermate (pH, trofie, zuurstofgehalte). Als gevolg hiervan kunnen op een veenoppervlak verschillende systemen van sterk vergane mosveen-vorming bestaan, die zich kenmerken in verschillen in gelaagdheid, accumulatie van organisch materiaal, botanische samenstelling van het veen en mogelijk ook in de bult-slenksystemen. Zo kan in het Zuidoostdrentse veen een pakket "bruinzwart sterk vergaan mosveen" onderscheiden worden, gevormd tussen circa 4.000 en 2.000 voor Chr., dat zich van een naastgelegen pakket "blauwzwart sterk vergaan mosveen" (gevormd tussen 3.100 en 1.500 voor Chr.) onderscheidt in de genoemde kenmerken. De oorzaak van deze verschillen kan gezocht worden in de lokale veenhydrologie. Het bruinzwarte pakket werd gevoed door water, dat reeds een relatief lange weg over het hoogveenoppervlak had afgelegd; het was hierdoor wat zuurder geworden, waardoor de veenvorming in een meer oxyderend milieu plaats vond dan bij het blauwzwarte pakket, dat zich ter zijde van dit "hoofdafwateringssysteem" vormde.

Naarmate de veenvorming langer door kan gaan, wordt er een grotere watervoorraad in het dikker wordende veenpakket vastgehouden. De gevoeligheid voor (kortstondige) watertekorten wordt hierdoor minder. Er kunnen geleidelijk aan situaties ontstaan, die tot de vorming van weinig vergaan mosveen leiden. De klimatologische randvoorwaarde hiervoor was circa 2.000 v. Chr. aanwezig. De goed ontwikkelde bult-slenk patronen leverden het substraat: zeer vochtig tot nat, oligotroof en met een lage pH (2.2.8.).

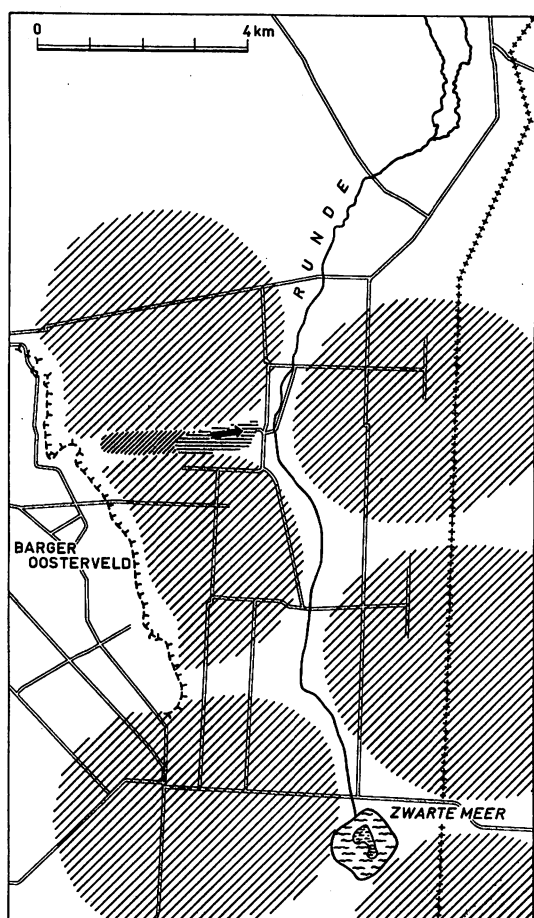
2.2.8. Bult-slenk systemen en gewelfde complexen

De (lichte) klimaatsverandering van circa 2.000 voor Chr. uit zich vooral in een iets toenemende neerslag, een grotere luchtvochtigheid en zeer waarschijnlijk ook wat lagere gemiddelde temperaturen. De condities voor ombrogene veenvorming worden, globaal gezien, gunstiger. Naar gelang de veenvormende situatie ter plekke, werkt dit op verschillende manieren uit. Op reeds vochtige bodems met geringe moerasveenvorming kan de hoogveenvorming op gang komen; de vorming van een schijnwaterspiegel op een waterondoorlatende laag in de minerale bodem (heidepodzol) stimuleert dit proces. In een aantal depressies stijgt de waterstand,

zodat hier moerasveen gaat ontstaan. Enkele hoogvenen breiden zich lateraal aanzienlijk uit; de Smilderveen en het Fochteloërveen zijn hier voorbeelden van. Kleiafzettingen in Noord- en West-Nederland worden op diverse plaatsen zo vochtig ("versomping"), dat zich hier veen gaat vormen; soms ontstaat na een korte moerasveenfase reeds hoogveen, zie hiervoor ook 2.2.6. en 2.3.

Op hoogvenen met goed ontwikkelde bult-slenk systemen wordt het veenoppervlak aanzienlijk vochtiger, waardoor onder andere veel slenken permanent open water krijgen. Er ontstaan hierbij ongetwijfeld ook nieuwe ontwateringspatronen; vaak is niet duidelijk hoe die eruit hebben gezien. Dit geldt ook enigermate voor het goed onderzochte deel van het Bourtangerveen ten oosten van Emmen. Zo gaat in het "blauwzwarte sterk vergane mosveencomplex" (2.2.7.) aldaar de sterk vergane mosveenvorming ogenschijnlijk nauwelijks gewijzigd door. De slenken worden wel wat vochtiger, maar het watersurplus wordt kennelijk relatief snel afgevoerd. De structuur van het afwateringspatroon is niet bekend. In het "bruinzwarte sterk vergane mosveencomplex" (2.2.7.) stagneert de waterafvoer. Door de wat toegenomen neerslag en de gemiddeld wat lagere temperaturen (3.3.) inunderen de slenken in korte tijd. Kennelijk ontbrak hier een doorgaand afvoersysteem of mogelijk raakte het door de toenemende watervoorraad ontregeld. In de slenken, met een waterdiepte van circa 10 cm, maakt de sterk vergane *Sphagnum rubellum*-groei plaats voor de vorming van weinig vergaan veen van *Sphagnum cuspidatum* en *S. papillosum*. Op de bulthellingen, juist boven de waterspiegel, vormt zich weinig tot matig vergaan *S. imbricatum*-veen. Beide grootbladige *Sphagnum*-soorten immigreren omstreeks 2.000 voor Chr.; ze kunnen zich op de zeer zure, zeer vochtige tot natte en oligotrofe veenoppervlakken vestigen. In de bulten gaat de vorming van sterk vergaan veen met *Sphagnum rubellum*, *Eriophorum vaginatum* en *Calluna vulgaris* onder iets vochtiger omstandigheden door.

Omstreeks 1.500 voor Chr. verdwijnt het open water uit de slenken; de veenvorming blijft echter onder zeer vochtige omstandigheden doorgaan (*papillosum*-veen). Dit wijst op het ontstaan van een nieuw afwateringssysteem: de perifere afwatering van de gewelfde complexen door het netvormige slenkenpatroon naar de "contact-zones", de waterverzamelplaatsen op het hoogveenoppervlak. De diameter van deze gewelfde complexen bedraagt globaal 3 à 5 km (fig. 1).



Figuur 1.
Enkele gewelfde complexen in het veen van Zuidooost-Drenthe, zoals ze op grond van het veenstratigrafisch onderzoek kunnen worden gesitueerd. Deze gewelfde complexen ontstonden ca. 2000 voor Chr. Het meest voorkomende bult-slenk systeem hierin is type Emmen 9 (zie fig. 2). Contactzones, randgebied enz. zijn hier niet apart aangegeven. Voor een uitvoerige beschrijving, zie Casparie, 1972, lit. 11.

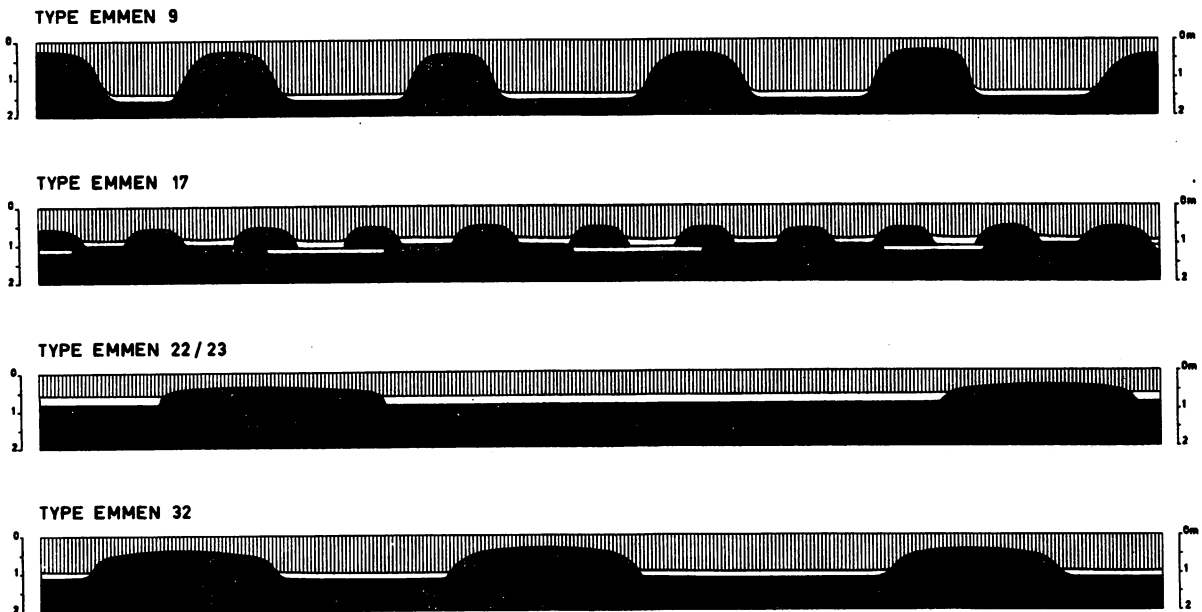
Het middengedeelte ligt vermoedelijk 2 à 3 m hoger dan de rand. Het oppervlakkig aanwezige water stroomt, gehinderd door de slenkvegetatie, uitermate langzaam in centrifugale richting, hiermee de ombrogene veenvorming voedend.

In de gewelfde complexen treedt nu sterk vergane veenvorming op in ronde tot ovale bulten van 3 - 6 m doorsnede omgeven door weinig vergane veenvorming in slenken, die in breedte variëren van minder dan 1 meter tot 10 meter. Het gehele systeem groeit langzaam omhoog. De veenaccumulatie is (in niet ingeklonken toestand) 10 à 15 cm per eeuw. Deze ontwikkeling laat zich aan de veenwanden goed aflezen, zie fig. 2.

Figuur 2.

In het zuidoostdrentse hoogveen zijn 4 typen bulten en slenken onderscheiden, waarin de overgang van sterk vergaan naar weinig vergaan mosveen plaatsvindt. Ze zijn hier zeer schematisch weergegeven, waarbij allerlei details, de begeleidende planten als *Eriophorum vaginatum*, *Calluna vulgaris*, *Scheuchzeria palustris*, enz. niet zijn vermeld.

Zwart: sterk vergaan mosveen; eng gestelde arcering: matig vergaan mosveen; wijde arcering: weinig vergaan mosveen; wit: cuspidatumveen. De hier afgebeelde veenvorming omvat globaal de periode van 3000 voor Chr. tot de eerste eeuwen van de jaartelling. Voor een uitvoerige beschrijving, zie Casparie, 1972, lit. 11.



Type Emmen 9: het meest voorkomende type in de gewelfde complexen.

Type Emmen 17: uit een west-oost contactzone. In feite zijn het twee opeenvolgende systemen; een onderste met grote vlakke, matig vergane bulten, dat ca. 1500 voor Chr. overgaat in een veel geprononceerder systeem met aanvankelijk weer sterk vergane bulten.

Type Emmen 22/23: de randzone van een hoogveenmeer (dat hier niet nader besproken wordt).

Type Emmen 32: uit een zuid-noord contactzone, waarin ca. 1500 voor Chr. reeds enige waterstroming optrad.

Op de plaatsen waar zich het van de gewelfde complexen afgevoerde water verzamelt, ontstaan uitgebreide hoogveenmeren (2.2.10.). In de randzone van deze meren ontstaan bult-slenk systemen, waarbij de elementen andere afmetingen hebben dan in de gewelfde complexen.

Een deel van het water, dat afgevoerd werd uit het op het "bruinzwarte" pakket ontstane gewelfde complex vormde een hoogveenmeer op het "blauwzwarte" pakket. Nu gingen zich hier, vanaf 1.500 à 1.300 voor Chr. in de slenken eveneens weinig vergane cuspidatum-veenpakketten vormen, met vaak een groot aandeel van *Scheuchzeria palustris*. Dit laatste wijst op een lichte mineralentoevoer (hiermee wordt bedoeld: inwaaien of inspoelen van mineralen van buiten het hoogveengebied) of eutrofiëring van het water, dat echter wel zeer zuur blijft.

Hoewel contactzones en hoogveenmeren ongetwijfeld enige afvoer hebben gehad, blijft deze toch achter bij de toevoer van water uit de gewelfde complexen. De watervoorraad aan het veenoppervlak neemt geleidelijk toe. Dit induceert enerzijds goede omstandigheden voor zeer vochtige, weinig vergane veenvorming, anderzijds neemt de gevoeligheid van het veenoppervlak voor erosie toe (2.2.10.). De weinig vergane veenvorming in de slenken wordt diverse malen onderbroken door de uitbreiding van sterk vergaan veen vormende bultvegetaties. Dit wijst op schommelingen in de watervoorraad aan het veenoppervlak. Het is vaak niet duidelijk of deze (kortstondige) onderbrekingen in de zeer vochtige veenvorming primair aan klimaatschommelingen (droge fasen of b.v. enkele droge zomers) of aan veranderingen in het waterafvoersysteem moeten worden toegeschreven, waarbij delen van een gewelfd complex versneld afwateren en dus droger worden. De vorming van weinig vergaan veen in de slenken van sterk vergane bult-slenk systemen is vooral gekoppeld aan een betrekkelijk hoge luchtvochtigheid in een klimaat met relatief veel neerslag; vrij zeker meer dan 700 mm per jaar, zie hoofdstuk 3.

Deze situatie was sinds 2.000 voor Chr. reeds aanwezig. In veel hoogvenen kwam de vorming van weinig vergaan veen veel later op gang, waarschijnlijk omdat de zuurgraad, de trofie of de verblijfsduur van het water waarin de veenvorming plaats vond, niet of minder gunstig waren. Soms bleef weinig vergaan veenvorming achterwege, hoewel b.v. *Sphagnum imbricatum* wel aanwezig was.

2.2.9. Weinig vergaan mosveen en meerstallen

Voor de vorming van weinig vergaan *Sphagnum papillosum*veen en *S. imbricatum*veen is de aanwezigheid van zuur, oligotroof water op hoog niveau een vereiste. *S. papillosum* prefereert natte tot zeer natte bodems en *S. imbricatum* groeit vooral op vochtige tot zeer vochtige substraten. Sinds ca. 2.000 voor Chr. was dit, wat de klimatologische randvoorwaarden betreft, mogelijk. Reeds enkele eeuwen later waren de ruimtelijke structuren in de vorm van gewelfde complexen aanwezig (2.2.8.). Het weinig vergane mosveen, waarvan de vorming aanvankelijk tot de slenken beperkt was, groeide geleidelijk over de sterk vergane bulthellingen heen. Uiteindelijk werden de bulten geheel overgroeid. Het bulten- en slenkenpatroon bleef aanwezig, in die zin dat *S. imbricatum* als weinig vergane bultvormer de overhand over *S. rubellum* had gekregen; het aandeel van *Eriophorum vaginatum* en *Calluna vulgaris* in de bultvegetaties was gewoonlijk duidelijk minder geworden. In de slenken was *S. papillosum* de belangrijkste veenvormer; na inundaties kwam het meestal tot forse uitbreiding gedurende relatief korte tijd van *S. cuspidatum*. Het proces van overgroeien van de sterk vergane bulten met weinig vergaan veen, in het Zuidoostdrentse veen tussen 2.000 en 1.800 voor Chr. op gang gekomen, was tussen 500 voor Chr. en het begin van de jaartelling grotendeels voltooid. In deze ontwikkeling vond nog een catastrofale ontwatering plaats (2.2.10). Het aanbod van voldoende water voor deze weinig vergane veenvorming ging gepaard met de "aanleg" van waterbekkens op de hogere delen van de gewelfde complexen: de meerstallen. Deze zijn waarschijnlijk ontstaan door het uitgroeien van natte slenken in de loop van de bulten- en slenken-ontwikkeling, vanaf ongeveer 2.500 à 2.000 voor Chr., in die delen van het veenoppervlak, waar door het zeer geringe verhang deze waterbekkens lange tijd gevuld konden blijven. De diameter van meerstallen kan tot enkele tientallen meters oplopen. De waterdiepte is gewoonlijk enkele decimeters. In het water zijn veelal drijvende *Sphagnum cuspidatum*velden aanwezig, soms komt ook *Scheuchzeria palustris* voor. Gezien de in het algemeen homogene opbouw van de weinig vergane veenpakketten, kan aangenomen worden, dat ook in de vegetatieperiode met sterk verdampende *Sphagna* voldoende water beschikbaar blijft, zelfs als er gedurende langere tijd

geen neerslag valt. Bovendien moet de kwaliteit van het water zich hierbij niet of nauwelijks wijzigen. De extra waterontrekking door verdamping wordt "gecompenseerd" door het inzakken van het veenoppervlak, waardoor de veenwaterspiegel toch hoog blijft (Mooratmung).

2.2.10. Contactzones en hoogveenmeren

Als gevolg van het, globaal gezien jaarlijkse, neerslagoverschot bouwen hoogvenen in de loop der eeuwen enorme watervoorraden op; het veenoppervlak wordt hierdoor, ook bij gelijkblijvende neerslag, steeds natter. Dit uit zich in groeiende waterverzamelingen aan het oppervlak, die gekenmerkt zijn door zeer trage afvoer.

De grootste waterverzamelingen zijn de contactzones, waar zich het watersurplus ophoopt. De snelheid waarmee het waterpeil in de contactzones stijgt is uiteraard direct gerelateerd aan de grootte van het neerslagoverschot. Naarmate dit peil stijgt - waardoor een echt meer ontstaat - en de druk op het afvoersysteem (veenbeekjes) toeneemt, neemt de capaciteit van de afvoer toe. Toch zijn zulke, wellicht ruim 10 ha grote, meren ontstaan en vele eeuwen in stand gebleven. Zo ontstond tussen 1.500 en 1.200 voor Chr. in het Zuidoost-Drentse veen een hoogveenmeer, dat 500 voor Chr. zijn laagste oever wegdrukte en vervolgens in zeer korte tijd leeg liep. Vrij zeker ging hier een aantal natte jaren aan vooraf. De benedenstrooms ontstane erosiegeulen functioneerden daarna nog eeuwen als afwateringssysteem. Na de versnelde afvoer van het watersurplus uit het hoogveen werd het veenoppervlak aanzienlijk oligotrofer. Dit stimuleerde de vorming van weinig vergaen mosveen. Dergelijke hoogveenmeren zijn van diverse grote hoogvenen bekend; ook het vroegere Zwartemeer in Zuidoost-Drenthe was zo'n meer. Het optreden van zeer omvangrijke veenerosies ("Moorausbrüche") is, deels op basis van veenstratigrafisch onderzoek, gedocumenteerd.

2.3. UITGANGSSITUATIES VOOR HOOGVEENVORMING

In 2.2.6. is reeds aangegeven, dat voor het op gang komen van ombrogene veenvorming diverse uitgangssituaties en substraten kunnen dienen.

We onderscheiden hier (A) uitgangssituaties van de (minerale) ondergrond; (B) veenvormende substraten, die over (kunnen) gaan in hoogveenvorming; (C) door cultuurtechnische ingrepen ontstane substraten of situaties, die geschikt zijn voor de ontwikkeling van veenvormende vegetaties. De grenzen tussen deze drie categorieën zijn niet scherp; de verschillen tussen de onderscheiden substraten en situaties zijn niet altijd absoluut.

2.3.1. Uitgangssituaties van de (minerale) ondergrond, waarbij Sphagnumveen tot ontwikkeling kon komen

- Zand

Het omhooggroeien van hoogveenpakketten induceert in gebieden met weinig reliëf soms aanzienlijke laterale uitbreidingen van het hoogveen. Vaak wordt het zand direct door Sphagnumvegetaties overgroeid (transgrederend hoogveen, "wurzelsechtes Hochmoor"). De zandondergrond, die toentertijd waterverzadigd was, vertoont thans een dik veenpodzol, waarbij vaak de gliedelaag nog aanwezig is.

Waterondoorlatende lagen, die "schijnwaterspiegels" mogelijk maakten, speelden hierbij hoogstens een zeer ondergeschikte rol. Deze uitbreidingen van het hoogveen kunnen vooral in het Subboreaal en het Subatlanticum gedateerd worden; mogelijk kwam het proces op daartoe zeer gunstige plekken reeds in het laatste gedeelte van het Atlanticum op gang. De uitbreidingen kunnen zeer aanzienlijk zijn; het oostelijke randgebied van de Smildervenen en delen van het Bargerveen zijn op deze manier ontstaan.

- Klei

In de Noordnederlandse kleigebieden zijn op transgressie-afzettingen (vooral Calais IV, Duinkerke 0 en I) hier en daar Sphagnumveenpakketten tot een dikte van soms ruim 50 cm aanwezig. Na de sedimentatie in zout milieu van de klei is het sediment kennelijk in relatief korte tijd ontzilt of heeft het hoge zoutgehalte juist de vestiging van andere planten belemmerd. De slechte waterdoorlatende eigenschappen van de klei verhinderden de toevoer van mineralen en hielden het neerslagwater voldoende lang vast om voor ombrogene veenvorming gunstige situaties te creëren. Een deel van deze venen ontwikkelde zich als echte kustvenen.

- Keileem

Delen van het Bourtangerveen (ten oosten van Weiteveen), van het Fochteloërveen en van het oostelijke randgebied van de Smildervenen zijn op een zo dunne laag dekzand op keileem gesitueerd, dat de veenvorming hier als het ware op de keileem op gang is gekomen. Onder het echte ombrogene veen is soms een dunne gliedelaag aanwezig; meestal is een dunne veenlaag, die het karakter heeft van een lagg-veenlaag, tot ontwikkeling gekomen vóór de Sphagnumvegetaties gingen overheersen. Het keileem fungeerde hier als waterondoorlatende laag, waardoor de top met neerslagwater verzadigd werd. Deze uitbreidingen van het hoogveen kunnen tegen het einde van het Subboreaal en in het Subatlanticum gedateerd worden.

- Tertiaire klei

Het Haaksbergerveen en het Korenburgerveen zijn gesitueerd in geulen van tertiaire klei. De eerste veenafzettingen zijn gewoonlijk moerasveen; het hierna gevormde ombrogene veen, met relatief veel Eriophorum vaginatum, kan zich over de flanken van deze depressies uitbreiden. Deze ontwikkeling kwam reeds in de tweede helft van het Subboreaal op gang.

- Breuken en ondoorlatende lagen

Als gevolg van tektoniek kunnen aan het (huidige) oppervlak boven breuken in de ondergrond waterondoorlatende lagen ontstaan, die, samen met bepaalde barrières, aanleiding geven tot waterverzadigde situaties, waarin de ombrogene veenvorming kan overheersen. De Deurnse Peel, Mariapeel, Breukberg en veentjes langs de Roode Beek zijn voorbeelden van ombrotrofe veenvorming tussen breuken in de ondergrond.

- Waterhardlaag

Deze humus-inspoeling in de minerale ondergrond van (voormalige) veengebieden kan zich tot een zeer slecht waterdoorlatende laag ontwikkelen. Transgrederend hoogveen kan vervolgens gebruik maken van de waterverzadigde situatie in het

boven de waterhardlaag aanwezige (dek)zand. Dit verschijnsel is onder andere aanwezig op de flank van enkele zandruggeten in het zuidelijk deel van het Bourtangerveen. De overgroeiing met veen kan op het einde van het Subboreaaf of later gedateerd worden.

- Oerbank

Zwaar ontwikkelde inspoelingshorizonten (bv. van een heidepodzol en een veenpodzol), die de basis vormen van schijnwaterspiegels, kunnen overgroeid worden door hoogveenvegetaties, die vanuit in het hangwater ontstane vennetjes over de flanken van de komvormig ontwikkelde oerbank transgrederen. In zulke situaties is de watervoorraad - vooral gevormd door de directe neerslag - meestal zodanig beperkt, dat invloeden van buitenaf de voortgang van de ombrogeveenvorming herhaaldelijk belemmeren. Dergelijke veenvorming is op zijn vroegst in het begin van het Subatlanticum opgetreden.

2.3.2. Veenvormende substraten, in het verleden ontstaan, waarbij toenemende oligotrofie een rol speelde aan het begin van de hoogveenvorming

- Moerasveen

De botanische samenstelling kan zeer verschillend zijn; rietveen, zeggenveen, elzen- of berken-broekveen, van zeer sterk tot weinig vergaan, soms met resten van *Menyanthes trifoliata*. Meestal mesotrofe vegetaties, waarin de ombrotrofie geleidelijk de overhand krijgt, zoals uit de geleidelijke uitbreiding van *Sphagnum*-vegetaties afgeleid kan worden. Soms is er sprake van een abrupte overgang naar ombrogeveen, waaruit afgeleid kan worden, dat de (geringe) stijging van het grondwater plotseling eindigde of zelfs voor een daling plaats maakte. In zo'n situatie kunnen echter in lagere delen van het moerasveenoppervlak waterplassen aanwezig blijven, waarin de overgang naar ombrogeveen b.v. via *Sphagnum cuspidatum* en *Scheuchzeria palustris*-vegetaties plaatsvindt.

- Kwelveen

In veel gevallen is dit Hypnaceaeveen, dat zich van Braunmoorstorf onderscheidt door een andere ionen-samenstelling (bicarbonaat, fosfor, ijzer). Bijna altijd is een vermindering van de kwelintensiteit en dus vergroting van de invloed van de directe neerslag op het veenvormende milieu aantoonbaar. Soms is er sprake van een (plotseling) wegvallen van de kwel, gevolgd door een uitdroging, waarna het substraat in zeer korte tijd geschikt is geworden voor ombrotrofe vegetaties.

- Pinus-bosveen

Pinus heeft zich diverse malen op moerasveen kunnen vestigen. Soms bleven de Pinusbossen enkele eeuwen aanwezig. Hoewel in een aantal gevallen de vestiging volgde op een uitdroging van het moerasveen, is altijd wel sprake van een vochtige bodem, waarin enige accumulatie van organisch materiaal optreedt (vooral schors, naalden). Geleidelijk aan kunnen zich op deze bosbodem naast diverse *Ericaceae* en *Polytrichum strictum* ook *Sphagnum rubellum* en *S. cuspidatum* vestigen, waarmee ombrogeveensituaties de overhand krijgen. Hernieuwde uitdroging van het veen leidt dan weer tot uitbreiding van Pinus, maar uiteindelijk komt het

tot de vorming van hoogveen. In het Zuidoostdrentse veengebied is er zo'n ontwikkeling tussen 4.500 en 4.000 voor Chr. geweest, waarbij Pinus zich tot 3 of 4 keer kon uitbreiden. De door hoogveen overgroeide Pinus-stobben zijn bekend als kienhout. Dit veenbos had een oppervlak van enige vierkante kilometers. In hetzelfde veengebied vond tussen 5.300 en 4.900 BC een bijna overeenkomstige ontwikkeling plaats, waarbij echter uiteindelijk niet een ombrogeen veen maar een elzenbroekveen het Pinusbos overgroeide. Oorzaak hiervan was een stijging van het grondwater.

- Laggzone

De grote invloed, die de directe neerslag hier reeds op het veenvormende milieu heeft, creëert een situatie, die dicht bij ombrogene veenvorming ligt. Toenevende invloed van de neerslag of van het watersurplus uit nabijgelegen hoogveencomplexen doet gemakkelijk de balans omslaan naar echte hoogveenvorming, die echter herhaaldelijk door waterstands dalingen weer teruggedrongen wordt.

- Veenslik

In natte depressies hoopt zich soms veenslik op, dat enerzijds een tamelijk zuur milieu realiseert en anderzijds een sterk stagnerende invloed op de waterafvoer heeft. Dergelijke situaties komen op (geërodeerde) enigszins aangetaste hoogveenoppervlakken voor o.a. in diepe slenken, in geulen en nabij moerasveenvormingen. Ook buiten het eigenlijke hoogveen kan zich in nat milieu een dik slikpakket afzetten, waarop Sphagnumvegetaties tot ontwikkeling komen.

2.3.3. Door recent of subrecent menselijk ingrijpen in veenafzettingen ontstane sterk veranderde hydrologische situaties

- Drijvend bonkveen

Als gevolg van recente waterbeheersingswerkzaamheden voor natuurbeheer zijn soms aanzienlijke stijgingen van het waterpeil gerealiseerd. In gebieden, waar dit in (deels) afgeveende terreinen plaats heeft gevonden, zijn soms blokken afgebonkt veen gaan drijven. De bovenzijde van deze blokken blijkt een uitstekende vestigingsplaats voor ombrotrofe planten te zijn, waaronder Sphagnum magellanicum. De invloed van de directe neerslag op het milieu ter plaatse is kennelijk erg groot. In het water kunnen zich uitgebreide Sphagnumvegetaties ontwikkelen, meest drijvende velden met S. cuspidatum en S. recurvum. Als het water voldoende zuur en goed voedselarm is, kunnen zich op deze velden ombrotrofe vegetaties vestigen.

- Kraggenvenen

Als gevolg van een groot aantal cultuurtechnische ingrepen zijn hydrologische situaties ontstaan, die van nature niet voorkomen in onze streken, maar die kennelijk toch tot veenvorming kunnen leiden. Het betreft vrij diep water, waarin geen wortelende waterplanten kunnen gedijen en waar het wateroppervlak de uitbreiding van drijvende veenvegetaties (o.a. rietveen) mogelijk maakt; er zijn overeenkomsten met de natuurlijke kraggeveenvorming. Evenals op drijftillen kunnen zich op dit kraggenoppervlak Sphagnumvegetaties ontwikkelen, maar gezien het voedselrijkere karakter van de kragge gaat dit aanzienlijk trager.

- Geïnundeerde veenoppervlakken, die droog zijn geweest

Bij een beheer dat gericht is op het vasthouden van zoveel mogelijk neerslagwater op weinig afgetakelde of "rustende" hoogveenoppervlakken (ontwaterd of deels afgegraven), blijkt in relatief korte tijd een voldoende vochtig substraat te ontstaan, waarop o.a. *Sphagnum magellanicum* zich kan vestigen en vermoedelijk ook kan handhaven. Geïnundeerde veenoppervlakken bieden plaats aan *S. recurvum* en *S. cuspidatum*. Hoewel het hier om antropogene ingrepen gaat, lijken overeenkomstige situaties in vroeger tijden ook van nature voor te zijn gekomen, o.a. na grootschalige erosies ("Moorausbrüche") en als gevolg van (veelvuldige) kleinere erosies.

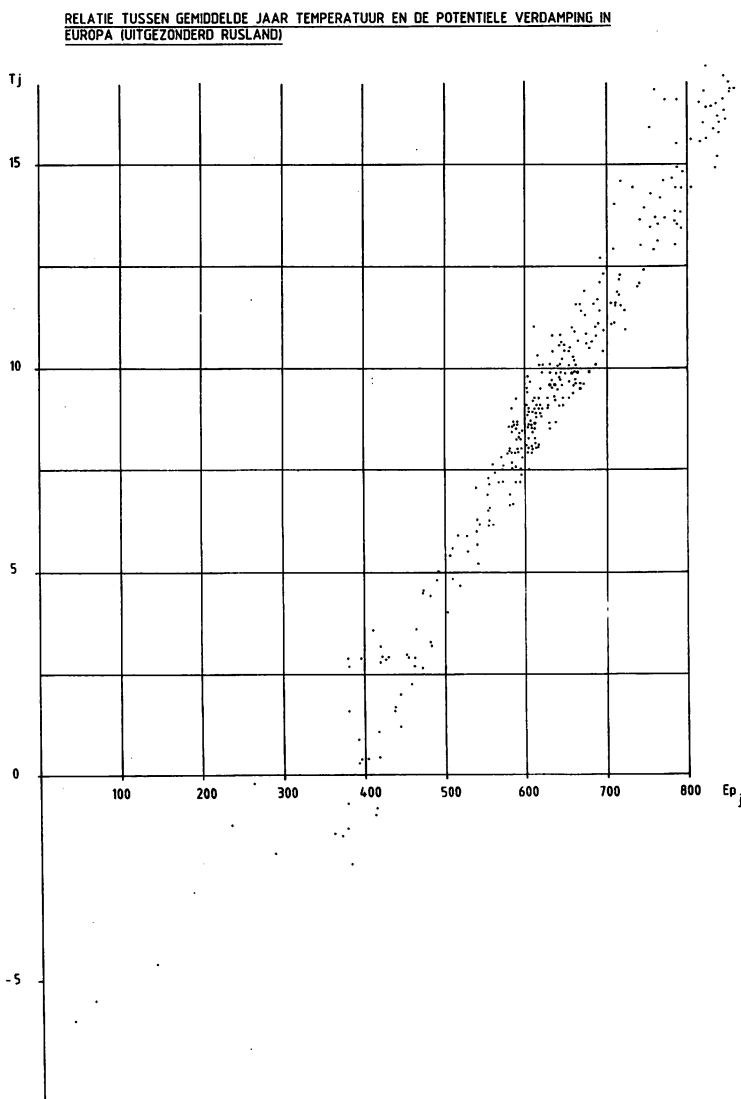
Het op gang komen van ombrogene veenvorming wordt niet in de eerste plaats veroorzaakt door de aard van het substraat, maar door veranderingen in de kwaliteit van het water, dat het veenvormende milieu voedt. Het betreft altijd een (aanzienlijke) vergroting van het aandeel van de directe neerslag op dit milieu, dat hierdoor oligotrofer en zuurder wordt. Afhankelijk van de lokale situatie ontstaan dan de grote verschillen in tijdstip, tijdsduur, veenaccumulatie en samenstelling van de veenvormende vegetaties, zoals die in het veenstratigrafisch onderzoek zijn vastgesteld. Deze verschillen kunnen binnen één hoogveen aanwezig zijn.

3. KLIMAAT - DE PLAATS VAN NEDERLANDSE HOOGVENEN IN EUROPA

3.1. ALGEMEEN

Hoogvenen kunnen slechts bestaan indien het gehele jaar door voor het veenmos voldoende bodemvocht aanwezig is. Hoogvenen worden uitsluitend gevoed door de neerslag, hetgeen betekent dat neerslagwater over een zekere periode van het jaar of zelfs het gehele jaar voorhanden moet zijn om verdroging van het veen niet of slechts gedurende korte tijd te laten plaatsvinden. Bij het vochtverlies van hoogvenen speelt de verdamping een overheersende rol. Naarmate de verdamping groter is, in het algemeen in warmere streken, zullen vochttekorten gemakkelijker optreden. De neerslag zal in warmere streken groter moeten zijn teneinde vochtige omstandigheden voor hoogveengroei te kunnen garanderen. Het temperatuurverloop is voor de verdampingsintensiteit een belangrijke factor, zoals figuur 3 laat zien voor meteostations in Europa (Müller, lit. 44).

Figuur 3. Relatie tussen gemiddelde jaartemperatuur en potentiële verdamping in Europa (uitgezonderd Rusland).



Legenda:

- T_j = gemiddelde
jaartemperatuur

- Ep_j = potentiële
verdamping

Volgens de figuur neemt de potentiële verdamping (E_p) toe naarmate de gemiddelde jaartemperatuur (T_j) stijgt.

Bij hoge temperaturen treden hoge verdampingsintensiteiten op en zal door optredende vochttekorten hoogveengroei niet mogelijk zijn, tenzij de neerslag evenredig groter wordt, zoals bv. in Z.O. Azië.

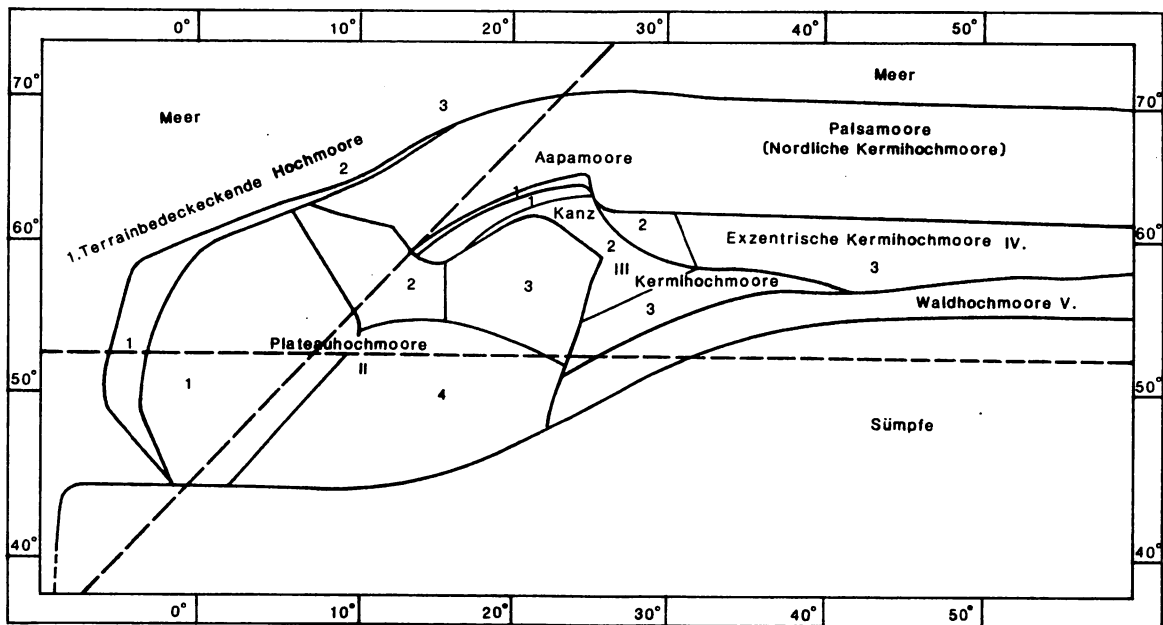
De klimatologische omstandigheden zijn dus bepalend voor hoogveenvorming. In onderstaande paragrafen wordt de ruimtelijke en temporele uitbreiding van hoogvenen in relatie tot het klimaat nader uitgediept, waarbij in het bijzonder op de Nederlandse omstandigheden wordt ingegaan.

3.2. KLIMAAT EN HOOGVEEN IN EUROPA: RUIMTELIJK GEZIEN

3.2.1. Verbreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa

Door o.a. Eurola (lit. 48) is een indeling gemaakt van de verspreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa. De ombrotrofe veentypen in Europa worden door hem geclassificeerd aan de hand van de morfologie van het veenoppervlak. Onderstaande figuur 4 geeft deze indeling weer.

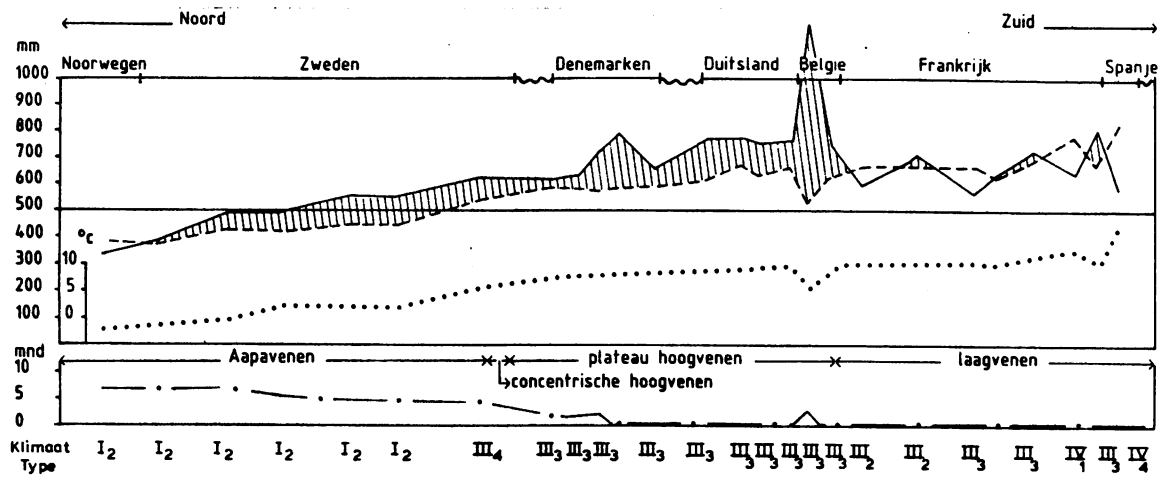
Figuur 4. Verspreidingskaart van ombrotrofe veentypen in Europa naar Eurola (1962).



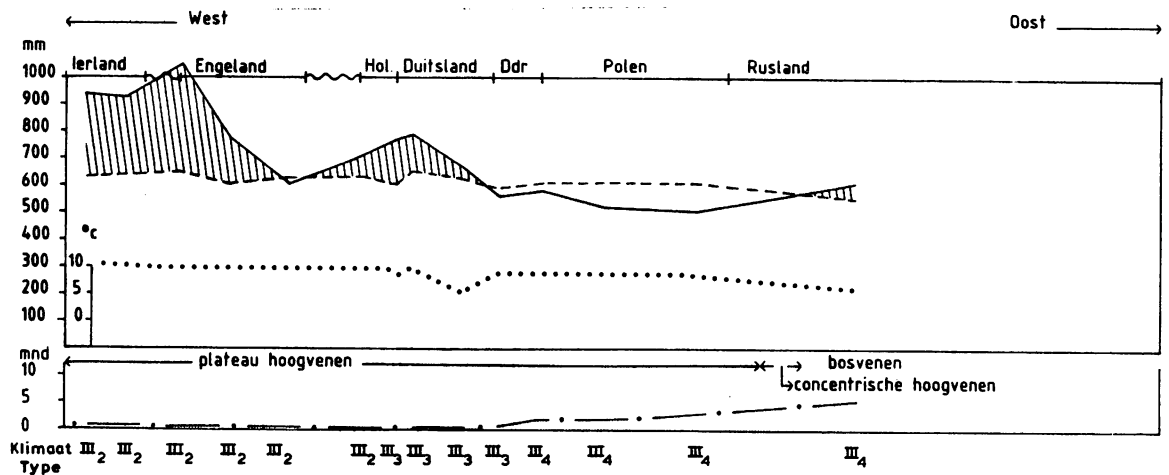
De beschrijving van de ombrotrofe veentypen heeft langs twee gestreepte lijnen plaats; deze zijn in figuur 4 getekend. Voor de karakterisering van het klimaat is gebruik gemaakt van het "Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde" van Müller (lit. 44).

In de onderstaande figuren 5 en 6 is de situatie van Noord- naar Zuid-Europa en van West- naar Oost-Europa weergegeven.

Figuur 5. Transect van Noord naar Zuid Europa, waarlangs klimaat- en ombrogene veentypen beschreven worden.



Figuur 6. Transect van West naar Oost Europa, waarlangs klimaat- en ombrogene veentypen beschreven worden.



Bij de figuren 5 en 6 geldt de volgende legenda:

Meteorologische gegevens (volgens Müller)

- $\bar{N}$ gemiddelde neerslag mm/j
- $\bar{E}$ gemiddelde verdamping mm/j
- T_j gemiddelde jaartemperatuur °C
- V_j aantal maanden met vorst

Voor de symbolen van klimaatstypen kan de volgende verklaring worden gegeven.

Klimaatstype (volgens Müller)

- I₂ Kontinentaal Boreaal
- III₂ Oceanisch
- III₃ Suboceanisch
- III₄ Subkontinentaal
- IV₁ Mediterraan
- IV₄ Subtropisch

Uit bovenstaande figuren is af te leiden dat er een verband bestaat tussen het voorkomen van een bepaald type ombrotroof veen en de klimatologische omstandigheden in Europa. Alvorens in te gaan op de verbreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa worden de klimaatstypen, waarin de verschillende veentypen voorkomen nader gekarakteriseerd.

Oceanisch klimaatstype

Het oceanisch klimaat heeft een temperatuurschommeling over het jaar, die kleiner is dan 16° C. Voorts wordt dit klimaat gekenmerkt door zachte winters, waarbij de gemiddelde temperatuur van de koudste maand boven 2° C ligt. 's Zomers reikt de temperatuur van de warmste zomermaand niet hoger dan 20° C. Met name in de herfst- en wintermaanden is de neerslagintensiteit het hoogst.

Suboceanisch klimaatstype

Dit klimaatstype wordt gekenmerkt door een temperatuurschommeling over het jaar van 16 à 25°C. De winters van dit klimaat zijn mild tot matig koud; daarbij daalt de temperatuur in de koudste maand tussen 2°C en -3°C. In de warmste maand reikt de temperatuur gemiddeld hoger dan 16°C. De neerslag valt voornamelijk in de zomer en de herfst.

Subkontinentaal klimaatstype

Het subkontinentale klimaat wordt gekenmerkt door koude winters (gemiddelde temperatuur koudste maand -3 à -13°C) en matig warme zomers (gemiddelde temperatuur warmste maand minder dan 20°C). De vorstperiode in de winter houdt ca. 4 maanden aan, waardoor de bodem langdurig bevroren en met sneeuw bedekt is.

Kontinentaal klimaatstype

Het kontinentale klimaat wordt gekarakteriseerd door zeer koude winters (gemiddelde koudste maand -10° tot -20°C) en matig warme en matig vochtige zomers (gemiddeld warmste maand 15° tot 20°C). De vorstperiode in de winter houdt veelal 4 à 5 maanden aan, waardoor de bodem langdurig bevroren is. De neerslagintensiteit in het voorjaar is over het algemeen hoog.

Kontinentaal Boreale klimaatstype

Dit klimaat wordt gekenmerkt door grote temperatuurschommelingen over het jaar, die ruim boven 20° C liggen. De winters zijn over het algemeen zeer koud en sneeuwrijk. De vorstperiode houdt veelal 5 à 7 maanden aan. De zomers zijn over het algemeen kort, terwijl de gemiddelde temperatuur in de warmste maand tot 10 à 20° C reikt.

Tussen deze klimaatstypen zijn geen scherpe grenzen te trekken.

De verbreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa in relatie tot het klimaat is nu als volgt te beschrijven.

We beperken ons hier tot de laagland-hoogvenen (beneden ca. 200 m hoogte); bij de montane hoogvenen worden de klimatologische randvoorwaarden voor ombrogene veenvorming op geheel andere wijze gerealiseerd.

Plateauhoogvenen of lenshoogvenen (Atlantic raised bogs)

Deze hoogvenen zijn het best ontwikkeld in Centraal Ierland en verder in West-Noorwegen, Engeland, Nederland en Duitsland. In Polen, Denemarken, Zuid- en Zuidoost-Zweden en het Zuidwesten van Finland treft men geleidelijke overgangen naar concentrische hoogvenen aan. In Ierland en Schotland komen overgangen voor naar spreihogvenen.

De plateauhoogvenen worden gekenmerkt door een iets gewelfd reliëf (lensvormig). Het centrum van het veenoppervlak nadert een plat vlak. Aan deze kenmerken is de naam plateau-, resp. lens- of gewelfd hoogveen ontleend. In bestaande Nederlandse literatuur worden ze wel vlakhoogvenen genoemd.

De plateauhoogvenen zijn gelegen in het Oceanische, het Suboceanische en het Subkontinentale klimaat. Deze klimaatstypen behoren tot de gematigde koele klimaatszone van de wereld. Nederland ligt op de overgang van het Oceanisch naar het Suboceanisch klimaat.

Goed ontwikkelde plateauhoogvenen komen voor in gebieden met een hoge effectieve vochtigheid, die vooral een relatief hoge neerslagintensiteit van ca. 700 à 1150 mm/jaar kennen (Schouten; lit. 55, Overbeck en Happach; lit. 49).

Dit is het geval in Ierland, Engeland, West-Noorwegen, Nederland en Noord-West Duitsland. De hoogvenen in deze landen vertonen de neiging zich uit te breiden buiten de oorspronkelijke laagten waarin ze zijn ontstaan. De uitbreiding kan leiden tot het samensmelten van hoogvenen over relatief lage ruggen, die voorheen als waterscheiding tussen hoogveengebieden lagen. De minder goed ontwikkelde plateauhoogvenen treft men in Polen, Denemarken, Zuid- en Zuidoost Zweden en Zuidwest Finland aan. In deze landstreken treft men veelal een lagere neerslagintensiteit dan 700 mm/jaar aan (Von Post en Granlund, lit. 51). De effectieve vochtigheid (neerslag minus verdamping) is daar ten gevolge van de vorstperiode van 1 à 3 maanden in het winterhalfjaar juist voldoende om hoogvenen in stand te houden. De ontwikkeling van hoogvenen is daar slechts tot in de laagten beperkt gebleven.

Spreihogvenen (Blanket bogs)

Deze hoogvenen komen in Ierland en Schotland voor. De spreihogvenen worden gekenmerkt door het feit dat ze zich als een deken over het landschap kunnen uitbreiden; het voorkomen van deze hoogvenen is dus niet gebonden aan depresssies in het landschap; hellingen tot ca. 25 graden kunnen door dit veentype worden bedekt (Schouten; lit. 55).

Spreihogvenen worden uitsluitend aangetroffen in het Oceanische klimaatstype. Dit veentype komt voor, wanneer de jaarlijkse neerslagintensiteit 1250 à 2000 mm/jaar bedraagt (Schouten; lit. 55).

Aapahogvenen

Deze venen komen voor in Centraal Noorwegen en Zweden, Midden-Finland en Noord-Europees Rusland. Een Aapaveen lijkt enigszins op een moerasveen. Hoogveenontwikkelingen komen slechts op kleine schaal voor in hydrologisch gunstige omstandigheden, waarbij het neerslagoverschot slechts langzaam kan afvloeien. De venen

komen in het Kontinentale Boreale klimaat voor. De neerslagintensiteit ligt beneden 550 mm/jaar, waarvan een zeer groot deel door afsmelten van sneeuw en ijs in het voorjaar vrij komt.

Palsavenen (Arctic bogs)

Ombrogene venen op permafrost, met vaak een bevroren kern. Ze bereiken een hoogte van gemiddeld ruim één meter: de doorsnede is meestal enkele tientallen meters. De omringende toendrabodem is in de vegetatieperiode meestal waterverzadigd. Deze venen komen in Noorwegen, Zweden, Finland en Rusland, boven de poolcirkel voor

Koncentrische hoogvenen (Baltic raised bogs)

Koncentrische hoogvenen worden aangetroffen in Noord-Polen, de Baltische staten in Rusland, Zuid-Finland en Oost-Zweden. Onder omstandigheden waarbij de effectieve vochtigheid voldoende groot is en er nog een gunstig groeiseizoen aanwezig is, groeit de hoogveenkern omhoog en vormt zodoende een convex profiel. In Finland wordt dit een kermi- of bulthoogveen genoemd. Kermi-hoogvenen kenmerken zich door ringen van bulten en slenken die concentrisch rondom het hoogstgelegen centrale punt van het veen gelegen zijn.

Koncentrische hoogvenen treft men aan in het Subkontinentale klimaatsgebied.

Boshoogvenen (Continental raised bogs)

Deze venen komen in Noordoost-Polen en Midden-Europees Rusland voor. Het zijn meestal grotendeels beboste of soms met groepen bomen overdekte plateau- of concentrische hoogvenen. De venen liggen in het Subkontinentale en Kontinentale klimaatsgebied.

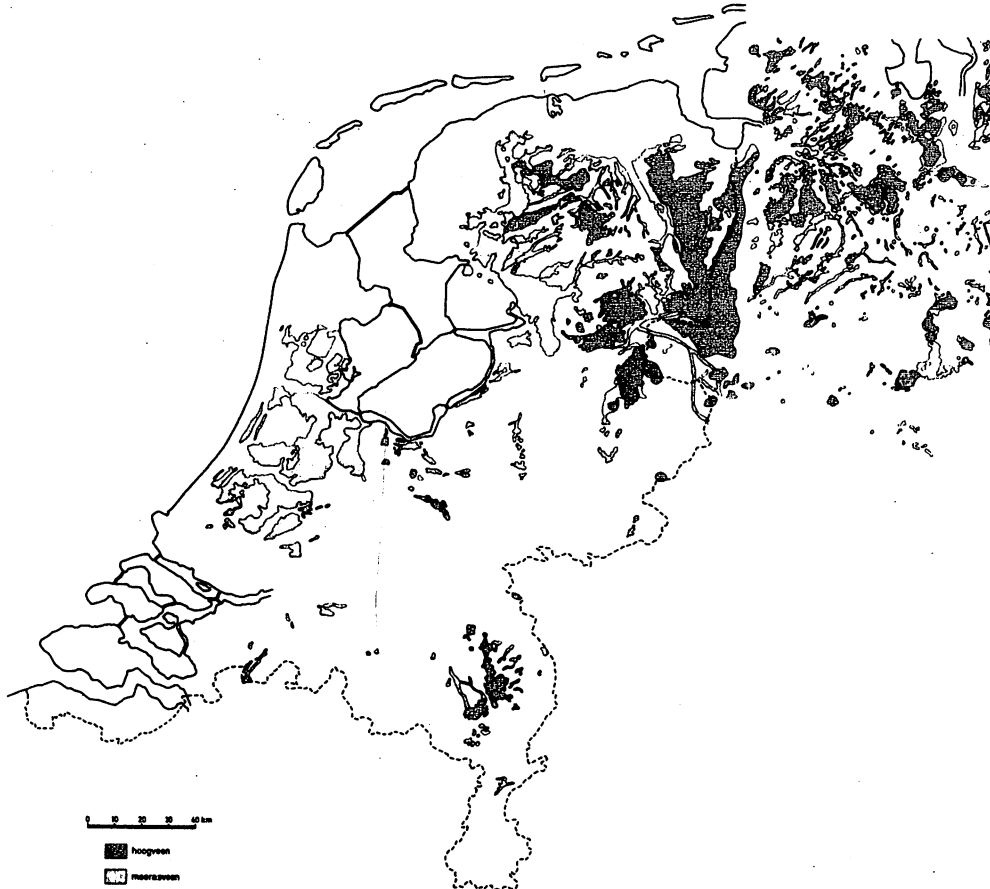
3.2.2. Verspreiding van hoogvenen in Nederland in relatie tot het klimaat

In onderstaande figuur 11 is een overzicht gegeven van de verspreiding van hoogvenen en moerasvenen in Nederland (Casparie, lit. 16).

De kaart geeft geen consequent beeld, maar is vooral bedoeld om de omvang en het voorkomen van (grootschalige) veenvorming uit te beelden. Voor het hoogveen is de maximale uitbreiding (ca. 1500 na Chr.) geschetst.

De moerasveenuitbreiding komt meer overeen met de situatie in de 19de en 20ste eeuw. Als gevolg van deze uitgangspunten is het verdrongen hoogveen van West-Nederland als moerasveen aangegeven en ontbreekt de veenaanduiding in het IJsselmeer-gebied en Zeeland. Ook de (inmiddels verdwenen) venen buiten de huidige kustlijn zijn buiten beschouwing gelaten.

Figuur 11. Verspreiding van venen in Nederland: uitleg in tekst.



Uitgaande van deze verspreidingskaart is voor deze voormalige hoogveengebieden of (afgegraven) relikten daarvan over de periode 1951-1980 de gemiddelde neerslag en gemiddelde temperatuur over het jaar in onderstaande tabel 4 weergegeven.

Tabel 4. Gemiddelde neerslag en gemiddelde temperatuur voor voormalige hoogveengebieden of relikten in Nederland.

Hoogveengebieden	Gemiddelde neerslag mm/j	Gemiddelde temperatuur °C
Bourtangerveen	730 à 770	8.6
Smilderveen	835 à 840	8.7
Friezenveen	805 à 820	8.8
Drents-Overijsselse grensvenen	765 à 810	8.9
Engbertsdijksevenen	765	8.9
Haakbergerveen	763	8.9
Venen in de Gelderse Vallei	770	9.1
De Peel	700 à 725	9.4

Op basis van de kennis in de paragrafen 3.1. en 3.2.1. en de gegeven verspreiding van hoogvenen kan worden aangenomen, dat een neerslag van ca. 700 mm per jaar of meer en een gemiddelde juli temperatuur van maximaal 16°C-17°C (gemiddelde temperatuur ca. 9°C) belangrijke voorwaarden zijn.

Met betrekking tot de hoogveengebieden De Peel en delen van het Bourtangerveen zijn nog de volgende opmerkingen te maken. Volgens een interpretatie m.b.v. de tabel van Lamb (par. 3.2.1.) liggen deze hoogveencomplexen respectievelijk geheel of gedeeltelijk over kortere of langere tijd buiten bovengenoemde grenzen. Dit leidt tot de veronderstelling dat hoogveenvormende condities hier gedurende langere of kortere tijd wellicht niet of minimaal aanwezig waren. Dit zou het gevolg kunnen zijn van te weinig neerslag en/of te hoge (gemiddelde) temperaturen. In het Bourtangerveen kan deze veronderstelling gedeeltelijk door paleobotanisch onderzoek worden ondersteund, zie paragraaf 3.3.

De gemiddelde jaarlijkse neerslag in De Peel is thans 700 à 730 mm. Op basis van Lamb's tabel (tabel 3) zou dit, over langere perioden beschouwd, een neerslag betekenen tussen 645 en 840 mm per jaar; deels dus lager dan de afgeleide 700 mm/jaar, die nodig is voor de hoogveenvorming. De gemiddelde (zomer)temperatuur in het gebied van de Deurnse Peel is thans ca. 17°C; ongeveer 1°C hoger dan in Noordoost-Nederland, waar zeer omvangrijke hoogvenen konden ontstaan. Het is niet uitgesloten, dat de zomertemperaturen in de zuidelijke helft van Nederland gedurende kortere of langere tijd te hoog waren voor hoogveenvorming.

Het is niet bekend of de marginale ligging van de Peel tot uitdrukking komt in het type hoogveen dat hier gevormd is, bijv. door het voorkomen van uitdrogingslagen, minimale slenkveenafzettingen en uitgebreide bultvegetaties of betere waterbergende capaciteit van de slenken. De micro-klimatologische en topografische situatie ter plaatse was kennelijk voldoende gunstig voor hoogveenvorming.

3.3. KLIMAAT EN HOOGVEEN: TEMPOREEL GEZIEN

Het klimaat in de Noordwesteuropese laagvlakte is, globaal gesproken, sinds ca. 5000 voor Chr. of mogelijk al wat eerder, tot heden toe geschikt geweest voor de vorming van hoogveen. Zo vindt al ruim voor 4500 voor Chr. in het zuidelijke deel van het Bourtangerveen sterk vergane mosveenvorming plaats (Casparie, lit. 11; Dupont, lit. 20); de aanzet hiervoor, o.a. in de vorm van Scheuchzeria-veengroei, kan mogelijk reeds op ca. 5000 voor Chr. gedateerd worden. Overbeck (lit. 48) geeft ook enkele voorbeelden, die in het vroege Atlanticum gedateerd kunnen worden.

De verspreidingsgegevens van het begin van hoogveengroei geven geen duidelijk beeld van eventuele zoneringen of een ruimtelijke ontwikkeling. Dit kan voor een deel toegeschreven worden aan problemen bij het exact dateren van het begin van de hoogveengroei en uiteraard bij het definiëren van het begrip hoogveen. Belangrijker reden is echter vooral het complexe karakter van de randvoorwaarden voor hoogveenvorming. Neerslag en luchtvochtigheid hoeven niet persé de beperkende factoren te zijn geweest. Gedacht kan worden aan het ontbreken van geschikte substraten, aan de grote zeldzaamheid van een waterverzadigde ondergrond en aan te voedselrijke situaties in deze ondergrond, waardoor het ombrogene milieu zich niet kon ontwikkelen. Zeker is dat uitgeloogde, waterverzadigde zandbodems, waarop hoogveen goed kan groeien (2.3.), pas veel later tot ontwikkeling kwamen; over het algemeen ruim na ca. 2000 voor Chr.

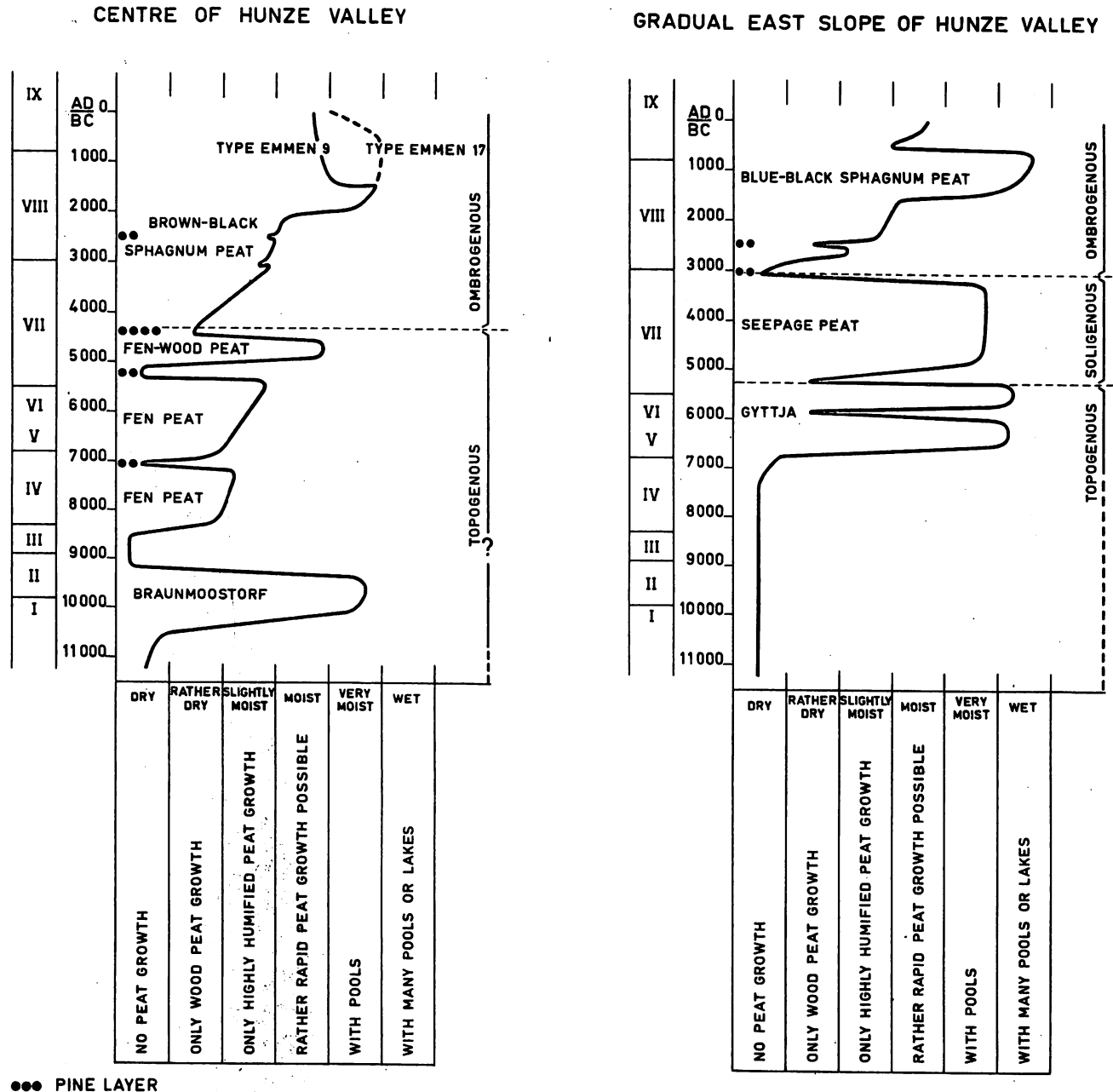
In onderstaande paragraaf 3.3.1. wordt nader ingegaan op de relatie tussen klimatologische ontwikkelingen en de hoogveenvorming.

3.3.1. Veengroei en klimaatsontwikkelingen

Paleobotanisch/veenstratigrafisch onderzoek geeft geen directe informatie over het klimaat en klimaatsveranderingen. Wel kunnen veel gegevens over de vochtcondities van het veenvormende milieu en met name veranderingen daarin verkregen worden. Een klimatologische oorzaak voor een deel van die veranderingen is aanvaardbaar, maar algemeen geldende criteria hiervoor zijn niet te geven. In figuur 7 is de ontwikkeling van het vochtgehalte van het veenvormende milieu gegeven in termen van het gevormde type veen, op twee plaatsen in het Bourtangerveen ten oosten van Emmen.

Deze plaatsen zijn ongeveer 2 km van elkaar verwijderd. Er zijn tussen beide curven zodanig grote verschillen aanwezig, dat een directe invloed van het klimaat op het gevormde type veen, ook waar het ombrogeen veen betreft, ogenschijnlijk minimaal is. Allerlei lokale situaties drukken hun stempel op de veenvormende processen; een nadere analyse van de verschijnselen is nodig om uitspraken te kunnen doen over de (directe) invloed van het klimaat.

Figuur 7. Het Bourtangerveen ten oosten van Emmen; ontwikkeling van het vochtgehalte in veenvormende processen, uitgezet tegen de tijdas. Linker curve: centrale deel van het Hunzedal; rechts: vlakke oosthelling van het Hunzedal. De veenopbouw, waaraan deze informatie is ontleend, is in bijlage 1 gegeven. Naar Casparie, lit. 11.

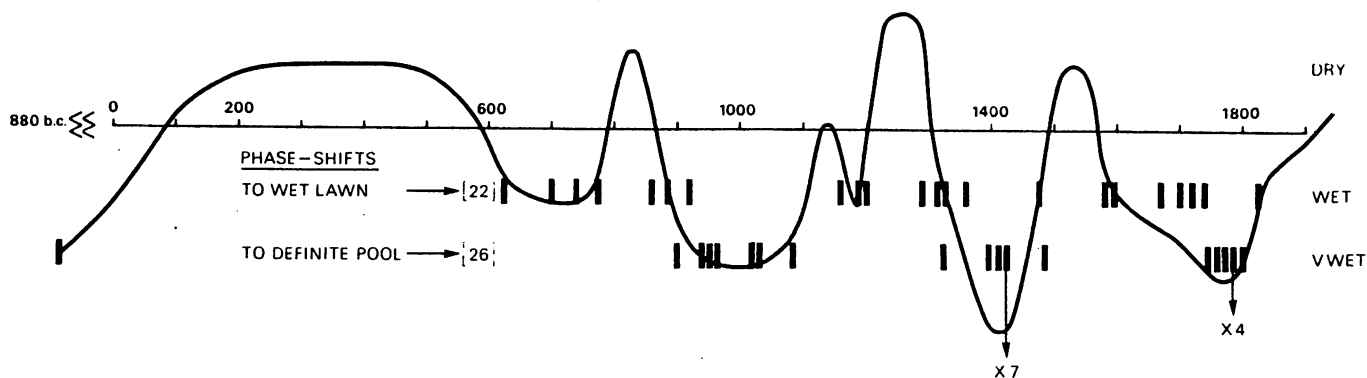


Het dateren van het begin van de hoogveenvorming in zoveel mogelijk venen kan een methode zijn om inzicht te krijgen in hoeverre de verschillende Holocene perioden meer of minder geschikt waren voor ombrogene veenvorming. De methode heeft zijn beperkingen, zoals al is opgemerkt aan het begin van 3.3., want er spelen aanzienlijk meer factoren dan alleen de klimatologische. Voorbeelden

hiervan zijn o.a. de voortgang van de hoogveenvorming, de landschappelijke omstandigheden (geschikte bodems enz.) en de omvang van de hoogveenvorming. Naarmate de veenvorming zich uitbreidt over het landschap wordt de mogelijkheid voor nieuwe hoogveenvorming uiteraard kleiner. De veronderstelling, dat bijvoorbeeld in het Subboreaal de klimatologische omstandigheden voor nieuwe hoogveenvorming wat minder waren dan in het Atlanticum omdat het aantal nieuwe Subboreale hoogvenen gering is, gaat vrij zeker voorbij aan de omstandigheid dat in het Atlanticum de beste lokaties reeds als het ware bezet waren.

In het West-Engelse hoogveen Bolton Fell Moss kon de ontwikkeling van de vochthuishouding van het hoogveenoppervlak in de tijd zeer gedetailleerd geregistreerd worden (Barber, lit. 3). Een groot deel van die nat-droog ontwikkelingen (figuur 8) kon bevredigend gecorreleerd worden met uit andere bronnen af te leiden klimaatsveranderingen in de laatste tweeduizend jaar. De hoogveenvegetatie blijkt tamelijk snel te reageren op wijzigingen in temperatuur en neerslag.

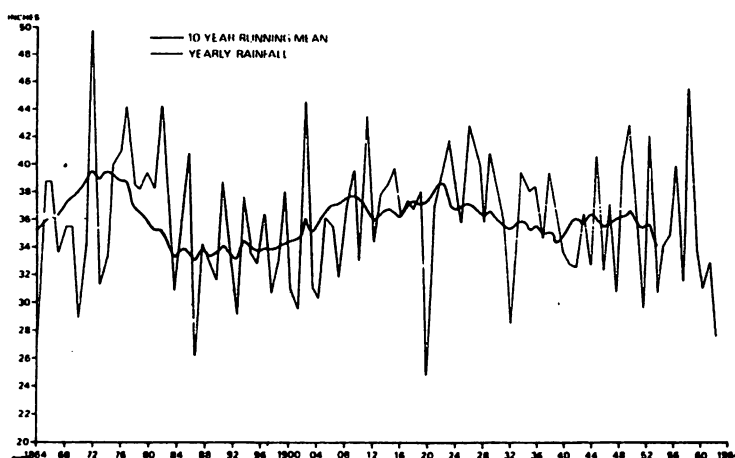
Figuur 8. Bolton Fell Moss, Engeland.



Bovenstaande curve van Bolton Fell Moss betreft de ontwikkeling van de vochtigheid van het veenvormende oppervlak sinds 90 A.D. (Barber, 1981, lit. 3), gebaseerd op diverse paleo-botanische informatie. De hoogte van de "droge" pieken is een aanduiding van omvang, vegetatie en verwerking van de bulten.

Het gedetailleerde veenstratigrafische onderzoek in Nederland (Casparie, lit. 11; van Geel, lit. 29; Dupont, lit. 20) geeft aan, dat hier sinds 4000 à 3000 voor Chr. tot in de Middeleeuwen, althans in Noord-Nederland, ombrogene veenvorming in het algemeen goed plaats kon vinden. Wel zijn duidelijke schommelingen aantoonbaar in de vochtigheid van het veenvormende milieu. Afbraak van het veen door uitdroging en oxydatie, veroorzaakt door klimatologische ontwikkelingen, komt eigenlijk niet voor. In dat opzicht sluiten de Nederlandse onderzoeksgegevens goed aan bij wat in Bolton Fell Moss is aangetroffen, zij het dat de neerslag daar gemiddeld, gemeten in perioden van 10 jaren, thans 920 mm is; 145 mm meer dan de huidige gemiddelde neerslaghoeveelheid in Nederland.

Figuur 9. Betreft de neerslag in Engeland, Wales in de jaren 1864-1964, uitgedrukt in inches. Dunne lijn: jaarlijkse neerslag; dikke lijn: de 10 jaar-gemiddelen. Naar Barber, 1981, lit. 3.



Er zijn geen aanwijzingen, dat de veenvorming in Bolton Fell Moss sinds het begin van de registratie van meteorologische gegevens (figuur 9) anders verliep dan in de voorafgaande 2000 jaren (figuur 8); met andere woorden de condities voor hoogveenvorming zijn aldaar nog steeds aanwezig. Zeker is ook, dat in Nederland de optimale hoogveenvormende condities sinds ca. 800 voor Chr. tot diep in de Middeleeuwen bestonden. Er is geen enkele reden om aan te nemen, dat er met name in Nederland sindsdien een klimaatsverandering zou zijn opgetreden, leidend tot het einde van de hoogveenvorming, die niet in de Engelse veenvorming merkbaar zou zijn geweest.

Om die reden nemen we aan, dat ook in Nederland de klimatologische omstandigheden nog steeds gunstig zijn voor ombrogene veenvorming. In paragraaf 3.3.2. komen we hier nog nader op terug.

Van de periode vóór 2000 voor Chr. zijn van enkele Nederlandse hoogvenen omvangrijke uitdrogingen bekend, waarvan aangetoond kan worden, dat ze niet het gevolg zijn van klimatologische droogte in de vorm van zeer weinig neerslag en/of hoge temperaturen. In het Bourtangerveen ten oosten van Emmen droogt bijv. ca. 2500 voor Chr. een deel van het hoogveenoppervlak uit als gevolg van sterke wegzijging (Casparie, 1972, lit. 11). In het Engbertsdijsveen verbrandt ca. 2100 voor Chr., een aanzienlijk stuk hoogveen als gevolg van een diepgaande ontwatering tot in de zandondergrond (Van Geel & Dallmeijer, 1986, lit. 30).

Ook na 2000 voor Chr. zijn uitdrogingen van het hoogveenoppervlak opgetreden, die deels veel oppervlakkiger of kortstondiger aangrepen, en waarin de klimatologische component herkenbaar is. Tussen ca. 1200 en 700 voor Chr. traden wat grotere schommelingen in neerslag en temperatuur op. Ca. 850 voor Chr. daalde de gemiddelde temperatuur wellicht $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Zeer gedetailleerd veenstratigrafisch onderzoek in het Bargerveen (Dupont, lit. 20) toont een opeenvolging van wat nattere, soms zeer natte en wat drogere fasen, in zijn totaliteit leidend naar grotere vochtigheid. Dit stemt overeen met veenstratigrafische informatie elders (Casparie, lit. 11, Van Geel, lit. 29). Zo droogden ca. 1200 voor Chr. enkele hectares hoogveenoppervlak van het zuidelijke deel van het Bourtangerveen uit, waarbij de contactzones evenwel nat bleven; een kwestie van verminderde neerslag. Nog geen eeuw later is het veenoppervlak aanzienlijk natter geworden, om vervolgens - mede door de sterke uitbreiding van de groei van de grootbladige *Sphagnum imbricatum* en *S. papillosum* - ogenschijnlijk wat minder nat te worden.

Omstreeks 800 voor Chr. wordt het veen weer vochtiger; de watervoorraad op het veenoppervlak neemt toe, mede als gevolg van de temperatuurdaling. Rond 500 voor Chr. treedt omvangrijke erosie op als gevolg van een Moorausbruch in het zuidelijke deel van het Bourtangerveen; de versnelde afvoer van water leidt niet tot diepgaande uitdrogingen.

De opvallende veenstratigrafische verschijnselen tussen 1200 en 700 voor Chr. wijzen op het bereiken van een nieuw hydrologisch evenwicht in de ombrogene veenvorming bij wat lagere temperaturen en wat meer neerslag.

Tussen 1300 en 1400 A.D. maakt in het hoogveenoppervlak van Bolton Fell Moss *Sphagnum imbricatum* plaats voor *S. magellanicum* (Barber, lit. 3). Dit verschijnsel, in veel hoogvenen waargenomen, wordt toegeschreven aan een zeer natte periode (fig. 10) na het "kleine klimaatoptimum" (tabel 3). Over de wijze waarop deze toenemende neerslag in de Nederlandse hoogveenvorming uitwerkte, zijn ons geen gegevens bekend. Wel is bekend, dat met name moerasveenafzettingen in het "kleine optimum" beter toegankelijk werden en ontgonnen konden worden en dat althans plaatselijk dit veen na ca. 1300 A.D. weer veel natter werd.

3.3.2. Meteorologisch onderzoek naar klimaatsontwikkelingen

De klimaatsontwikkeling sinds het Laatglaciaal, zoals bv. naar Lamb (lit. 39) voor Wales is aangegeven in tabel 3, laat duidelijke schommelingen in neerslag, temperatuur en dus ook luchtvochtigheid zien.

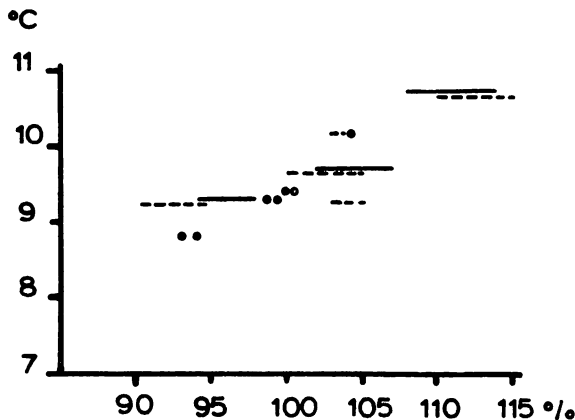
Tabel 3. Verloop van temperatuur (T) en vochtigheid (P = neerslag; E = verdamping) gedurende het Holocene in Engeland en Wales, naar Lamb (1977, lit. 39).
Temperatuur in °C, vochtigheid in % van de gemiddelden 1900-1950.

Datering	Periode	Temperatuur			Vochtigheid	
		T _{ja}	T _{djf}	T _{jaar}	P	E
± 7000 v Chr.	Preboreaal	16,3	3,2	9,3	92-95	94-98
± 6500 v Chr.	Boreaal					
± 4500 v Chr.	Atlanticum	17,8	5,2	10,7	110-115	108-114
± 2500 v Chr.	Subboreaal	16,8	3,7	9,7	100-105	102-104
900-450 v Chr.	Subatlanticum	15,1	4,7	9,3	103-105	97
1150-1300	Kleine Optimum	16,3	4,2	10,2	103-104	104
1550-1700	Kleine ijstijd	15,3	3,2	8,8	93	94
1900-1950	Engeland Wales	<u>15,8</u>	<u>4,2</u>	<u>9,4</u>	100	100
maximum verschil		2,7	2,0	1,9		

Een interpretatie van de gegevens in deze tabel levert het volgende resultaat op.

In z'n algemeenheid verandert het neerslagoverschot over de periode van 9000 jaar weinig, omdat de hoeveelheid neerslag en verdamping grofweg gelijkmatig toe- of afneemt naarmate de temperatuur stijgt of daalt (zie figuur 10).

Figuur 10. De temperatuursverandering in relatie tot de verandering in neerslag en verdamping in procenten (situatie van 1900-1950 is 100%).



legenda

- verdampingspercentage (globaal)
- o verdampingspercentage (exacter)
- neerslagpercentage (globaal)
- neerslagpercentage (exacter)

Een duidelijke uitzondering hierop vormt de situatie tegen het einde van het Subboreaals en met name aan het begin van het Subatlanticum. In deze tijd blijkt de hoeveelheid neerslag relatief hoger te liggen dan op grond van het temperatuurverloop zou mogen worden verwacht. Deze periode is dan ook relatief natter dan andere perioden. In de gegevens van het paleobotanisch veenonderzoek van Casparie (lit. 11) en Dupont (lit. 20) in Z.O.-Drenthe komt deze natte ontwikkeling tot uiting. In paragraaf 3.3.1 werd hier al nader op ingegaan.

De absolute vochtigheid, in de vorm van neerslag en verdamping neemt in de tijd ten opzichte van de periode 1900-1950 respectievelijk maximaal met 8% en 6% af en 14% en 15% toe. Er traden in de vochtinhouding geen zeer grote veranderingen op, maar in relatieve zin is het klimaat gedurende het Holoceen niet constant geweest. Hoewel het zich in zijn algemeenheid kenmerkt door slechts beperkte schommelingen in de temperatuur kan toch een aantal voornamelijk klimatologisch bepaalde perioden na het einde van de laatste ijstijd onderscheiden worden. In onderstaand overzicht worden deze perioden kort beschreven; zie ook figuur 7 en tabel 1.

Preboreaals (8300-6800 voor Chr.).

Periode van temperatuurstijging, met zomers die even warm waren als, of zelfs warmer dan die van de periode 1900-1950 A.D.

Boreaals (6800-5500 voor Chr.).

Doorgaande temperatuurstijging. De winters waren minder koud en mogelijk wat droger dan die van tegenwoordig. De zomers waren warmer en wat droger dan nu.

Atlanticum (5500-3000 voor Chr.).

De warmste periode uit het Holoceen; vochtiger dan de voorgaande periode. Bovendien een natte periode met overheersende winden uit westelijke richting. Een piek in de vochtigheid lag tussen 4000 en 3000 voor Chr.

Subboreaal (3000-800 voor Chr.).

Enige afkoeling. Het klimaat kenmerkte zich door wat grotere fluctuaties en tot ca. 2.000 voor Chr. ook wat drogere omstandigheden. Rond 1200 voor Chr. was het zeer droog in Noord-Europa, waarna tamelijk grote fluctuaties in neerslag en temperatuur optraden, ca. 800 voor Chr. resulterend in lagere temperaturen (1°C of misschien iets meer) en meer neerslag.

Subatlanticum (800 voor Chr. - heden)

Verdere afkoeling van het klimaat; de gemiddelde temperatuur in 700 à 500 voor Chr. lag 2°C lager dan 500 jaar daarvoor.

Tussen 500 voor en 500 na Chr. was het hier aanzienlijk natter, terwijl de periode daarna tot ca. 1300 na Chr. droger was. Vanaf ca. 1500 na Chr. begon weer een nattere, koelere tijd tot ca. 1700 na Chr. Daarna steeg de temperatuur weer iets, maar het bleef een nattere tijd, die voortduurt tot de huidige dag.

Wanneer we een en ander overzien, dan lijkt het aannemelijk dat het Atlanticum en het begin van het Subatlanticum perioden zijn geweest, die voor het ontstaan van hoogvenen zeer gunstig waren. De eerste helft van het Atlanticum, het Subboreaal en ook het overige deel van het Subatlanticum kunnen voor het ontstaan van hoogvenen als matig tot gunstig beschouwd worden.

Op veenstratigrafische gronden verdient deze redenering toch wel bijstelling. Zo kent het zuidelijke deel van het Bourtangerveen in de eerste helft van het Subboreaal uitgebreide ombrogene veenvorming; de Smilderveen nemen door ombrotrofe veenvorming aanzienlijk in omvang toe en in het dal van de Drentse A ontwikkelt zich een aanzet tot hoogveenvorming. In veel pingo-ruïnes is ook een aanzienlijk vaak min of meer ombrogeen veenpakket van Subboreale ouderdom aanwezig of aanwezig geweest.

Voor de Nederlandse situatie ligt de temperatuurschommeling in dezelfde orde van grootte als in Wales, namelijk tussen 9 à 11 °C (Dupont; lit. 20). De gemiddelde verdampingsintensiteit van Nederland zal hierdoor in de tijd gezien niet al te veel afwijken van de gegeven situatie in Wales. Voor het neerslagverloop in de tijd geldt in feite hetzelfde, doch de gemiddelde neerslag zal veel lager zijn geweest dan in Wales, zoals ook al is geconstateerd in paragraaf 3.3.1. Het neerslagoverschot in Nederland was in de tijd gezien dan ook beduidend lager dan in Wales.

De door Lamb gegeven variaties in de temperatuur komen overeen met een verschuiving van isothermen over een afstand van 200 à 500 km. Uitgaande van een onderlinge afstand van juli-isothermen van ca. 150 km per graad, zou dit betekenen, dat een deel van Nederland gedurende langere of kortere tijd buiten het voor hoogveenvorming geschikte areaal kan hebben gelegen. Dit geldt met name voor de Peel in Noord-Brabant, met een huidige neerslagintensiteit van ca. 730 mm/jaar. Barkman (lit. 4) komt in zijn epiphyten-onderzoek tot overeenkomstige conclusies (zie figuren p. 277).

3.4. CONCLUSIES

- De Nederlandse hoogvenen of relictten daarvan worden gerekend tot de plateau-hoogvenen of lens-hoogvenen. Een plateau-hoogveen wordt gekenmerkt door een iets gewelfd reliëf. Het centrum van het veenoppervlak nadert een plat vlak. In zijn totaliteit dus een soort zwak-convexe lens. Plateau-hoogvenen zijn gelegen in het Oceanische, het Suboceanische en het Subkontinentale klimaat. Nederland ligt op de overgang van het Oceanische klimaat naar het Suboceanische klimaat.

- Veenstratigrafisch onderzoek in Nederland geeft aan, dat sinds 4000 à 3000 jaar voor Chr. tot in de Middeleeuwen, althans in Noord-Nederland, ombrogene veenvorming in het algemeen goed kon plaatsvinden. Er zijn in deze periode wel duidelijke schommelingen aantoonbaar in vochtigheid van het veenvormende milieu. Afbraak van het veen door uitdroging en oxydatie, veroorzaakt door klimatologische ontwikkelingen, komt eigenlijk niet voor.
- Op grond van veenstratigrafische informatie uit omliggende landen (Engeland en Noord-West Duitsland) is zeker, dat er in Nederland sindsdien geen klimaatsveranderingen zijn opgetreden, die zouden hebben geleid tot het einde van de hoogveenvorming. Hoogveenvorming is in beginsel nog steeds mogelijk.
- Op grond van de meteorologische klimaatsanalyse volgens Lamb lijkt het aannemelijk dat het Atlanticum en het begin van het Subatlanticum perioden zijn geweest, die voor het ontstaan van hoogvenen zeer gunstig waren, daar optimale vochtige omstandigheden (hogere neerslagintensiteit en lage temperatuur) toen aanwezig waren.
De eerste helft van het Atlanticum, het Subboreaale en ook het overige deel van het Subatlanticum kunnen voor het ontstaan van hoogvenen als matig tot gunstig worden beschouwd (minder vochtig).
- Op basis van de kennis over uitbreiding en typering van ombrotrofe venen in Europa in relatie tot het klimaat, de klimatologische ontwikkelingen in relatie tot hoogveengroei, en de gegeven verspreiding van hoogvenen in Nederland kan worden aangenomen, dat een neerslag van ca. 700 mm per jaar of meer en een gemiddelde juli-temperatuur van ca. 16°C-17°C of minder (gemiddelde temperatuur ca. 9°C) belangrijke voorwaarden zijn voor hoogveenvorming.

4. OECOLOGISCHE ASPECTEN VAN EEN HOOGVEENSISTEEM

4.1. ALGEMEEN

Algemeen leeft de veronderstelling dat een hoogveen uitsluitend gevoed wordt vanuit de atmosfeer. Dat is juist, al is het onjuist te veronderstellen, dat alleen de jaarlijkse input aan mineralen de groei bepaalt. Tot op zekere hoogte kan ook worden geteerd op de erfenis van het verleden, ofwel op de input aan mineralen van voorgaande jaren. Het onderliggende veen en de levende vegetatie onderhouden voedingsbetrekkingen, waarvan een deel via het gemeenschappelijke medium, water, plaatsvindt, maar een ander deel via de wortels van in de vegetatie voorkomende hogere planten.

Binnen een hoogveencomplex vindt voorts enige verdeling plaats van nutriënten. Bulten lozen op slenken, slenken kunnen uitgroeien tot grotere of kleinere meerstallen, terwijl deze het begin kunnen zijn van veenbeekjes. De vegetatie van deze verschillende elementen kent, naast enkele gemeenschappelijke soorten, ook een aantal differentiërende. De verbindende is stroming en naarmate de stroming toeneemt, neemt de voeding met nutriënten per tijdseenheid toe.

In de natte, voedselarme en zure milieu-omstandigheden voelen diverse veenmossen (Sphagna) zich uitstekend thuis. Veenmos is dan ook de meest karakteristieke plant van een hoogveen. Het zijn juist deze betrekkelijk kleine bladmossen, die dankzij hun specifieke bouw, groeiwijze en oecologische eigenschappen de vorming van een hoogveen tot stand kunnen brengen.

Maar ook hogere planten, waarvan er vele over mykorrhiza's beschikken, zijn niet zeldzaam en juist deze soorten zijn althans ten dele in staat tamelijk ver beneden de grondwaterspiegel te groeien. Doordat ze voorzien zijn van holle wortelstokken e.d. zijn ze in staat toch lokaal een betrekkelijk zuurstofrijk milieu te creëren en daardoor de in het dode substraat opgeslagen nutriënten te mobiliseren, doordat de oxydatie van veen wordt bevorderd. Ook allerlei micro-organismen dragen bij tot de afbraak van het natte veen, een proces dat vaak als humificatie wordt beschreven.

Kenmerkend is, dat er in hoogveensystemen mechanismen zijn, die er toe bijdragen, dat zoveel mogelijk mineralen ten dienste staan van de levende vegetatie: tussen levend en dood veen vindt een zekere uitwisseling plaats, waarbij veel bovenin wordt geconcentreerd. Veenmossen zijn in staat een aanzienlijk deel van de nutriënten her te verdelen, ten gunste van de levende delen. Aanwezigheid van water rondom de plant is daarbij een eerste vereiste - veenmossen hebben geen wortels, vaatbundels e.d.

Over de merkwaardige eigenschappen van veenmossen komen we nog te spreken in de paragrafen 4.2. en 4.3.

4.2. VOCHT- EN VOEDSELHUISHOUDING VAN VEENMOSSSEN

4.2.1. Interne en externe vochthuishouding

Paul (lit. 7) constateert dat veenmossen in aanleg waterplanten zijn, die zich ten dele hebben weten aan te passen aan het zuurstofrijke milieu boven het veenwaterniveau. Veenmossen treft men dan ook vlak onder of boven de waterspiegel aan. Voorts constateert Beyerinck (lit. 7) dat veenmossen, die over het algemeen boven de veenwaterspiegel voorkomen, zich voor het merendeel aan een levenswijze

onder water kunnen aanpassen en veranderen in de zogenaamde "watervormen", terwijl de typische watersoorten zich daarentegen veel moeilijker aan de omstandigheden boven de waterspiegel aanpassen. Vermoedelijk heeft dit te maken met verschillen in bouw en structuur van te onderscheiden veenmossoorten en de hierbij behorende verschillen in de interne en externe vochthuishouding (Rijdin; lit. 52). Het is echter duidelijk dat alle veenmossen aan zeer natte omstandigheden gebonden zijn. De vraag is nu op welke wijze de vochthuishouding van deze planten in elkaar zit.

Interne vochthuishouding

Evenals andere mossen zijn veenmossen wortelloze planten. De stengeltop van de plant groeit steeds verder, terwijl het onderste deel (0,10 à 0,30 m beneden de groeitop) afsterft, waardoor deze geen functie vervult voor het watertransport naar de groeitoppen van de plant. De wateropname door de plant verloopt via bepaalde cellen, die met name in de blaadjes van veenmos aanwezig zijn. In deze blaadjes treft men twee soorten cellen aan, te weten chlorophyl bevattende cellen, die zorgen voor het assimilatieproces (de fotosynthese) van de plant, en hyaline cellen. Deze laatste cellen hebben verstevigde celwanden met poriën, waar water in en uit kan treden. Romanov (lit. 53) noemt deze cellulaire ruimten de interne porositeit van de veenmossen. Het zijn de ruimten, waar grote hoeveelheden water geborgen kunnen worden. Beyerinck (lit. 7) en Romanov (lit. 53) stellen vast dat de veenmossen in staat zijn 40 maal zoveel water op te nemen als hun eigen drooggewicht bedraagt. Volgens Willems (lit. 63) is dat een hoeveelheid die 3 à 4 maal groter is dan bij andere planten van het hoogveen (zoals bijvoorbeeld één-arig wollegras).

De wanden van de levende cellen zijn (semi-)permeabel; dit geldt ook voor de wand tussen hyaline cel en levende cel; via het principe van osmose kunnen de veenmossen water en daarin opgeloste stoffen uit de hyaline cellen opnemen. De hyaline cellen nemen dus in zekere zin met betrekking tot de voeding de functie van de wortel over.

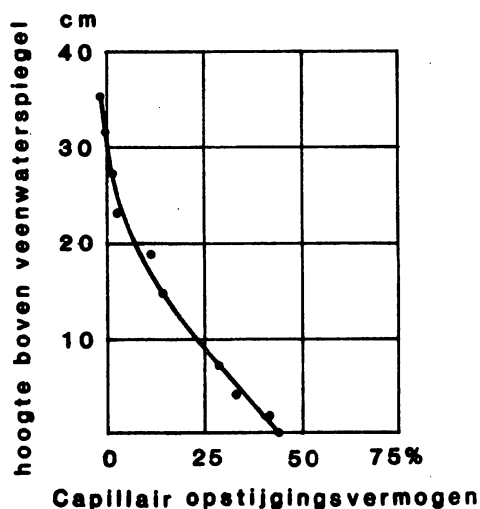
Doordat de hyaline cellen in open verbinding staan met de atmosfeer kunnen ze bij hogere temperaturen met name in de zomer veel water direct verdampen. Veenmossen bezitten geen huidmondjes, die bij andere planten de verdamping regelen en bij een hogere temperatuur de verdamping van de plant kunnen afremmen. Bij veenmossen kan de verdamping wel enigszins worden afgeremd door de witte verkleuring, die gaat optreden als de veenmossen sterker gaan uitdrogen en waarbij het water in de hyaline cellen vervangen wordt door lucht. Door de witte kleur wordt de warmtestraling immers gereflecteerd.

Ten behoeve van de watervoorziening van veenmossen is daarnaast nog een tweede factor van belang: de externe vochthuishouding.

Externe vochthuishouding

Naast de interne porositeit onderscheidt Romanov (lit. 53) ook de externe porositeit. Dat is de porositeit tussen de stammen, takken en blaadjes van een veenmosplant en de veenmossen onderling. In deze ruimte kan capillair water vanuit het veenwater worden aangevoerd naar de hyaline cellen. Naast interceptie van ook regenwater fungeert capillaire opstijging van bodemwater als voedingsbron. Ook de verdamping is duidelijk afhankelijk van het met capillair transport. Romanov (lit. 53) heeft gemeten dat het percentage capillair gebonden water in een veenprofiel ten opzichte van het totale watergehalte in veen (ca. 97%) reeds bij een geringe daling van de veenwaterstand zeer sterk afneemt. Figuur 12 illustreert dat.

Figuur 12. Distributie van capillair water boven de veenwaterstand.



Zo is te constateren dat bij een daling van de veenwaterstand tot meer dan 0,20 m beneden het veenoppervlak het percentage aan capillair gebonden water al minder dan 5% van het totale watergehalte in het veen bedraagt. Te zamen met de veelal "ongeremde" verdamping van veenmossen geeft het bovenstaande nog eens duidelijk aan dat de veenwaterstand in een hoogveen ook in drogere periodes van het jaar niet te diep beneden het veenoppervlak mag dalen, wil het veengebied althans niet uitdrogen en veenmossen dientengevolge afsterven. Aan het einde van het zomerhalfjaar neemt de hoogte van de temperatuur geleidelijk af en daarmee ook de verdampingsintensiteit van veenmossen. Bij voldoende neerslagaanbod ontstaat dan al gauw een neerslagoverschotsituatie en hierdoor stijgt de veenwaterstand, waardoor weer optimale vochtomstandigheden worden geschapen voor de veenmossen. Veenmosgroei heeft dan ook in drogere periodes van het zomerhalfjaar nauwelijks plaats; met name in het voorjaar en in veel mindere mate in het najaar heeft optimale veengroei plaats, omdat dan geen vochttekorten optreden.

4.2.2. Voedselhuishouding

Ombrotrofe venen worden uitsluitend gevoed door regenwater. Via deze weg wordt dan ook het belangrijkste deel van de voedingsstoffen voor de veenmossen aangevoerd. Het regenwater heeft van nature een voedselarm karakter en een lage ionogene belasting. Naast de lage ionogene belasting is ook de betrekkelijk lage zuurgraad (pH) kenmerkend voor neerslagwater. De karakteristieke kenmerken van veenwater, waaruit veenmossen hun voedingsstoffen betrekken, komen dan ook veel overeen met die van regenwater. Op de specifieke kenmerken van beide watertypen wordt in paragraaf 4.3. nader ingegaan.

Naast het aanbod van voedingsstoffen via de neerslag, heeft ook nog aanvoer van stoffen vanuit het dode veenmateriaal op iets grotere diepte in het veenprofiel plaats. Door middel van mineralisatie van het dode plantenmateriaal komen deze voedingsstoffen vrij. Het aanvoermechanisme wordt door Baaijens (lit. 1) beschreven als de "thermische pomp" van het hoogveensysteem. Het principe van deze pomp werkt als volgt. 's Nachts koelt het veenoppervlak af. De temperatuur van het veenwater aan het oppervlak daalt en wordt dan lager dan de temperatuur van het veenwater op iets grotere diepte. Warm water is lichter dan koud water. Er ontstaat daardoor een opwaartse stroming, waarmee de voedingsstoffen vanaf grotere diepten naar het veenoppervlak worden getransporteerd. Het veenwater nabij het

oppervlak wordt in de loop van de nacht hierbij dus voedselrijker en minder zuur omdat de veenmossen 's nachts geen voedingsstoffen opnemen, daar ze dan niet assimileren. Overdag worden de voedingsstoffen in de bovenste waterlaag van het veen opgenomen door de veenmossen, zodra de assimilatie een aanvang neemt. Het omringende veenwater wordt dan in de loop van de dag zuurder. Dit zuurder maken van de milieu-omstandigheden is een typische eigenschap van veenmossen. Beyerrinck (lit. 7), Baaijens (lit. 1), Boelter en Verry (lit. 9) constateerden dat veenmossen in staat zijn waterstof-ionen (H^+ -ionen) uit te wisselen tegen andere kationen (bv. Na^+ -, K^+ -, Ca^{2+} -, Mg^{2+} -, NH_4^+ -ionen), die in het veenwater in lage concentraties aanwezig zijn. Het gevolg hiervan is dat aan het veenwater een hogere concentratie aan H^+ -ionen wordt afgestaan, waardoor de pH van dit water een lagere waarde bereikt. Het resultaat is dus een zuurder milieu. Volgens Casparie (lit. 14) en Boelter en Verry (lit. 9) ligt de optimum waarde van de pH voor kenmerkende hoogveenvormende veenmossen rond de 4 of iets daaronder. Baaijens (lit. 1) concludeert, dat onder normale omstandigheden geen steeds lagere pH en dus een nog voedselarmere situatie ontstaat, omdat in de loop van het groeiseizoen bij veenmossen "veroudering" van de celwanden optreedt, waardoor de uitwisselingscapaciteit van ionen door het membraam van de hyalinecellen afneemt. Daardoor worden minder voedingsstoffen opgenomen en steeds minder H^+ -ionen door de veenmossen aan het veenwater afgestaan. Er ontstaat bij een pH van ca. 4 een soort evenwicht in uitwisselingscapaciteit van ionen, waarbij de pH niet verder daalt en relatief constant blijft. Een lagere pH-waarde dan ca. 3.2 à 3.4 werkt overigens toxisch op het veenmosmilieu.

4.3. SPECIFIEKE ABIOTISCHE KENMERKEN VAN HOOGVENEN

Na aandacht te hebben besteed aan enkele specifieke fysiologische kenmerken van veenmossen zal nu in bredere zin nader worden ingegaan op de specifieke abiotische kenmerken van hoogvenen, waarin de veenmossen een belangrijke plaats innemen. Daarbij wordt speciaal aandacht besteed aan de morfologie van het veenoppervlak, de hydrologische kenmerken van de acrotelm*) en catotelm*) en de ombrotrofe omstandigheden in hoogvenen.

4.3.1. Morfologie van het veenoppervlak in relatie tot de waterhuishouding

Aan de morfologie van het veenoppervlak wordt in hoofdzaak gestalte gegeven door de hydrologische omstandigheden van een veencomplex. In z'n algemeenheid kunnen, volgens Ivanov (lit. 36), bij het veenvormingsproces twee hoofdvormen van veenreliëf worden onderscheiden. Hij stelt vast, dat in het begin venen een holrondreliëf hebben, terwijl in een latere fase van de veenvorming bolronde of beter gewelfde reliëfvormen optreden. In hydrologische zin zijn deze reliëfvormen ook te beschrijven. Venen met een holrondreliëf worden naast de neerslag gevoed door water uit de omgeving. Er heeft dus een toestroming van mineraalrijker grond- of oppervlaktewater plaats.

Twee uitgangssituaties zijn daarbij te onderscheiden: de vorming van moerasveen en kwelveen. Dit laatste type veen kan plaatselijk een gewelfd oppervlak hebben; ten opzichte van het waterniveau in het infiltratiegebied is het laag gesitueerd. Wanneer bij verdere veenvorming het veengebied boven de omgeving uitgroeit ont-

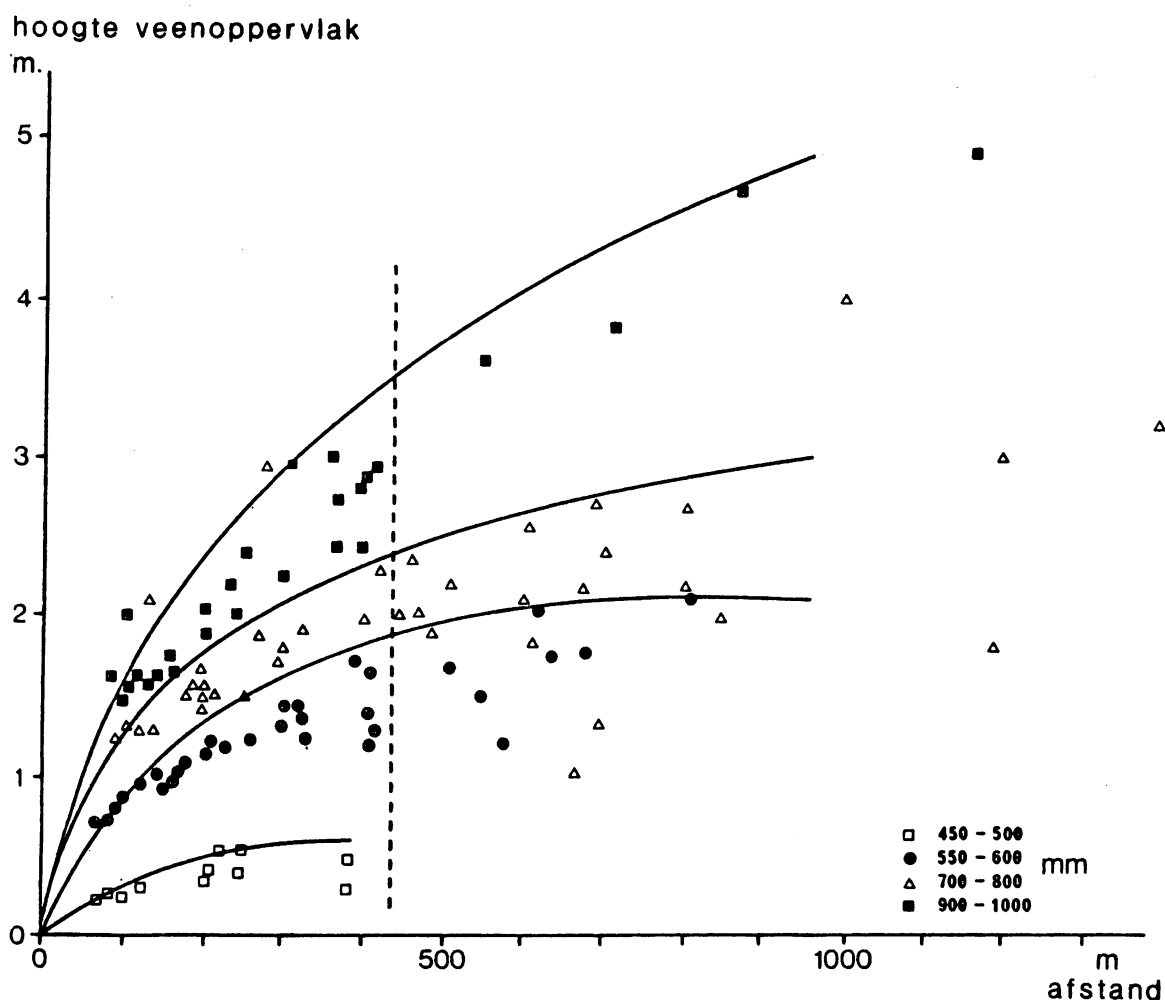
*) De begrippen acrotelm en catotelm worden in paragraaf 4.3.2. nader verklaard.

staat een iets gewelfd reliëf. Het overtollige water stroomt dan vanuit het veengebied naar de omgeving af. Dit af te voeren water is mineralen-arm, daar uitsluitend voeding via de neerslag optreedt.

Over de mate van opbolling van hoogvenen bestaan verschillende theoriën.

Volgens Granlund (lit. 32) is de diameter en de hoogte van het hoogveencomplex sterk afhankelijk van de jaarlijkse hoeveelheid aan neerslag, die in een bepaald gebied valt, zoals dat is te zien in onderstaande figuur 13 die is gemaakt voor hoogvenen in Zweden met verschillende jaarlijkse neerslagintensiteiten.

Figuur 13. De relatie tussen de mate van opbolling van lenshoogvenen in Zuid-Zweden en de gemiddelde neerslag, naar Granlund (1932).



Clymo (lit. 19) geeft echter aan dat de hoogte van een hoogveen het resultaat is van groei en afbraak en daarbij een limiet nadert.

Grote hoogvenen bestaan meestal uit een aantal van gewelfde complexen, zoals dat voor het voormalige Bourtangerveen in het noorden van ons land kan worden vastgesteld, zie figuur 1.

In het centrum van het gewelfde veencomplex nadert het reliëf een vrijwel horizontaal vlak. Juist in dit centrum treft men zogenaamde meerstallen aan (Casparie, lit. 14). Dit zijn veenmeertjes, die op dit relatief vlakke deel van het hoogveencomplex ontstaan, omdat ten gevolge van het geringe verhang in de waterspiegel de waterafvoer zeer traag verloopt. Hierdoor kan water voor wat langere tijd ter plaatse geborgen worden in laagten en aldus kunnen de zogenaamde meerstallen ontstaan. Deze meerstallen fungeren als voedingsgebieden, die de perifere afwatering via slenken van het veencomplex in stand houden, ook als er langere tijd geen neerslag is gevallen. De slenken vormen een netvormig afwateringssysteem naar de rand van het hoogveencomplex (contactzone).

Het micro-reliëf van hoogvenen wordt naast de slenken gekenmerkt door zogenaamde bulten. De bulten steken gemiddeld slechts 0,10 à 0,30 m boven het slenkenniveau uit. Deze meestal ronde tot ovale plekken met wat drogere veenvorming hebben gewoonlijk een doorsnede van 0,5 à 6 m. Het bulten- en slenkenpatroon is bij ons ook bekend onder prehistorische veenwegen. Het veenoppervlak vertoont in feite een nat-droog patroon. Een overzicht van een karakteristiek bulten- en slenkenpatroon in een (lens) hoogveen geeft figuur 14. Het betreft hier het centrum van het Carbury Bog in Ierland (Schouten; lit. 55).

Figuur 14. Patroon van vegetatie in het centrum van Carbury Bog (Ierland). Witte vlakken stellen voor; zwarte vlakken zijn overwegend slenken en voor een klein deel open water.

0 1 2 m



Bovenop de bulten van een hoogveen komen minder veenmossen voor; hier groeien vooral éénarig wollegras, dopheide, struikheide en andere hogere planten. Speciaal op de bultflanken is vaak overvloedige veenmosgroei aanwezig. De bultminnende veenmossoorten leven onder de meest zure omstandigheden binnen het hoogveenmilieu. De pH bereikt hier veelal waardes van ca. 3 à 4. Dit zijn over het algemeen ook de meest voedselarme milieus van het hoogveensysteem, omdat de bulten uitsluitend gevoed worden door neerslagwater en niet worden beïnvloed door de toch iets voedselrijkere afvoer door slenken.

In de slenken veroorzaakt de aanwezige vegetatie veelal vertraging in de afvoer van water; regenbuien stromen dan ook langzaam af, zodat in de slenken vrijwel altijd water beschikbaar is voor veenmosgroei. Zoals in paragraaf 4.2. al is opgemerkt stelt iedere veenmossoort specifieke eisen aan de standplaats. Dit betreft vooral de veenwaterstand beneden het veenoppervlak. De onderstaande tabel 5 naar Ivanov (lit. 36) illustreert dit nog eens duidelijk voor bult- en slenkminnende veenmossoorten.

Tabel 5. Typering van veenmossoorten voor pH-bereik en niveau van veenwaterstand.

Veenmossoort	Typering	Diepte van gemiddelde veenwaterstand beneden het veenmosdek in m	pH-bereik
<i>S. fuscum</i>	bultminnend	0,25 à 0,37	3 à 4
<i>S. magellanicum</i>	bult/slenkminnend	0,05 à 0,25	3 à 6
<i>S. acutifolium</i>	slenkminnend	0,03 à 0,05	3 à 6,5
<i>S. cuspidatum</i>	slenkminnend	0,00 à 0,01	3 à 6

De pH is als milieufactor aan de tabel toegevoegd, om duidelijk te maken dat de groeiplaatsomstandigheden van bult- en slenkminnende veenmossen op korte afstand sterk uiteenlopen. Uit deze gegevens kan worden afgeleid dat de drogere standplaatsomstandigheden in de bulten samen gaan met een zuurder milieu, terwijl in de natte slenken minder zure omstandigheden voorkomen. (De gegevens over de pH zijn ontleend aan het onderzoek van Beyerinck (lit. 7)).

Tenslotte nog een algemene opmerking. De natuurlijke watervoorziening van een hoogveenoppervlak is in feite de combinatie van de directe voeding door de neerslag en de zeer langzame, oppervlakkige afvoer van het watersurplus vanaf het hoogste deel van het hoogveen naar de rand. Dit noemen we de "Systeemgebonden afvoer", zie par. 4.3.3. Daarbij speelt het geringe reliëf van het hoogveencomplex een belangrijke rol.

Naast het reliëf vervullen de acrotelm en catotelm ook een essentiële functie bij een goede ontwikkeling van het hoogveensysteem. We zullen hier nu nader op ingaan.

4.3.2. Karakterisering van acrotelm en catotelm

Volgens Ingram (lit. 35) zijn bij hoogvenen in hydrologisch opzicht twee functionele begrenzings aan te geven, te weten de acrotelm en de catotelm. Deze indeling wijkt principieel af van de bekende andere indelingen, die vooral gebaseerd zijn op de tint van het veen, de verweringsgraad, de botanische samenstelling, de

veronderstelde genese van het pakket of op combinaties daarvan. Bekend zijn bv. de termen witveen, jong mosveen en weinig vergaan, die tegenover zwartveen, oud mosveen en sterk vergaan gesteld worden. In dit rapport worden de termen weinig vergaan, matig vergaan en sterk vergaan mosveen geregeld gebruikt, zie bv. tabel 12 op p. 67.

Vooruitlopend op onderstaande beschrijving van acrotelm en catotelm, kan in een levend hoogveen het bovenste deel van het veenpakket veelal als component van de acrotelm worden opgevat. In zo'n hoogveen bestaat dit mogelijk grotendeels uit niet of weinig vergaan mosveen, maar dit is geen voorwaarde. Het sterk vergane mosveen en delen van het matig vergane en weinig vergane mosveen behoren globaal gezien tot de catotelm, hoewel in het bijzonder het weinig vergane mosveen enkele acrotelm-eigenschappen heeft. Dit geldt met name het krimp- en zwelvermogen.

Acrotelm

De acrotelm is te omschrijven als het systeem van de levende veenmossen, inclusief hun watervoorziening. Dit komt in de praktijk neer op een 0.10 à 0.30 m dikke top laag van het levende hoogveen. De hydrologische kenmerken van deze laag zijn een relatief goede doorlatendheid ($K > 1 \text{ m/d}$) en de periodiek wisselende vochtthuishouding in de bodem, die in hoofdzaak wordt gereguleerd door de hoeveelheid neerslag en verdamping. Voorts treedt door het zwel- en krimpvermogen van de bodemlaag, afhankelijk van de weersomstandigheden, in de loop van het jaar een verandering van hoogte in het veenoppervlak op; in Duitsland ook wel "Mooratmung" genoemd. En tenslotte treedt bij verdamping van de veenmossen een vermindering van het vochtgehalte in de bodem op en daalt de veenwaterstand in deze laag, waardoor zuurstof in de bodem kan toetreden en het mineralisatieproces onder meer aërobe omstandigheden relatief snel kan verlopen.

Catotelm

De catotelm reikt vanaf de acrotelm tot aan de minerale ondergrond. Het organisch materiaal in deze laag is gewoonlijk sterker gehumificeerd of het gedraagt zich als zodanig. Door het ontbreken van zuurstof (O_2) wordt het venige materiaal onder anaërobe omstandigheden zeer traag afgebroken. Door de vergaande omzetting van het plantenmateriaal is het poriënvolume en daarmee de doorlatendheid gering ($10^{-3} > K > 10^{-6} \text{ m/d}$). In de bodem heeft geen verandering van het vochtgehalte plaats, zodat de waterberging vrij constant is. Het zwel- en krimpvermogen in deze bodemlaag is kleiner.

De besproken verschillen tussen de acrotelm en de catotelm staan in onderstaande tabel 6 nog eens weergegeven.

Tabel 6. Kenmerkende verschillen in eigenschappen tussen acrotelm en catotelm.

Eigenschappen

Kenmerkende verschillen

	<u>acrotelm</u>	<u>catotelm</u>
- Humificatiegraad	nihil/laag	hoog
- doorlatendheid van het veen	groot/variabel	zeer klein
- waterbergend vermogen	groot	klein
- zwel- en krimpvermogen	groot	klein
- mineralisatieproces	relatief aëroob	relatief anaëroob
- veenvormende eigenschappen	aanwezig	afwezig

Op enkele specifieke eigenschappen van de acrotelm en catotelm wordt nu nader ingegaan.

A. Bergingscoëfficiënt

De bergingscoëfficiënt is te definiëren als het quotiënt van de verandering in specifieke berging of vochtinhoud in de bodem en de bijbehorende verandering van de stijghoogte c.q. veenwaterstand. De bergingscoëfficiënt is wiskundig aldus weer te geven:

$$\mu = \frac{\Delta B}{\Delta G}$$

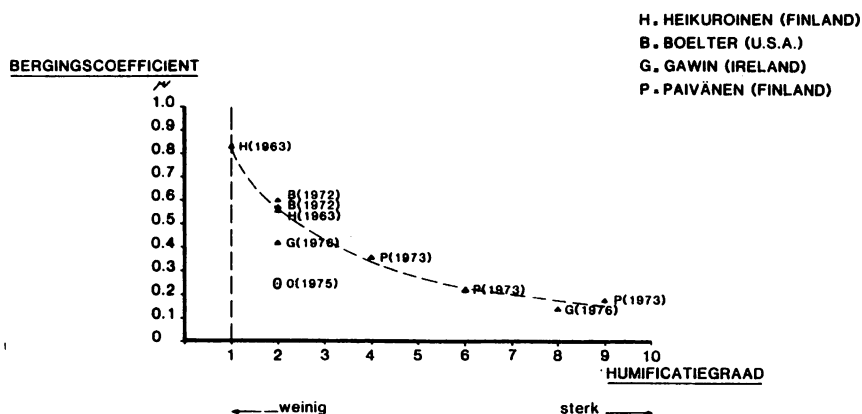
μ = bergingscoëfficiënt
 ΔB = verandering in de specifieke berging
 ΔG = verandering in de veenwaterstand

(Onder specifieke berging wordt verstaan de berging boven een nader aan te geven referentievlak per eenheid van horizontaal oppervlak.)

De bergingscoëfficiënt hangt af van de porositeit van het medium; in dit geval veenmosveen. De porositeit in een veenprofiel neemt met de diepte af (Boelter en Verry, lit. 9). Deze afname in porositeit met de diepte wordt enerzijds bewerkstelligd door de druk van het bovenliggende veenpakket dat met water verzadigd is en anderzijds veroorzaakt door een verdere humificatie van het organische materiaal. De humificatiegraad van het veen is een afgeleide van het veenvormende milieu en is niet direct afhankelijk van de veenopbouw. De humificatie van het organisch materiaal is een proces, waarbij plantenresten in humus worden omgezet. Tijdens dit proces treedt een belangrijke structuurverandering in het organische materiaal op. De mate waarin het organische materiaal is gehumificeerd is uit te drukken in verschillende klassen. Von Post en Granlund (lit. 51) hebben een humificatieschaal van 1 t/m 10 opgesteld waarin de mate van humificatie of ook wel de humificatiegraad van het organisch materiaal wordt weergegeven. Deze humificatieschaal is als bijlage 3 aan dit rapport toegevoegd.

Tal van onderzoekers (o.a. Boelter en Verry, lit. 9; Heikurainen et al., lit. 34; Galvin, lit. 27 en Schouwenaars, lit. 56) hebben zich bezig gehouden met de relatie tussen de bergingscoëfficiënt en de humificatiegraad van veenmosveen. Wanneer men deze gegevens van de onderzoeken in één grafiek uitzet (figuur 15) dan blijkt er een duidelijk verband te bestaan tussen de bergingscoëfficiënt en de mate waarin veenmosveen is gehumificeerd.

Figuur 15. Relatie tussen bergingscoëfficiënt-humificatiegraad.



Volgens de grafische voorstelling hebben de niet vergane plantenresten (die vlak onder het veenoppervlak voorkomen), een bergingscoëfficiënt van 0,85. Bij een sterke humificatie van het veenmosveen kan de bergingscoëfficiënt afnemen tot zelfs de waarde beneden de 0,1. In de eerste situatie is het volumepercentage "vrij" water in de veenmoslaag 85%, terwijl in het tweede geval het slechts 8% bedraagt.

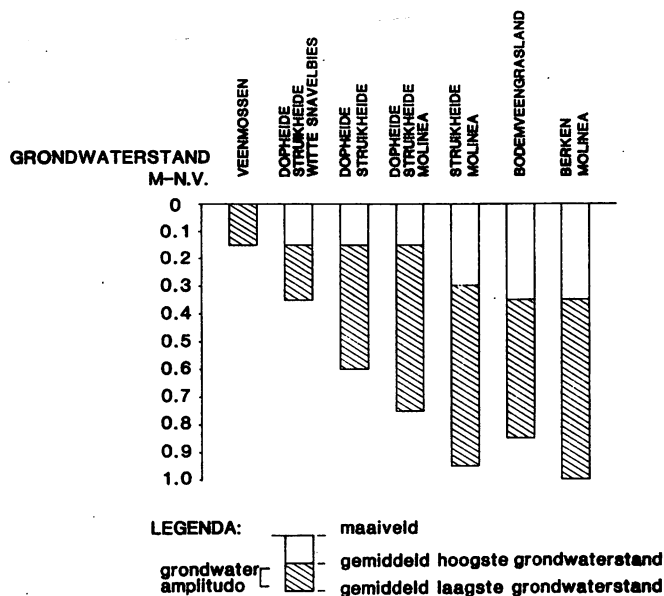
De verschillen in bergingscoëfficiënten, in relatie tot de humificatiegraad, verklaren direct waarom in een tot op het zwartveen (sterk vergaan veenmosveen) afgegraven hoogveen de veengroei niet zonder meer op gang kan komen, terwijl in een ongestoorde acrotelm de mogelijkheden daartoe volop aanwezig zijn. Aan de hand van een eenvoudig rekenvoorbeeld kan dit nader duidelijk worden gemaakt.

Stel dat gegeven is een vochtverlies of bergingsverandering van 70 mm. Dan treedt in een witveenlaag (weinig of niet vergaan veenmosveen), met een bergingscoëfficiënt van 0,8 een daling van de veenwaterstand op van 87,5 mm of bijna 0,09 m. In een zwartveensubstraat, met een bergingscoëfficiënt van bv. 0,2, daalt de veenwaterstand echter 0,35 m. In het eerste voorbeeld heeft, zoals in paragraaf 4.2.1. is omschreven, nog voldoende capillaire toevoer naar de veenmossen plaats; in het tweede voorbeeld is dat uitgesloten en leidt de grotere grondwateramplitudo tot een vegetatietype dat past bij een verdroogd hoogveenmilieu. Dit ondanks het feit dat de capillaire opstijging in gehumificeerd veen groter zal zijn dan in niet gehumificeerd veen.

Een verdroogd hoogveenmilieu kan echter ook ontstaan door een vergroting van de wegzijging naar de ondergrond of vergroting van de oppervlakkige afvoer in een hoogveen. In hoofdstuk 5 en 8 komen we hier nog nader op terug. Het effect van deze hydrologische veranderingen is dat de hoeveelheid geborgen water (ΔB) in een hoogveen wordt verkleind, hetgeen tot gevolg heeft dat de veenwaterstand in het droge zomerhalfjaar dieper doordaaft.

Dat een grotere veenwateramplitudo leidt tot een meer droogteminnende vegetatie wordt aan de hand van onderstaande figuur 16 duidelijk.

Figuur 16. Gemiddeld hoogste en laagste waterstand beneden het veenoppervlak voor verschillende plantesoorten.

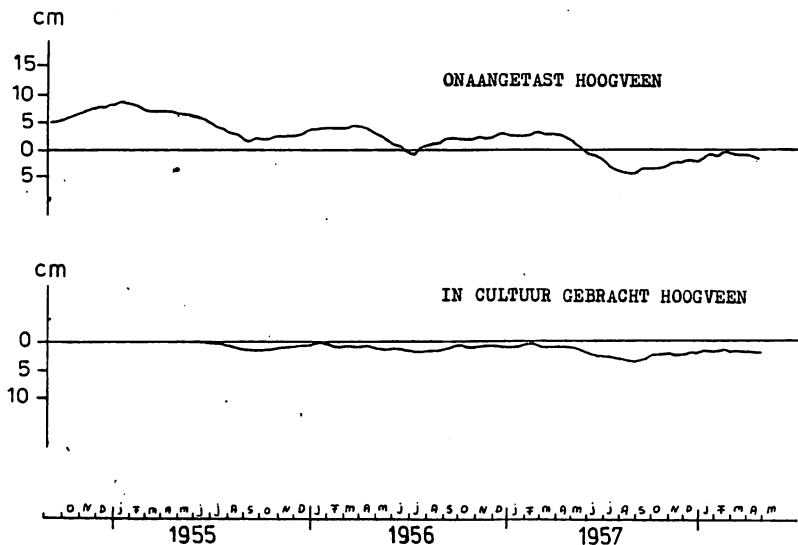


De gegevens zijn afkomstig uit het onderzoek van Willems (lit. 63) dat in 1974 in het Bargerveen is verricht.

B. Zwel- en krimpprocessen in de acrotelm

Zoals al is beschreven heeft in de acrotelm een natuurlijk proces van zwellen en krimpen van het veenoppervlak plaats, wanneer de veenwaterstand ten gevolge van de neerslag of verdamping respectievelijk stijgt of daalt. Uhden (lit. 61) en Ivanov (lit. 36) constateerden dat de gemiddelde jaaramplitudude van het zwellende en weer inkrimpande veenoppervlak zo'n 0,10 à 0,15 m kan bedragen. In onderstaande figuur 17 zijn twee voorbeelden gegeven van zwellen en krimpen van het veenoppervlak.

Figuur 17. Zwellen en krimpen van het veenoppervlak voor een weinig aangetast en een in cultuur gebracht hoogveen.



De gegevens zijn ontleend aan het onderzoek in de Esterweger Dose dat in de jaren vijftig/zestig door Uhden (lit. 61) is verricht. De verschillen in zwellen en krimpen van het veenoppervlak kunnen worden verklaard uit de verandering van de porositeit en poriëngrootte-verdeling nabij het veenoppervlak, die door ontwatering is opgetreden. Ontwaterd veen is compacter en heeft een hoger "substanz volume". Hierdoor neemt het zwel- en krimpvermogen aan het veenoppervlak af.

Het zwel- en krimpproces van hoogvenen kan in relatie tot de eerder beschreven fysische eigenschappen van veenmossen aldus worden omschreven. Bij levende venen is de grootte van de bergingscoëfficiënt nabij het veenoppervlak enigszins variabel ten gevolge van het zwel- en krimpvermogen van het actieve veenmospakket. In de neerslagrijke wintermaanden kunnen deze planten zeer veel water opnemen in de hyaline cellen en zijn de poriën tussen veenmosplanten vrijwel geheel met water verzadigd. Primair door het vollopen van de hyaline cellen zwelt het veenoppervlak. De bergingscoëfficiënt kan dan toenemen tot een waarde van ca. 0,95. 's Zomers wanneer men te maken heeft met een verdampingsoverschot, daalt de veenwaterstand en droogt de "Sphagnum-spons" oppervlakkig uit en dus daalt het veenoppervlak. De bergingscoëfficiënt kan aan het einde van dit seizoen een waarde van 0,8 à 0,75 bereiken.

De vrij grote bergingscoëfficiënt in de acrotelm alsmede het zwel- en krimpvermogen van deze laag zijn belangrijke hydrologische eigenschappen van een levend hoogveen en vormen dan ook een essentiële bestaansvoorwaarde bij de instandhouding van dit landschap. Beide eigenschappen zorgen ervoor dat de veenwaterstand in de acrotelm gedurende het jaar niet verder beneden het veenoppervlak daalt dan ca. 0,10 à 0,20 m. Aan de hand van een voorbeeld kan dit nog eens worden geïllustreerd.

Er wordt uitgegaan van een veenpakket van 0,25 m dik dat bestaat uit levend, niet gehumificeerd veenmosveen. Aan het einde van de droge zomerperiode krimpt dit pakket in tot 40% van z'n oorspronkelijke dikte: 0,10 m. Het maaiveld daalt dus 0,15 m. Bij het begin van de periode met een verdampingsoverschot is 0,25 m veen aanwezig, bestaande uit: 5% oftewel 0,0125 m, organische stof en 95%, oftewel 0,2375 m, water.

Aan het einde van het zomerseizoen is nog 0,10 m veen aanwezig bestaande uit 0,0125 m, oftewel 12.5% organische stof en 0,0875 m, oftewel 87%, water. Oftewel na de droogteperiode is het veenoppervlak 0,15 m gedaald. Het levende en niet gehumificeerde veenmospakket bevat ondanks dat nog steeds zeer veel water, namelijk 87%.

Met een betrekkelijk gering verlies aan vochtigheid is een zeer grote verticale beweging van het maaiveld mogelijk en is bovendien 150 mm water beschikbaar voor de verdamping en afvoer.

4.3.3. Systeemgebonden afvoer

In deze paragraaf wordt een beeld geschetst van de watervoorziening van (puur) ombrotrofe veenvormende vegetaties in bult-slenksystemen. In het bijzonder wordt daarbij ingegaan op de systeemgebonden afvoer in bult-slenksystemen. De systeemgebonden afvoer is te definiëren als de stroming van water, die noodzakelijk is om de hoge veenwaterstand te onderhouden, het teveel aan voedingsstoffen af te voeren en de zuurtegraad op peil te houden.

Systeem-gebonden afvoer

Onze veronderstelling van het bestaan van een "systeemgebonden afvoer" of "systeem-noodzakelijke afvoer" berust op de volgende uitgangspunten en waarnemingen.

a. Waterbalans

In de meest eenvoudige vorm kan deze aan de afvoerkant als volgt geformuleerd worden. Gegeven de (maximale) verdamping van goed-groeiende Sphagna van 550 mm/jaar (tabel 9) en een wegzijging bij levende hoogveensystemen van 25 à 40 mm/jaar (tabel 13), zouden hoogvenen zich kunnen ontwikkelen in gebieden met een neerslag van 590 mm of meer per jaar bij een bepaalde gemiddelde jaartemperatuur.

b. Verspreiding

In het Noordwestduitse-Nederlandse laagland kwamen/komen hoogvenen voor bij een gemiddelde neerslag van ca. 700 mm/jaar of meer (3.3.3.) en een gemiddelde jaartemperatuur van 9,5°C. Boven 11°C komen geen hoogvenen voor.

Ten aanzien van de Noordwestduitse-Nederlandse laaglandsituatie moet de neerslag ogenschijnlijk ten minste 110 mm/jaar méér zijn dan aan verdamping en wegzijging uit het hoogveensysteem verdwijnt. Deze extra post betreft (uitsluitend) oppervlakkige afvoer. Gesteld wordt dat deze afvoer als voeding nodig is voor de groei van Sphagnum en voor de instandhouding van het oligotrofe, ombrotrofe systeem.

De informatie over de systeemgebonden afvoer van verschillende herkomst wordt hier samengevoegd. Uitgangspunt is, dat goed groeiende, veenvormende Sphagnum-vegetaties een indicatie zijn voor een goede ombroegende voeding van het levende hoogveen. De informatie betreft:

- waarnemingen aan (recente) hoogveenvegetaties (door beide auteurs) in weliswaar niet altijd ongestoorde, doch deels nog actieve hoogvenen, gedaan sinds het begin van de jaren zestig tot heden. Het betreffen in dit verband uitsluitend laaglandvenen in Ierland, Schotland, Nederland, West-Duitsland, Polen en Finland;
- veenstratigrafisch onderzoek, met name aan bult-slenk systemen;
- veenarcheologisch onderzoek, in het bijzonder van prehistorische wegen en de wijze van overgroeien van het houten wegdek;
- waterkwaliteitsgegevens, waarbij de in- en output balans aan nutriënten van een hoogveensysteem is bekeken.

Recente situaties

Goed groeiende Sphagnumkussens, o.a. van *S. magellanicum* en *S. papillosum*, worden vooral aangetroffen nabij kleine oppervlakkige waterstroompjes, soms nabij kleine plassen op het veenoppervlak. Dergelijke veenmoskussens komen ook voor tussen *Molinia*- of *Erica*-vegetaties op zeer vochtig hoogveen, waarbij vaak open water aanwezig is. Ook op drijvende schollen van weinig vergaand veen (bonkveen) in geïnundeerde veenputten ontwikkelen zich vaak goed groeiende veenmoskussens. Daarnaast kunnen ter plaatse ook *S. cuspidatum* en *S. recurvum* aanwezig zijn. Op vegetatieloze oppervlakken van weinig tot matig vergaand mosveen (bv. na afplaggen) kunnen in de nabijheid van waterstroompjes veenmossen zich ontwikkelen, waarmee het kale veenoppervlak weer overgroeid wordt. Hierbij is altijd sprake van een veenoppervlak dat gedurende een groot deel van het jaar vochtig tot zeer vochtig is.

Zodra op het veenoppervlak geen stromend water meer waarneembaar is, ontbreken in het algemeen Sphagnumvegetaties.

Veenstratigrafisch onderzoek

Op flanken van bulten van sterk vergaand of matig vergaand veen, die tussen ca. 2000 en 200 voor Chr. existeerden, is veelvuldig overvloedige kussenvorming aanwezig van *Sphagnum imbricatum* of, wat lager op de flanken, *S. papillosum*.

Het gevormde veen is meestal weinig vergaand. Op de sterk vergane slenkbodems ontwikkelt zich gewoonlijk een weinig vergane veenlaag van *S. papillosum* en *S. cuspidatum*. Rhizopodenanalyse geeft aan, dat we hier te maken hebben met veenvorming onder vochtige tot zeer vochtige omstandigheden, resp. zeer vochtige tot natte omstandigheden, danwel open water.

Op uitbreidingen van bultvegetatie over de slenkranden ontwikkelen zich op veel plaatsen weinig vergaand veen vormende kussens van *S. imbricatum*; rhizopodenanalyse geeft aan, dat dit geschiedt bij sterk toenemende vochtigheid van het veen ter plaatse. In een niet gering aantal gevallen leidt dit zelfs tot het hernieuwd optreden van open water in de slenk.

Veenarcheologisch onderzoek

Het houten wegdek van veenwegen is altijd overgroeid door Sphagnumveen, dat aanzienlijk minder vergaand is dan het onderliggende veen. Op veel plaatsen is de structuur van de veenvormende planten nog zodanig goed herkenbaar, dat sprake is van niet-vergaand veen ("fresh peat"). Dit is meestal *S. imbricatum* of *S. papil-*

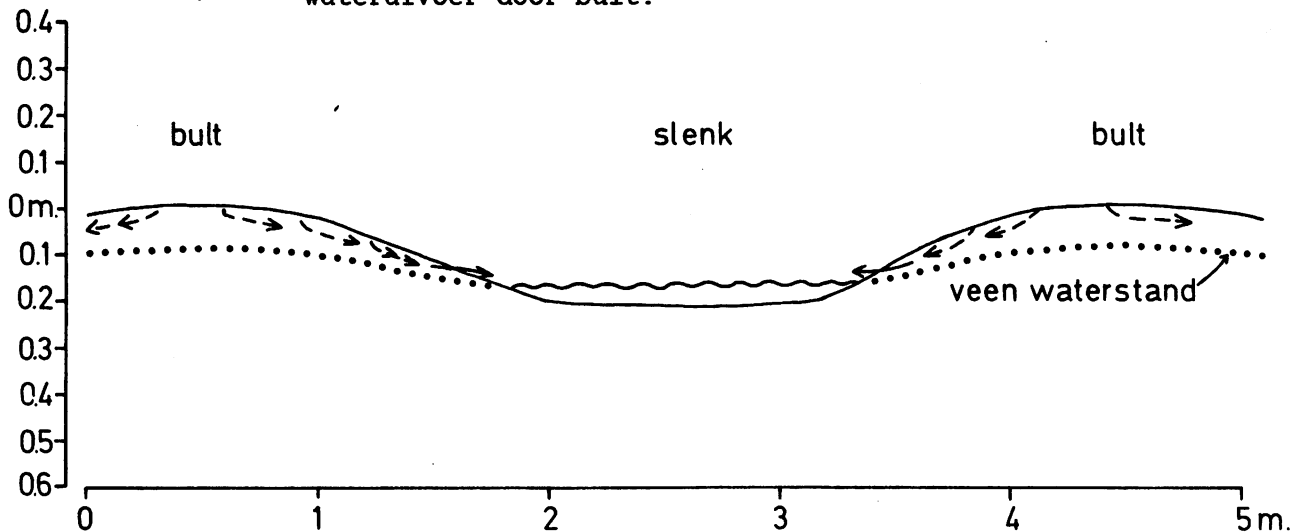
losum. Vaak zijn de bewerkingssporen van het wegdekhout (kapsporen) fraai bewaard gebleven. Dergelijke wegen zijn tamelijk snel door veen overgroeid. Gedacht moet worden aan een periode van minder dan 10 jaar.

Door het gewicht van het hout van onderbouw en wegdek wordt het veenoppervlak onder de weg iets ingedrukt. Hierbij stroomt water uit de nabije omgeving naar deze plek. Op de planken en tussen het rondhout van het wegdek ontstaan optimale omstandigheden voor de groei van weinig vergaan veen van *S. imbricatum*, *S. papillosum* en soms ook *S. cuspidatum*. Rhizopodenanalyse wijst uit, dat het waterniveau, het wegdekniveau en het veenoppervlak nagenoeg op dezelfde hoogte waren.

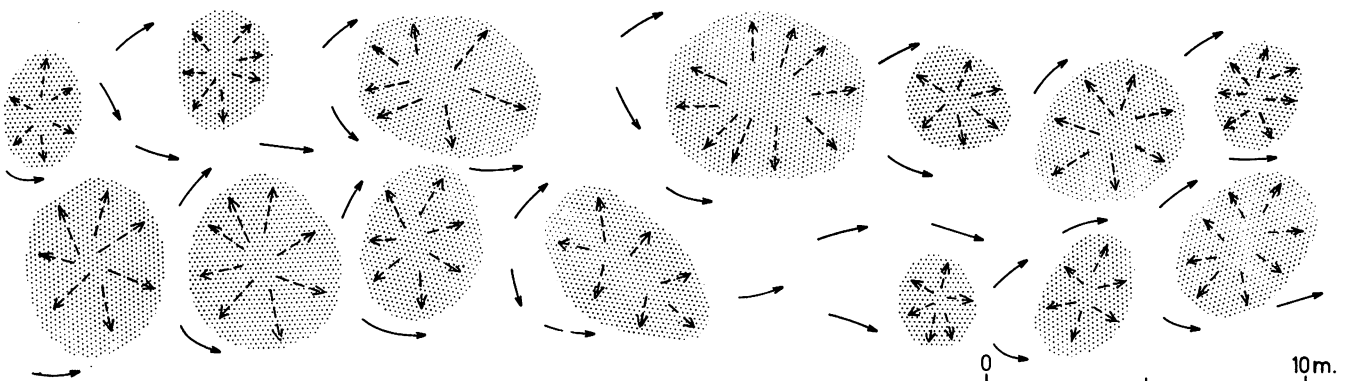
Systeemgebonden afvoer in bult-slenksystemen

Bovenstaande informatie kan gebruikt worden om de systeemgebonden afvoer in het bulten en slenkensysteem van een gewelfd hoogveen te schetsen.

Figuur 18. Doorsnede van bult- en slenkensysteem 500 à 200 voor Chr.;
← -- = waterafvoer door bult.



Figuur 19. Afwatering in bulten en door slenken van een hoogveen.



In figuren 18 en 19 is enigszins geschematiseerd het bult-slenkpatroon gegeven, zoals dat in het Zuidoostdrentse deel van het Bourtangerveen tussen ca. 2000 en 200 voor Chr. aanwezig was. In dit systeem varieerden de bultafmetingen vooral

tussen 3.8 en 5.2 m; dit geldt met name voor de periode 500 à 200 voor Chr. De afstand tussen het hart van de bulten varieerde vaak van 5 -8 m; aanzienlijke afwijkingen van de hier gegeven maten zijn aanwezig, maar buiten beschouwing gelaten. In die periode was het hoogteverschil tussen bulten en slenken 0.1 à 0.2 m.

In de slenken en op de bultflanken werd toen hoofdzakelijk weinig vergaan veen gevormd. In figuur 19 is er van uitgegaan, dat de hoofdrichting van de afwatering in het netvormige slenkenpatroon naar rechts is, naar de contactzone. In de winterperiode zullen veel slenken open water hebben gehad; het grootste deel van de afvoer vond dan over het oppervlak plaats omdat de onverzadigde doorlatendheid veel groter is dan de verzadigde. In de zomermaanden, als het open water in de slenken grotendeels verdwenen is, vindt afvoer vooral tussen de losse slenkvegetatie plaats. Naarmate er minder water stroomt zal deze vegetatie verder inzakken en zodoende de afvoer sterker afremmen; een typische acrotelm-eigenschap. Daarbij treedt tevens enige inklinking van het bovenste veen op (Mooratmung). De afvoer van de op de bulten vallende neerslag gaat dan deels door het bultveen, zoals in figuur 18 (doorsnede) is afgebeeld, naar de slenken. Het veenpakket zelf is hierbij waterverzadigd, maar in droge zomers kan de uitdroging wat dieper doordringen, zodat het niveau van de afvoer lager komt dan de slenkbodem. De Sphagnum-veengroei kan dan stagneren. In paragraaf 4.3.1. was al opgemerkt, dat de pH van bult en slenkminnende veenmossen sterk uiteen lopen. Het zuurdere milieu in de bulten is een indicatie voor de voedselarmere omstandigheden ter plaatse, die kunnen bestaan door de afvoer van voedingsstoffen naar de slenken. Het slenkensysteem is hierdoor minder zuur en voedselrijker. Door een permanente afvoer via het slenkensysteem wordt een te veel aan voedselstoffen afgevoerd en blijft de pH aan de relatief zure kant; aldus zijn hoogvenen gekenmerkt door afvoer, die systeemgebonden is.

Waterkwaliteitsgegevens

Door de oppervlakkige afvoer, via slenken in het veenoppervlak, verdwijnen vermoedelijk veel van de opgeloste stoffen uit het hoogveensysteem. Malmer (lit. 42) heeft bijvoorbeeld in Zuid-Zweden gemeten dat door de afvoer ruim 90% van de natrium-, kalium- en chloor-ionen en 70% van de magnesium-, calcium- en zwavel-ionen uit hoogveengebieden verdwijnen. Door de afvoer van deze nutriënten wordt de voedselarmoede binnen het hoogveensysteem bevorderd.

Met betrekking tot de voedselarme omstandigheden in een hoogveen is nu het volgende op te merken.

4.3.4. Ombrotrofie als kenmerk van hoogvenen

De plaats van ombrotrofe venen in het landschap kan in oecologische zin wellicht het best beschreven worden aan de hand van de kringloop van het water, die als volgt te omschrijven is.

Zeewater dat verdampt, condenseert in koudere luchtlagen boven het aardoppervlak en op deze manier vormen zich wolken. Bij de verdamping van het zeewater blijven de minerale bestanddelen vrijwel geheel achter in de zee, waardoor er tenslotte hoge concentraties aan zouten in de zee voorkomen. Door de wind verplaatsen de wolken zich deels naar het vaste land en afhankelijk van o.a. de luchttemperatuur, de luchtvochtigheid en het reliëf van het aardoppervlak kan neerslag ontstaan, die in de vorm van bv. regen op het aardoppervlak neerkomt. Deze neerslag is arm

aan mineralen; het begin van de hydrologische kringloop boven het aardoppervlak bestaat uit de voedselarme voedingsbron, de neerslag.

Het regenwater stroomt vervolgens via het aardoppervlak of via het oppervlakte-water of grondwater af naar beken en rivieren en komt uiteindelijk weer terecht in de zee, waarna de kringloop van het water is gesloten. Naarmate het regenwater een langere weg aflegt komt het meer in contact met het bodemsubstraat; het water wordt dan voedselrijker doordat mineralen vanuit dit substraat worden meegevoerd.

Ombrotrofe venen worden uitsluitend gevoed door de neerslag.

Daardoor zijn ze gekenmerkt door lage hoeveelheden aan mineralen. Een ombrotroof veen is een voedselarm veen. Op deze voedselarmoede zal nu nader worden ingegaan.

A. Het elektrisch geleidingsvermogen (EGV) van ombrotroof water

Het regenwater heeft van nature een voedselarm karakter en een lage ionogene belasting. Deze lage ionenconcentraties kunnen worden weergegeven door het elektrisch geleidingsvermogen (EGV). (Het geleidingsvermogen is een maat voor de hoeveelheid opgeloste ionen in water). In tabel 7 wordt het elektrisch geleidingsvermogen van regenwater vergeleken met andere te onderscheiden hoofdwatertypen in het natuurlijk milieu (v. Wirdum, lit. 65).

Tabel 7. Elektrisch geleidingsvermogen voor hoofdwatertypen in natuurlijk milieu.

Watertypen	elektrisch geleidingsvermogen (EGV) in m Sm^{-1}
regenwater	5 à 6
rivierwater	50
zeewater	5000

Uit deze tabel blijkt duidelijk dat het elektrisch geleidingsvermogen van rivier- of zeewater respectievelijk 10 of 1000 keer zo hoog is als van regenwater. Willems (lit. 63) constateert dat een van de voornaamste kenmerken van ombrotroof veenwater eveneens een laag elektrisch geleidingsvermogen is. Volgens zijn gegevens ligt het elektrisch geleidingsvermogen van dit watertype beneden een waarde van 15 m Sm^{-1} . Boelter en Verry (lit. 9) hebben in ombrotrofe venen in Amerika zelfs een elektrisch geleidingsvermogen beneden 8 m Sm^{-1} gemeten. Het elektrisch geleidingsvermogen van hoogveenwater ligt maar iets hoger dan dat van regenwater en wordt dan ook tot het zelfde type gerekend.

B. De chemische samenstelling en typering van ombrogeen veenwater

Zoals al is duidelijk gemaakt hebben regenwater en ombrogeen veenwater een vergelijkbaar laag elektrisch geleidingsvermogen. Ook de chemische samenstelling van de eerder besproken watertypen hangt nauw samen met de hydrologische kringloop en het daaraan gekoppelde proces van ionen-opname resp. ophoping. Onderstaande tabel 8 illustreert dit duidelijk.

Tabel 8. Chemische samenstelling van ombrogeen water ten opzichte van hoofdwatertypen in natuurlijk milieu.

	<u>Zeewater</u>	<u>Rivierwater</u> (Rijn 1890)	<u>Regenwater</u> [*] (1938)	<u>Ombrogeen veenwater</u> ^{**}	
				Boelter	Sjòrs
<u>Macro-anionen</u>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
chloor [CL ⁻]	19000	12	4	0,7	1,4
sulfaat [SO ₄ ⁻]	2700	35	4,6	4,6	12,5
bicarbonaat [HCO ₃ ⁻]	142	160	2,6	-	0
nitraat [NO ₃ ⁻]	0	1,5	1	0,2	-
<u>Macro-kationen</u>	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
natrium [Na ⁺]	10500	5	2	0,6	2,0
kalium [K ⁺]	380	5	-	1,3	0,39
calcium [Ca ²⁺]	400	50	1,7	2,4	1,6
magnesium [Mg ²⁺]	1350	10	1,0	0,97	1,22
amoniak [NH ₄ ⁺]	0	0	0,5	0,45	-

* in oceanische situatie

** in continentale situatie

De gegevens zijn afkomstig uit onderzoeken van Van Meinardi (lit. 43), Leeflang (lit. 40), Boelter en Verry (lit. 9) en Sjòrs (lit. 6).

Zowel zeewater, rivierwater als regenwater hebben hun eigen karakteristieke chemische samenstelling. Het zeewater is het eindpunt van de herhaalde kringloop: er vindt accumulatie van stoffen plaats tot veel hogere waarden dan van één kringloopcyclus. Het bevat dan ook grote hoeveelheden aan zouten, met hoge concentraties aan chloride-, sulfaat-, natrium- en magnesium-ionen.

Het rivierwater neemt bij de besproken drie watertypen een tussenpositie in. De rivieren voeren een menging van regenwater en grondwater af. De kwaliteit van rivierwater ligt dan ook dicht bij regenwater dan bij zeewater. De concentraties aan chloor-, sulfaat-, natrium- en magnesium-ionen zijn slechts enkele procenten van die in zeewater of zelfs minder. Voor de bicarbonaat- en calcium-ionen ligt dit anders; daarvan liggen concentraties respectievelijk gelijk of 1/10 lager dan van zeewater. Deze relatief hoge concentraties in rivierwater zijn te verklaren uit het feit dat het water langdurig in contact heeft gestaan met kalkrijke bodemsubstraten. Bovendien wordt in de zee veel calciumcarbonaat in de vorm van schelpen en skeletdelen als sediment vastgelegd en dus uit het water verwijderd.

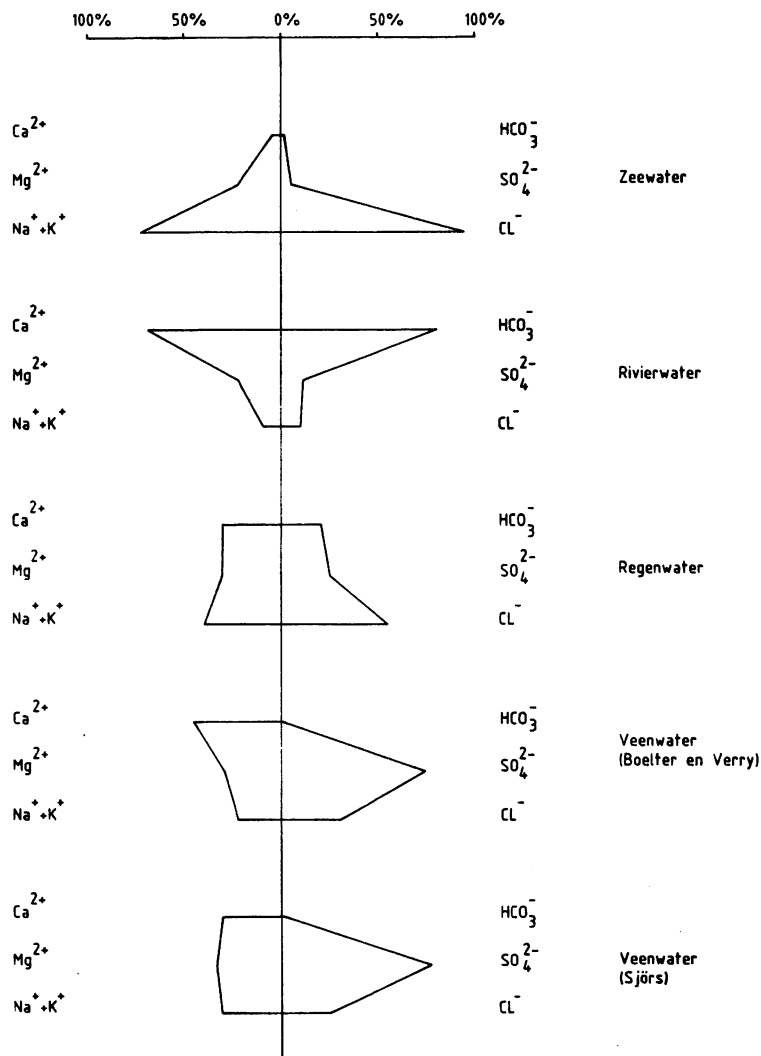
Het regenwater heeft, zoals ook al uit het geleidingsvermogen bleek, een zeer lage ionogene belasting. De concentraties aan nitraat-, natrium-, chloride- en sulfaat-ionen liggen respectievelijk 33%, 60%, 67% en 87% lager dan de concentraties in rivierwater. De concentraties van de overige stoffen zijn slechts enkele procenten van de concentraties in rivierwater.

Ten opzichte van deze drie besproken watertypen komt ook de chemische samenstelling van ombrogeen veenwater het meest overeen met die van regenwater.

Toch zijn er frappante verschillen tussen de chemische samenstelling van regenwater en van ombroetroof veenwater. Bij bewerking van bovenstaande gegevens tot Stiff-diagrammen* komen de verschillen in waterkwaliteit goed tot uitdrukking (fig. 20).

* Opmerking:
In een Stiff- of ionendiagram kunnen de aandelen van verschillende kationen (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) en anionen (HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) overzichtelijk worden weergegeven. De gehalten van de verschillende kationen en anionen worden in milliequivalenten per liter uitgedrukt. De valenties per liter worden uitgedrukt in naar percentages van respectievelijk de kationen- en anionensom. Links van een getrokken verticale as (fig. 20) worden de relatieve gehalten van de kationen uitgezet en rechts daarvan die van de anionen.

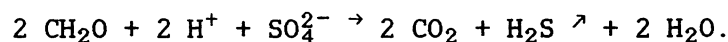
Figuur 20. STIFF-diagrammen voor zee-, rivier-, regen- en veenwater.



In deze diagrammen staat naast de kwaliteit van het veenwater ook de karakteristieke vorm voor zeewater-, rivierwater- en regenwaterkwaliteit weergegeven. De beschrijving van de waterkwaliteit met behulp van deze Stiff-diagrammen laat

duidelijk zien dat het veenwater door hogere sulfaat-concentraties dan regenwater wordt gekarakteriseerd. Over een verklaring van deze hogere concentraties is het volgende op te merken.

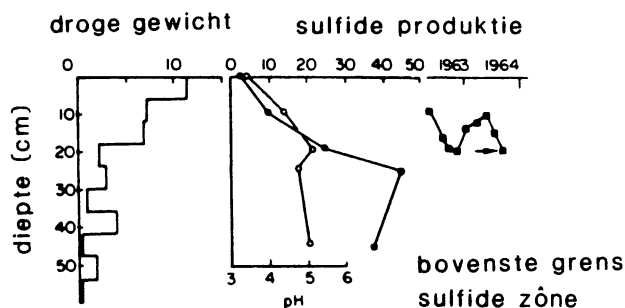
Sulfaat wordt in hoogvenen met een hoge veenwaterstand voornamelijk door bacteriën onder anaërobe omstandigheden via een biochemisch proces omgezet. De sulfaatreductie gaat daarbij als volgt:



Bij het reductieproces van sulfaat naar sulfide wordt afbreekbare stof gebruikt. Sulfaat wordt dan in plaats van zuurstof als elektronen acceptor gebruikt.

Clymo (lit. 6) laat in een experiment zien (figuur 21) dat de H_2S -produktie met de diepte van het profiel toeneemt.

Figuur 21. Diepte in Thursley bog gerelateerd aan het percentage droge stof van *S. papillosum* (links). Het tweede onderdeel van de grafiek beschrijft het sulfidegehalte op verschillende momenten over het jaar, de pH op 31 augustus en de H_2S -produktie op arbitrair genomen diepten. De pijl geeft het hoogste niveau van het sulfidegehalte aan op het tijdstip waarop de bemonstering van de pH en micro-bacteriële activiteit plaats had.

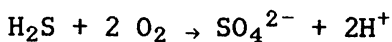


De figuur geeft de volgende informatie. Het percentage aan verlies in droge stof (van *Sphagnum papillosum*) neemt tot een diepte van ca. 0,20 m beneden het veenoppervlak sterk af van ca. 10% tot 2,5%. Beneden dit niveau daalt het percentage van droge stof slechts weinig. Dit wijst erop dat de afbraak van organische stof voornamelijk boven een niveau van ca. 0,20 m plaatsvindt.

De sulfide-produktie neemt echter toe tot een niveau van ca. 0,25 m beneden het veenoppervlak. Op dit niveau wordt een maximale H_2S -produktie bereikt. Boven dit niveau fluctueert de H_2S -produktie, hetgeen samenhangt met o.a. de fluctuatie van de veenwaterstand, doch het niveau van het maximale H_2S -produktie (op ca. 0,25 m) wordt daarbij volgens het experiment van Clymo niet overschreden. Het reductieproces van sulfaat heeft dus onder optimale omstandigheden plaats juist onder het niveau van de veenwaterstand, immers daar zijn anaërobe omstandigheden aanwezig.

Een belangrijke conclusie die Clymo trekt, is de volgende: de algemene maatstaf voor veenaccumulatie hangt af van het moment waarop geproduceerd organisch materiaal in de toplaag de sulfide-zone bereikt, waar de omzetting aanzienlijk langzamer verloopt ten gevolge van de trage anaërobe omzettingsprocessen. Het proces is een afgeleide van twee factoren, namelijk de mate van primaire produktie nabij het veenoppervlak en de hoogte van de veenwaterstand; met andere woorden de afstand tussen het punt van produktie en de sulfide zone en wellicht ook de afvoer van de afbreekbare stof, die bij het reductieproces van H_2S wordt gebruikt.

Het langzame omzettingsproces van sulfaat onder anaërobe omstandigheden en de relatief geringe beschikbaarheid van verse stof in die laag zijn dus vermoedelijk de oorzaak van de sulfaatophoging in deze laag en hoge concentraties aan sulfaat-ionen in veenwater. Bovendien zal een deel van het sulfaat weer aan het systeem worden toegevoegd (Gorham, Bayley en Schindler, lit 31), omdat bij oxidatie de sulfide weer wordt omgezet in sulfaat, zoals onderstaande reactievergelijking weergeeft:



Tenslotte nog een tweede opmerking die voor het beheer van ontwaterde en deels afgegraven veenpakketten geldt. Bij vernatting van veenoppervlakken kunnen veel hogere concentraties aan sulfaat-ionen in het veenwater aanwezig zijn dan onder natuurlijke omstandigheden. Hiervoor is de volgende verklaring te geven. Bij ontwatering van venen zal onder aërobe omstandigheden het sulfaat niet worden afgebroken, waardoor sulfaat in het veenprofiel boven de veenwaterstand als het ware wordt "opgeslagen" oftewel de aanvoer van sulfaat-ionen is groter dan de afvoer daarvan. Door het opzetten van de veenwaterstand komt sulfaat in grote hoeveelheden vrij en kan onder de anaërobe omstandigheden bij de omzetting van het veenmateriaal als HS_2 -gas langzaam vrij komen.

4.4. CONCLUSIES

- De vocht- en voedingsleverantie aan de veenmossen geschiedt uitsluitend door neerslagwater en kan plaats vinden d.m.v. interceptie van regenwater of capillaire opstijging van water vanuit het veen. De capillaire opstijging naar de hyaline cellen heeft plaats via de poriën die tussen de veenmosdelen en -planten onderling aanwezig zijn.
- Een hoogveen wordt morfologisch gekarakteriseerd door een gewelfd reliëf. Hoogvenen worden dan ook uitsluitend gevoed door de neerslag, en overtollig regenwater stroomt naar de omgeving af (perifere afwatering).
- De natuurlijke waterhuishouding van een hoogveen wordt gekenmerkt door een combinatie van directe voeding door de neerslag en een oppervlakkige afvoer van het watersurplus.
- Levende hoogvenen worden dan ook gekarakteriseerd door een systeemgebonden oppervlakkige afvoer. Onder Nederlandse omstandigheden, bij een minimaal benodigde hoeveelheid aan neerslag van 700 mm/jaar om een hoogveen in stand te houden, bedraagt de systeemgebonden afvoer minstens ca. 110 mm.

- De karakteristieke eigenschappen van de acrotelm vormen de belangrijkste voorwaarden voor het scheppen of handhaven van een levend hoogveen. Bij een gegeven uitgangssituatie dienen hoge waterbergingsmogelijkheden in of nabij het veenoppervlak aanwezig te zijn of geschapen te kunnen worden (meer dan gemiddeld ca. 80% van de ruimte moet door water worden ingenomen).
- Hoogvenen worden door ombrotroof water gekarakteriseerd. Dit water is voedselarm en heeft een lage ionogene belasting ($EGV < 15 \text{ m Sm}^{-1}$). De chemische samenstelling van het veenwater komt redelijk overeen met die van het regenwater. Alleen het bicarbonaatgehalte is lager en het sulfaatgehalte is hoger dan van regenwater.

5. ENKELE BELANGRIJKE HYDROLOGISCHE KENMERKEN UIT WATERBALANSSTUDIES
VAN HOOGVENEN IN HET BIJZONDER VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE

5.1. ALGEMEEN

In het algemeen nemen waterbalansstudies bij hydrologische beschouwingen over gebieden een belangrijke plaats in, omdat deze goed inzicht verschaffen in de kwantitatieve samenhang tussen bv. de neerslag, de verdamping, de afvoer en de berging.

Hierdoor wordt kennis verworven over de bodemkundige of hydrologische gebiedseigenschappen, die ook voor de beheerders van belang is.

Dit is dan ook de reden waarom de waterbalans van hoogvenen in dit hoofdstuk nader wordt bekeken; te meer ook omdat voor de gegeven Nederlandse situatie geen waterbalansstudies in levende hoogvenen zijn uitgevoerd en bij het beheer van de afgetakelde gebieden rekening moet worden gehouden met de kennis over karakteristieke bodem- en gebiedseigenschappen van levende hoogvenen.

Mede omdat de klimatologische omstandigheden voor hoogveenvorming niet overal hetzelfde zijn (zie par. 3.2.), is het nuttig de hydrologische omstandigheden voor de specifieke Nederlandse hoogvenen nader te analyseren. Ook hiervoor is de waterbalansstudie een uitstekend instrument.

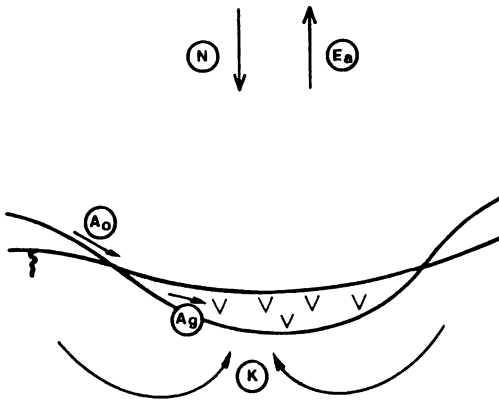
De waterbalansvergelijking voor hoogveen komt in paragraaf 5.2. aan de orde. Aan de gevolgtrekkingen van waterbalansstudies van hoogvenen over meerdere jaren wordt in paragraaf 5.3. nader aandacht besteed. Daarbij wordt vooral ingegaan op de optredende verschillen in jaarlijkse neerslag-, verdamping- en afvoerintensiteiten onder verschillende klimatologische omstandigheden. In paragraaf 5.4. t/m 5.7. wordt in het bijzonder aandacht besteed aan respectievelijk de verdamping, de oppervlakkige afvoer en de ondergrondse afvoer van hoogveengebieden. Tenslotte wordt in paragraaf 5.8. een nadere analyse gemaakt van de waterbalans van "levend" veenmos in een hoogveencomplex, zoals die onder Nederlandse omstandigheden zou kunnen gelden.

5.2. DE WATERBALANSVERGELIJKING VAN HOOGVENEN

In paragraaf 4.3.1. werden de kwel- en moerasvenen in Nederland als beginfase van de veenvorming beschouwd. Deze venen worden gekarakteriseerd door hun holrond reliëf. Hoogvenen worden gekenmerkt door een gewelfd reliëf. In z'n algemeenheid ziet de waterbalans van venen met een holrond respectievelijk gewelfd reliëf er verschillend uit. Aan de hand van onderstaande figuur (21) en bijbehorende waterbalansen zal dit duidelijk worden gemaakt.

Figuur 21. Schematische weergave van water aan- en afvoer van venen met een holrond- en bolrond reliëf.

Moerasveen met holrondreliëf



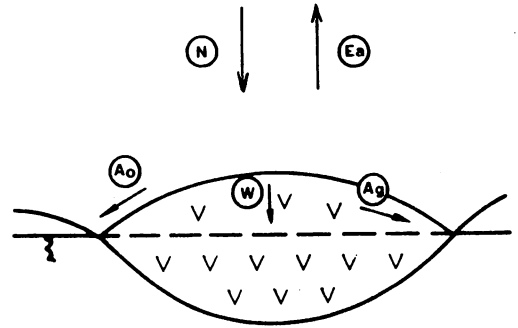
waterbalans:

$$N - E_a + A_o + A_g + K \text{ of } - W = \Delta B$$

(N = de neerslag, E_a = de verdamping, A_o = de oppervlakkige aan- of afvoer, A_g = de grondwater aan- of afvoer, W = de wegzijging, K = de kwel, ΔB = de bergingsverandering).

Venen met een holrondreliëf worden naast de neerslag gevoed door water uit de omgeving. Hoogvenen met een bolrondreliëf, worden daarentegen uitsluitend gevoed met neerslagwater, omdat ze een hogere ligging ten opzichte van de naaste omgeving hebben (par. 4.3.1.).

Hoogveen met gewelfd reliëf



waterbalans:

$$N - E_a - A_g - A_o - W = \Delta B$$

Met behulp van de waterbalans wordt dus de samenhang tussen de aan- en afgevoerde hoeveelheden water binnen het hoogveensysteem beschreven. De eenvoudigste vorm van een waterbalans voor hoogvenen is in figuur 21 beschreven.

Uit de meerjarige buitenlandse studies van waterbalansen voor deze venen blijkt, dat de gemiddelde bergingsverandering (ΔB) over een hydrologisch jaar gelijk aan nul kan worden gesteld. De waterbalans voor een gemiddelde jaar is dan te schrijven als:

$$N - E_a - A_g - A_o - W = 0$$

Waarin we $N - E_a = A_t$ stellen en A_t het neerslagoverschot is, dat in een gemiddeld jaar wordt afgevoerd. Aldus geldt: $A_g + A_o + W = A_t$.

5.3. GEVOLGTREKKINGEN UIT BUITENLANDSE MEERJARIGE WATERBALANSSTUDIES VAN LEVENDE HOOGVEENGEBIEDEN

Allereerst wordt nu ingegaan op een van de belangrijkste posten van de waterbalans: de neerslag.

5.3.1. De neerslag

Uit de definitie van hoogvenen blijkt, dat de neerslag de enige voedingsbron is voor een hoogveen. Daarmee wordt het belang van deze factor voor de waterhuishouding van een hoogveen al direct duidelijk. Volgens Granlund (paragraaf 4.3.1.) wordt de omvang van hoogvenen mede bepaald door de hoeveelheid neerslag, die per jaar in een gebied valt. Het onderzoek van Granlund geldt niet zonder meer voor de Nederlandse situatie. In hoofdstuk 2 en paragraaf 3.2. is al duidelijk geworden, dat de ruimtelijke verspreiding van hoogvenen van meerdere factoren afhangt. Zo is bijvoorbeeld de hoogte van de temperatuur direct bepalend voor de hoogte van de verdampingsintensiteit. De grootte van het neerslagoverschot ($N - E_a$) bepaalt uiteindelijk in belangrijke mate hoeveel water beschikbaar is voor de hoogveengroei.

Aan de hand van waterbalansen van hoogvenen in West-, Midden- en Oost-Europa wordt nu een beeld geschetst van gebieden met verschillen in neerslag- en verdampingsintensiteit.

5.3.2. Neerslag en verdamping van hoogvenen, gaande van West- naar Oost-Europa en in het bijzonder de Nederlandse situatie

Waterbalansstudies zijn bekend uit Ierland (Burke, lit. 10), Noordwest-Duitsland (Eggelsmann, lit. 22) en Europees Rusland (Romanov, lit. 53).

De hoogvenen in Ierland en Noordwest-Duitsland en tussenliggende landen liggen in onderling overeenkomende klimaatstypen, namelijk het sterk tot gematigd oceanisch zeeklimaat. Een van de kenmerken van dit klimaat is dat de gemiddelde maandtemperatuur altijd boven de 0°C ligt, waardoor het neerslagssurplus vrijwel het gehele jaar door kan worden afgevoerd. Voor de hoogvenen in genoemde landen zijn de jaarlijkse hoeveelheden neerslag en verdamping in onderstaande grafiek (figuur 22) tegen elkaar uitgezet.

Uit deze grafiek blijkt dat de verdamping van de twee hoogveengebieden in Ierland en Noordwest-Duitsland in orde van grootte gelijk is en 450 à 550 mm per jaar bedraagt. Deze constatering komt goed overeen met de klimatologische beschouwing van West- naar Oost-Europa in paragraaf 3.2. (figuur 5). Daar was al geconstateerd dat de gemiddelde verdampingintensiteit over het traject Ierland-Noordwest-Duitsland op een vrij constant niveau blijft.

Dit betekent ook dat de verdampingsintensiteit van hoogvenen in Nederland in de zelfde orde van grootte zou moeten liggen als in de onderzochte gebieden in Ierland en Noordwest-Duitsland.

Volgens de grafiek vertoont de jaarlijkse neerslaghoeveelheid in beide hoogveengebieden grote verschillen. In het Ierse hoogveen is de neerslagintensiteit 1100 à 1450 mm per jaar. In Noordwest-Duitsland daarentegen is de neerslagintensiteit veel lager en bedraagt 690 à 825 mm per jaar. In Duitsland wordt de waterbalans in sommige jaren zelfs met een negatief saldo ($N - E_a < 0$) afgesloten. Er treedt dus in de jaren met een negatief saldo van de waterbalans een blijvend vochttekort op, dat slechts in jaren met relatief veel neerslag en/of weinig verdamping teniet kan worden gedaan. Bij vochttekorten wordt de veengroei afgeremd en bij langdurige vochttekorten komt de veengroei zelfs tot stilstand. De grens, waarbij blijvende vochttekorten gaan optreden, ligt voor het hoogveengebied in Duitsland vermoedelijk iets beneden een waarde van ca.

700 mm aan neerslag per jaar. Omdat in Nederland vergelijkbare klimatologische omstandigheden aanwezig zijn, zal hoogveenvorming in ons land op die plaatsen kunnen optreden waar de gemiddelde neerslagintensiteit niet minder is dan ca. 700 mm per jaar.

Tenslotte blijkt uit de grafiek, dat in Europees-Rusland in de hoogvenen lagere neerslagintensiteiten dan 700 mm per jaar worden gemeten. Dit hangt echter nauw samen met de afwijkende klimatologische omstandigheden daar, zoals ook al uit figuur 5 in paragraaf 3.2. blijkt. De hoogvenen in Europees-Rusland liggen in een continentaal klimaat, dat o.a. wordt gekenmerkt door koude winters waarbij de temperatuur gedurende meerdere maanden beneden het vriespunt daalt. In de onderzochte gebieden treedt pas afvoer op in de maanden mei t/m september. De verdamping van hoogvenen is daar meer afhankelijk van het late tijdstip waarop het ijs en de sneeuw gaan smelten. Hoge verdampingshoeveelheden zoals in West-Europa, worden hier dan ook zelden bereikt.

De verspreiding van (lens) hoogvenen in het oceanisch klimaat van West-Europa kent met betrekking tot de gemiddelde jaarlijkse neerslaghoeveelheid niet alleen een ondergrens, doch vermoedelijk ook een bovengrens. Voor de hoogvenen in Ierland ligt deze grens op ca. 1150 mm per jaar (Schouten, lit. 55). Boven dit niveau worden de "lenzen" onzichtbaar en treft men overgangen naar echte spreihogvenen aan.

Neerslagoverschot

Het is duidelijk dat het gemiddelde neerslagoverschot van de (lens) hoogvenen in Ierland veel groter is dan in Noordwest-Duitsland. Volgens de figuur 22 bedraagt het neerslagoverschot in Ierland 350 à 700 mm per jaar, terwijl in Noordwest-Duitsland slechts 150 à 275 mm per jaar bereikt wordt.

In het hoogveengebied in Europees-Rusland bedraagt het neerslagoverschot 200 à 250 mm per jaar. Dit is van vergelijkbare orde van grootte als in Nederland en Noordwest-Duitsland.

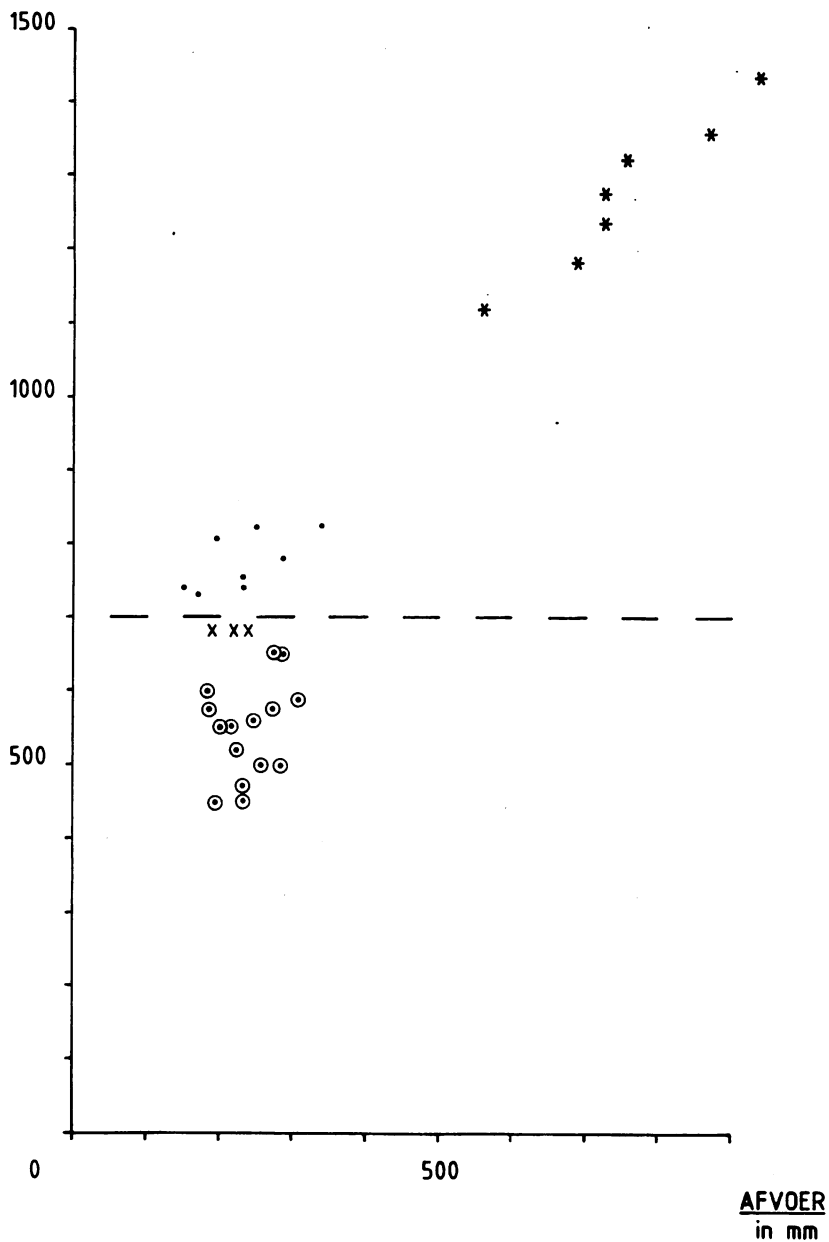
5.3.3. De relatie tussen neerslag en afvoer uit hoogvenen, gaande van West naar Oost in Europa en in het bijzonder de Nederlandse omstandigheden

Ten slotte wordt nog in het kort de neerslag-afvoerrelatie beschreven aan de hand van de gegevens uit de waterbalansstudies in eerdergenoemde landen. Volgens figuur 23 daalt de afvoerintensiteit vrijwel lineair met een dalende neerslagintensiteit, althans wanneer het traject vanaf Ierland naar Noordwest-Duitsland wordt beschouwd. Dit ligt ook in de lijn van de verwachting; de verdamping over dit traject blijft immers op een vrij constant niveau (paragraaf 5.3.2.). Bij een gemiddelde neerslagintensiteit voor Nederland van 775 mm per jaar zou de afvoerintensiteit tot een hoogte kunnen reiken van 200 à 275 mm per jaar.

In Europees-Rusland treedt eveneens afvoer op ten gevolge van de neerslag, doch de afvoerintensiteit wordt daar sterk gereguleerd door het tijdstip waarop sneeuw en ijs gaan smelten. De gemiddelde afvoerintensiteit per jaar komt redelijk overeen met die van het hoogveengebied in Noordwest-Duitsland en bedraagt 175 à 300 mm per jaar.

Figuur 23. Relatie tussen neerslag en afvoer.

NEERSLAG
in mm



Ierland * positieve waterbalans ($N-E_a-A \geq 0$)

Duitsland . positieve waterbalans ($N-E_a-A \geq 0$)

Duitsland x negatieve waterbalans ($N-E_a-A \leq 0$)

Rusland ○ positieve waterbalans ($N-E_a-A \geq 0$)

— — grens van ca. 700mm neerslag per jaar.

5.4. NADERE BESCHOUWING VAN DE VERDAMPING

5.4.1. Gemiddelde jaarlijkse verdamping van hoogvenen met verschillende begroeiingen

Naast de neerslag neemt de verdamping een belangrijke plaats in als post van de waterbalans. Vooral in Duitsland is veel onderzoek gedaan aan de verdamping van hoogvenen die niet zijn aangetast of gedeeltelijk zijn ontwaterd of in cultuur zijn gebracht. Eggelsmann (1981) heeft uit eigen onderzoeken en voorhanden zijnde vakliteratuur een tabel van de verdamping van hoogveencomplexen samengesteld. De tabel 9 is hieronder weergegeven. In de tabel is ook de open-water-verdamping opgenomen, zoals die bv. voor veengebieden in de provincie Drenthe zou gelden. Deze laatste gegevens zijn ontleend aan het KNMI-station in Dedemsvaart. Het verdampingsniveau van open water ligt daar echter lager dan dat van de overige stations in Nederland.

Tabel 9. Gemiddelde verdamping van begroeiing op hoogvenen in winter- en zomerhalfjaar en over een jaar.

Overwegend voorkomende begroeiing	Cultuurtoestand	Verdamping (E_w)		
		winter mm	zomer mm	jaar mm
veenmos/heide	onaangetast	140	410	550
heide	licht ontwaterd (begreppeld)	125	395	520
hooi- en grasland	ontwaterd (sloten)	90	410	500
akkerland	ontwaterd (sloten)	75	395	470
bos	ontwaterd (sloten)	125	465	590
open water		80	530	610

Uit de gegevens blijkt, dat bos op ontwaterde hoogvenen meer verdampt dan andere vegetaties. De jaarlijkse hoeveelheid verdamping van bos nadert dan die van open water.

De verdamping van begroeide hoogveencomplexen ligt in het winterhalfjaar hoger dan die van open water. In hoogveencomplexen met een begroeiing van veenmos bestaat 's winters het veenoppervlak voor maximaal 20 à 25% uit open water. Deze percentages zijn afgeleid van (lucht-)fotomateriaal voor Skandinavisch en Ierse plateauhoogvenen en het veenwegenonderzoek in Z.O.Drenthe. Ten gevolge van het neerslagoverschot in de wintermaanden treden in deze periode relatief hoge veenwaterstanden op en wordt veel regenwater als open water hier geborgen in slenken en veenmeertjes van het veencomplex. Door de geringere verdampingsintensiteit van open water in de wintermaanden neemt de watersurplussituatie in de slenken en veenmeertjes naar verhouding meer toe dan in de rest van het hoogveen. Deze grotere watervoorraad is nodig om in de droge zomerperiode slenksystemen te kunnen blijven voeden, waardoor het hoogveen ook in deze periode relatief nat

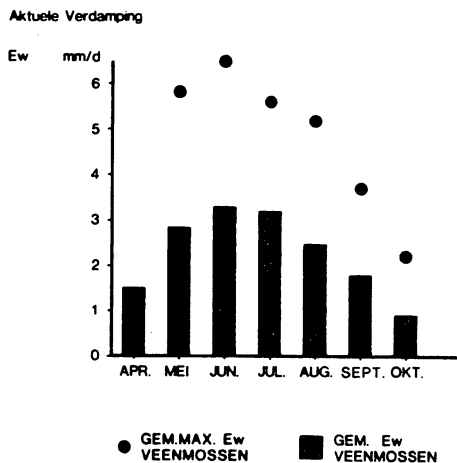
blijft. In het hydrologisch zomerhalfjaar hebben veenmosvegetaties echter in het hoogveencomplex gemiddeld een geringere verdamping dan open water; veenmeertjes e.d. kunnen dan aan het einde van de zomerperiode juist worden beschouwd als extra (atmosferische) waterafvoerpunten (Ivanov, lit. 36) voor hun omgeving.

5.4.2. Verdamping van veenmossen

Tijdens de groeiperiode in het voorjaar en aan het begin van de zomer is sprake van intensieve verdamping en wordt de open waterverdamping door de veenmossen volgens onderstaande gegevens benaderd. De gegevens over de veenmos-verdamping zijn ontleend aan het onderzoek van Scheidl (lit. 54) die ze getoetst heeft aan incidenteel verzamelde gegevens van andere onderzoeken (o.a. Leick, Normals, Tinbergen, Overbeck en Happach, Virta).

De open waterverdamping voor het zomerhalfjaar geldt als een gemiddelde voor Nederland en is verkregen uit de K.N.M.I.-stations.

Figuur 24. De gemiddeld maximale en gemiddelde verdamping van veenmossen.



Volgens figuur 24 bedraagt de gemiddelde verdamping van veenmossen in de maanden mei, juni en juli ca. 3 mm/d. Dit is niet méér dan ongeveer de grootte van de verdamping van open water gedurende het zomerhalfjaar ($E_o = 530 : 182 = 3.0$ mm/d) en zal minder zijn dan de verdamping van open water in de piekmaanden. Ter illustratie: de maximale verdamping gedurende deze maanden kan worden gesteld op gemiddeld 5 tot 6,5 mm/d, terwijl die van open water dan gemiddeld zo'n 10 mm/d kan bedragen. In de figuur is ook de stijgende en dalende tendens in verdampingsintensiteit aan respectievelijk het begin en het einde van het zomerhalfjaar waarneembaar. Dit is een gevolg van respectievelijk het stijgende en dalende verloop van de temperatuur in deze periode.

De tabel geeft aan dat de verdamping van een veenmosvegetatie gedurende de winter hoger is dan die van open water. Gedurende het zomerhalfjaar (en op jaarbasis) is deze verdamping echter door een "watertekort" in de groeitoppen van de veenmossen (de osmose kan niet sneller werken en de capillaire nalevering wordt kleiner) geringer dan die van open water.

5.5. OPPERVLAKKIGE AFVOER UIT HOOGVEENGEBIEDEN

Allereerst is het noodzakelijk de oppervlakkige afvoer vanuit een hoogveen nader te definiëren. Onder oppervlakkige afvoer wordt verstaan de afvoer, die uiteindelijk via de slenken en contactzones naar hoogveenriviërtjes afstroomt en vervolgens het hoogveen verlaat. Wij onderscheiden bij oppervlakkige afvoer twee functies. De eerste functie betreft de stroming van water, die noodzakelijk is om het veenwaterpeil te onderhouden, het te veel aan voedingsstoffen af te voeren en de zuurgraad op peil te houden.

Dit gedeelte van de afvoer is als de systeemnoodzakelijke of systeemgebonden afvoer te omschrijven en speelt zich hoofdzakelijk in de acrotelm af. De minimale systeemgebonden afvoer voor hoogveengebieden in Nederland bedraagt ca. 110 mm/jaar (par. 4.3.3.). Het gedeelte van de afvoer, dat niet noodzakelijk is om het systeem in stand te houden, kan worden omschreven als overtollig water dat tot afvoer komt.

Wanneer de oppervlakkige afvoeren van voormalige niet-ontwaterde en ontwaterde hoogvenen in Noordwest-Duitsland (Eggelsmann, 1981) met elkaar worden vergeleken dan blijkt volgens tabel 10 dat voor beide typen de afvoer over het winterhalfjaar 71 à 75% bedraagt van de totale jaarafvoer. Opvallend is voorts, dat in beboste ontwaterde hoogvenen de totale jaarlijkse afvoer geheel in de wintermaanden plaatsvindt.

Tabel 10. Afvoerarakteristiek van hoogvenen, die al dan niet ontwatert en/of in cultuur zijn gebracht.

Hoogveen	Jaarafvoer (A_t) mm	winterafvoer (A_w) mm	$\frac{A_w}{A_t} \times 100\%$
- Niet-ontwaterd (veenmos)	200	150	75
- Licht ontwaterd (Erica/ Calluna)	230	168	73
- ontwaterd t.b.v. hooi- of grasland	245	183	75
- ontwaterd t.b.v. akker- land	280	200	71
- ontwaterd t.b.v. bossen	160	160	100

Bovenstaande afvoergegevens zijn maatgevend voor een situatie, waarbij de gemiddelde neerslaghoeveelheid per jaar 750 mm bedraagt.

Vergelijkt men nu vanaf oktober op een bepaald tijdstip de gesommeerde hoeveelheid af te voeren water (A_w) met de totale jaarafvoer (A_t), dan blijken er volgens tabel 11 echter verschillen te bestaan tussen niet-ontwaterde en ontwaterde hoogveencomplexen. De gegevens zijn verleend aan onderzoeken van Eggelsmann (1964) en Uhden (1967).

Tabel 11. Gesommeerde afvoerhoeveelheid (Ax) van hoogvenen op tijdstip x $\times 100\%$
totale afvoer over het hydrologisch jaar

	Eind december %	Eind maart %	Eind juni %	Eind september %
- Niet-ontwaterd	30	70	75	100
- Licht-ontwaterd	30	80	90	100
- Diep-ontwaterd	30	80	95	100

Uit deze gegevens is af te leiden dat aan het einde van juni in een niet-ontwaterde hoogveen ca. 75% van de totale jaarafvoer is gerealiseerd. In licht tot diep ontwaterde veencomplexen is op dat tijdstip reeds 90 tot 95% van de jaarhoeveelheid afgevoerd. Tevens is uit deze tabel af te leiden, dat in niet-ontwaterde hoogvenen van de totale jaarlijkse afvoer ca. 25% in de maanden juli t/m september tot afvoer komt. Deze verschillen in afvoerpercentage aan het begin en het einde van het hydrologisch zomerhalfjaar (lopende van april t/m september) zouden als volgt te verklaren zijn.

Bij een relatief gelijkmatig verdeelde neerslagintensiteit over het zomerhalfjaar treedt in het voorjaar tot aan de zomer bij een snel stijgende verdampingsintensiteit zowel in niet-ontwaterde als ontwaterde hoogveengebieden een beperkte afvoer op. Deze bedraagt 5 à 10% van de totale jaarlijkse afvoer. Ten gevolge van de ontwatering, maar ook soms hogere verdampingsintensiteit van cultuurgewassen (bv. bos), daalt de grondwaterstand in het voorjaar hier dieper door en neemt de bergingscapaciteit in de bodem dan ook meer toe dan bij niet-ontwaterde hoogvenen. Bij deze laatstgenoemde gebieden is slechts sprake van een oppervlakkige uitdroging, die nauw samenhangt met de structuur en opbouw van de acrotelm. In paragraaf 4.4. werd aan dit aspect al nader aandacht besteed. Door gedwongen verminderde* verdampingsintensiteit van veenmossen in de periode juli t/m september (zie fig. 24), neemt de afvoerintensiteit in deze laatste periode al toe; dit in tegenstelling tot ontwaterde hoogveencomplexen waar de bergingscapaciteit in de bodem eerst moet worden opgevuld en waardoor de afvoer pas eind september een aanvang neemt. Op grond van deze constatering wordt nog eens duidelijk gemaakt, dat in een hoogveen in Nederland en Noordwest Duitsland met name aan het begin en einde van het zomerhalfjaar optimaal vochtige omstandigheden voor veenmosgroei aanwezig zijn.

* Opmerking: de verminderde verdampingsintensiteit in de periode juli t/m september is enerzijds een gevolg van de veroudering van celwanden bij veenmossen, waardoor de verdampingsintensiteit afneemt; anderzijds neemt de verdampingsintensiteit af door de witte verkleuring die bij verdroging van veenmosvegetaties optreedt (reflectie van zonlicht).

5.6. ONDERGRONDSE AFVOER; IN HET BIJZONDER DE WEGZIJGING

5.6.1. Horizontale en verticale doorlatendheid van het veen

Bij levende hoogvenen treft men in de acrotelm zeer grote verschillen in horizontale (k_h) en verticale (k_v) doorlatendheid aan.

In de catotelm, nemen de verschillen in de horizontale en verticale doorlatendheid snel af. Het veenmosmateriaal is zo sterk gehumificeerd, dat de horizontale en verticale doorlatendheid zeer klein worden en weinig van elkaar verschillen. Op de overgang van het veen naar de minerale ondergrond wordt vaak een zogenaamde gliede- of soms een gyttjalaag aangetroffen.

De gyttjalaag is een meerbodemaafzetting, die is ontstaan op natte plaatsen en bestaat uit organogene meersedimenten. De gliedelaag is daarentegen ontstaan door inspoeling van disperse humus in de zandondergrond. Beide lagen bezitten een zeer slechte verticale doorlatendheid ($k < 9 \cdot 10^{-5}$ m/d), zodat bij een geringe dikte van deze laag, bijvoorbeeld $d = 0,10$ m, de hydraulische weerstand ($c = \frac{d}{k}$) al snel meer dan 1000 dagen kan bedragen.

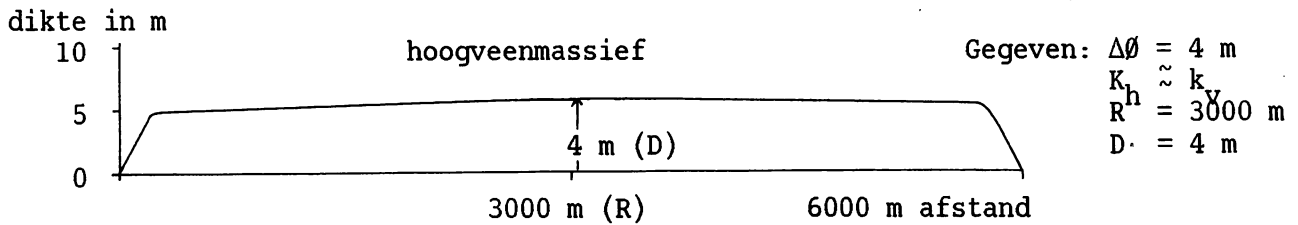
Over de verhouding tussen de horizontale en verticale doorlatendheid in het veenpakket is het volgende op te merken. Romanov (voor de acrotelm, lit. 53) en Boelter (voor de catotelm, lit. 8) hebben dit nader onderzocht. Deze onderzoeken leverden de volgende resultaten op (zie tabel 12).

Tabel 12. Verhouding tussen horizontale en verticale doorlatendheid in veenpakket.

Humificatie	Humificatiegraad	Diepte van bemonstering beneden maaiveld m	Doorlatendheid		
			horizontaal (k_h) m/d	verticaal (k_v) m/d	$\frac{k_h}{k_v}$
levend veenmos	(1)		109-10	< 10	
niet/of weinig gehumificeerd	(2-3)	0-0,10	3,3	5,4	0,6
matig gehumificeerd	(4-6)	0,35-0,45	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-2}$	0,3
sterk gehumificeerd	(7-10)	0,50-0,60	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$	1,3

Uit deze tabel blijkt duidelijk, dat de horizontale en verticale doorlatendheid van veenmosveen met toegenomen humificatiegraad afneemt. Met uitzondering van de acrotelm (levend veenmos) treden tussen de horizontale en verticale doorlatendheid op vergelijkbare diepte beneden maaiveld geen grote verschillen op; de verhouding tussen K_h en K_v is ongeveer 1.

Indien de horizontale en verticale doorlatendheid in de catotelm in de zelfde orde van grootte ligt, zoals bovenstaande gegevens aangeven, dan is de verticale afvoer in het hoogveenmassief in principe veel groter dan de horizontale afvoer. In onderstaand voorbeeld is dit eenvoudig aan te geven.



De ondergrondse afvoer in horizontale richting (q_h) is:

$$q_h = 2\pi R \times K D \frac{\Delta\emptyset}{R} = 2\pi \times 3000 \times 4 \times \frac{4}{3000} K = 10^2 K \text{ m}^3/\text{d}$$

De ondergrondse afvoer in verticale richting (q_v) is:

$$q_v = \pi R^2 \times K \frac{\Delta\emptyset}{D} = \pi \times (3000)^2 \times \frac{4}{4} \times K = 2.8 \cdot 10^7 K \text{ m}^3/\text{d}$$

Uit dit voorbeeld blijkt, dat de ondergrondse afvoer van een veencomplex door de catotelm in verticale richting groter is dan in horizontale richting. Bij een verdere beschouwing over de ondergrondse afvoer gaan we daarom alleen in op de orde van grootte van de verticale afvoer in het veenmassief, ook wel de wegzijging genoemd.

5.6.2. Wegzijging

Uit waterbalansstudies, modelberekeningen en metingen van de doorlatendheid is gebleken, dat de ondergrondse afvoer uit hoogvenen klein is (Eggelsmann, lit. 21; Iwanov, lit. 36; Boelter, lit. 8; Bay, lit. 5; Streefkerk en Oosterlee, lit. 58). Van enige onderzoeken in niet afgegraven venen zijn de resultaten met betrekking tot de orde van grootte aan jaarlijkse wegzijgingsverliezen in onderstaande tabel 13 weergegeven.

Tabel 13. Jaarlijkse hoeveelheid wegzijging in mm of percentages ten opzichte van de jaarlijkse hoeveelheid aan neerslag of afvoer.

Onderzoekers	Jaarlijkse wegzijgingshoeveelheid mm	Percentage t.o.v. neerslag %	Percentage t.o.v. afvoer %
Eggelsmann	36	5.5	
Iwanov	27	3.8	15
Streefkerk-Oosterlee	26	3.4	11

Deze betrekkelijk kleine ondergrondse afvoerpost wordt verklaard uit het feit, dat de weerstand tegen verticale (en ook horizontale) waterverliezen in het veenprofiel sterk toeneemt ten gevolge van de humificatie van de organische stof en de

druk van het bovenliggende veenpakket, hetgeen tot een verkleining van het poriën-volume leidt. In de niet-gehumificeerde toplaag van het veenprofiel (ca. 0,10 à 0,15 m) bedraagt de verticale doorlaatfactor (k) immers meer dan 1 meter per dag (m/d), terwijl boven de veenbasis in de sterk gehumificeerde veenlagen de doorlaatfactor kan afnemen tot een waarde van minder dan 10^{-5} m/d (zie ook par. 5.6.1.). Bij de beschouwing van meerjarige waterbalansen is de ondergrondse afvoerpost dus van weinig betekenis. De waterbalans van onaangetaste hoogvenen wordt dan ook vooral gekarakteriseerd door een relatief grote bovengrondse afvoerpost.

5.7. PROEVE VAN DE WATERBALANS VAN EEN LEVEND HOOGVEEN VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE

Eggelsmann (lit. 22) heeft voor de Noordwestduitse situatie voor een hoogveen in het veenmosstadium de volgende waterbalans voor het jaar alsmede winter- en zomerhalfjaar opgesteld (tabel 14).

Tabel 14. Waterbalans van een hoogveen met veenmosgroei voor de Noordwestduitse situatie (Eggelsmann).

	Jaar mm	Winter mm	Zomer mm	
Neerslag (N)	750	350	400	
Verdamping (E_w)	550	140	410	-
($N-E_w$)	200	210	- 10	
Afvoer (A_t)	200	150	50	-
Bergingsverandering (ΔB)	0	60	- 60	

Voor de Nederlandse situatie zal op grond van vergelijkbare klimatologische omstandigheden de orde van grootte van de waterbalansposten niet principieel afwijken van de bevindingen van Eggelsmann. De gegevens kunnen daarom als representatief worden beschouwd voor een veronderstelde Nederlandse situatie.

Stel dat wordt uitgegaan van de minimaal benodigde systeemgebonden afvoer van ca. 110 mm per jaar (par. 4.3.3.), dan zou maximaal 90 mm aan water overblijven, dat als wegzijging of overtollig water het hoogveengebied verlaat. Uitgaande van een wegzijgingspercentage van ca. 4% van de jaarlijkse hoeveelheid aan neerslag (par. 5.6.2.) ofwel z'n 30 mm aan wegzijging per jaar, zou slechts 60 mm aan overtollig water kunnen worden afgevoerd. In praktische zin is het niet eenvoudig voor de beheerder om de oppervlakkige afvoer uit een hoogveenrestant te sturen, omdat het neerslagoverschot over één of meerdere jaren aanzienlijk kan fluctueren. Belangrijk is het daarom voor een beheerder dat in natte jaren meer water wordt vastgehouden om drogere periodes te kunnen overbruggen. Levende

hoogvenen hebben immers van nature mechanismen ontwikkeld ("Mooratmung") om drogere periodes te kunnen overbruggen.

Op grond van feitelijke gegevens in voorgaande hoofdstukken en paragrafen zijn randvoorwaarden af te leiden voor de minimale hoeveelheid neerslag en de maximale wegzijging voor het in stand houden of ontwikkelen van levende hoogvenen in Nederland. Dit betekent 700 mm neerslag voor de Nederlandse situatie en een wegzijging van maximaal 4% van de gemiddelde jaarlijkse neerslag. Aan de hand van bovenstaande kan ook een beschouwing kunnen worden gegeven over de hardheid van genoemde randvoorwaarden.

Allereerst wordt nader ingegaan op de minimale grens van ca. 700 mm aan neerslag, die per jaar noodzakelijk wordt geacht voor de hoogveenvorming.

De waterbalans van Eggelsmann zou er in een rekenvoorbeeld (tabel 15) als volgt uitzien, indien de jaarlijkse hoeveelheid aan neerslag tot 700 mm wordt verlaagd.

Tabel 15. Proeve van de waterbalans van een hoogveen met veenmosgroei voor de Nederlandse situatie.

	Jaar	Winter	Zomer	
	mm	mm	mm	
Neerslag (N)	700	343	357	
Verdamping (E_w)	550	140	410	-
($N-E_w$)	150	203	- 53	
Afvoer (A_t)	150	143	7	-
Bergingsverandering (ΔB)	0	60	- 60	

Uitgaande van de reële waarden voor de verdamping, de bergingsverandering en een evenredige verdeling van de neerslaghoeveelheid over het jaar kan worden vastgesteld dat in het zomerhalfjaar slechts nog 7 mm wordt afgevoerd.

Op grond van deze indicatieve berekening wordt duidelijk dat de minimumgrens van ca. 700 mm aan neerslag voor de hoogveenvorming als reële randvoorwaarde kan worden aangehouden, omdat het gehele jaar door gezien geen watertekort optreedt.

Met betrekking tot de in paragraaf 5.6.2. gegeven orde van grootte voor de wegzijging is het volgende op te merken met behulp van het gegeven rekenvoorbeeld. Indien bv. wordt uitgegaan van de situatie, dat ca. 4% van de jaarlijkse neerslag (A_t) naar de ondergrond wegzijgt, dan zou dit volgens het rekenvoorbeeld $\frac{4}{100} \times 700 = 28$ mm mogen zijn, oftewel 14 mm in het zomerhalfjaar.

Gezien de orde van grootte van de afvoer in het zomerhalfjaar (slechts 7 mm), zal de grootte van de wegzijging minder moeten zijn, daar anders immers verdroging van het veen zal optreden.

Volledigheidshalve dient wel te worden opgemerkt, dat bij gegeven hogere neerslagintensiteiten de wegzijging wel groter mag zijn, doch gezien bovenstaande bevin-
dingen en de feitelijke veldgegevens uit onderzoeken zou de wegzijging toch
niet meer moeten bedragen dan het verschil tussen het gemiddeld jaarlijks neer-
slagoverschot en de noodzakelijk geachte systeemgebonden afvoer van ca. 110 mm
per jaar. De hydrologische karakteristiek van een levend hoogveen wijst immers
niet voor niks uit dat de afvoer uit hoogvenen voornamelijk oppervlakkig is.
In ecologisch opzicht pleit ook paragraaf 4.3.3. voor z'n situatie.

5.8. CONCLUSIES

- Hoogvenen hebben een gewelfd reliëf en worden dan ook uitsluitend gevoed door de neerslag. Dit blijkt ook uit de waterbalans voor hoogvenen. Deze wordt gekenmerkt door één aanvoerpost, de neerslag en voor het overige betreft het afvoerposten; verdamping, oppervlakkige afvoer en ondergrondse afvoer.
- Hoogveenvorming in ons land kan op die plaatsen ontstaan waar de gemiddelde neerslagintensiteit groter is dan ca. 700 mm per jaar. Dit is echter niet de enige randvoorwaarde voor hoogveenvorming. Ook de gelijkmatige neerslagverdeling over het jaar en de gemiddelde jaartemperatuur vormt een belangrijke randvoorwaarde; die is in Nederland ca. 9°C.
- De verdamping van hoogvenen is vooral afhankelijk van de voorkomende vegetatietypen. Veenmossen verdampen meer dan heidevegetaties of hooilanden. In hoogvenen kan in de neerslagrijke wintermaanden maximaal 20 à 25% aan open water aanwezig zijn. De jaarlijkse verdamping van veenmos-hoogvenen bedraagt voor de Nederlandse en Duitse situatie ca. 550 mm. De verdamping van hoogvenen in veenmosstadium is gedurende de winter hoger dan die van open water, maar gedurende het zomerhalfjaar geringer.
- Door ontwatering van hoogvenen treedt mede t.g.v. de hogere verdampingsintensiteit van geteelde cultuurgewassen (bv. bos) op het veen, een sterke daling van de grondwaterstand in het voorjaar op. Daardoor neemt de bergingscapaciteit in de bodem sterk toe t.o.v. niet-ontwaterde venen. Bij deze laatstgenoemde gebieden is er slechts sprake van een geringe oppervlakkige uitdroging, die nauw samenhangt met de structuur en opbouw van de actrotelm. Door gedwongen verminderde verdampingsintensiteit van veenmossen in de periode juli t/m september, neemt de afvoerintensiteit in deze laatste periode al toe; dit in tegenstelling tot ontwaterde hoogvenen, waar de afvoer pas eind september een aanvang neemt.
- Met uitzondering van de acrotelm van een levend hoogveen treden tussen de horizontale en verticale doorlatendheid op vergelijkbare diepten beneden maaiveld geen grote verschillen op; de verhouding tussen k_h en k_v is ongeveer 1.
- De afvoer naar de ondergrond in niet ontwaterde hoogvenen bedraagt bij de minimaal benodigde neerslaghoeveelheid van 700 mm/jaar slechts enkele procenten van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid en ca. 10 à 15% van de totale jaarlijkse afvoer.

6. CULTUURHISTORISCHE ONTWIKKELING; EINDE VAN GROOTSCHALIGE HOOGVEEN- VORMING EN UITGANGSSITUATIES VOOR HET HUIDIGE HOOGVEENBEHEER

In 1.1. is al opgemerkt dat van de oorspronkelijke 1.000.000 ha aan hoogveen in Nederland nog slechts 8.000 ha oftewel minder dan 1% is overgebleven. Door de grootschalige vervening in de afgelopen eeuwen zijn alle grote hoogveengebieden verdwenen en bleven in ruimtelijke zin veelal sterk vergraven hoogveenrestanten over. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de cultuurhistorische ontwikkeling in de afgelopen eeuwen en de effecten van de grootschalige vervening in met name de 19e en 20e eeuw, waardoor uiteindelijk de hoogveenvorming in Nederland praktisch geheel tot stilstand kwam.

6.1. ALGEMEEN

De prehistorische mens heeft voor verschillende doeleinden het veen geëxploiteerd. Hij werd hierbij geconfronteerd met de grote waterrijkdom, die zowel de begaanbaarheid (2.1.) als de verwerking van het materiaal ernstig bemoeilijkte. Bij deze exploitatie zijn ongetwijfeld pogingen ondernomen om de wateroverlast letterlijk buiten de put te houden. We hebben geen aanwijzingen voor hydrologische ingrepen anders dan het graven van greppels langs een enkele veenweg. Reeds vóór het begin van de jaartelling werden de Westnederlandse venen bewoond. Deze occupatie werd niet voorafgegaan door ontginningen in de vorm van drooglegging, maar wel werd gebruik gemaakt van talloze greppels en sloten om de ergste wateroverlast aan het oppervlak het hoofd te bieden.

In de vroege Middeleeuwen werd reeds op diverse plaatsen turf gegraven, met name in de veenranden, die kennelijk wat droger waren. In zijn algemeenheid waren dit kleinschalige ontginningen, waarbij van een systematische aanpak om het water te beheersen, geen sprake was. Er werd vermoedelijk alleen lokaal ontwaterd.

Veel omvangrijker en ingrijpender in het landschap waren de selneringsactiviteiten, die globaal in de 8e - 10e eeuw kunnen worden gedateerd. Hierbij zijn enorme veenoppervlakken, die met een dunne kleilaag afgedekt waren, ten behoeve van de zoutbereiding afgegraven. Er zijn geen aanwijzingen voor systematische hydrologische ingrepen bij deze activiteiten. Aangenomen mag worden, dat bij het selneren veel inzicht verworven is in de hydrologie van dergelijke gebieden, vooral toen bleek, dat door deze activiteiten letterlijk grote delen van het landschap in zee verdwenen.

In de 10e - 11e eeuw was men reeds in staat een beek met gerichte maatregelen zodanig te beheersen door het opstuwen van het water, dat voldoende waterkracht verkregen kon worden om een watermolen te laten functioneren. Het gebruik van watermolens was veel eeuwen eerder reeds aan de Romeinen bekend.

De 11e eeuwse en jongere grootschalige ontginningen van de Westnederlandse venen getuigen van een behoorlijke praktische hydrologische kennis, hoewel de technische vaardigheden om die kennis te gebruiken, nogal eens tekort schoten. Misschien zijn de hydrologische inzichten, waarop die ontginningen berustten, verworven bij het selneren.

Van relatief grote omvang zijn de 13e eeuwse en jongere randveenontginningen ten behoeve van de turfwinning. Waarschijnlijk waren de toch wel wat uitdrogingsgevoelige veenranden enigszins ontwaterd ten tijde van het kleine klimaatoptimum (3.3.2.), waardoor ze zonder grootschalige hydrologische ingrepen benut konden worden.

6.2. DE GROOTSCHALIGE ONTGINNING VAN HOOGVEEN

De zeer systematisch ontworpen, grootschalige ontginningen van de grote hoogvenen, die uiteindelijk resulteerden in de grote veenkoloniale landschappen, zijn ogenschijnlijk gebaseerd op een gedegen praktische hydrologische kennis van het hoogveen. Er moesten enerzijds enorme watermassa's afgevoerd worden zonder dat benedenstroomse gebieden zouden verdrinken en anderzijds moest er een infrastructuur van kanalen ontwikkeld worden alvorens het veen in bruikbare brandstof omgezet kon worden. De aanzet hiervan kan wellicht nog in de 16e eeuw gedateerd worden; de realisering kwam in de loop van de 17e eeuw op gang en duurde tot in de tweede helft van de 20e eeuw.

Voor de aanleg van de waterstaatkundige werken was ongetwijfeld voldoende mankracht aanwezig; de technische middelen waren tot in de tweede helft van de 19e eeuw betrekkelijk beperkt. Een goede organisatorische aanpak was nodig om met succes het water te bedwingen.

Wanneer alle organisatorische en historische aspecten van deze veenontginningen buiten beschouwing worden gelaten, dan komen de ingrepen, die geleid hebben tot ontwatering en afgraven van het veen op het volgende neer.

1. Om de hoogveengroei tot stilstand te brengen werden greppels gegraven, die een oppervlakkige ontwatering veroorzaakten. Hierdoor kwam het aanbod van neerslagwater op een lager niveau dan voor de groei van veenvormende *Sphagna* noodzakelijk is. Voor een effectieve ontwatering was een stelsel van greppels op geringe afstand nodig. Door deze ontwatering ging het bovenste deel van het veenpakket inklinken, waardoor de effectiviteit van de begreppeling werd verminderd, hierop wordt in 6.3. nader ingegaan.
Het water diende in relatief korte tijd uit de greppels afgevoerd te worden; in het vigerende klimaat zouden de greppels zonder afvoer binnen een jaar weer vol water staan, waarbij de hoogveenvorming zich zou kunnen herstellen.
2. Voor de afvoer van het water uit de greppels werden stelsels van kanalen gegraven, vaak tot in de zandondergrond. Het neveneffect van deze activiteit was dat het gehele veenpakket ontwaterde. Hierdoor klonk het aanzienlijk in. Dit maakte niet alleen allerlei voorzieningen aan de kanalenstelsel nodig, het verzorgde tevens de benodigde compactie van het veen, waardoor turfgraven mogelijk werd.
3. De door middel van deze kanalen beoogde ontsluiting van de veengebieden ten behoeve van de ontginning stelde eisen aan de situering en de dimensionering. Voor de scheepvaart moest een zekere diepte gegarandeerd worden. Mede omdat de aangesneden veenpakketten water bleven lekken overheerste de afwateringsfunctie. De afwateringscapaciteit van deze stelsels diende daarnaast uiteraard zodanig te zijn, dat er geen onaanvaardbare verdroging van omliggende gebieden danwel inundatie van (bewoonde) benedenstroomse gebieden zou optreden.
4. De vrije lozing van het afgevoerde veenwater op zee werd regelmatig beperkt door opstuwing van het zeewater nabij de punten waar gespuid werd, met name in najaar en winter. De piekafvoeren vanuit de in ontginning zijnde veengebieden resulteerden niet in wateroverlast in deze gebieden zelf. De aanleg van boezemgebieden vond niet binnen de veengebieden plaats, maar een eindweegs benedenstrooms. De ontwatering van de hoogveengebieden kon daarom ook in tijden met veel neerslag en hoge waterstanden doorgaan. Bij de laagveenontginningen lag dit heel anders.

Het is duidelijk, dat met de ontwatering de hydrologische structuur van het hele veensysteem vernietigd werd en dat ook de structuur van de veenopbouw onomkeerbaar gewijzigd werd, zodat het materiaal afgegraven kon worden. Veenhydrologisch gezien mikten de ontginningsingrepen primair op het afbreken van de acrotelm. Daarnaast werd ook de catotelm afgebroken; een aanzienlijk deel van het in veen aanwezige water werd vervangen door lucht, waarbij een typische kenmerk van de catotelm in de vorm van zeer grote verticale en horizontale weerstand in het veen verdwenen.

Op de begreppelde, uitdrogende veenoppervlakken kon met name *Calluna vulgaris* zich enorm uitbreiden; deze nieuwe heidevelden werden door schaapskudden intensief begraasd. Bij de boekweitbrandcultuur werden deze oppervlakken gewoeld en verder gedroogd, waarna het droge materiaal verbrand werd. In de asrijke bovenlaag kon boekweit verbouwd worden. Bij deze vorm van landbouw op veen is een halve tot één meter veen verdwenen; globaal gezegd het produkt van 1000 à 2000 jaar hoogveenvorming.

Op de hoogveenrelikten kan de hoogveenvorming niet weer op gang komen. Het neerslagwater zakt te diep weg in het droge veenpakket, waardoor alleen wortelende planten van het water kunnen profiteren. De periode waarin het water voor veenvormende *Sphagna* beschikbaar is, is veel te kort.

6.3. INKLINKINGSEFFECTEN VAN BEGREPPELING VAN LEVEND HOOGVEEN

De begreppeling op geringe afstand betekende het einde van de acrotelm. Om het veen af te kunnen graven diende het ook voldoende compactie te hebben. Beide effecten werden verkregen door de oppervlakkige ontwatering. De compactie was een vereiste om de turf een regelmatige vorm te kunnen geven en om het veen te kunnen betreden. Toenemende compactie betekent toenemend draagvermogen van het veenoppervlak.

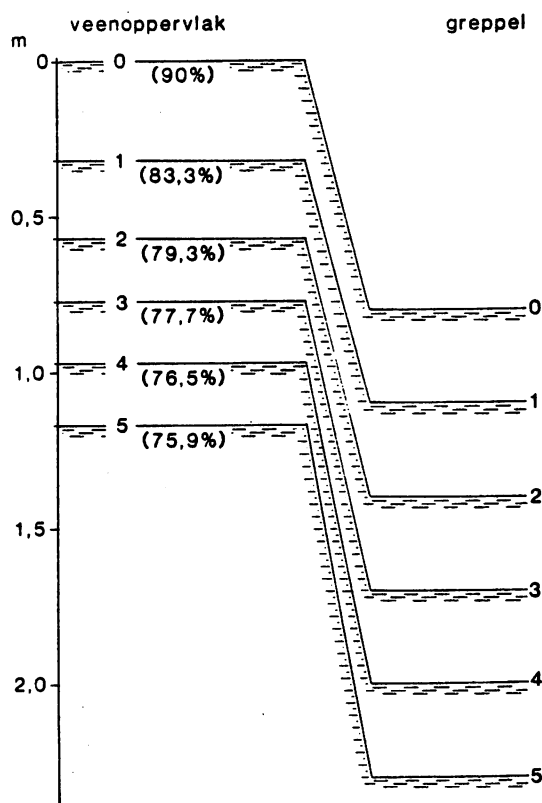
Verveningshandleidingen uit de eerste helft van deze eeuw vermelden de gebezigde maten van de greppels, de onderlinge afstand, het systeem van het uitdiepen van de greppels en de tijdsduur, die nodig is om een levend hoogveen geschikt te maken voor turfgraven. De informatie heeft vooral betrekking op het zuidelijke deel van het Bourtangerveen in Oost-Drenthe; de techniek hier is met name in de loop van de 19e eeuw ontwikkeld.

De greppels werden gewoonlijk op een afstand van 10 m gegraven; ook werd wel een afstand van 11 m aangehouden. Breedte en diepte van de greppels konden van veenplaats tot veenplaats iets variëren. 93 x 77 cm komt voor, maar ook 80 x 80 cm. Het greppelwater werd afgevoerd naar de wijken en zwetsloten, die op 100 m afstand van elkaar werden gegraven. De voortgang der werkzaamheden, waarbij het graven en uitdiepen van de greppels en het verlengen, verbreden en verdiepen van wijken en zwetsloten, had tot doel het water steeds af te laten stromen, tot voldoende compactie was bereikt; het veen moet dan een watergehalte hebben van hoogstens 75%.

Om de nodige ontwatering te verkrijgen werden de greppels jaarlijks ca. 30 cm uitgediept. Dit duurde, naar gelang het watergehalte van het veen, 2-10 jaren. Op basis van deze gegevens en met een aantal aannames laat zich nu het proces van inklinking en van afnemend watergehalte bij benadering in beeld brengen (figuren 25 en 26). Hierbij wordt uitgegaan van een watergehalte van het bovenste weinig vergane mosveen van 90%; dit is wat lager dan bij een levend hoogveen,

maar de begreppeling begon ook altijd als het veen toch al wat aangetast was door langdurige ontwatering stroomafwaarts door het turfgraven aldaar. De compactie werd verkregen door de bovenste 2 à 3 m witveen en daaronder liggend zwartveen te ontwateren; het dieper liggende veen werd door deze begreppeling niet aangetast, maar droogde wel wat in door ontwatering via de wijken en zwetsloten. Dit laatste laten we buiten beschouwing. Wanneer we uitgaan van een greppelafstand van 10 meter, een dimensionering van 80 x 80 cm, een jaarlijks uitdiepen van de greppels met 30 cm, gedurende 5 jaren, dan zakt het veenoppervlak in als in fig. 25 is aangegeven.

Figuur 25. Model van de inklinking van het veenoppervlak na begreppeling van een hoogveen.

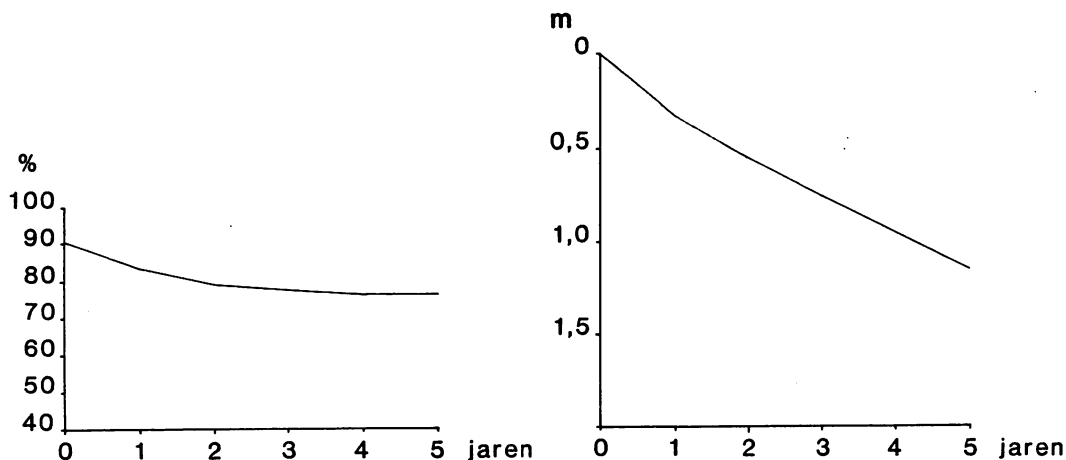


Bovenstaand model van de inklinking van het veenoppervlak door begreppeling, uitgaande van een watergehalte van het veen van 90% (nul-situatie), met een greppel van 80 cm diepte, die gedurende 5 jaren (aangegeven in het maaiveld en de greppelbodem) jaarlijks 30 cm wordt uitgediept. De getallen tussen haakjes geven het hierbij behorende watergehalte van het veen aan. De helling van het greppelalud is fiktief.

Greppels werden eigenlijk nooit dieper dan ruim 1 m; de inklinking in het eerste jaar, wat uitdiepen in het 2e jaar met 30 cm nodig maakt, zal ongetwijfeld in de orde van grootte van 30 cm of iets meer zijn. In de volgende jaren wordt de inklinking minder. In de fig. 25 zijn we er van uitgegaan, dat het veenoppervlak in het eerste jaar 32 cm inzakte; dit is 40% van de greppeldiepte. We nemen aan dat het oppervlak in het 2e jaar nog eens 25 cm daalde en in de volgende jaren 20 cm/jaar. Na 5 jaar is het veenoppervlak hierbij 1,17 m gezakt; een waarde die overeenkomt met wat in de praktijk plaats vond. De greppeldieptes zijn ongetwijfeld niet exact gelijk aan wat is afgebeeld; de greppelbodem zal met veenslik afgedekt zijn geweest.

In fig. 26 is de inklinking als curve uitgezet; alsmede het afnemend watergehalte, dat in dit model daalt van 90% tot 75,9% na 5 jaren. De gewenste compactie is nu bereikt. In de loop van deze 5 jaren is op het oppervlak een vegetatie met beworteling op gang gekomen; dit werkt gunstig op het benodigde draagvermogen.

Figuur 26. Inzakking van het veenoppervlak en daling van het watergehalte als gevolg van begreppeling van een hoogveen.



De figuur geeft rechts de inzakking van het hoogveenoppervlak weer, uitgaande van een watergehalte van het veen van 90%, bij een greppeldiepte van 80 cm, met jaarlijks uitdiepen met 30 cm.

Links: daling van het watergehalte van hoogveen als gevolg van begreppeling en jaarlijks uitdiepen van de greppels, als in fig. 25 aangegeven.

Door de begreppeling van (levend) hoogveen kwam hoogveengroei tot stilstand en werd de acrotelm volledig vernietigd. Bij de vervening werd echter ook de catotelm aangepakt. Onderstaande paragraaf geeft een impressie van de wijze van vervening.

6.4. VERVENING; VAN HOOGVEEN TOT ONTGINNINGSLANDSCHAP

De turfwinning voor eigen gebruik of voor kleinschalige handel had al vanaf de Middeleeuwen plaats, toen men in staat was het veen plaatselijk te ontwateren. Pas in de tweede helft van de 19e eeuw nam de grootschalige vervening een grote vlucht, toen de mogelijkheden voor een betere infrastructuur (kanalen en wegen) werden vergroot door nieuwe technische en economische ontwikkelingen en het op gang komen van mechanisatie.

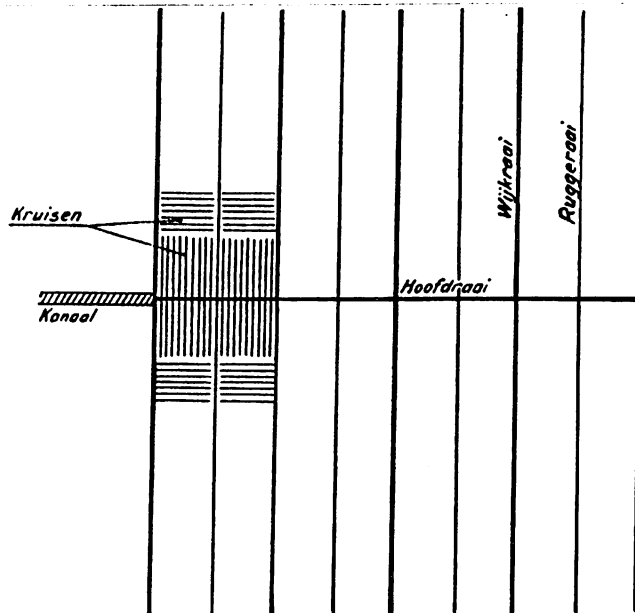
Als voorbeeld van een grootschalige vervening nemen we de verveningen in Z.O. Drenthe; beschreven door F. Pelder (lit. 50).

Voorafgaand aan een grootschalige vervening werd een verveningsplan opgemaakt. Voor het maken van dit plan werd het terrein opgemeten, waarbij de veendikte en de diepte van de zandondergrond werden bepaald. Door het eerste kan een schatting

worden gemaakt van de hoeveelheid turven, die verkregen konden worden; het laatste was vooral van belang voor het bepalen van de geschiktste plaats en de diepte van te graven kanalen.

De systematische vervening begon met de verkaveling door raaien en geulen of greppels. In het verlengde van het ontworpen hoofdkanaal werd een raai gegraven, die aansluit bij een reeds bestaand kanaal (zie figuur 27).

Figuur 27. Situatie van het afwateringspatroon bij vervening van hoogvenen in Z.O. Drenthe.



Allerlei greppels (raaien) worden bij het begin van de exploitatie in het hoogveen gegraven. De hoofdraai komt in het verlengde van een reeds bestaand kanaal.

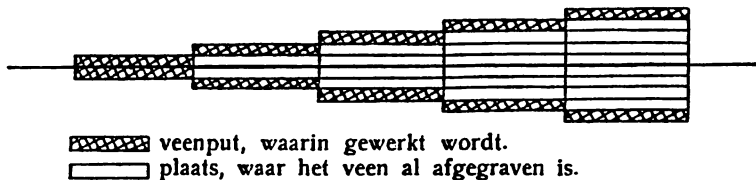
Rechthoekig op deze hoofd- of middenraai groef men aan beide zijden greppels het veen in op een afstand van 180-200 m, de zogenaamde wijkraaien. Evenwijdig aan deze laatste en daar midden tussen kwamen de rugraaien. De hoofd-, wijk- en rugraaien bepaalden al de plattegrond van het toekomstig landschap, want op de plaats van deze raaien liggen nu het kanaal, de wijken en de zwetsloten. Om de ontwatering van het veen beter te doen verlopen, werden uit de hoofd- en wijkraaien op 10 m afstand greppels het veen ingegraven (par. 6.3.); elk jaar werd de greppel 0,30 m uitgediept. Dit ging zo door, tot de hoofdraai $\pm 1\frac{1}{2}$ m diep geworden was en de wijkraaien ± 1 m. Al naar de snelheid waarmee het veen indroogde, namen de voorbereidende werkzaamheden voor het turfsteken twee of meer jaren in beslag. Het veen klonk, zoals uit par. 6.3. al bleek, bij ontwateren sterk in. En zo kon een laag van 5 m dikte na het indrogen nog slechts $3\frac{1}{2}$ m zijn.

Bij de aanvang van dit turfsteken werd aan beide zijden van de hoofdraai over een bepaalde lengte en breedte de bovenste enigszins verdeelde veenlaag, de bonkaarde, verwijderd en op het veen terzijde gelijkmatig uitgespreid. Hierdoor verkreeg men een vlak terrein, het zogenaamde zetveld, waarop later de natte turven uit de veensplitting te drogen werden gezet.

In de veensplitting werden het weinig vergane mosveen, het zwartveen en het daaronder liggende darigveen (moerasveen, laagveen) bij voorkeur tot de zandlaag afgegraven. Hierdoor ontstond een kuil aan weerszijden van de hoofdraai. Deze kuil werd in het volgende jaar door het uitgraven van een nieuwe veenput er

naast weer verbreed, terwijl dan in de lengte van de eerste een nieuwe kuil of nieuwe splitting werd gemaakt (zie figuur 28).

Figuur 28. Situatieschets van het verveningspatroon voor hoogvenen in Z.O. Drenthe.



In de bloot gekomen zandgrond werd op de plaats van de hoofdraai het kanaal gegraven. Met dit kanaal konden de turven worden afgevoerd. In het begin was de exploitatie het kostbaarst; wanneer de vervening langzamerhand meer rugwaarts het veen in ging, werden de vervoerskosten hoger, omdat het transport van het zetveld naar het schip over grotere afstand moest geschieden. Om deze afstand zo klein mogelijk te houden werden om de 200 m wijken gegraven. Hierdoor werd de afstand naar het schip maximaal 100 m.

Tot zover deze korte beschouwing over de grootschalige verveningen in Zuidoost Drenthe. Hoewel in Nederland niet overal op dezelfde wijze is verveend, geeft het bovenstaande grofweg een beeld van de wijze waarop de hoogvenen zijn ontgonnen. De meeste ontginningen zijn als landbouwgrond in gebruik genomen. Aan het begin van de jaren '60, toen natuurbeschermingsorganisaties hoogvenen gingen beheren, waren er slechts hoogveenrestanten over. Deze vormen nu de uitgangssituaties voor de hernieuwde hoogveenvorming. Deze uitgangssituaties worden in onderstaande paragraaf nader beschreven.

6.5. UITGANGSSITUATIES VOOR HET HUIDIGE HOOGVEENBEHEER

Afhankelijk van de mate van het ingrijpen door de mens, als boer of vervener, treft men in Nederland de volgende uitgangssituaties na de vervening aan.

6.5.1. Licht ontwaterde, niet vergraven hoogveenrestanten; (t.b.v. de boekweitbrandcultuur)

Deze hoogveenrestanten bezitten een nog vrijwel intact gebleven veenprofiel van enige meters dikte. Door ontginning langs de randen, worden deze venen in meer of mindere mate ontwaterd. In het verleden zijn ten behoeve van de boekweitcultuur hoogvenen begreppeld waardoor er inklinking van het veen heeft plaats gehad. Het veenoppervlak is hiervoor ook afgebrand om voor de benodigde bemesting van de bodem te zorgen. en hierdoor is een deel van de bovenlaag verloren gegaan. Ondanks deze cultuurtechnische maatregelen in het verleden is het weinig vergane mosveen nog deels aanwezig. Het veenoppervlak zwelt en krimpt nog. In enkele van deze terreinen is het inkrappingsproces groter dan het zwellingsproces (Oldert; lit. 47). Deze terreinen drogen dus langzaam uit.

Voorbeelden van dit type veenrestanten zijn delen van het Fochteloërveen, de Engbertsdijksvennen, de Witten en het Meerstalblok in het Bargerveen. In dit laatste veencomplex treft men ook nog enige "verlande" meerstallen aan. Deze zijn als de levende hoogveenvormende kernen in het terrein bewaard gebleven.

6.5.2. Matig ontwaterde, niet vergraven hoogveenrestanten; (t.b.v. de bovenveencultuur)

De bovenveencultuur is ontstaan langs zandruggen in of langs het veen, waar zich boeren vestigden, die hun vee in de beekdalen lieten grazen. Naarmate de behoefte aan vlees en melk toenam, werd de hoeveelheid mest groter en ging men gedeelten hoogveen achter het huis als bouwland in cultuur nemen. Wanneer de vraag steeg legde men de cultuurgrens verder het veen in en aldus zijn percelen ontstaan met een lengte tot ruim 2.000 m. De kavelbreedte varieerde tussen 12 en 100 m. Door bemesting en ontwatering zijn deze gronden enigszins te vergelijken met de esgronden. In het Bargerveen, Zuidoost-Drenthe, zijn nog enkele restanten van deze oude cultuurgronden over.

6.5.3. Deels afgegraven hoogveenrestanten

Dit type onderscheidt zich van de eerder besproken hoogveenrestanten, doordat de bovenlaag van het witveen verwijderd is, als voorbereiding op de eigenlijke vervening. Deze verwijderde bovenlaag wordt bonkaarde of bolster genoemd en blijft na de vervening achter ten behoeve van het aanmaken tot dalgrond. Ten behoeve van de vervening zijn eerst greppels en later sloten gegraven, waarvan de diepte varieert van 0.50 à 1.00 m; afhankelijk van het stadium waarin de vervening verkeerde. Het weinig vergane mosveen is over het algemeen afgegraven, waardoor het krimp- en zwelvermogen van het veenoppervlak sterk is gereduceerd. Van dit type hoogveenrestanten zijn nog gedeelten aanwezig in het Bargerveen en de Deurnse Peel.

6.5.4. Tot een restveenlaag afgegraven hoogveenrestanten

Het veen is grotendeels afgegraven; de restveenlaag bedraagt hooguit 0,50 m. In de situatie van het Bargerveen is naast een variabele restveendikte ook nog de bonkaarde van ± 0,50 m dikte aanwezig. In de Peelgebieden ontbreekt deze laatst genoemde laag. Bij afgravingen tot een restveenlaag zijn de gliedlagen veelal alleen door ontwateringssloten en plaatselijk door drains doorbroken. Het restveenpakket heeft dan nog een relatief hoge weerstand tegen verticale waterverliezen. Deze bodemsubstraten zijn echter wel droogtegevoelig. Er treedt vaak gemakkelijk scheurvorming op, waardoor de wegzijging naar de ondergrond belangrijk groter wordt. Dit type hoogveenrestanten is in het Bargerveen aanwezig; een voorbeeld is het Amsterdamse Veld, 800 ha groot.

6.5.5. Afgegraven hoogveen (zonder restveenlaag)

Het veen is dan tot op de minerale ondergrond afgegraven. Alleen in laagten zijn nog wat minimale restveenlaagjes blijven zitten, die niet door de verveningsmachine konden worden meegenomen. De weerstandbiedende gliedlagen ontbreken soms geheel. Deze situatie komt bv. veelvuldig in de Peelgebieden voor.

6.5.6. Dalgronden

Onder dalgronden verstaan we gronden, die na de verving tot cultuurgrond zijn gemaakt. Dit geschiedde door middel van bezanding en menging van dit zand met het achtergebleven bonkaarde. Deze gronden worden ook wel veenkoloniale gronden genoemd. Het bezanden van de veengronden gebeurde veelal met zand dat was vrijgekomen uit de wijken en kanalen.

Opmerking: Voor de opkomst van de turfstrooiselfabrieken aan het einde van de vorige eeuw werd de bonkveen of bolster meestal teruggestort na afgraving van het veen, omdat dit bovenste veen geen verbrandingswaarde had. Nadat men had ontdekt dat turfstrooisel ook een landbouwkundige waarde had, werd de bonkaarde in steeds grotere hoeveelheden aan de opkomende turfstrooiselfabrieken verkocht. Aan het einde van de vorige eeuw zijn er vervingvoorschriften gekomen, die bepaalden, dat een deel van de bonkaarde teruggestort moest worden op het afgegraven veen.

Door onvoldoende controle gebeurde dit soms niet op het afgegraven veld. Deze situatie levert nu voor het beheer nadelen op. In hoofdstuk 8 komen we hier nader op terug.

6.6. OVERIGE UITGANGSSITUATIES VOOR HET HOOGVEENBEHEER

Naast de robuuste hoogvenen met een oppervlak van vele honderden hectares of nog veel meer, kwamen in het landschap ook aanzienlijk kleinere hoogvenen voor in lokale depressies. Ombrogene veenvorming trad hier als het ware kleinschalig op: het oppervlak was soms minder dan één hectare. Kennelijk konden ombrotrofe vegetaties zich hier voldoende lang handhaven en daarbij veen vormen, zij het dat de vegetatiesamenstelling veelal ook minder ombrotrofe kenmerken kon vertonen. Het is duidelijk, dat hier naast voldoende vochtigheid - in het algemeen een watersurplus-situatie - een sterke hydrologische isolatie ten opzichte van voedselrijke invloeden vanuit het grondwater, het oppervlaktewater of het omringende landschap, aanwezig was. Veel van deze natte depressies zijn door ontginningsmaatregelen geheel verdwenen. Voor zover ze nog aanwezig zijn, zijn ze sterk aangetast door turfgraven, ontwateren, eutrofiëring, enz. In een aantal gevallen zijn nog voldoende potenties aanwezig voor hernieuwde ombrogene veenvorming.

Juist omdat bij de vorming van de depressie en de opvulling en/of verlanding met veen de externe beïnvloeding veel groter was dan bij de grote hoogvenen, is het van belang inzicht in de genese van deze kleine veentjes en moerassen te hebben om adequate beheersmaatregelen te kunnen nemen. Met name de ontwikkeling van de hydrologische isolatie onder natuurlijke, ongestoorde omstandigheden en de huidige situatie (voedselrijke of voedselarme omstandigheden enz.) bepalen de aard van de beheersmaatregelen. Op dit laatste aspect wordt in hoofdstuk 8.4.3. ingegaan. Hieronder volgt eerst een globaal overzicht van met veen gevulde kleine depressies, zoals moerasjes, vennen, veentjes, waarbij het tot de vorming van ombrogeen veen is gekomen.

6.6.1. Pingoruïnes

Deze restkommen van gesmolten ijsheuvels kunnen gedateerd worden in de laatste koude fases van de laatste ijstijd (Oudste Dryas, Oudere Dryas, Jongere Dryas). Ze zijn ontstaan in de bevroren bodem (permafrost). De eerste organische afzettingen zijn gewoonlijk Braunmoorstorf en gyttja, afgezet in oligotroof milieu. De hiervoor noodzakelijke hydrologische isolatie werd vooral door de bevroren onder-

grond verzorgd en in mindere mate door de keileem waarin de pingo's ontstonden. De kommen waren afvoerloos, zodat ze al spoedig met water gevuld raakten. Vanaf het Preboreaal (tabel 1) vormt zich hierin moerasveen, dat geleidelijk overgaat in mesotroof veen en uiteindelijk in oligotroof veen, dat sterke ombrotrofe kenmerken krijgt. De overgang naar ombrogene veenvorming kon reeds vanaf het Atlanticum optreden. Sommige pingoruïnes, die in lagere delen van het landschap zijn gesitueerd, bleven onder invloed van het gestegen grondwaterpeil in eutrofe situatie. Hier ging de moerasveenvorming verder. Vooral grotere pingoruïnes hadden gedurende zeer lange tijd open water van behoorlijke diepte. Hier trad veelal verlanding van de waterplas op.

Op het oppervlakkig ontwaterde veenoppervlak van sommige pingo's is boekweit verbouwd. In veel pingo's is turf gegraven. In de daarna ontstane waterplas kon de veenvorming weer op gang komen, gewoonlijk aanvankelijk eutroof, overgaand in mesotroof veen. De invloed van de direct neerslag op het veenvormende milieu neemt hierbij geleidelijk toe. De situering van de pingoruïne in een keileem-ondergrond, vaak voorzien van een lage ringwal, maakt hydrologische isolatie van dit milieu nog mogelijk.

6.6.2. Afgesnoerde beekdalen

Door instuiving van zand zijn in diverse beekdalen zodanige stagnaties in de afwatering ontstaan, dat ter plaatse veenvormende milieus ontstonden. Een belangrijke fase waarin zand ging stuiven, kan gedateerd worden tegen het einde van de laatste ijstijd (dekzandvormingen). Na het definitief verdwijnen van de permafrost op het einde van de laatste ijstijd kon het wederom gaan stuiven als gevolg van de sterk gedaalde grondwaterstand. Met name in de bovenloop van dergelijke beeksystemen kon de invloed van de neerslag op het veenvormende milieu zodanig zijn, dat plaatselijk ombrogene veenafzettingen tot stand kwamen. De moerasveenvorming hield echter de overhand.

Met de (regionale) ontwatering van deze gebieden is de ombrogene veenvorming tot stilstand gekomen. Het veen is meestal grotendeels verdwenen (ontginningen, turfgraven, opvullen met zand enz.), maar de uitgangssituatie, met name het reliëf van de minerale ondergrond is veelal nog aanwezig.

6.6.3. Stuifkuilen

Deze ontstonden vooral door overbeakking - reeds in prehistorische tijd - waarbij de vegetatie zo sterk werd aangetast, dat de braakliggende bodem ging stuiven. Het zand werd vaak tot op het toenmalige grondwaterniveau uitgestoven, waarbij relatief diepe kuilen ontstonden. Bij de latere stijging van het grondwater inundeerden deze laagten, zodat het tot moerasveenvorming kwam in meestal mesotrofe milieus. Uiteindelijk ontstonden hier oligotrofe situaties, met toenemende invloed van de directe neerslag op het veenvormende milieu, leidend tot ombrotrofie. Dergelijke ontwikkelingen kwamen na ca. 2000 voor Chr. op gang. Veel van dergelijke veentjes zijn aangetast door waterstandverlaging in de omgeving, door turfgraven, door toestromend voedselrijk water en door vervuiling enz. Terugdringen van deze invloeden biedt hernieuwde mogelijkheden voor ombrogene veenvorming.

6.6.4. Hangwaterveentjes

De schijnwaterspiegel wordt in stand gehouden door een waterafsluitende podzol met een harde ijzerbank. Als deze een komvorm heeft, kan veengroei optreden, bijna altijd onder mesotrofe tot oligotrofe omstandigheden. Daar het veen voor zijn voeding vrijwel geheel afhankelijk is van de directe neerslag, treden hier relatief snel ombrogene veenvormende situaties op. Dergelijke veentjes ontstonden pas na 2000 à 3000 voor Chr.

Verlaging van de grondwaterstand rondom de veentjes, begreppeling, aftappen van het hangwater door het graven van een waterlossing, toestroming van voedselrijk water enz. tasten de waterafsluitende laag aan, waardoor deze veentjes uiteindelijk verdwijnen.

6.6.5. Keileemdepressies

In het golvende keileemreliëf zijn komvormige depressies aanwezig, die zoveel water kunnen bevatten, dat hier veenvorming op kan treden. Als de watervoorziening uitsluitend door de neerslag plaats vindt, kan de aanvankelijk eutrofe veenvorming geleidelijk overgaan in mesotrofe en oligotrofe veenvorming, waarbij uiteindelijk ombrogeen veen ontstaat.

Ontwatering en toevoer van voedselrijk water betekenen het einde van het ombrotrofe milieu.

6.6.6. Afgesneden meanders

Hier is over het algemeen sprake van een voedselrijke situatie, met een mineraalrijke moerasveenafzetting, waarin een restgeul met voedselrijk water kan verlanden. Als in deze geul geen voeding met voedselrijk rivier- of grondwater optrad kon de verlanding overgaan in mesotrofe en oligotrofe veenvorming met ombrotrofe vegetaties. De omvang van dergelijke ontwikkelingen is gewoonlijk beperkt.

De ombrogene situatie is zeer gevoelig voor veranderingen van het hydrologische regiem van de rivier. Daarnaast betekenen ingrepen als drainage, beplanting, kleiwinning enz. in de omgeving meestal het einde van de ombrogene veengroei.

6.6.7. Antropogene situaties

Ook door menselijk ingrijpen en dan met name door het turfgraven, zijn uitgangssituaties ontstaan voor hoogveengroei. Het betreft hier de verlanding van waterplassen, waarbij hoogveenvorming het eindstadium is van de verlandingssuccessie. Deze ontwikkeling kan zich voordoen vanuit voedselrijke situaties en vanuit voedselarme situaties.

In het geval van de voedselrijke omstandigheden zijn deze situaties vooral ontstaan bij laagveenontginningen (bv. petgaten). De aanvankelijk eutrofe verlandingsseries, die na de vervening konden ontstaan, leiden uiteindelijk tot een hydrologische isolatie van de veenvormende vegetatie, juist boven het niveau van het voedselrijke grondwater in de petgaten, waarbij oligotrofe veenvormers gaan overheersen. Dit resulteert dan in ombrogene veenvorming (zie ook ev. 2.3. of 2.4.). Voorwaarde hierbij is dat het grondwater niet verder stijgt en dat de neerslag geruime tijd in de veenvormende vegetatie aanwezig kan blijven.

De voedselarme situaties ontstonden vooral in hoogveenputten en na het uitvenen van vennen tot ver beneden het waterpeil, maar zonder aansnijding van het voedselrijke grondwater. Na een stadium van mesotrofe veenvorming ontwikkelen zich dan vaak oligotrofe vegetaties met sterk ombrogene veenvormende kenmerken. Het niveau van dit veenvormende milieu is bijna altijd lager dan dat van het omringende, niet afgegraven of uitgegraven veen. De kwetsbaarheid bij verandering van de hydrologische situatie is tamelijk groot.

In de paragrafen 9.4.2. en 9.4.3. wordt op het beheer nader ingegaan.

DEEL II - UITGANGSPUNTEN VOOR HET BEHEER

7. INLEIDING

Vanaf eind zestiger jaren is in Nederland een begin gemaakt met het weer "vernatten" van ontwaterde en afgegraven hoogveenrestanten, om daarbij de hoogveenregeneratie in te leiden en uiteindelijk weer nieuwe hoogveengroei mogelijk te maken. Het eerste gebied, waar men de vernattingsmaatregelen toepaste, was het Bargerveen in Z.O.-Drenthe. Omdat met het "vernatten" en regenereren van hoogvenen nauwelijks ervaring was, is de beheerder deels op empirische wijze, deels gesteund door kennis van veenonderzoekers te werk gegaan. De eerste beheersmaatregelen werden getroffen in het Meerstalblok, een niet afgegraven hoogveenrestant van ca. 66 ha, bestaande uit een meerstal en omliggende heide. Deze heide was ontwaterd door greppels en in het verleden gebruikt voor de boekweitteelt. In z'n algemeenheid gold, dat op het veenoppervlak bomen en struiken werden verwijderd om te sterke verdamping tegen te gaan en in de daarop volgende fase werden de boekweitgreppels afgedamd. De maatregelen hadden tot doel te sterke veenwaterstands dalingen tegen te gaan en de oppervlakkige afvoer af te remmen. Later zijn ook de veensplittings afgedamd en zijn op stukken, waar witveen afgegraven was, zwartveen-dammen aangelegd. Achter deze dammen werd neerslagwater vastgehouden, waardoor diepe ontwatering tegen de hoogveenkern zoveel mogelijk kon worden tegengegaan.

Op grond van deze eerste ervaringen werden door beheerders van natuurterreinen op steeds grotere schaal vergelijkbare maatregelen genomen. Aldus is de praktische kennis over het beheer van hoogveenrestanten in de loop der jaren steeds meer toegenomen. Bij het beheren van deze natuurgebieden speelt het werken met water een overheersende rol. De beschikbaarheid van voldoende water van goede kwaliteit op de juiste plek op het goede tijdstip is een speciaal aspect van dit beheer. Met name voor hoogveengebieden betekent dit vooral veel water, dat bij voorkeur ook voedselarm moet zijn. De beheersdoelstelling is het creëren van zodanige hydrologische omstandigheden, dat optimale veengroei mogelijk is. Aangezien ontwikkelingen tot hoogveen in de bestaande reservaten zich pas over een zeer lange tijd kenbaar maken, is het niet zonder meer duidelijk, wat onder optimaal verstaan moet worden. Dit geldt met name voor de hoogveenvorming. Wel moet voor de beheerder duidelijk zijn, dat het beheer op zijn minst garanties moet bieden voor enige veenvorming, die te zijner tijd kan overgaan in hoogveenvorming.

Aan de beheersdoelstellingen, mogelijkheden en randvoorwaarden van hoogveenvorming wordt in hoofdstuk 8 nader ingegaan. Wat betreft de laatste twee aspecten geeft dit hoofdstuk een beknopt overzicht van zaken, die in deel I uitgebreid behandeld zijn en voor het beheer en de ontwikkelingsmogelijkheden van hoogvenen van groot belang zijn. In hoofdstuk 9 wordt het hydrologisch beheer van hoogvenen nader besproken.

8. BEHEERSDOELSTELLINGEN, MOGELIJKHEDEN EN RANDVOORWAARDEN VAN HOOGVEENVORMING: IN HET BIJZONDER VOOR DE NEDERLANDSE SITUATIE

8.1. BEHEERSDOELSTELLINGEN

Zoals in de inleiding van deel I en in hoofdstuk 6 al is duidelijk gemaakt, zijn in Nederland geen grote levende hoogvenen meer aanwezig. Door de ontwatering en vervening zijn deze gebieden verdwenen en zijn slechts relictten overgebleven. Door de natuurbeschermingsorganisaties wordt aan de hoogveenvorming in deze gebieden zo goed mogelijk gestalte gegeven. Daarbij wordt in vele gevallen gestreefd naar herstel van het hoogveenlandschap en worden mogelijkheden geschapen om hoogveenvormende vegetaties in stand te houden of de ontwikkeling daarvan te stimuleren. Voor reservaten, waar wordt gestreefd naar de instandhouding of ontwikkeling van hoogveenvormende vegetaties is het beheer gericht op:

1. de ontwikkeling of instandhouding van een open, voedselarm, nat hoogveenlandschap;
2. de ontwikkeling of instandhouding van ecosystemen en biotopen van het natte hoogveenlandschap;
3. het in gang zetten van processen, die geleidelijk zullen leiden tot hernieuwde hoogveenvorming.

8.2. MOGELIJKHEDEN TOT HOOGVEENVORMING IN HET ALGEMEEN

Het heden ten dage spaarzaam voorkomen van "ongestoorde" hoogveenvorming in Nederland betekent niet, dat veenvormende processen alleen binnen enge grenzen tot ontwikkeling kunnen komen. Hoogveenvorming is immers in z'n algemeenheid een verschijnsel, dat zich niet binnen enge klimatologische (par. 3.2.), historische (par. 3.3.), ruimtelijke (par. 3.2.) en bodemkundige grenzen (par. 2.2.6.) afspeelt. Hoogvenen binnen Europa hebben dan ook een zeer grote verspreiding van Ierland tot in Rusland en van Finland tot in Nederland en Duitsland (par. 3.2.). Met betrekking tot de mogelijkheden voor hoogveenvorming kan voor de Europese situatie het volgende worden gesteld.

8.2.1. Klimatologische mogelijkheden

Neerslaghoeveelheid

Afhankelijk van klimatologische condities, zoals het temperatuurverloop over het jaar, komen hoogvenen voor bij neerslagintensiteiten van ca. 500 tot 2000 mm per jaar.

Temperatuur

Beneden een gemiddelde jaartemperatuur van ca. 11°C komen hoogveengebieden voor. De temperatuur mag zelfs vrij laag zijn, daar immers ook in het gebied binnen de poolcirkel hoogvenen op permafrostbodems voorkomen.

Historisch

Vanaf 5000 voor Chr. tot heden zijn de omstandigheden voor hoogveenvorming geschikt; er zijn sinds die tijd klimatologisch geen perioden aanwijsbaar die voor hoogveenvorming in Nederland als ongeschikt of onmogelijk beschouwd moeten worden.

8.2.2. Bodemkundige mogelijkheden

Hoogveenvorming is niet gebonden aan een bepaald type bodem. Hoogvenen komen voor op zand, klei, organische afzettingen, kalkhoudende bodems, graniet en andere gesteenten, in open water, op (verlaten) ontgonnen gronden, al dan niet gepodssoleerd.

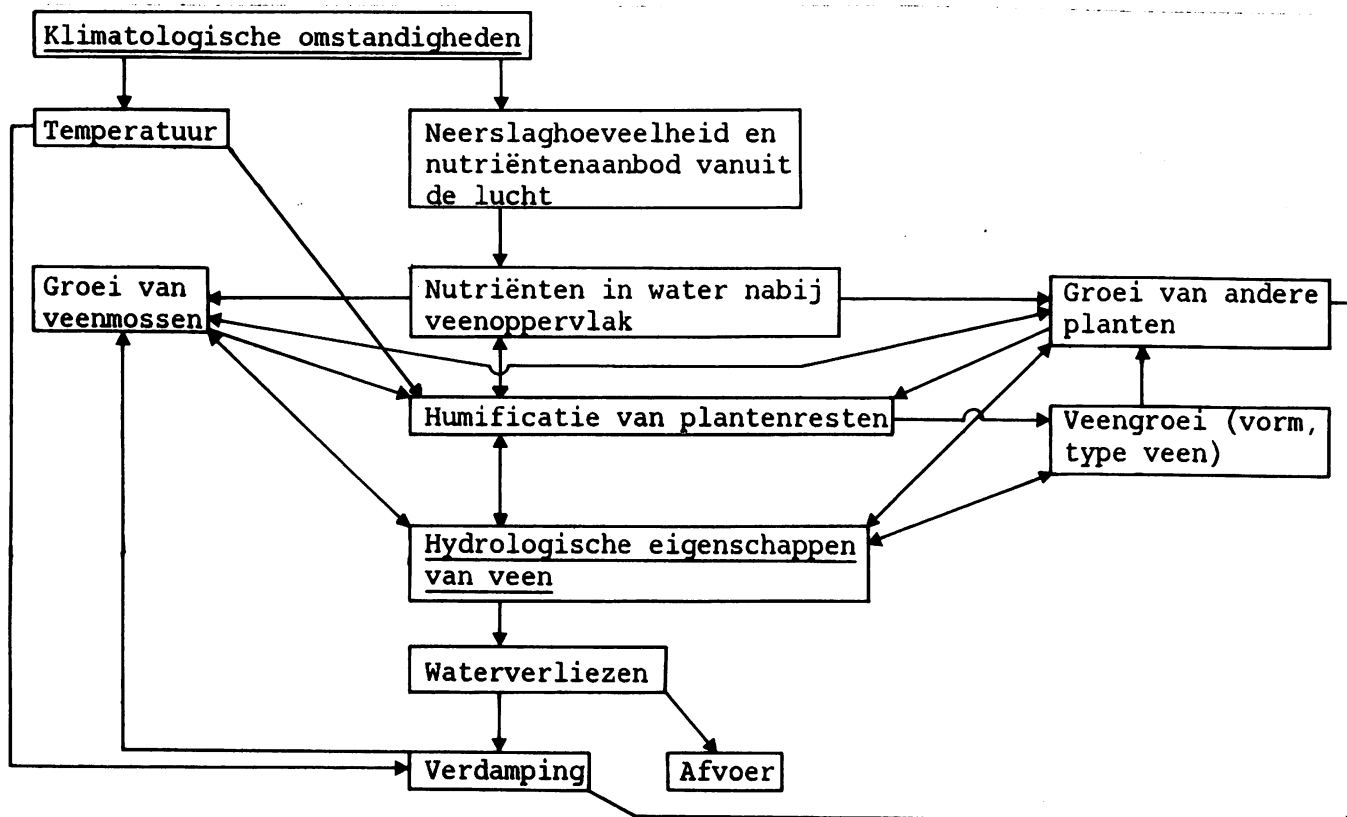
De regeneratie van hoogvenen, die in de laatste decennia op gang gekomen is, vindt ook plaats op allerlei substraten. Dit impliceert niet, dat de aanwezigheid van (potentieel) geschikte substraten tot hoogveenvorming leidt. Er is een beheer van deze substraten nodig. In feite een bepaald "samenspel" van randvoorwaarden, om de doelstelling van hoogveenvorming te kunnen realiseren. Hierop wordt ingegaan in de volgende paragraaf.

8.3. RANDVOORWAARDEN VAN HOOGVEENVORMING IN NEDERLAND

8.3.1. Beheersbare en niet-beheersbare randvoorwaarden bij hoogveenvorming

Zoals al uit voorgaande hoofdstukken is gebleken, veronderstelt hoogveengroei bepaalde hydrologische eigenschappen van het zich vormende veen. De wijze van hoogveenvorming en het type veen, dat ontstaat, worden in belangrijke mate bepaald door de klimatologische omstandigheden en de veenvormende vegetaties. Deze belangrijkste regulerende factoren voor de hoogveengroei zijn in een schema weergegeven in onderstaande figuur 29.

Figuur 29. Geschematiseerde weergave van de belangrijkste regulerende factoren bij hoogveengroei.



De klimatologische omstandigheden voor hoogveenvorming zijn als niet-beheersbare randvoorwaarden te bestempelen.

In Nederland kunnen de huidige mogelijkheden van hoogveenvorming, in het bijzonder de klimatologische randvoorwaarden, als geschikt tot gunstig voor de ombrotrofe veenvorming worden beschouwd, indien men uitgaat van een neerslagintensiteit die groter is dan 700 mm per jaar (hoofdstuk 3; par. 5.3.2.; par. 5.7.).

De gemiddelde jaartemperatuur bedraagt hier ca. 9°C (par. 3.3.3.) en ligt dus ruim beneden de grens, waar hoogveenvorming nog mogelijk wordt geacht.

8.3.2. Beheersbare randvoorwaarden

De beheersbare factoren, waaronder de hydrologische randvoorwaarden voor een belangrijk deel vallen, zijn niet alle gunstig te noemen. Het beheer heeft als taak juist deze randvoorwaarden zodanig te sturen, dat de doelstellingen van hoogveenvorming bereikt kunnen worden. In eerste instantie zal degelijke kennis nodig zijn van de hydrologische mogelijkheden van het gebied. Tevens doet zich de vraag voor op welke wijze het beschikbare water kan worden beheerd, zodat op zinvolle wijze inrichtings- en beheersmaatregelen kunnen worden ontwikkeld. Voor het bereiken van de beheersdoelstellingen (par. 8.1.) staan de volgende middelen ter beschikking.

1. Het hydrologisch beheer. Dit impliceert het instandhouden of scheppen van basisvoorwaarden voor (ombrogene) veenvorming in de verschillende reservaten.

2. Mechanisch en biologisch beheer. Begrazing, maaien, afvoeren van het maaisel en rooien kunnen bijdragen tot realisering van de doelstellingen.

Omdat in dit rapport uitsluitend aandacht is besteed aan het hydrologisch beheer van hoogvenen, zal aan het laatste punt geen nadere uitwerking worden gegeven. In onderstaande paragraaf wordt nu nader ingegaan op de waterhuishoudkundige randvoorwaarden voor hoogveenvorming. Dit kan het beste aan de hand van een beheersmatige beschrijving van de hoogveenvorming benaderd worden.

8.3.3. Hydrologische randvoorwaarden van de hoogveenvorming

Het scheppen van de basisvoorwaarden voor de hoogveengroei, in het bijzonder de hydrologische randvoorwaarden, betekent het tegengaan van de huidige afbraakprocessen van het veen, zoals uitdroging en veraarding, anderzijds het ontwikkelen van een hydrologische inrichting, waarin de veenvormende *Sphagna* en andere in het ombrogene veen thuishorende planten zich op hun zelfgevormd substraat kunnen handhaven. Als deze situatie is bereikt, zullen de afbraakprocessen tot stilstand zijn gekomen. Hoogveenvorming is daarom te definiëren als de groei van veenvormende *Sphagna* en begeleidende planten in een watersurplussituatie (acrotelm-condities), die toch kenmerken heeft van een infiltratiesysteem, waardoor voedsel-arme omstandigheden geschapen worden daar uitsluitend voeding via de neerslag plaats heeft (ombrotrofe condities). De watersurplussituatie is gesitueerd op een waterverzadigd substraat (catotelm-condities), waarin biologische processen bijna geheel tot stilstand zijn gekomen. We gaan nu nader in op de genoemde hydrologische condities voor de hoogveenvorming.

Acrotelm-condities

Hoogveenvorming heeft alleen plaats in het vegetatiedek; de vrij dunne toplaag met levende *Sphagna* werd al eerder in par. 4.3.2. de acrotelm genoemd. In een goed groeiende hoogveen is de acrotelm gewoonlijk 0,10 à 0,30 m dik. In de acrotelm treden horizontale waterstromen met geringe snelheid op (systeemgebonden afvoer), die de watersurplussituatie creëren, benodigd voor de *Sphagnum*groei, d.w.z. voor het in stand houden van de evapotranspiratie van het vegetatiedek en de afvoer van nutriënten uit het hoogveensysteem. De watersurplussituatie van de acrotelm en de hieraan gekoppelde horizontale stroming van water is rechtstreeks gekoppeld aan de aanwezigheid van grote watervoorraden aan het veenoppervlak, gevormd in de jaarlijkse periode met het neerslagoverschot. Zoals in par. 4.4. al is opgemerkt, dienen bij een gegeven uitgangssituatie in of nabij het veenoppervlak waterbergingsmogelijkheden geschapen te worden, waarbij permanent minstens ca. 80% van de ruimte door water wordt ingenomen. Gedurende de groeiperiode van de *Sphagna* daalt het waterpeil in de acrotelm geleidelijk. De *Sphagnum*groei stagneert tenslotte indien de veenwaterstand beneden een niveau van 0,10 à 0,20 m onder het vegetatiedek daalt. De bergingscoëfficiënt in de acrotelm bedraagt daarom aan het einde van de winter en de zomerperiode respectievelijk 0,95 en 0,70. Naarmate de watervoorraden aan het veenoppervlak aan het begin van de vegetatieperiode groter zijn, kan van een stabielere situatie gesproken worden. Deze situatie wordt vooral beïnvloed door de grootte van de jaarlijkse neerslaghoeveelheid, welke in Nederland minstens ca. 700 mm moet bedragen.

Ombrotrofe condities

Het water dient zowel voedselarm (weinig kationen en anionen) als redelijk zuurstofrijk te zijn (zie paragraaf 4.3.4.); het staat aan het begin van de hydrologische kringloop. Deze condities worden geschapen in een infiltratiesysteem, waarin uitsluitend voeding via de neerslag plaats heeft. Bij stilstaand water treedt verrijking op omdat de nutriënten niet worden afgevoerd en er indamping plaats heeft. Het water wordt dan ook minder zuur. De stroming van water is dan ook essentieel voor de afvoer van voedingsstoffen uit het hoogveensysteem (systeemgebonden afvoer).

Catotelm-condities

Het waterverzadigd substraat, waarop de veenvorming plaats vindt, bestaat uit afgestorven, slechts ten dele vergane veenvegetaties (catotelm), veelal bestaande uit dezelfde plantensoorten als de acrotelm.

In de catotelm is de verticale en horizontale waterbeweging zeer gering (par. 5.6.1.), naderend tot nul; dit functioneert als "basis" van de watersurplussituatie in de acrotelm. In het water, dat globaal gezien zuurstofloos is, ontbreekt biologische activiteit nagenoeg. Als uit de catotelm te snel water verdwijnt, wordt dit aangevuld met water uit de acrotelm; de hierdoor ontstane (totale) uitdroging van het vegetatiedek kan de vitaliteit van de veenvormende Sphagna sterk aantasten. Als de uitdroging langere tijd duurt, sterven de Sphagna af. Een stabiele, waterverzadigde catotelm kan vooral in stand worden gehouden als er geen of slechts minimale wegzijging naar de ondergrond plaats heeft. Volgens paragraaf 5.8. mag de wegzijging niet groter zijn dan het verschil tussen het gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot en de noodzakelijk geachte systeemgebonden afvoer van ca. 110 mm per jaar. (Hierbij zou de grondwaterstand van de minerale ondergrond minstens tegen de veenbasis moeten staan om mineralisatie van het veen tegen te gaan. Door mineralisatie van de veenbasis worden humusdeeltjes afgevoerd en neemt het poriënvolume toe, waardoor de doorlatendheid groter wordt en er grotere waterverliezen gaan optreden.)

8.4. CONCLUSIES

Bij het formuleren van voorwaarden voor hoogveenvorming in Nederland gaat het om beheersbare en niet-beheersbare randvoorwaarden. Tot de niet-beheersbare randvoorwaarden worden de klimatologische omstandigheden gerekend. Tot de beheersbare voorwaarden behoren de biologische en hydrologische omstandigheden. Voor het beheer van hoogveenreservaten in Nederland zijn voor de instandhouding of ontwikkeling van hoogveenvorming de volgende randvoorwaarden van belang.

- Klimatologische condities. Een neerslaghoeveelheid van ca. 700 mm per jaar of meer en een gemiddelde jaartemperatuur van ca. 9°C zijn belangrijke voorwaarden voor de hoogveenvorming.
- Trofiegraad. Hoogvenen worden gekarakteriseerd door een voedselarm en zuur milieu. In een hoogveenvormend milieu heersen dan ook oligotrofe omstandigheden.
- Hydrologische condities. Voor de hoogveenvorming is het behouden of scheppen van acrotelm- en catotelm-condities van essentieel belang.

Om de randvoorwaarden voor hoogveenvorming in reservaten te kunnen handhaven of te scheppen is een bepaald beheer van deze gebieden noodzakelijk. Het beheer van deze gebieden krijgt gestalte door het nemen van beheersmaatregelen. Het hydrologische beheer van hoogvenen wordt ten slotte in het laatste hoofdstuk behandeld. Hierbij is tot nu toe (stilzwijgend) uitgegaan van een zodanige kwaliteit van de neerslag, dat de hiermee aangevoerde nutriënten en andere stoffen niet toxisch zijn voor het veenvormende milieu of op andere wijze de veenvorming nadelig beïnvloeden. Thans kan gesteld worden, dat dit niet meer het geval is; de kwaliteit van het neerslagwater wordt een (beperkende) randvoorwaarde. In 9.2. wordt hier nader op ingegaan.

9. HET HYDROLOGISCH BEHEER VAN HOOGVENEN IN NEDERLAND

9.1. ALGEMEEN

Het beheren van een ongestoord hoogveen met het daarbij behorende hydrologische systeem, lijkt een tamelijk eenvoudige zaak. Als de klimatologische condities goed zijn (par. 8.2.1.), dan zou een hoogveen zich vanzelf in stand houden. Of deze constatering juist is, kunnen we niet te weten komen. Maar wij vermoeden, dat o.a. de kwaliteit van de neerslag - in onze beschouwing in beperkte mate benaderd in paragraaf 9.2. - en mogelijk nog andere externe antropogene omstandigheden, het ongestoord voortbestaan van een hoogveen heden ten dage bedreigen.

Zoals in hoofdstuk 6 is duidelijk gemaakt, bestaan er in Nederland geen groot-schalige ongestoorde hoogvenen meer. Wat ons rest zijn over het algemeen sterk vergraven en daardoor verdroogde veenterreinen, met een geheel andere waterbalans. In paragraaf 9.3. wordt hier nog nader op in gegaan. De hydrologische en andere externe condities zijn naar alle waarschijnlijkheid zodanig, dat hoogveenvorming niet automatisch het gevolg zal zijn van een beheer, dat gekenmerkt wordt door achterwege blijven van (verdere) verstoringen en het achterwege laten van actieve beheersmaatregelen.

In de praktijk is meestal sprake van veel te hoge afvoer van water; met name oppervlakkige afvoer, wegzijging en een te hoge verdampingsintensiteit, spelen daarin een belangrijke rol. In de paragrafen 9.3. en 9.4. wordt dit nader uitgediept.

De belangrijke vraag aan de beheerder van een veenterrein is, of hij die afvoer van het water zodanig kan beheersen, dat er wel voldoende voor hoogveenvorming beschikbaar komt en zo ja, of er dan inderdaad weer Sphagnumgroei op gang komt. In dat geval praten we over de mogelijkheden om acrotelm- en catotelmcondities te scheppen.

Een ander bekend groot probleem bij het beheer van veenterreinen is in veel gevallen de sterk toegenomen voedselrijkdom en de verminderde zuurgraad in veengebieden. In paragraaf 9.4. wordt hier nader aandacht aan besteed.

Nu allereerst het een en ander over de mogelijke invloed van luchtverontreiniging op hoogveenvormende vegetaties.

9.2. LUCHTVERONTREINIGING EN DE MOGELIJKE INVLOED OP HOOGVENEN

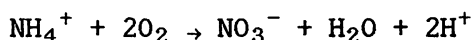
Omdat hoogvenen uitsluitend gevoed worden door de neerslag kunnen zure voedsel-arme omstandigheden in stand gehouden worden.

In de laatste eeuw is de luchtverontreiniging door industriële en urbane ontwikkelingen sterk toegenomen. Vreemde stoffen komen in de lucht voor of bepaalde stoffen komen in hogere concentraties in de lucht voor dan onder natuurlijke omstandigheden het geval zou zijn geweest. Over de invloed van de luchtverontreiniging op hoogveenvormende vegetaties is nog maar weinig bekend. In verkennende onderzoeken in het buitenland (Gorham, Bayley en Schindler, lit. 31) wordt de aandacht in eerste instantie vooral gevestigd op stoffen als stikstof en sulfaat. In het kader van een onderzoek in het Nationaal Park "De Groote Peel" wordt door de Katholieke Universiteit in Nijmegen een onderzoek gedaan naar de invloed van luchtverontreiniging door de bio-industrie op dit veenterrein. De resultaten van dit onderzoek zijn nog niet beschikbaar.

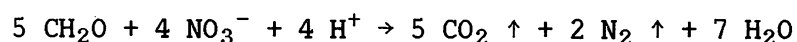
Met betrekking tot de verontreiniging met stikstof via de lucht is globaal het volgende op te merken.

In de lucht komt stikstof onder natuurlijke omstandigheden in drie vormen voor, namelijk nitraat (NO_3^-), ammonium (NH_4^+) en vrije stikstof (N_2). De opname van stikstof door planten, als belangrijke voedingsstof, gebeurt in de vorm van nitraat (of vrije stikstof bij micro-bacteriële processen).

Ammonium kan onder zuurstofrijke omstandigheden - dus boven de veenwaterspiegel - worden omgezet in nitraat. Dit proces verloopt chemisch als volgt:



Bij dit zogenaamde nitrificatieproces komen H^+ -ionen vrij; dit proces heeft dus een verzurende invloed op het milieu. Onder natuurlijke omstandigheden is volgens Gorham e.a. slechts in beperkte mate stikstof aanwezig in veenwater. Het nitraat- en ammoniumgehalte in veenwater bedraagt maar enkele micro-equivalenten per liter. De stikstoftoevoer vanuit de lucht is van nature echter hoger; globaal zo'n 10 maal hoger dan de stikstofhoeveelheid in het veenwater. Het is aannemelijk dat de stikstof direct door planten wordt opgenomen of voor micro-bacteriële reductie of denitrificatie wordt gebruikt. Onder dit laatste proces wordt verstaan het omzetten van nitraat in vrije stikstof. In chemische zin verloopt dit proces als volgt:



Voor de denitrificatie van nitraat is verse organische stof nodig en worden vrije H^+ -ionen weer aan het veenwater onttrokken. Dit proces heeft een meer basisch gerichte werking op de milieu-omstandigheden; in de veenvormende vegetatie is het gewoonlijk te zuur voor deze omzetting. Het omzettingsproces verloopt bovendien traag onder anaërobe milieu-omstandigheden.

Van nature is het lage stikstofaanbod ruim voldoende en mogelijk ook kenmerkend om de planten uit het hoogveenmilieu te voeden. De stikstofbehoefte van deze planten is immers gering en aldus zijn vraag en aanbod goed in evenwicht. Het voedselarme karakter van het veen blijft zo bewaard. Dit zal anders worden, wanneer er bv. door de bio-industrie luchtverontreiniging plaats heeft, waarbij grote hoeveelheden aan ammoniak vrij komen. Door een reactie met andere gassen en water in de atmosfeer ontstaat ammonium (NH_4^+). Ammonium is voor planten van een zuur milieu de enige stikstofbron. Verhoging van de ammoniak/ammonium depositie in een hoogveen zal daarom een verschuiving van de concurrentieverhoudingen tot gevolg hebben, waarbij de "echte" hoogveensoorten het af moeten leggen tegen de "opportunisten". Echte hoogveenmossen blijken ook zeer gevoelig te zijn voor verontreiniging met zwavelhoudende ionen (Gorham et al. 1984).

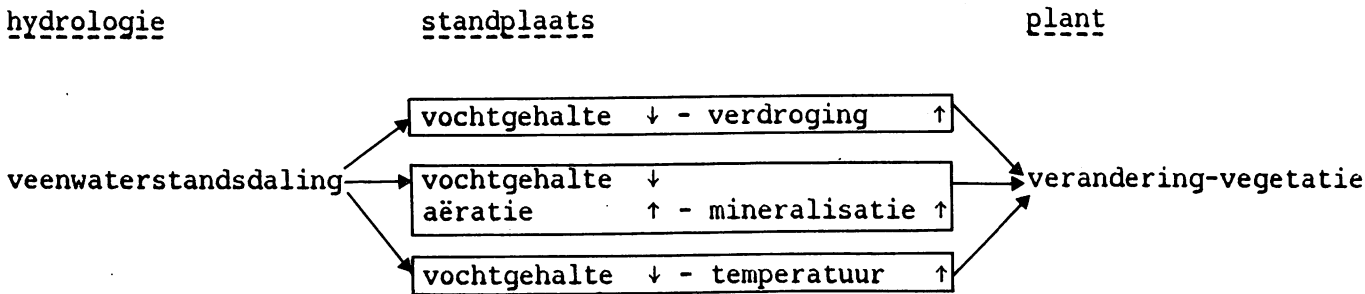
In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de hydrologische effecten van ingrepen, zoals ontwatering en vervening, die in hoofdstuk 6 al aan de orde zijn geweest.

9.3. EFFECTEN VAN ONTWATERING EN VERVENING VAN HOOGVENEN

De planten uit het hoogveenmilieu zijn gekarakteriseerd door bepaalde standplaatsomstandigheden; als belangrijkste voorbeelden hiervan zijn te noemen het vochtgehalte, het zuurstofgehalte en het temperatuurverloop in de bodem. De veenwaterstand kan worden beschouwd als de regulator van bodemfysische en chemische omstandigheden in de bodem.

In onderstaande figuur 30 is de regulatorfunctie van de veenwaterstand sterk geschematiseerd weergegeven.

Figuur 30. Geschematiseerde weergave van de effecten van veenwaterstands daling op de standplaats van de plant.



In het kort zal nu worden ingegaan op deze regulerende functie van de veenwaterstand.

Veenwaterstand, bodemfysische omstandigheden en vegetatiekundige veranderingen

In een levend hoogveen moet de veenwaterstand hoog zijn ten behoeve van de vochtvoorziening van de Sphagna, die slechts een gering capillair opstijgingsvermogen hebben (par. 4.2.1.). Een grote bergingscoëfficiënt is verantwoordelijk voor de noodzakelijke geringe veenwaterstandsveranderingen (par. 4.3.2.).

Vooral als gevolg van de neerslag en de verdamping wordt het vochtgehalte in de bodem respectievelijk groter of kleiner en stijgt of daalt de veenwaterstand. Bij een daling van de veenwaterstand neemt de capillaire opstijging van water naar de plant af. In periodes met een verdampingsoverschot kunnen vochttekorten ontstaan, als de aanvulling met capillair water stagneert. Bij langdurige vochttekorten, bv. door aanhoudende droogte of ontwatering van venen, sterven veenmos- sen af en komen minder vochtminnende planten op het veenoppervlak tot dominantie, zoals bv. éénjarige wollegras, dopheide en struikheide, die in bultvormende vegetaties aanwezig zijn. Bij vergaande ontwatering van venen vestigen zich op den duur zelfs pijpestrootje, pitrus, berk en grove den.

Een andere eigenschap van veen is het geringe warmtegeleidingsvermogen. Bij zonneschijn wordt bv. de toenemende warmte aan het veenoppervlak slecht aan de omgeving afgegeven, indien er weinig vocht in de bodem aanwezig is. Onderstaande tabel 16 (v. Wijk e.a., lit. 63) geeft dat duidelijk weer.

Tabel 16. Relatie tussen bodemvocht, warmtegeleidingsvermogen, warmtecapaciteit en de indringingsdiepte van warmte in de bodem.

Percentage vocht in de bodem	Warmtegeleidings- vermogen	Warmtecapaciteit	Indringingsdiepte
%	cal/g x °C	10 ⁻³ cal/cm x sec x °C	cm
0	0,14	0,35	3,3
40	0,7	0,75	5,1
80	1,2	1,5	5,5

Naarmate het vochtgehalte in de bodem groter is, neemt het warmtegeleidingsvermogen toe. Bij een hoge veenwaterstand kan de warmte dus gemakkelijker via het water worden afgestaan aan de omgeving, waardoor de temperatuursstijging in de bodem met de diepte iets meer toeneemt dan in de droge situatie en aan het

oppervlak iets wordt afgeremd. Bij een lagere veenwaterstand gebeurt precies het omgekeerde; de temperatuur nabij het veenoppervlak loopt sterker op, terwijl de temperatuur met de diepte nauwelijks verandert. Plantesoorten die bij hoge temperatuur en dus een lage veenwaterstand kunnen ontkiemen zijn duidelijk in het voordeel. Struikheide en pijpestrootje zijn daar voorbeelden van, vooral omdat deze soorten in zuurstofrijke milieus goed kiemen.

Veenwaterstand, bodemchemische omstandigheden en vegetatiekundige veranderingen

Bij verlaging van de veenwaterstand neemt het zuurstofgehalte in de bodem toe. Door een grotere aëratie van de bodem wordt een versnelde mineralisatie bewerkstelligd, waarbij voedingsstoffen (zoals bv. fosfaat en stikstof) beschikbaar komen. Het volumeverlies door de forse inklinking van de bovenste veenlaag veroorzaakt een concentratie van deze voedingsstoffen, waardoor een concentratie nutriënten ontstaat, die aanzienlijk hoger is dan bij mineralisatie onder natuurlijke omstandigheden optreedt. De pH daalt door oxidatie van S^{2-} en SO_4^{2-} . Deze voedselrijkere omstandigheden leiden er toe dat ook plantesoorten van een voedselrijker milieu zich in het veen kunnen vestigen; de hoogveenvormende *Sphagna* verdwijnen t.g.v. het vochttekort, de zeer lage pH, het te hoge aanbod van nutriënten en de concurrentie van andere plantesoorten (Ellenberg, lit. 24). Als gevolg van de doorworteling van het ontwaterde veen komen oxydatie en mineralisatie ook op grotere diepte in het veen op gang. De catotelm-condities worden hierdoor aangetast.

Door ontwatering en vervening (par. 6.1.4.) ontstaan verschillende bodemsubstraten met een andere waterhuishouding en nutriënten inhoud. Al naar gelang de uitgangssituaties zijn de hydrologische effecten van genoemde ingrepen nader uitgewerkt in de volgende paragrafen.

9.3.1. Oppervlakkige ontwatering van hoogvenen

Bodemfysische veranderingen

Bij oppervlakkige ontwatering daalt de veenwaterstand verder beneden het veenoppervlak. Dit heeft gevolgen voor de bodemfysische en chemische omstandigheden in de bodem. Als het vochtgehalte in de bodem boven de ontwateringsbasis afneemt, ontstaat tijdelijk een groter waterbergend vermogen in het veen, zodat de beluchting van de bodem toeneemt. Het organisch materiaal mineraliseert relatief snel onder de zuurstofrijkere omstandigheden en ten gevolge daarvan worden de organische deeltjes fijner. Hierdoor treedt vervolgens een verdichting van de bodem op. Het poriënvolume wordt kleiner; de bergingscoëfficiënt neemt af en blijft klein.

Deze porositeitsvermindering leidt tot inklinking van het veen, waardoor het waterbergend vermogen boven de veenwaterspiegel af neemt. Door een afname van het poriënvolume zal de doorlatendheid van het veen ook kleiner worden. Bovengenoemde bodemfysische veranderingen blijven optreden bij langdurige ontwatering (1 à 2 jaar). De acrotelmcondities van het overgebleven bodemsubstraat worden hierdoor op de lange termijn nagenoeg of geheel vernietigd.

Bodemchemische veranderingen

Naast bodemfysische veranderingen treden ook bodemchemische veranderingen op, wanneer het veen wordt ontwaterd.

Bij het mineralisatieproces van de organische stof komen mineralen (K , PO_4^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) alsmede water, CO_2 en methaan vrij, en ontstaat een voedselrijker milieu. Voor de planten die juist gevoelig zijn voor het vrijkomen van kalium, fosfaat, stikstof en sulfaat bij mineralisatie is de verrijking met deze macronutriënten funest. De voedselverrijking treedt immers in een van oorsprong voedselarm milieu op. De oligotrofe condities voor hoogveenvorming worden daardoor verminderd.

De voortgaande oxydatie van het ontwaterde veen en de inklinking bewerkstelligen een verlaging van het veenoppervlak. Dit nadert bij gelijkblijvend ontwateringsniveau na enige tijd het veenwaterpeil weer (6.1.1., 6.1.2.). Dit remt het proces van bodemchemische veranderingen af. Indien nu de gevallen neerslag niet opnieuw versneld wordt afgevoerd (zoals bij nieuwe ontwateringsingrepen zou geschieden), ontstaat geleidelijk weer een waterverzadigde situatie. Als de door de oxydatie vrijgekomen voedingsstoffen met het neerslagoverschot zijn afgevoerd of in het veen zijn vastgelegd, wordt het milieu oligotrofer; bij voldoende ombrotrofie kan de hoogveenvorming zich herstellen, wanneer de hydrologische kenmerken van het substraat nog of weer geschikt zijn. Deze ontwikkeling is zowel uit het huidige beheer van veenterreinen als uit het stratigrafisch veenonderzoek bekend (Van Geel & Dallmeijer, 1986). De tijdsduur kan sterk variëren, van enkele decennia tot bijna duizend jaren.

Ook bij oppervlakkige ontwatering kan zodanige uitdroging van het veenoppervlak optreden, dat delen hiervan verbranden, zoals bij de boekweitbrandcultuur opzettelijk geschiedde. Het is onduidelijk of de aanwezige houtskool in het veenoppervlak gunstig of ongunstig werkt op de processen, die tot de regeneratie van de hoogveenvorming leiden.

Hydrologische veranderingen

Ten gevolge van de ontwatering van een hoogveen treedt nog een ander belangrijk hydrologisch effect op: de waterbalans verandert namelijk, daar de grootte van de oppervlakkige afvoer (A_o) in het winterhalfjaar toeneemt en in het zomerhalfjaar afneemt (par. 5.5.). Ten gevolge van deze toename van de winterafvoer wordt de waterberging (ΔB) of de watersurplussituatie kleiner. Door het geringere watersurplus in de wintermaanden zullen in periodes met een verdampingsoverschot grotere vochttekorten optreden; het veengebied droogt verder uit.

Na het in cultuur nemen van hoogvenen of aanzetten tot daadwerkelijke vervening worden de ontwateringsmiddelen verdiept of zelfs tot veensplittingen vergraven. De oppervlakkige afvoer (A_o) neemt dan in het winterhalfjaar nog verder toe en het veen droogt hierdoor verder uit in het zomerhalfjaar. De bergingscoëfficiënt wordt daardoor nog kleiner en de veenwaterstand daalt nog dieper door. Bij diepe veenwaterstanden wordt zelfs boomgroei of bosopslag mogelijk. Bij bebossing van hoogvenen wordt de verdamping groter (par. 5.4.) en treedt nog nauwelijks afvoer in het zomerhalfjaar op (par. 5.5.). De waterbalans van hoogvenen verandert steeds ingrijpender naarmate de ontwatering van het veen toeneemt en de cultuurdruk groter wordt.

Naast deze hierboven genoemde effecten zijn de effecten van de vervening nog ingrijpender, wanneer het veen wordt afgegraven. In de volgende paragraaf gaan we daar nader op in.

9.3.2. Afgraving van hoogvenen en ontwatering van de omgeving

Bodemfysische veranderingen

In paragraaf 4.3.2. is aangegeven, dat door verdere humificatie van het veen het poriënvolume met de diepte afneemt. Bij afname van het poriënvolume wordt de bergingscoëfficiënt kleiner. Eggelsmann (lit. 22) geeft voor de humificatiegraad van witveen, zwartveen en moerasveen (naar Von Post) (zie tabel 17) de volgende waarden op.

Tabel 17. Veentypen en humificatiegraad.

Veentype	Humificatiegraad naar Von Post
witveen	H 2 - 4
zwartveen	H 5 - 7
moerasveen*	H 8 - 10

* Von Post heeft het systeem van humificatiegraden ontwikkeld voor hoogveen; wanneer het begrip "humificatie" een ruime interpretatie heeft, kan de schaal van Von Post ook voor moerasveen gebruikt worden.

Uit figuur 15 (blz. 43) blijkt dat de bergingscoëfficiënt afneemt bij een hogere humificatiegraad van het veen. Wanneer venen worden afgegraven tot het zwartveen of een restveenlaag, dan komt een substraat aan het oppervlak met een kleinere bergingscoëfficiënt. De veenwaterstand daalt in drogere periodes van het jaar dan ook sterk beneden het veenoppervlak. De vochtvoorziening ten behoeve van veenmosgroei is ontoereikend, waardoor het bodemsubstraat niet direct geschikt is voor hoogveengroei.

Bodemchemische veranderingen

Door de grotere veenwaterstandsamplitudes in het ontwaterde substraat treedt doorluchting tot op grote diepte beneden het veenoppervlak op. Het mineralisatieproces verloopt daardoor snel onder aërobe omstandigheden en in het veenpakket komen voortdurend voedingsstoffen vrij, die tot een verrijking van de bodem leiden.

In tegenstelling tot de ontwikkeling bij (eenmalige) oppervlakkige ontwatering komen de chemische processen hier niet tot stilstand maar breiden zich uiteindelijk in het gehele veenpakket uit. De oxydatie veroorzaakt naast mineralisatie steeds verdergaande afbraak van de veensubstantie tot amorfe humus. Dit materiaal heeft een zeer gering waterbergend vermogen. Het is verwant aan gliede, dat als veenbasis vaak een zeer grote weerstand tegen wegzijging heeft. In het veenpakket heeft het amorfe materiaal die eigenschap niet. De afbraak gaat gepaard met volumevermindering, waardoor toetreding van lucht in het veenpakket steeds verder plaats kan vinden. Het herscheppen van volstrekt anaërobe omstandigheden, in feite het terugbrengen van het veenpakket in waterverzadigde catotelm-condities, is de enige mogelijkheid om deze bodemchemische veranderingen te stoppen.

Hydrologische veranderingen

Door de afgraving van het veenpakket neemt de weerstand tegen verticale waterverliezen af. De onderstaande beschouwing maakt dat duidelijk en zoals bekend, neemt de weerstand van het veenpakket met de dikte van de veenlaag toe; dit geldt in ieder geval voor de waterverzadigde situatie. Volgens onderstaande formule is dit:

$$c = \frac{d}{k} \quad [d]$$

c = weerstand van de veenlaag [d]
 d = dikte van veenlaag [m]
 k = verticale doorlaatfactor [m/d]

De weerstand in de veenlaag neemt echter niet-liniair met de dikte af. De verticale doorlatendheid wordt met toenemende diepte kleiner, zoals in paragraaf 5.6.1. is aangegeven. Aldus kan de totale weerstand van het veenpakket beschreven worden als een aaneenschakeling van weerstanden van veenlaaggrenzen. De weerstand is per veenlaagdikte (d_x) en daarvoor geldende doorlaatfactor (k_x) bepaald. Bovenstaande formule is voor het totale veenpakket als volgt te schrijven:

$$c = \sum \frac{d}{k} = c_1 + c_2 + \dots + c_x = \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \dots + \frac{d_x}{k_x} \quad [d]$$

Zoals bekend bepaalt men de wegzijging uit het quotiënt tussen het stijghoogteverschil ($\Delta\phi$) over de (verticaal) weerstandbiedende veenlaag en de weerstand van het veenpakket zelf. In formulevorm is dat als volgt te schrijven:

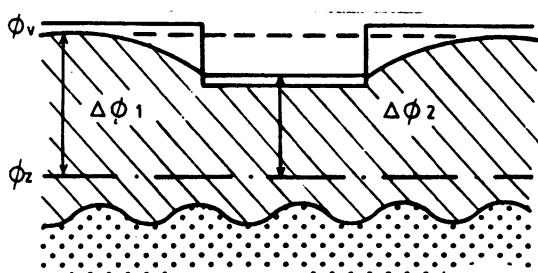
$$W = \frac{\Delta\phi}{c} = \sum \frac{k}{d} \cdot \Delta\phi \quad [m/d]$$

Het effect van veenaafgravingen of ontwatering van de omgeving op de wegzijging uit hoogvenen en veenvormende condities wordt nu in een aantal veel voorkomende situaties nader besproken.

Graven van een veenput

In deze situatie is de omgeving van het hoogveen niet ontwaterd. Er wordt in het hoogveen een veenput gegraven, zoals in figuur 31 is weergegeven.

Figuur 31. Schets van hydrologische gevolgen bij graven van veenput.



ϕ_v = stijghoogte van veenwaterstand
 ϕ_z = " " grondwaterstand
 minerale ondergrond
 ϕ_p = peil in veenput
 $\Delta\phi_1$ = stijghoogteverschil $\phi_v - \phi_z$
 $\Delta\phi_2$ = " " $\phi_p - \phi_z$

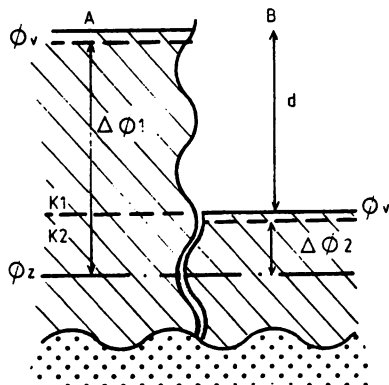
Na het graven van de veenput stelt zich daar een lager waterpeil (ϕ_v) in dan de directe omgeving. Het poriënvolume bestaat immers voor de volle 100% uit water en bovendien neemt de verdampingsintensiteit toe door de open water-situatie (par. 5.4.). Daarnaast wordt de weerstand van het veenpakket ter plaatse kleiner, waardoor de wegzijging naar de ondergrond aanvankelijk toeneemt tot zich bij een nog lager waterpeil in de veenput een nieuwe evenwichtsituatie heeft ingesteld. De veenput draineert nu de omgeving, waardoor het veenoppervlak nabij de put en met name de putrand ter plaatse enigszins mineraliseert. De vrijgekomen nutriënten worden afgevoerd naar de drainerende put; deze wordt voedselrijker en daardoor wat minder geschikt voor oligotrofe veengroei. De omgeving van de put verdroogt en een gedeelte van de veenmosvegetatie sterft af.

Opmerking: bij een afname van de doorlatendheid met de diepte zal het waterpeil in de veenput minder sterk dalen, omdat de weerstand van het veenpakket onder de veenput dan nog relatief groot blijft.

Afgraven van hoogveen tot aan het zwartveen

De hydrologische situatie in de ondergrond blijft ongewijzigd, doch het veenpakket wordt nu gedeeltelijk afgegraven tot aan het zwartveen, zoals onderstaande figuur 32 aangeeft. Met andere woorden ϕ_v verandert en ϕ_z blijft constant.

Figuur 32. Schets van hydrologische gevolgen bij afgraven van hoogveen tot zwartveen.



ϕ_v	=	stijghoogte van veenwaterstand
ϕ_z	=	" " grondwater
		minerale ondergrond
$\Delta\phi_1$	=	stijghoogteverschil $\phi_v - \phi_z$
$\Delta\phi_2$	=	" " $\phi_v - \phi_z$
d	=	dikte van de afgraving
k_1 en k_2		doorlatendheidsfactoren

Volgens bovenstaande situatie daalt de veenwaterstand (ϕ_v) ongeveer evenveel als het afgegraven veengedeelte (d), oftewel $\Delta\phi_1 - d \sim \Delta\phi_2$.

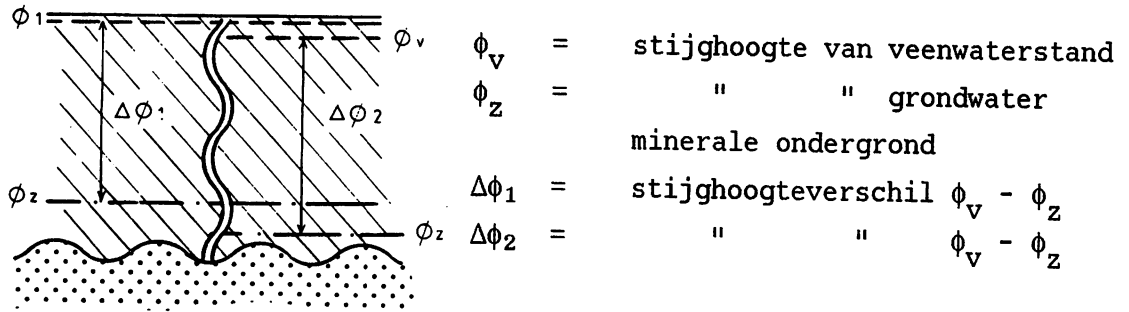
De doorlatendheidsfactor k_1 is groter dan k_2 . De wegzijging in het geval van afgraving neemt niet toe in vergelijking met het hoogveen dat niet is aangetast. Het neerslagwater dat op het veenoppervlak B valt en niet via wegzijging verdwijnt, verlaat het systeem voor een groter deel als oppervlakkige afvoer (A_0), omdat de bergingscapaciteit in geval B verkleind is; er kan daarom minder water worden vastgehouden.

Sphagnumgroei op de restveenlaag is echter niet mogelijk. Door de kleine bergingscoëfficiënt van het zwartveensubstraat daalt de veenwaterstand in periodes met een verdampingsoverschot diep beneden het veenoppervlak en droogt de bovenlaag sterk uit. Door bepaalde inrichtingsmaatregelen of afwerking van de restveenlaag kunnen echter wel condities geschapen worden, die de ontwikkeling van acrotelm-situaties mogelijk maken. In paragraaf 9.4. komen we hier nog nader op terug.

Verlaging van het waterpeil in de omgeving van het hoogveen

De hydrologische situatie in de omgeving van het hoogveen verandert. De stijghoogte van de grondwaterstand in de minerale ondergrond daalt, terwijl het veenpakket geen verandering ondergaat, zoals uit figuur 33 blijkt. Met andere woorden ϕ_v blijft in eerste instantie constant en ϕ_z wordt kleiner.

Figuur 33. Schets van hydrologische gevolgen bij verlaging van het waterpeil in de omgeving van het hoogveen.



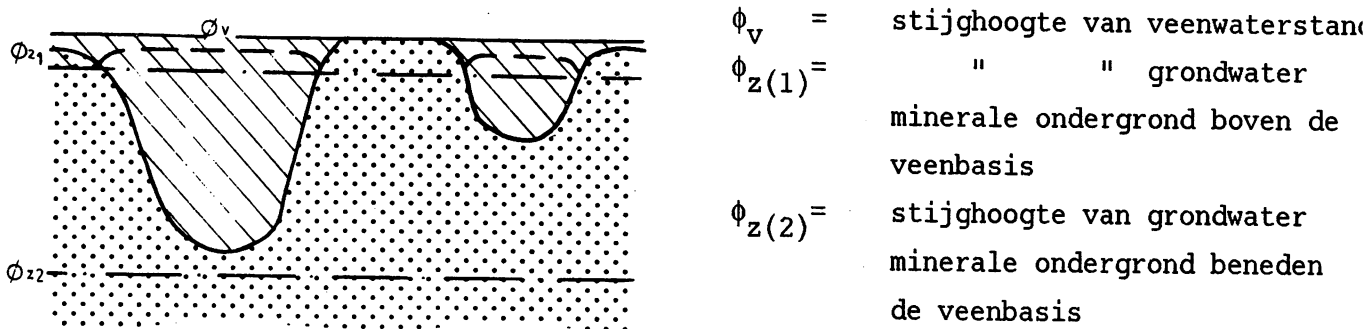
Door de daling van de grondwaterstand in de minerale ondergrond (ϕ_z) zal de wegzijging aanvankelijk toenemen. Omdat de veenwaterstand nabij het veenoppervlak alleen gevoed wordt door neerslagwater, welke hoeveelheid constant is, zal de waterstand in het veen ten gevolge van de toegenomen afvoer naar de ondergrond dalen tot zich een nieuwe evenwichtssituatie heeft ingesteld.

Bovenstaande ingreep zal in eerste instantie de eerder besproken werking van de thermische pomp (par. 4.2.2.) beïnvloeden. In eerste instantie zal de opwaartse stroming van grondwater, ten gevolge van temperatuursverschillen in de bodem, door vergroting van de wegzijging worden tegengegaan. Voedingsstoffen worden dan in mindere mate naar het veenoppervlak vervoerd gedurende de nacht en hierdoor wordt het veenwater relatief gezien zuurder en voedselarmer. Op den duur zal echter naast de kans op vochttekorten ook de voedingshuishouding van de veenmossen veel meer worden verstoord. In de nieuwe evenwichtssituatie met een verlaagde veenwaterstand, treedt immers mineralisatie in het veen op, waardoor voedselrijkere omstandigheden kunnen ontstaan, die de ombrotrofe veengroei belemmeren.

Afgraven van het veen tot op de minerale ondergrond

In deze situatie laten we de grondwaterstand in de minerale ondergrond (ϕ_z) variëren en gaan we er vanuit dat het veen vrijwel tot op de minerale ondergrond is afgegraven. Alleen in depressies van het reliëf in de minerale ondergrond is veen blijven liggen, omdat deze niet door de verveningsmachine kon worden vergraven. Figuur 34 geeft een beeld van deze situatie.

Figuur 34. Schets van de hydrologische gevolgen bij afgraven van veen tot op de minerale ondergrond.



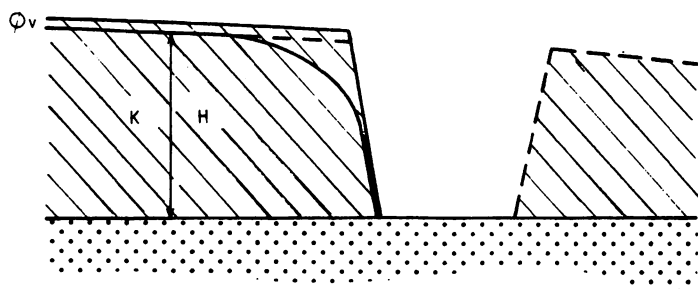
De weerstand van deze uitdrogingsgevoelige restveenlaagjes is veelal gering, waardoor de veenwaterstand (ϕ_v) sterk daalt in droge periodes van het jaar. Het veen droogt vaak uit, als de grondwaterstand in de zandondergrond ver beneden het maaiveld daalt of zelfs beneden de veenbasis ligt. In dit laatste geval is de wegzijgingsintensiteit maximaal. Ombrotrofe veenvorming is onder dergelijke condities niet mogelijk omdat de waterbuffering in het veenpakket te gering is.

Veensplittingen en afgravingen van de randzone van hoogveen

De hydrologische effecten van beide ingrepen zijn vrijwel indentiek. In deze situaties wordt het veen tot op de minerale ondergrond afgegraven enerzijds meer in de centrale delen van het veen (venesplittingen) en anderzijds aan de randzone. In par. 6.1.3. en figuur 35 is dit weergegeven.

De veenwaterstand daalt sterk in de randzone van het hoogveen. Ter plaatse van de afgraving wordt het veen sterk gedraineerd. De breedte van de zone, waarover de veenwaterstand in het veen mogelijk zal worden verlaagd, is bij benadering te berekenen. Van der Molen (lit. 45) heeft daartoe een formule ontworpen, die er als volgt uitziet.

Figuur 35. Schets van veensplitting of afgraving van randzone van hoogveen.



$$B = \frac{2.20 \times kH (t + \mu H/gAg)}{\mu}$$

- daarin is:
- | | | |
|-------|---|---|
| B | - | de breedte van de zone waarin verlaging van de veenwaterstand optreedt. |
| k | - | de doorlatendheid van het veen |
| H | - | de maximale hoogte van de veenwaterstand op de rand van de ontwateringszone |
| t | - | de tijdsduur, waarover de veenwaterstands daling effectief kan optreden |
| μ | - | de bergingscoëfficiënt |
| Ag | - | de zijdelingse afvoer uit het hoogveen |

Door de ontwatering van de veenrand gaat het veen ter plaatse inklinken en irreversibel indrogen. In het laatste geval neemt het veen geen water meer op.

Ten gevolge van de afgraving kan ook de stabiliteit van het overgebleven veenlichaam aanmerkelijk afnemen, waardoor soms scheurvorming tot op grote diepte in het veen optreedt. De scheurvorming kan, zich over grote afstand in het veen voordoen. Voorbeelden van scheurvorming zijn in de Deurnse Peel (Nederland) en

Mongan Bog (Ierland) te zien. Ten gevolge van de scheurvorming komt de doorluchting versneld op gang; dit geeft een belangrijke drainage in het veen waarbij delen van het hoogveen sterk uitdrogen.

Enkele praktijkvoorbeelden

In het eerste praktijkvoorbeeld wordt aan de hand van enkele resultaten uit de modelstudie van het Bargerveen voor niet-verveende (A), gedeeltelijk verveende (B) en vrijwel geheel verveende (C) hoogveengedeelten weergegeven dat bij optredende verschillen in weerstanden en stijghoogten ook verschillende ordes van grootte van de wegzijging voor de gebieden A t/m C te berekenen zijn. Deze verschillen kunnen dan tot andere beheersmaatregelen leiden. De resultaten van deze berekeningen staan in onderstaande tabel 18 weergegeven.

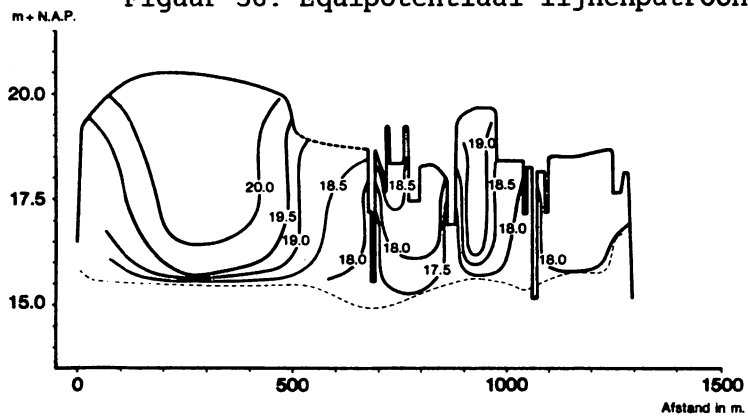
Tabel 18. De verticale weerstand van een onvergraven, gedeeltelijk vergraven en vrijwel vergraven veenpakket in het Bargerveen en de daarbij behorende veranderingen in stijghoogteverschillen en wegzijsingshoeveelheden.

	A	B	C
	Onvergraven	Gedeeltelijk vergraven	Vrijwel vergraven
Veendikte (d) in m	3	1	0.2
Weerstand (c) in dagen	35.000	12.000	2.300
Stijghoogteverschil $\Delta\phi$ in m	2.5	0.9	0.4
Wegzijging (W_v) in mm/d	0.07	0.08	0.17
Wegzijging (W_v) in mm/j	26	27	63

De grondwaterstijghoogte van de zandondergrond (ϕ_z) ligt in de situaties A en B hoger dan de veenbasis en in de situatie C gelijk aan de veenbasis. Uit de tabel blijkt dat in de eerste twee gebieden minder dan 30 mm water per jaar naar de ondergrond verdwijnt, terwijl in het laatste gebied de wegzijging naar de ondergrond volgens eerdere constatering (par. 5.6.) zeer hoog blijkt te zijn. In het laatste geval zou de grondwaterstijghoogte (ϕ_z) van de zandondergrond tot in of nabij het veenoppervlak moeten worden verhoogd om de wegzijging in voldoende mate te verminderen.

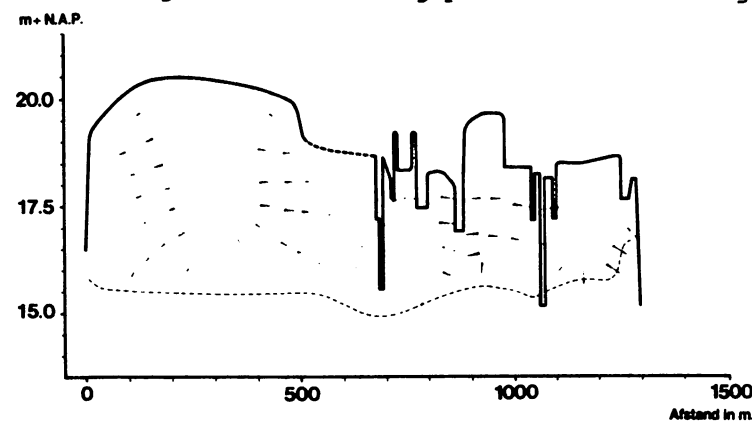
Een tweede voorbeeld betreft de hydrologische invloed van twee veensplittingen in het Meerstalblok, een hoogveencomplex dat deel uitmaakt van het Bargerveen in Z.O. Drenthe. De veensplittingen zijn tot op of even boven de minerale ondergrond uitgegraven. Deze situatie in het Meerstalblok is in de figuren 36 en 37 weergegeven.

Figuur 36. Equipotentiaal lijnenpatroon in een vergraven veenpakket.



Om de invloed van deze forse ingrepen op het hoogveenrestant na te gaan, is in het veenpakket over de veensplitting een transect aangelegd met stijghoogtebuizen; per waarnemingspunt zijn meerdere buizen geplaatst met een filter op verschillende diepte beneden het veenoppervlak. Op grond van de stijghoogten in het veenproject zijn zogenoemde equipotentiaallijnen geconstrueerd. Dit zijn lijnen met gelijke stijghoogten. Dit beeld is weergegeven in de figuur.

Figuur 37. Stromingspatroon in een vergraven veenpakket.



Loodrecht op bovengenoemde equipotentiaallijnen staat de stroming van het veenwater. Zo is de afvoerrichting van water in het veen te bepalen, zoals dat uit figuur blijkt. Uit deze figuur is duidelijk de invloed van de veensplitting te zien; ze voeren immers water uit het hoogveen af en draineren dus het veengebied.

9.3.3. Samenvatting van de problematiek in Nederlandse hoogveengebieden

Uitgaande van voorgaande paragrafen is de hydrologische problematiek van de hoogveengebieden als volgt te schetsen.

- De venen worden in hun huidige situatie gekenmerkt door een sterke versnijding door afgraving, waardoor versnelde afvoer optreedt en de gebieden plaatselijk sterke verdrogings- en eutrofiëringsverschijnselen vertonen.
- Het witveenpakket is grotendeels afgegraven; slechts hier en daar zijn nog enige oppervlakten van betekenis aanwezig.
- Door ontwatering en vervening is een structuurverandering in het oppervlakte-substraat opgetreden, waarbij in de bovenlaag de humificatiegraad van het veen hoger is; met het daarmee samenhangende geringere poriënvolume leidt dit tot een kleinere bergingscoëfficiënt. Het veen kan sterk uitdrogen, omdat de kleine bergingscoëfficiënt leidt tot een sterke daling van de veenwaterstand in drogere periodes van het jaar.
- Bodem-chemische processen vinden t.g.v. deze ingrepen plaats, waardoor de hoeveelheid aan voedingsstoffen in het veen toeneemt.

Op concrete beheersmaatregelen komen we in de volgende paragraaf terug.

9.4. HOOGVEENREGENERATIE; SCHEPPEN VAN VOORWAARDEN VOOR OLIGOTROFE VEENGROEI

Het herstel van een natuurlijke hoogveengroei wordt hoogveenregeneratie genoemd. Uit paragraaf 9.3. is duidelijk geworden, dat op bodemsubstraten die ontwaterd of verveend zijn, de hoogveengroei niet direct herstelt. Zonder passende beheersmaatregelen kan de groei van ombrotrofe veenvormende vegetaties niet plaats vinden. In Nederland zijn door beheerders maatregelen genomen, om de hoogveenregeneratie te stimuleren. Op de verschillende aspecten van het hydrologisch beheer in reservaten wordt nu nader ingegaan.

9.4.1. Hoogveenregeneratie in niet afgegraven hoogveenrestanten

Het betreft hier hoogveenrestanten, waarvan het veenpakket qua dikte nog vrijwel intact is gebleven en in ieder geval niet is afgegraven. Het veenpakket bezit nog zijn oorspronkelijke weerstand tegen verticale waterverliezen en de wegzijging naar de ondergrond is alleen vergroot door ontwatering in de omgeving van het hoogveen, waar de stijghoogte van de grondwaterstand in de minerale ondergrond is verlaagd. Indien de wegzijging binnen aanvaardbare grenzen blijft (par. 8.3.2.), dan kunnen de catotelm-condities als redelijk optimaal worden beschouwd.

Als voorbeeld van een verbetering van catotelm-condities is een concrete situatie voor het hoogveenreservaat Fochteloërveen nader uitgewerkt. Het reservaat ligt op de grens van de provincies Friesland en Drenthe, nabij het plaatsje Veenhuizen.

De waterbalans voor dit hoogveenreservaat zou bij een optimale veengroei er als volgt uit kunnen zien:

neerslag (N)	830 mm/jaar	(gemeten)
verdamping (Ep)	550 mm/jaar	(geschat)
	-	
neerslagoverschot (N-Ep)	280 mm/jaar	
ondergrondse afvoer (Ag+W)	100 mm/jaar	(berekend)
	-	
oppervlakkige afvoer (A _o)	180 mm/jaar	(sluitpost)

($\Delta B = 0$, immers de gemiddelde bergingsverandering over een hydrologisch jaar is ongeveer gelijk aan nul; par. 5.2.).

De totale afvoer A_t uit het gebied zou in deze situatie 280 mm per jaar bedragen. Voordat beheersmaatregelen konden worden genomen werd dit hoogveengebied ontwaterd door greppels. Het veengebied was dan ook ingedroogd, met als gevolg dat minder verdampende vegetaties, zoals heide en pijpestrootje, de plaats van de veenmosvegetaties hadden ingenomen. Volgens Ernst (lit. 25) trad er een afvoer via greppels en lage terreingedeelten op van ca. 250 mm/jaar. Ten opzichte van bovengeschetste optimale situatie voor veenmosgroei betekende dit een vochttekort van 70 mm.

Om de optredende vochttekorten op te heffen, heeft de beheerder de afvoer uit het gebied verminderd. Dit is op de volgende wijze gebeurd.

Om de wegzijging te verminderen zou de grondwaterstand in de zandondergrond moeten worden verhoogd. Het verhogen van de veenwaterstanden, door het opzetten van waterpeilen in wijken aan de randen van het reservaat, bood onvoldoende soelaas. De wegzijgings verminderde slechts 10% ofwel 10 mm per jaar. Het volledig elimineren van de wegzijging zou alleen mogelijk zijn geweest, wanneer het omliggende landbouwgebied 2 à 3 meter onder water zou zijn gezet. Daarom is in dit gebied gekozen voor afremming van de oppervlakkige afvoer, door middel van aanleg van dammen en kaden. Gedurende een langere periode over het jaar, wordt het neerslagoverschot als open water in laagten binnen het terrein geborgen. De eerste tekenen van een veengroei-ontwikkeling zijn (zij het op beperkte schaal) na een aantal jaren zichtbaar.

Naast een optimalisering van de catotelm-condities, zoals uit bovenstaande voorbeeld bleek, kunnen ook nog de acrotelm-condities worden aangetast door:

- a. brand;
- b. oppervlakkige ontwatering;
- c. randontwatering;
- d. neveneffecten van de onder c. genoemde beheersmaatregelen.

Deze ingrepen en de mogelijkheden van herstel van de ombrotrofe veengroei zullen wij hierna nader bespreken.

Ad a. Verbranding van de venige bovenlaag en herstelmogelijkheden

Een hoogveen kan door natuurlijke (blikseminslag) of antropogene oorzaak gedeeltelijk door brand worden aangetast. In deze situatie zijn uiteraard de drogere delen van het hoogveensysteem het meest kwetsbaar; het betreft hier vooral het bultensysteem. De slenken zijn over het algemeen te nat en het opbranden van deze venige bovenlaag treedt onder natuurlijke omstandigheden alleen op in extreem droge jaren, waarbij het hoogveen gedeeltelijk sterk uitdroogt. In dit laatste geval wordt de vegetatie bij brand vrijwel geheel vernietigd en is hoogveengroei de eerste jaren onmogelijk: eerst moet een nieuwe veenmosvegetatie zich vestigen. Indien deze extreme omstandigheden zich niet voordoen, dan blijven het slenken-systeem en uiteraard ook de meer geïsoleerde natte plaatsen in het veen intact. De acrotelm-condities worden daar niet vernietigd. Hoewel ten gevolge van de brand een tijdelijke verrijking plaats vindt, worden de vrijgekomen nutriënten toch grotendeels met het overtollige neerslagwater afgevoerd en ontstaat op den duur weer een voedselarm zuur milieu door de overheersende invloed van de neerslag. De ombrotrofe veengroei kan weer op gang komen, doordat *Sphagna* migreren vanuit slenken en geïsoleerde plaatsen in het veen. Dit laatste geschiedt door middel van sporen, die met de wind worden meegevoerd naar voormalige afgebrande plekken in het veen.

Ad b. Oppervlakkige ontwatering en herstelmogelijkheden

Door ontwatering treden ten gevolge van de mineralisatie bodem-fysische veranderingen op, waardoor de structuur van de bovenlaag van het veen een blijvende wijziging ondergaat. De bergingscoëfficiënt wordt kleiner en hierdoor daalt de veenwaterstand in droge periodes van het jaar dieper door.

Alleen in nattere depressies in het veenoppervlak (bv. meerstallen en grote slenken) kan de hoogveengroei intact blijven. De ontwatering is daar in eerste instantie minder effectief, waardoor de specifieke bodemeigenschappen nauwelijks of pas later worden aangetast. Dit zijn de plaatsen, waar actieve veengroei voor

langere tijd instand blijft, terwijl het ontwaterde deel van het hoogveen niet meer groeit en zich in rusttoestand bevindt. Deze situatie heeft zich o.a. voorgedaan in het Meerstalblok van het Bargerveen. Welliswaar is daar door de ontwatering van het veen ook de oppervlaktewaterstand in de meerstal enigszins verlaagd, waardoor de van oorsprong open waterplas is verland met een levende hoogveenvegetatie.

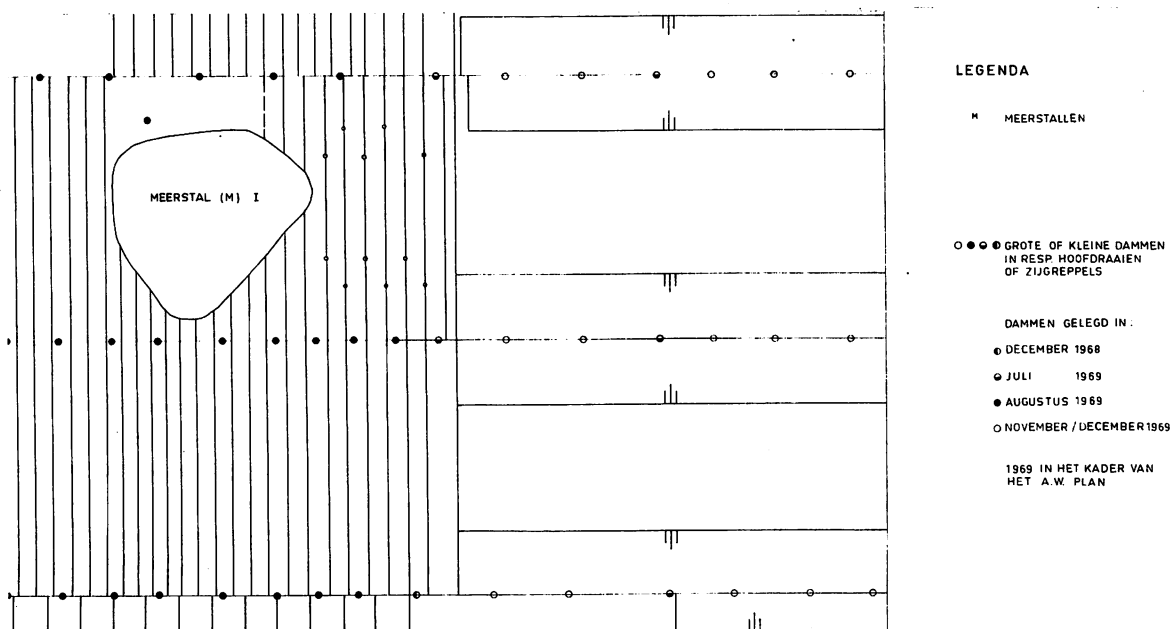
Vanuit deze depressies kunnen de hoogveenorganismen zich weer verspreiden over het veencomplex indien de acrotelm-condities worden hersteld en voedselarmoede wordt bevorderd door afvoer van nutriënten en er weer mogelijkheden voor ombrotrofe veengroei ontstaan.

Het creëren van deze condities is in de praktijk geen eenvoudige zaak. Het is bij de beheerders bekend, dat door afdammingen van boekweitgreppels de veenwaterstand kan worden verhoogd, waardoor een vochtiger veenoppervlak ontstaat. Ten gevolge van de verminderde bergingscoëfficiënt treden bij negatieve bergingsveranderingen te lage veenwaterstanden op om *Sphagna* in voldoende mate te kunnen voeden en dus ombrotrofe veengroei tot ontwikkeling te laten komen. Over het algemeen komt in deze situatie ombrotrofe veengroei op microschaal alleen op gang langs de afgestuwde greppelsystemen of permanent plas/dras-situaties in het veenoppervlak (Jansen en Oosterveld, lit. 37). De acrotelm-condities zijn daar immers optimaal, omdat daar voldoende water voor de *Sphagna* aanwezig is. Bovendien worden de overtollige nutriënten uit deze mini-hoogveentjes afgevoerd via de greppels of laagten van het veenoppervlak.

Voor het scheppen van acrotelm-condities over een wat groter oppervlak is een permanente plas/dras situatie nodig. Het gebied moet zo zijn ingericht dat afvoer van nutriënten door laagten van het veenreliëf kan plaatvinden.

Door op zo hoog mogelijk niveau in het veen ook nog aan het veenoppervlak "watervoorraden" aan te leggen, waarbij de afvoer via overloop plaatsvindt, worden als het ware de meerstallen gecreëerd, die de gewenste watersurplussituatie van het veenoppervlak kunnen bewerkstelligen en versterken. Heeft het veenoppervlak nog zoveel reliëf, dat dit water te snel afstroomt, dan kan de aanleg van witveendammen worden overwogen. De oppervlakkige afvoer verloopt dan trager. De bovenstaande beschouwing is schematisch nog eens weergegeven in onderstaande figuur.

Figuur 38. Overzichtskaartje van witveendammetjes in het Meerstalblok van het Bargerveen in Z.O. Drenthe.



Ad c. Ontwatering van de randzone van hoogveen en herstel mogelijkheden

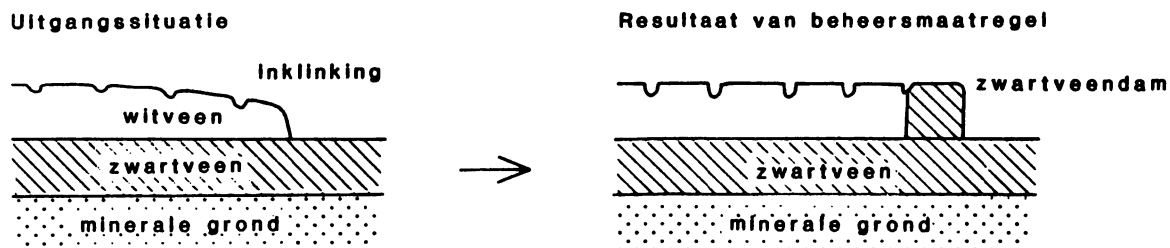
Ontwatering van de randzone van genoemde hoogveenrestanten heeft plaats via de veensplittingen of als gevolg van zijdelingse afgraving van hoogveen, zoals in paragraaf 9.3. al was aangegeven. Door deze ingrepen drogen de randen uit en het veen klinkt in. Het verhang van het veenoppervlak wordt daardoor sterker en de oppervlakkige afvoer neemt toe, waardoor het veen steeds verder uitdroogt en inklinkt tot een nieuwe evenwichtssituatie is bereikt.

Door gerichte beheersmaatregelen kan de oppervlakkige afvoer worden afgeremd, waardoor de watervoorziening in het veen wordt verbeterd. Deze beheersmaatregelen en hun effect worden nu nader besproken.

1. Zijdelingse afgraving van hoogveen en te nemen beheersmaatregelen tegen verdroging

In onderstaande figuren is de uitgangssituatie en het resultaat van de beheersmaatregel weergegeven.

Figuur 39. Situatieschets van aanleg zwartveendam op zwartveen langs vergraven hoogveenrand.



Langs de rand van het afgegraven hoogveen wordt een zwartveendam aangelegd (zie figuur 39.). De voet van deze dam staat op de zwartveenondergrond. Door de slecht doorlatende eigenschappen van het zwartveen wordt een barrière opgeworpen. Het toestromende water wordt achter de dam opgestuwd. De veenwaterstand stijgt en het witveen zet uit. Het veenoppervlak rijst dus en door deze maatregel wordt het verhang in de waterafvoer minder, met als gevolg dat de oppervlakkige afvoer in het veen sterk wordt afgeremd. De watersurplussituatie in het veen wordt dus verbeterd en er ontstaan hierdoor betere kansen op hoogveengroei.

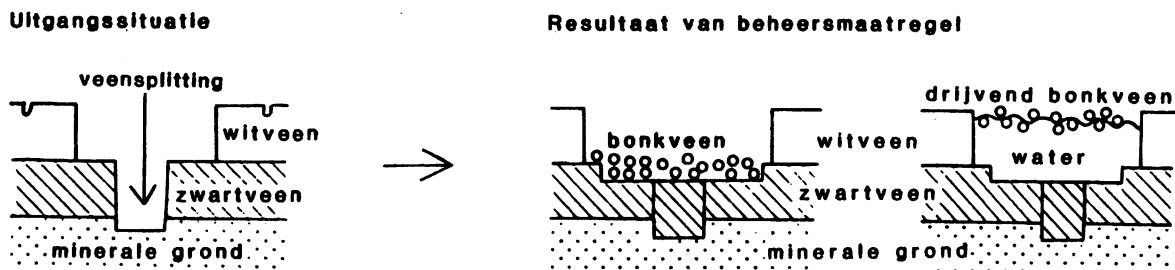
Het "gezwollen" witveenpakket zal iets onder de kruinhoogte van de zwartveendam blijven, omdat de afvoer van het watersurplus $\pm 0,30$ m onder de kruin afgegeven moet worden. Dit is nodig om de dam te behouden. Een te grote vernatting in de toplaag van de dam geeft problemen (mondelinge mededeling R.J. Zandstra).

Voor de dammen kan bij gebrek aan zwartveen ook plastic-folie worden gebruikt. Dit folie wordt verticaal in de veenwand ingebracht en alleen op het veen wordt een dam aangelegd, waarin de folie wordt verwerkt.

2. Veensplittingen en te nemen beheersmaatregelen tegen verdroging

Ook hier staat de uitgangssituatie en het resultaat van de beheersmaatregel in onderstaande figuren weergegeven.

Figuur 40. Situatieschets van afdichting van veensplitting met zwartveen op zandondergrond.



De veensplitting is hier uitgegraven tot op de minerale ondergrond. De hydrologische ingrepen hebben hetzelfde effect als in de hierboven beschreven situatie, te weten indroging, inklinking en toename in oppervlakkige afvoer t.g.v. het sterkere verhang van het veenoppervlak. Als beheersmaatregel wordt in deze situatie op de minerale ondergrond een zwartveenlaag (of plasticfolie) aangebracht om de wegzijging te minderen. Aldus wordt een ondoorlatende laag aangebracht. Indien de veensplitting met een zwartveendam wordt afgesloten, vult het waterpand achter de dam zich met neerslagwater en water dat oppervlakkig vanuit het veen toestroomt. Op deze manier worden soms verbluffende resultaten bereikt, waarbij het waterpeil in de voormalige veensplitting enkele meters kan stijgen. Het opstuw van water in de veensplitting is een belangrijke zaak. Deze waterverzamelingen hebben de functie van contactzone. De watermassa zorgt voor de instandhouding van de waterdruk in het veen (herstel catotelm-situatie); het verhang in het veenoppervlak wordt hierbij minder en dit kan de snelheid van het afstromende water laag houden. In deze situatie kan de "Mooratmung" zich (weer) ontwikkelen. Ook van deze waterbassins zou de afvoer via overloop plaats moeten vinden om voedselrijkere omstandigheden te vermijden en inundatie van het veenoppervlak te voorkomen.

Ad d. Neveneffecten van de onder ad c genoemde beheersmaatregelen

Met deze twee beheersmaatregelen kan nog een belangrijk neveneffect worden bereikt. De verdamping van een afgetakeld hoogveen met deels boomopslag (bv. berken) is gewoonlijk beduidend hoger dan van een levend hoogveen. Vanuit de waterbeheersing is dit geen positief gegeven. Een belangrijk deel van het verdampte water is niet afkomstig uit de bovenste centimeters van het veen, maar komt uit diepere lagen. Hierdoor treedt dan doorluchting op met irreversibele uitdroging en veraarding. Door het waterpeil in het veen op te zetten door middel van dammen, sterven de bomen af en verkrijgt het veen de openheid, die het van nature heeft. De ongewenste verrijking met nutriënten, organisch materiaal van de bodem, die tijdelijk optreedt door het opzetten van het waterpeil, is tegen te gaan door deze nutriënten met het overvloedig regenwater af te voeren of een éénmalige "Moorausbruch" te simuleren, waardoor zeer veel nutriënten uit het systeem worden afgevoerd. Dit komt de oligotrofe omstandigheden ter plaatse ten goede.

9.4.2. Hoogveenregeneratie op deels afgegraven hoogveenrestanten

In deze situaties is na de vervening een zwartveenpakket of restveenlaag van enige decimeters dikte overgebleven. Het aanwezige bodemsubstraat is relatief voedselarm en vormt een gunstige Ausgangssituatie voor de oligotrofe veengroei-ontwikkelingen, indien verder passende beheersmaatregelen genomen worden. Op deze beheersmaatregelen komen we later nog terug. Door de afname in dikte van het veenpakket is de weerstand tegen verticale waterverliezen naar de ondergrond verminderd. Bij ontwatering van de omgeving is ook de stijghoogte van het grondwater in de minerale ondergrond verlaagd en hierdoor neemt de wegzijging toe. De overgebleven veensubstraten zijn in dit opzicht kwetsbaar. Om permanent voldoende water aanwezig te hebben voor veenmosgroei mag slechts het verschil tussen het gemiddeld jaarlijks neerslagoverschot en de noodzakelijk geachte systeemgebonden afvoer van ca. 110 mm/jaar naar de ondergrond wegzijgen.

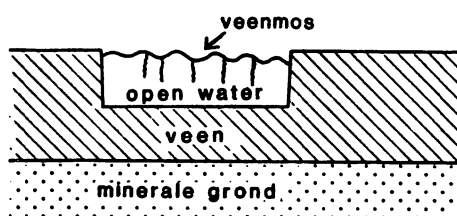
Om acrotelm-condities te scheppen zal ten eerste de veenwaterstand permanent boven het veenoppervlak moeten reiken; de waterbehoefte voor de veenvormende *Sphagna* is alleen in deze situatie toereikend. Het acrotelm-systeem voorziet ook in de afvoer van het te veel aan nutriënten (via de systeemgebonden afvoer). Vanuit deze situatie staan drie verschillende mogelijkheden tot hoogveenregeneratie ter beschikking, namelijk:

- a. vanuit een open-watersituatie;
- b. vanuit een drijftilsituatie;
- c. tussen polvormende vegetaties.

De verschillende Ausgangssituaties worden nu behandeld. Een en ander is in drie figuren uitgebeeld.

Ad a. Hoogveenregeneratie vanuit een open watersituatie

Figuur 41.



Volgens de schets (figuur 41) is in deze situatie alleen een restveenlaag met een willekeurige dikte overgebleven. De bonkaarde of bolster is niet op het veen teruggestort en aldus is op het veensubstraat alleen open water aanwezig. Indien de omstandigheden van het water op het veensubstraat relatief gezien voldoende zuur ($\text{pH} < 6$, par. 4.3.1.) en voedselarm ($\text{EGV} < 15 \text{ m Sm}^{-1}$, par. 4.3.4.) is, kunnen zich in het open water *Sphagna* ontwikkelen.

Het betreft hier in eerste instantie *Sphagnum cuspidatum*, die zich primair in open water kan ontwikkelen. Naarmate de plas meer volgroeit met de submerse vorm van deze veenmossoort, kunnen drijvende matten ontstaan met iets drogere situaties juist boven de waterspiegel. In o.a. de hoogveenreservaten Bargerveen, Deurnse Peel, Engbertsdijksvenen en Fochteloërveen doen zich deze ontwikkelingen voor. Deze omstandigheden bieden ook mogelijkheden voor *Sphagna* van een minder nat en mogelijk iets minder voedselarm milieu, bv. *Sphagnum recurvum*, en op den duur ontstaat een matsituatie met een dusdanig zuur en voedselarm milieu dat ook echte hoogveenvormende *Sphagna* (zoals *Sphagnum papillosum* en *S. magellanicum*) zich hierop kunnen vestigen. Met name in het Bargerveen, waar de beheersmaatregelen al een langere tijd geleden genomen zijn, is deze ontwikkeling in de

vegetatie te zien (A.J.M. Jansen en E. Oosterveld, lit. 37). Tenslotte kan de open waterplas dichtgroeien. In de diepte geschiedt dit door toename van het gewicht van de kragge en in de breedte zal de plas waarschijnlijk al eerder geheel dichtgegroeid zijn en ontstaat een veenvormende situatie op een substraat, dat nog drijft. Deze vegetatie kan het karakter van een trilveen hebben ("Schwinggras").

Een voorwaarde voor deze ontwikkeling is wel dat het waterpeil in de put zo rustig mogelijk blijft; bij voorkeur dient het water niet dieper te zijn dan $\pm 1-1,5$ m; met name de windinvloed zal moeten worden beperkt, om de vorming van drijvende matten mogelijk te maken. In de praktijk blijken compartimenten met een maximale grootte van 200 m^2 nog goed te voldoen. De zelf tot ontwikkeling komende matsituaties beperken eveneens de golfslag en stroming bij windinvloed, waardoor de compartimenten op den duur ook groter zouden mogen worden.

Ad b. Hoogveenregeneratie vanuit een drijftilsituatie met bonkveen

Figuur 42.



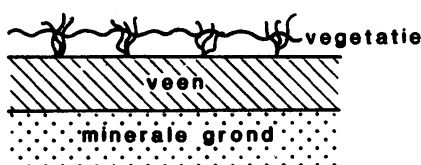
Deze situatie is in hydrologisch opzicht vergelijkbaar met de vorige situatie, alleen het uitgangsmateriaal is verschillend, daar op het veensubstraat bonkveen of bolster was teruggestort. Bij het opzetten van het waterpeil op het bodemsubstraat gaat dit bonkveen drijven. Bij vernatting van bonkveen (oorspronkelijk witveen) ontstaan gunstige vochtvoorzieningssituaties voor veenvormende Sphagna.

De ontwikkelingsstadia naar hoogveenvormende veenmossen zijn globaal genomen identiek aan de beschrijving onder ad a.; namelijk een successie van *Sphagnum cuspidatum* naar *S. recurvum*, *S. papillosum*, *S. magellanicum* en andere ombrotrofente veenvormende vegetaties. Het reservaat Bargerveen, waar deze maatregel tot uitvoer is gebracht, geeft een vergelijkbare ontwikkeling in de vegetatie te zien (A.J.M. Jansen en F. Oosterveld, lit. 37).

Een belangrijk voordeel van deze wijze van beheren is, dat bij de aanvang al een soort drijftilvorming optreedt waarmee acrotelm-condities worden gesimuleerd op ombrotrofe veensubstraten, waardoor beheersmaatregelen grootschalig kunnen worden uitgevoerd met compartimenten tot 2000 m^2 . Zo zijn minder compartimenten nodig. De grootte van deze compartimenten kan meerdere hectares bedragen.

Ad c. Hoogveenregeneratie tussen polvormende vegetaties

Figuur 43.



Deze situatie wijkt af van de eerder genoemde methodes, daar eerst op een niet-vernat bodemsubstraat een vegetatieontwikkeling plaatsvond met bv. pijpestroetje of wollegras. Nadien wordt het veenoppervlak vernat en ligt het in de bedoeling dat de polvormende vegetaties meegroeien. Tussen en op deze pollen zouden zich in een rustig milieu *Sphagna* kunnen ontwikkelen, zoals in het Lichtenmoor (BDR) te zien is (Eggelsmann en Klose, lit. 23).

Al met al is dit een risico-volle methode en blijven er grote vraagtekens of de ecologische uitgangspunten kloppen.

Pollenvormers (m.n. pijpestrootje) blijven immers doorgroeien zolang de waterstanden instabiel en gemiddeld te laag zijn. Er vestigen zich dan wel Sphagna, maar (meestal) minerotrofe soorten. In ieder geval zijn er dan zeker geen acrotelmcondities tussen de pollen. Eenarig wollegras verdwijnt snel bij stabiele waterstanden (A.J.M. Jansen en E. Oosterveld, lit. 37). Successie naar echte hoogveenvegetaties vindt niet plaats zolang de pollen in stand blijven, immers dan zijn de peilfluctuaties te groot. Deze groei-omstandigheden vertonen dan duidelijk een discrepantie met die van echte hoogveenvormende Sphagna.

Van groot belang, tevens ook een nadeel van deze methode is, dat het waterpeil op de centimeter nauwkeurig moet kunnen worden geregeld. Zowel uitdrogen als verdrinken van de polvormige vegetaties is funest, terwijl de kans op verstoring door zaadvorming en verspreiding van aanwezige vegetaties groot is. Op deze wijze kan echter wel de windinvloed sterk worden beperkt en kunnen ook grote oppervlakken in peil worden opgezet, mits het bodemsubstraat relatief vlak is afgewerkt.

9.4.3. Verlandig van waterplassen in een voedselrijker milieu

Over het algemeen komen aanzetten voor vorming van hoogveen in een voedselrijker milieu pas op gang in een vergevorderd stadium van de verlandingssuccessie. De berging van regenwater in de bovenlaag van de kragge neemt toe naarmate de successie in de verlanding voorschrijdt. De kragge ontwikkelt zich tot een steeds dikker pakket van afgestorven plantenmateriaal en wordt compacter van samenstelling. De plantengemeenschappen krijgen een voedselarmer karakter naarmate het water in de bovenlaag een meer regenwaterkarakter heeft. In onderstaande tabel staan de waarden van het elektrisch geleidingsvermogen aangegeven, zoals die op diverse plaatsen in het reservaat De Rottige Meente werden aangetroffen.

Tabel 19. Toename van voedselarmoede in petgatensysteem ten gevolge van verlandingssuccessie.

Plaats van bemonstering	Uitvoering van bemonstering	Elektrisch geleidingsvermogen EC_{25} (mSm^{-1})
- weinig geïsoleerde vaarten en sloten t.o.v. waterinlaatsysteem	- in de vaart of sloot	40 à 60
- petgaten die in open verbinding met waterinlaatsysteem staan	- in de petgaten	25 à 40
- schraallanden	- nabij het maaiveld	16 à 27
- meer geïsoleerde sloten, bos of rietlanden	- in de sloot of nabij maaiveld	20 à 30
- oudere kragge met veenmos	- nabij het maaiveld	8.5 à 15
- neerslag	- in daarvoor bestemd opvangstation	6 à 8

Daar de kragge enigszins met het waterpeil op en neer gaat, daalt het grondwater-niveau gedurende het jaar veelal niet dieper dan zo'n 0,10 m beneden het vegetatiedek. De bovenlaag is over het algemeen goed met water verzadigd, terwijl de bergingscoëfficiënt waarden van 0,8 à 0,9 bereikt. Naast een waterkwaliteit van een oligotroof karakter in het bovenste deel van de kragge vormt deze hydrologische eigenschap een belangrijke randvoorwaarde voor hoogveenvorming.

De grootste bedreiging voor een voedselarme ontwikkeling van het kraggesysteem vormt een voeding met "gebiedsvreemd" water, veelal toegepast na ontwatering in de omgeving, waardoor de stijghoogte van het grondwater daalt.

Bij het nemen van beheersmaatregelen in dit type terreinen dient men zich in eerste instantie te richten op een verbetering van de waterkwaliteit, die zoveel mogelijk een "gebiedseigen" karakter zou moeten hebben. Daarbij zou er naar moeten worden gestreefd het oorspronkelijke voedingssysteem te herstellen.

De grootste bedreiging van de hoogveenvorming in kwantitatief opzicht vormt een te grote wegzijging op het moment dat de kragge aan de bodem vastgroeit. Ten gevolge daarvan treden mogelijk te grote waterstandsschommelingen op om hoogveengroei in stand te houden of verder te ontwikkelen.

Voedselrijke natte situaties in kleinschalige veenrestanten, zoals die beschreven zijn in 6.2., zijn bijna alle ontstaan na het turfgraven en na ontwateringsingrepen. Maatregelen, gericht op herstel van de basisvoorwaarden, zijn het tegengaan van ontwatering door het plaatsen van stuwen in de afwateringssloten, zodat alleen het watersurplus wordt afgevoerd; het tegengaan van eutrofiëring door er voor te zorgen, dat geen afwateringssloten van het omringende cultuurland in de veenrestanten uitmonden; het tegengaan van vuilstorten en het dichten van lekkages in de ondergrond. Ter verbetering van de waterkwaliteit zal wellicht een aangepast waterbeheersingssysteem, in overleg met de omringende eigenaars, moeten worden ontworpen, zodat de veenrestanten uitsluitend met regenwater gevoed kunnen worden. Onderhoudsmaatregelen zijn sterk afhankelijk van de specifieke situatie. Gedacht kan worden aan het herstel van het oorspronkelijke reliëf, het schoonmaken resp. gericht opschonen van het moeras of veentje, en het verschrallen van de directe omgeving en de oevers door maaien en afvoeren van het maaisel. Het verwijderen van boomopslag is niet alleen vanuit het oogpunt van terugdringen van te grote verdamping gewenst maar ook om het lekraken van de ondergrond te voorkomen en om de gradiëntrijke oeverzone in stand te kunnen houden.

Ten slotte is het rietlandbeheer met bevoeiing uit een oogpunt van waterkwaliteitsbeheer funest voor de ontwikkeling van voedselarme situaties binnen het kraggesysteem. Door het veelal machinaal maaien van riet in de winter worden kraggen meestal bemalen om een lager peil voor een werkbare situatie te bereiken. Hierbij wordt het voedselarme neerslagwater afgevoerd (Fahner, 1985; Werkgroep Hydrologisch Onderzoek Rottige Meente, lit. 26). Bij een droog voorjaar moet dan vaak al water worden ingelaten van een slechtere kwaliteit om òf de wegzijging te compenseren en/òf de rietgroei te stimuleren. Dit komt de waterkwaliteit in het gebied niet ten goede en werkt de ontwikkeling naar hoogveenvorming zelfs tegen.

10. SAMENVATTING

In dit rapport staat het waterhuishoudkundige beheer van hoogveenrestanten centraal. Het hydrologisch regiem van hoogveensystemen is geanalyseerd, in relatie tot de hoogveengroei-mechanismen, zoals die uit het veenstratigrafisch onderzoek bekend zijn.

Hoogvenen zijn op te vatten als ecosystemen, waarbij zowel de voeding als de watervoorziening uitsluitend door de directe neerslag plaatsvinden. Kenmerkend voor hoogveengroei is de oligotrofie van het systeem, de lage pH (tussen ca. 3.2 en 4.5), de watersurplussituatie in het vegetatiedek en een waterverzadigd veenpakket (of: ondergrond). In navolging van Ingram (1983) worden in het hydrologisch regiem twee begrippen onderscheiden: de acrotelm, het systeem van levende Sphagna inclusief de hiervoor benodigde hydrologische voorziening en ruimtelijke structuren, waarin de feitelijke veenvorming plaatsvindt; en de catotelm, waaronder het waterverzadigde veenlichaam wordt verstaan, waarin geen of bijna geen biologische processen plaatsvinden, en waarin zeer weinig beweging van het water optreedt.

Uitsluitend wanneer beide systemen functioneren, is sprake van hoogveenvorming. Hoogveenvorming is binnen vrij ruime klimatologische en geografische grenzen mogelijk. In Europa is, afhankelijk van de vigerende klimatologische situatie, hoogveenvorming mogelijk bij een gemiddelde jaarlijkse neerslag van ten minste 500 mm en een gemiddelde jaartemperatuur beneden 11°C. Voor de nederlandse situatie geldt een neerslag van gemiddeld 700 mm of meer per jaar bij een gemiddelde jaartemperatuur van maximaal 9.5°C. Hoogveenvorming kan op diverse bodems op gang komen of weer beginnen. Voorwaarde is in het algemeen de hydrologische isolatie ten opzichte van te grote voedselrijkdom, van onvoldoende zuurgraad en van de (ondergrondse) afvoer. De Nederlandse hoogvenen worden gerekend tot de plateau- of lens-hoogvenen met een gewelfd oppervlak (bolrond reliëf) en perifeer gerichte oppervlakkige afvoer.

Bij hoogveenvorming is de verdamping de belangrijkste afvoerpost; de wegzijging is zeer gering en de oppervlakkige afvoer is noodzakelijk om de veenvormende condities in stand te houden. In de Nederlandse situatie is de verdamping gemiddeld 550 mm/jaar en de verticale afvoer 30 mm/jaar. Het systeem-noodzakelijke deel van de oppervlakkige afvoer bedraagt ca. 110 mm of meer per jaar. De afvoer van het echt overtollige water neemt sterk toe met toenemende neerslag.

De klimatologische situatie is in het grootste deel van Nederland sinds ca. 5000 voor Chr. gunstig doch niet optimaal geweest voor hoogveenvorming. Waarschijnlijk ontbraken de randvoorwaarden in de provincie Limburg; in Noord-Brabant was hoogveenvorming nog juist mogelijk. Hier maar ook in die gebieden waar zeer grote hoogvenen konden ontstaan, kon in drogere jaren en perioden met droge jaren de veenvorming in meer of minder sterke mate stagneren.

Het huidige zeer beperkte voorkomen van hoogveenvorming in Nederland is uitsluitend toe te schrijven aan menselijk ingrijpen sinds de 17e eeuw A.D.: ontginningen, droogleggingen, turfgraven en thans mogelijk ook luchtvervuiling.

Rond de Middeleeuwen was naar schatting rond 230.000 ha hoogveen in Nederland aanwezig. Hiervan resteert nog ca. 8000 ha, waarvan 6000 ha beheerd wordt door natuurbeschermingsinstanties. Het betreft uitsluitend restanten, waarbij van de veenopbouw slechts een deel aanwezig is (afgetakeld, rustend, deels of geheel afgegraven).

Waar regeneratie van de hoogveenvorming als beheersdoelstelling is geformuleerd, worden binnen de klimatologische condities van neerslag en temperatuur, hydrologische beheersmaatregelen voorgesteld, die bedoeld zijn om de randvoorwaarden voor hoogveenvorming in reservaten te kunnen handhaven of te scheppen.

Het hydrologisch beheer betreft het herscheppen van acrotelm- en catotelm-condities, door het maximaal vasthouden van de neerslag, het sterk verminderen van de wegzijging en het zodanig verminderen/vertragen van de oppervlakkige afvoer, dat aan het veenoppervlak weer watersurplus-situaties ontstaan op een waterverzadigde ondergrond.

Met welke problemen heeft de beheerder van een hoogveenreservaat nu te maken? De verdamping van zijn - meestal wat verdroogd - terrein is meestal ook wat minder dan 550 mm per jaar; hier zit niet het hoofdprobleem.

De wegzijging, de verticale afvoer, is in ons ontwaterde land altijd veel groter dan de 30 à 40 mm van een levend hoogveen; meestal is de wegzijging ruim over de 100 mm. Het is een geweldig probleem voor de beheerder om deze te verminderen. Hij moet als het ware zijn ondergrond dichtsmeren of de stijghoogte van het grondwater in de zandondergrond in de omgeving van het hoogveenreservaat verhogen. Dit is in de praktijk geen sinecure, doch vaak wel noodzakelijk om het hoogveenreservaat weer enig perspectief te geven op veengroei.

De oppervlakkige afvoer levert hem 2 problemen. Er verdwijnt vaak zo'n 200 à 300 mm, via greppels, sloten en kanalen; dit is méér dan het systeem kan verdragen. Bovendien verdwijnt het veel te snel. Vaak is dit water, met name in de winterperiode en het vroege voorjaar, in enkele dagen uit het hoogveensysteem verdwenen. Dit heeft tot gevolg dat in de groeiperiode van de veenmossen er te weinig water aan het veenoppervlak beschikbaar is. En als de veenwaterstand te ver door daalt, maken de veenmossen plaats voor andere vegetaties, zoals pijpestrootje, pitrus en berken, waarmee de beheerder nog verder van zijn doel af komt te zitten. Die planten verteren namelijk het veen.

Hoe moet de beheerder dan te werk gaan om toch hoogveenvorming in zijn domein te krijgen?

Uit de waterbalansstudies van hoogvenen, uit veenstratigrafisch onderzoek en uit ecologisch onderzoek komt duidelijk naar voren, dat de beheerder ervoor moet zorgen, dat er beslist geen water van buiten zijn hoogveengebied in contact kan komen met zijn hoogveen. Verder moet hij uitsluitend werken met de directe neerslag. Deze moet hij vasthouden om de verdamping en de wegzijging te kunnen compenseren en de systeemgebonden afvoer in stand te kunnen houden. Dat kan hij doen door stelsels van dammen aan te leggen. Zo kan hij de totale afvoer, die in het ongunstige geval tot ongeveer 350 mm op kan lopen, terug brengen tot ca. 150 à 200 mm per jaar.

Daarmee is hij er nog niet. Hij moet ook nog de systeemgebonden afvoer weer op gang brengen. Dat betekent: water over het veenoppervlak laten stromen, gedurende een aanzienlijk deel van het jaar en zo mogelijk het gehele jaar. Dit kan maar op één manier: alle ontwateringsmiddelen aan het hoogveenoppervlak afsluiten en waterreservoirs op het veenoppervlak aanleggen, die het neerslagwater gedurende voldoende tijd kunnen vasthouden. Ook hiervoor is het noodzakelijk met systemen van dammen op het veen te werken. Via het overloopsysteem kunnen dan waterverzadigde situaties ontstaan, waarin de hoogveenvorming weer op gang kan komen.

LITERATUUR

1. G.J. Baaijens, 1982.
In: Water in Drenthe, Symposiumverslag, Water en Levensgemeenschappen.
Provincie Drenthe.
2. W. Baden und R. Eggelsmann, 1964.
Der Wasserkreislauf eines Nordwestdeutschen Hochmoores.
Verlag Wasser und Boden, Hamburg.
3. K.E. Barber, 1981.
Peat Stratigraphy and Climatic Change.
A.A. Balkema, Rotterdam: 219 pp.
4. J.J. Barkman, 1959.
Phytosociology and ecology of cryptogamic epiphytes.
Van Gorcum, Assen, 628 pp.
5. R. Bay, 1968.
Evapotranspiration from two peatland watersheds.
North Central Forest Experiment Station, U.S.A.
6. D.J. Bellamy and P.D. Moore.
Peatlands.
E. Science, Lardon; 221 pp.
7. W. Beijerinck, 1934.
Sphagnum en Sphagnetum.
Meded. Ned. Biol. Station Wijster nr. 6, Versluys, Amsterdam.
8. D.H. Boelter, 1965.
Hydraulic conductivity of peats.
Lake States Forest Experiment Station, U.S.A.
9. D.H. Boelter en E.S. Very, 1977.
Peatland and water in the northern Lake States. Forest Service, U.S.
Department of Agriculture, St. Paul, Minnesota 55108.
10. W. Burke, 1975.
Effect of drainage on the hydrology of blanket bog.
Kinscally Rescoch Centir, Dublin.
11. W.A. Casparie, 1972.
Bog development in Southeastern Drenthe (the Netherlands).
Vegetatio 25: 1-4, 271 pp.
12. W.A. Casparie, 1980.
Het veen, natuurlijk en menselijk moeras.
Museumfonds nr. 3: pp. 2-32.
Prov. Mus. van Drenthe, Assen.

13. W.A. Casparie, B. van Geel and D. Teunissen, 1981.
Stratigraphical description of the peat sections in the Northeastern Netherlands analysed for D/H ratios.
In: C.M. van der Straaten: Deuterium in organic matter. Thesis R.U. Groningen: pp. 96-120.
14. W.A. Casparie, 1984.
Water en veen. Waterbalans sleutel tot behoud.
Natuur en Techniek 52-2: pp. 102-121.
15. W.A. Casparie, 1985.
The Neolithic wooden trackway XXI(Bou) in the raised bog at Nieuw Dordrecht (the Netherlands).
Palaeohistoria 24: pp. 115-164.
16. W.A. Casparie, 1986.
Houten veenwegen; prehistorisch vernuft?
Natuur en Techniek 54: 7, pp. 508-519.
17. W.A. Casparie, 1986.
The three Bronze Age footpaths XVI(Bou), XVII(Bou) and XVIII(Bou) in the raised bog of Southeast Drenthe (the Netherlands).
Palaeohistoria 26: pp. 41-94.
18. W.A. Casparie, 1987.
The two Iron Age wooden trackways XIV(Bou) and XV(Bou) in het raised bog of Southeast Drenthe (the Netherlands).
Palaeohistoria 28 (in druk).
19. R.S. Clymo, 1984.
The limits to peatbog growth. Phil. Trans. R. Soc.
London, B303, pp. 605-654.
20. L.M. Dupont, 1985.
Temperature and rainfall variation in a raised bog ecosystem.
Thesis Universiteit van Amsterdam. Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen; 62 pp.
21. R. Eggelsmann, 1960.
Über dem unterirdischen Abfluss aus Mooren. Wasserwirtschaft 50,
pag. 149-154, Stuttgart.
22. R. Eggelsmann, 1981.
Ökohydrologische Aspekte von anthropogen beeinflussten und unbeeinflussten Mooren Norddeutschlands. Bodentechnologisches Institut, Bremen.
23. R. Eggelsmann en E. Klose, 1982.
Regenerationversuch auf industriell abgetorfte Hochmoor im Lichtenmoor - Erste hydrologisch Ergebnisse. Telma, band 12, Hannover, seite 189-205.
24. H. Ellenberg, 1978.
Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ulmer, Stuttgart, pp. 981.
25. L.F. Ernst, 1979.
Hydrologisch onderzoek van het Fochteloërveen-Kolonieveld. ICW-nota no. 64.

26. F. Fahner, 1985.
Waterkwaliteitsaspecten van de Rottige Meente. Staatsbosbeheer, Utrecht.
27. L.F. Galvin, 1976.
Physical properties of Irish peats. In: J. Agric. Res. 15: 207-221.
28. B. van Geel, 1976.
A palaeo-ecological study of Holocene peat bog sections, based on the analysis of pollen, spores and macro and microscopic remains of fungi, algae, cormophytes and animals. Thesis Universiteit van Amsterdam: 75 pp.
29. B. van Geel, 1978.
A palaeo-ecological study of Holocene peat bog sections in Germany and the Netherlands. Rev. Palaeobot. Palynol. 25: 1-120.
30. B. van Geel en A.A. Dallmeyer, 1986.
Eine Molinia-Torflage als Effekt eines Moorbrandes aus dem frühen Subboreal im Hochmoor Engbertsdijksveen (Niederlande). Abhandlungen Landesmus. f. Naturk. Münster 48, H 2/3, pp. 471-480.
31. E. Gorham, S.E. Bayley and D.W. Schindler, 1984.
Ecological effects of acid deposition upon peatlands: A neglected field in "Acid Rain" research. Ca. J. Fish. Aquat. Sci. 41: pp. 1256-1268.
32. E. Granlund, 1932.
De svenska högmossarnas geologi. Sver. Geol. Unders., Ser.C, N: 373, Arsbok 26: pp 1-193.
33. N.L. Hagemeyer, 1983.
Hydrologisch en vegetatiekundig onderzoek in de Deurnse en Liesselse Peel; Evaluatie van genomen beheersmaatregelen. Landbouw Hogeschool, Wageningen.
34. L. Heikurainen, J. Parvönen and J. Sarasto, 1964.
Groundwater table and water content in peat soil. Acta For. Fenn 77(1): 1-18.
35. H.A.P. Ingram, 1983.
Hydrology, in: A.J.P. Gore (editor).
Mires: swamp, bog, fen and moor. General studies. Ecosystems of the world, 4A; Elsevier Amsterdam: pp. 67-157.
36. K.E. Ivanow, 1981.
Water movement in mirelands. Academic Press, London.
37. A.J.M. Jansen en E. Oosterveld, 1987.
Een veenmoskartering en landschapsecologische interpretatie daarvan voor een deel van het Meerstalblok. Langbroek, Bureau voor Landschapsecologisch onderzoek, Leeuwarden: 94 pp.
38. H. Joosten, 1985.
Over de gevolgen van verontreinigde lucht voor de Peelreservaten. Laboratorium voor Paleobotanie en Palynologie. Utrecht.

39. V.H. Lamb, 1977.
Climate, present, past en future, Volume 2. Metheun and Co. LED, London:
885 pp.
40. K.W.H. Leeftang, 1938.
Chemische samenstelling van den neerslag in Nederland.
Chemisch weekblad 35, pp. 658-664.
41. P. Linde en J. Vossen, 1981.
Verslag hoogveengebieden Meerstalblok en de Peel.
Landbouw Hogeschool, Wageningen.
42. N. Malmer 1975.
Bogs in their influence on landscape. Couples of land and water systems.
Ecological Studies, 10, ch. 3.
43. C.R. Meinardi, 1976, in: Groundwater Pollution.
Characteristic examples of the Natural Groundwater Composition in the
Netherlands.
Commissie voor hydrologisch onderzoek, Den Haag, pp. 12-33.
44. M.J. Müller, 1980.
Handbuch ausgewählter Klimastationen der Erde.
Gerald Richter, Trier, 2e druk 345 pp.
45. W.H. van der Molen, 1984.
Über die Breite hydrologischer Schutzzonen um Naturschutzgebiete in Mooren.
Landbouw Hogeschool, Wageningen.
46. P.D. Moore, 1984.
European Mires.
Department of Plant Sciences, King's College, University of London; 364 pp.
47. J.H. Oldert, 1979.
Hydrologische verkenning van de Engbertsdijkvenen.
Technische Hogeschool, Delft, pp. 47.
48. F. Overbeck, 1975.
Botanisch-geologische Moorkunde.
Karl Wachholtz, Neumünster; 719 pp.
49. F. Overbeck en H. Happach, 1956.
Über das Wachstum und den Wasserhaushalt einiger Hochmoorsphagnen.
Flora 144: pp. 335-402.
50. F. Pelder,
Nederland in Woord en Beeld, verveningen in Drenthe.
Uitgave van J.B. Wolters - Groningen.
51. L. von Post en E. Granlund, 1926
Södra Sveriges torvtillgångar.
Sver. Geol. Unders., Ser.C, N: 0355.

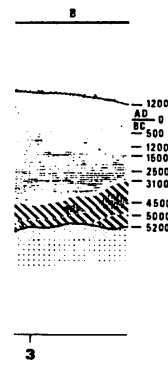
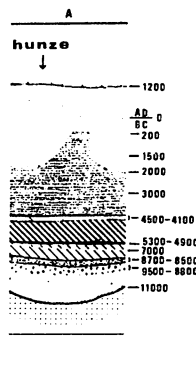
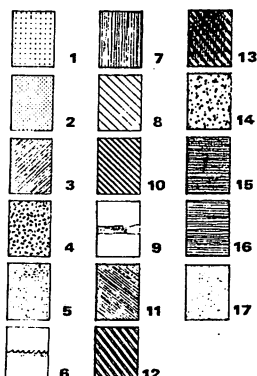
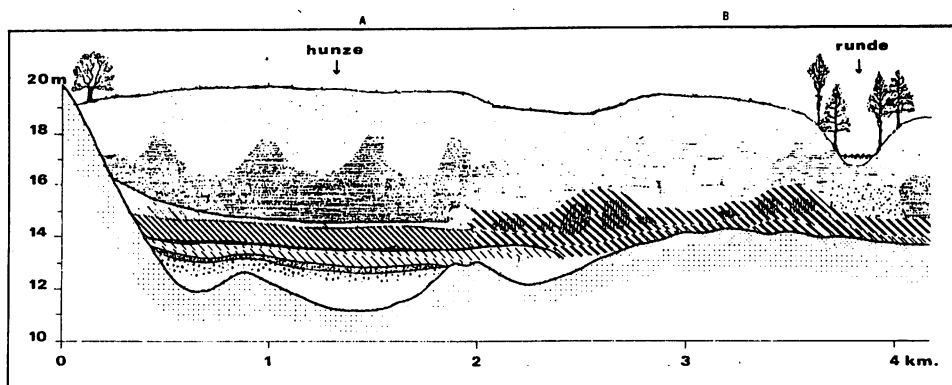
52. H. Rijdin, 1985.
Effect of water level on desiccation of Sphagnum in relation to surrounding Sphagna.
Oikos 45, pp. 374-379.
53. V.V. Romanov, 1968.
Hydrophysics of bogs.
Jerusalem: 299 pp.
54. H. Scheidl, 1960.
Vergleichende Wasserhaushalt und Klimabeobachtungen auf unkultivierten und kultivierten Hochmooren in Südbayern.
Mitt. f. Landkultur-, Moor- en Torfwirtschaft, 8, pp. 108-127.
55. M.G.C. Schouten, 1984.
Some aspects of the ecogeographical gradient in the Irish ombrotrophic bogs.
Katholieke Universiteit Nijmegen, Fakulteit Botanie.
56. J.M. Schouwenaars, 1978.
De Deurnse en Liesselse Peel, verslag van een onderzoek naar vegetatie en waterhuishouding.
Landbouw Hogeschool, Wageningen.
57. C.M. van der Straaten, 1981.
Deuterium in organic matter.
Thesis Rijks Universiteit Groningen, 125 pp.
58. J.G. Streefkerk en P. Oosterlee, 1984.
Werkgroep Hydrologisch Onderzoek Bargerveen.
Een beschouwing over hydrologische ingrepen in het hoogveenreservaat Bargerveen. Afd. Waterhuishouding Staatsbosbeheer, Utrecht.
59. M. Succow, 1980.
Die Moortypen der DDR und ihre Bewertung für die Humuswirtschaft.
Zeitschrift für angewandte Geologie, Bd. 26 Heft 4, Akademie Verlag, Berlin.
60. M. Succow, 1982.
Topische und chorische Naturraumtypen der Moore. In: D. Kopp.
Naturräumliche Grundlagen der Landnutzung am Beispiel des Tieflandes der DDR, Akademie Verlag, Berlin.
61. O. Uhden, 1967.
Niederschlag- und Abflussbeobachtungen auf unberührten, vorentwässerten und kultivierten Teilen eines Nordwestdeutschen Hochmoores der Esterweger Dose am Küstenkanal bei Papenburg.
Paul Pary, Hamburg.
62. Werkgroep Hydrologisch Onderzoek Rottige Meente, 1985.
Hydrologisch Onderzoek Rottige Meente. Landinrichtingsdienst, Leeuwarden, 64 pp.

63. W.J. Willems, 1974.
Hydrologisch onderzoek in het hoogveengebied van Zuidoost-Drenthe.
P.P.D.-Drenthe.
64. G. v. Wirdum, 1979.
Veen, venen en moerassen. In: Natuurbeheer in Nederland; Levensgemeenschappen. Pudoc, Wageningen.
65. G. v. Wirdum, 1980.
Eenvoudige beschrijving van de waterkwaliteitsverandering gedurende de hydrologische kringloop ten behoeve van de natuurbescherming.
Commissie Hydrologisch Onderzoek T.N.O., Den Haag.
66. W. van Zeist, 1955.
Pollen analytical investigations in the northern Netherlands, with special reference to archeology.
Acta Botanica Neerlandica 4, 81 pp.

Bijlage 1

Sterk geschematiseerde veenopbouw van het Bourtangerveen ten oosten van Emmen, met twee tijdbalken: A en B. De hoogten zijn in meters +N.A.P. Deze doorsnede stelt de situatie aan het einde van de Middeleeuwen voor; ruimschoots vóór de ontwatering. Verticale schaaloverdrijving 125x.

1. Zand.
2. Beekleem.
3. Bruinmossenveen, Hypnaceaeveen, gevormd tussen 11000-9500 voor Chr.
4. Lösslaag, gesedimenteerd tussen 9500-8800 voor Chr.
5. Dunne laag berkenbosveen, gevormd omstreeks 8500 voor Chr.
6. Open water, in dit geval het veenrivierviertje de Runde.
7. Meerbodemsediment, afgezet tussen 6800-5300 voor Chr.
8. Sterk vergaen berkenbroekveen, gevormd tussen 8300-5300 voor Chr.
9. Houtskoollaag, restant van een dennenbos tussen 5300-4900 voor Chr.
10. Matig vergaen elzenbroekveen, gevormd tussen 5000-4500 voor Chr.
11. Dennenstobbenlaag, restant van een dennenbos tussen 4500-4100 voor Chr.
12. IJzerhoudend Hypnaceaeveen, ontstaan in kwelmilieu tussen 5200-3100 voor Chr.
13. Moerasijzerertslenzen in het kwelveen, ontstaan tussen 4500-3100 voor Chr.
14. Berkenbroekveen, gevormd tussen twee hoogveencomplexen, 3100-1900 voor Chr.
15. Bruinzwart sterk vergaen mosveen, gevormd tussen 4500-2000 voor Chr.
16. Blauwzwart sterk vergaen mosveen, gevormd tussen 3100-1500 voor Chr.
17. Weinig vergaen mosveen, gevormd vanaf 2000 voor Chr. in de slenken van het bruinzwarte complex (15) en vanaf 1500 voor Chr. in de slenken van het blauwzwarte complex (16). Omstreeks 200 voor Chr. was het gebied grotendeels door weinig vergaen mosveen overgroeid.



Humificatiegraden naar Von Post en Granlund (de zgn. knijpgraden)

- H 1 Volkomen onvergane plantenresten, waaruit met de hand slechts nagenoeg kleurloos water kan worden uitgeperst.
- H 2 Nagenoeg onvergane plantenresten; het uitgeperste water is lichtbruin en vrijwel helder.
- H 3 Zeer weinig vergane plantendelen; het uitgeperste water is troebel en bruin.
- H 4 Zwak vergane plantendelen; er ontwijkt nog geen veensubstantie tussen de vingers.
- H 5 Matig vergane plantendelen; de structuur is echter nog duidelijk zichtbaar; het uitgeperste water is donkerbruin en zeer troebel, terwijl tevens enig veen tussen de vingers door glijdt.
- H 6 Vrij sterk vergane plantenresten; de structuur is onduidelijk. Ongeveer een derde deel van het veen glijdt bij persing tussen de vingers door. Het in de hand overblijvende deel heeft een duidelijker plantenstructuur dan het uitgeperste veen.
- H 7 Sterk vergane plantendelen; ongeveer de helft glijdt bij persing tussen de vingers door. Het eventueel ontwijkende water is donkerbruin.
- H 8 Zeer sterk vergane plantendelen; ongeveer tweederde glijdt bij persing tussen de vingers door. Het in de hand overblijvende deel bestaat in hoofdzaak uit meer resistente worteldelen, hout enz.
- H 9 Bijna geheel vergane plantenresten; bijna al het veen ontwijkt tussen de vingers. Structuur ontbreekt nagenoeg geheel.
- H 10 Geheel vergane plantendelen; al het veen wordt, zonder dat water wordt afgegeven, tussen de vingers doorgeperst.



staatsbosbeheer

MEERSTALBLOK OOST-WEST

