

Rapport 7

ONDERZOEK NAAR DE EFFECTEN
VAN MILITAIRE OEFENINGEN OP
BODEM, VEGETATIE EN FAUNA

**KIEMING EN VESTIGING VAN PLANTESOORTEN
UIT HEIDEMILIEUS**

H.M. Beijer

RIN-rapport 82/25
1982

RIJKSINSTITUUT VOOR NATUURBEHEER, LEERSUM

INHOUD	blz.
TEN GELEIDE	4
VOORWOORD	5
SAMENVATTING	6
1 INLEIDING	9
2 ZAADVERBREIDING, ZAADKAPITAAL EN KIEMKRACHT	11
3 ALGEMENE ECOLOGIE VAN KIEMING EN VESTIGING	13
3.1 Algemeen	13
3.2 Heidesoorten	14
3.2.1 De rol van licht en temperatuur voor struikheide	14
3.2.2 De rol van vocht voor struik- en dopheide	18
3.2.3 De rol van bodemchemische eigenschappen voor struik- en dopheide	20
3.2.4 De rol van mycorrhiza's voor heidesoorten	20
3.3 Overige plantesoorten uit heidemilieus	22
3.3.1 De rol van licht, temperatuur en vocht voor overige soorten	22
3.3.2 De rol van bodemchemische eigenschappen voor overige soorten	22
3.3.3 De rol van mycorrhiza's voor overige soorten	24
3.4 Wederzijdse beïnvloeding van diverse plantesoorten	25
4 KIEMING EN VESTIGING OP OPEN GROND ZONDER STURENDE BEHEERSMAATREGELEN	29
4.1 Algemeen	29
4.2 Vroegste successie op stuifzanden	30
5 EFFECTEN VAN DIVERSE BEHEERSVARIANTEN OP KIEMING EN VESTIGING	33
5.1 Ingrepen in het bovengrondse deel van de vegetatie	33
5.2 Verwijdering van het vegetatiedek inclusief de bovenste bodemplagen	34
5.3 Bemesting	37
5.4 Inzaai van struikheide en/of schapegras gecombineerd met toevoer van diverse soorten organisch materiaal op min of meer 'steriele' grond	38

5.5	Inzaai van struikheide en/of schapegras gecombineerd met grondbewerking op verlaten wegen en kaalgereden plaatsen	40
5.6	Conclusies met betrekking tot effecten van diverse beheers- varianten	41

6 LITERATUUR

Aanhangsel 1.	Samenstelling projectgroep	47
Aanhangsel 2.	Lijst van rapporten welke tot nu toe werden vervaardigd in het kader van dit onderzoek	48

TEN GELEIDE

In het kader van het defensiebeleid met betrekking tot gebruik en beheer van militaire oefenterreinen heeft het Ministerie van Defensie in 1979 aan de Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (NRLO) kenbaar gemaakt wetenschappelijk onderzoek te willen laten verrichten naar de effecten van het militair terreingebruik op natuur en milieu en naar de mogelijkheden van multifunctioneel gebruik van militaire oefenterreinen. Uit de daaropvolgende contacten tussen het Ministerie van Defensie en de NRLO is de participatie van dit Ministerie in de NRLO voortgekomen, waardoor de onderzoekswensen terecht kunnen komen bij die onderzoekinstellingen waar de deskundigheid aanwezig is.

De eerste opdracht die in 1980 door tussenkomst van de Hoofdgroep Defensie Onderzoek TNO bij de NRLO is geplaatst, betreft een onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna. Als randvoorwaarden voor het onderzoek gelden de door het Ministerie van Defensie opgestelde vragenlijst (zie rapport 1), de definitieve lijst van betrokken militaire terreinen en de aard en intensiteit van het terreingebruik (zie rapport 3). Daarnaast is het Structuurschema Militaire Terreinen (SMT) mede richtinggevend. De resultaten van deze studie worden van betekenis geacht voor beheer en inrichting van oefenterreinen, alsmede voor een verdere onderbouwing van de verschillende functies die er in het kader van het Structuurschema Militaire Terreinen aan worden toegedacht. In verband met het beschikbare budget en de meerjarige onderzoeksperiode moest een zodanige selectie van terreinen en onderzoeksvraagstukken worden gemaakt dat een zo gunstig mogelijke overdraagbaarheid van de resultaten mag worden verwacht. Dit houdt in dat sommige terreintypen en activiteiten niet binnen deze opdracht aan de orde zullen komen, evenals bepaalde ecosystemen, zoals die van estuariene en mariene milieus. De studie is verdeeld in verschillende fasen. Studiefase I omvatte de probleemstelling, een inventarisatie van de bodemgesteldheid en vegetatie van de militaire oefen- en schietterreinen en een uitgewerkt voorstel voor een vervolgonderzoek (fase II). De resultaten van fase I zijn in vijf rapporten (1 t/m 5) vastgelegd. Een overzicht van titels en auteurs is in dit rapport opgenomen. Over verschillende onderdelen van de studiefase II en over de samenhang daartussen zullen eveneens afzonderlijke rapporten verschijnen.

Bij deze opdracht, die tenminste vier achtereenvolgende jaren zal duren, zijn verschillende onderzoekinstellingen en disciplines betrokken.

Ir. F.C. Zuidema,
Secretaris Afdeling Landinrichting en
Natuur- en Landschapsbeheer NRLO

VOORWOORD

Op militaire oefen- en schietterreinen vinden diverse activiteiten plaats die voortvloeien uit de militaire bestemming. Vaak wordt daarbij plaatselijk invloed uitgeoefend op de aanwezige vegetatie, of ontstaan er omstandigheden die ertoe leiden dat zich een geheel nieuwe vegetatie moet ontwikkelen. Dit laatste is vooral het geval wanneer terreinen worden heringericht waarbij overbodig geworden wegen en andere kaalgereden plaatsen weer worden toegevoegd aan de oppervlakte natuurterrein. Ook in geval van vergravingen moet de plantengroei als regel van voren af aan beginnen. Deze eerste fase is voor de kieming en vestiging van de afzonderlijke plantesoorten van groot belang en daardoor in hoge mate bepalend voor de ontwikkeling c.q. verjonging van de vegetatie.

Alvorens de eerste successiestadia van heidemilieus in de beschikbare veldsituaties te onderzoeken, was een overzicht gewenst van de huidige kennis en de reeds opgedane ervaring over dit onderwerp. Hiertoe werd als onderdeel van fase II van het onderzoek een beperkte literatuurstudie verricht. De resultaten van deze studie zijn in dit rapport verwoord. In dit rapport worden tevens globale indrukken gegeven van enkele resultaten uit de praktijk. Het doel is tenslotte een zo goed mogelijk inzicht te geven in de vroegste vegetatieontwikkelingen na berijding en vergraving in heidevelden.

De onderhavige studie werd verricht door ir. H.M. Beije, als tijdelijk medewerker werkzaam bij de afdeling Adviezen en Algemeen Onderzoek van het Rijksinstituut voor Natuurbeheer te Leersum. De wetenschappelijke begeleiding berustte bij drs. J. Wiertz. Ir. A.L.J. Wijnhoven trad op als projectcoördinator.

De Directie

SAMENVATTING

Het onderhavige rapport is samengesteld bij wijze van een eerste oriëntatie in de problematiek rond amovering en vergraving, alsook ter ondersteuning van het onderzoek naar de effecten van berijding en betreding in heidevelden. In het eerste geval gaat het om kieming en vestiging van plantesoorten uit heidemilieus op tamelijk grootschalige, open plekken. In het tweede geval zijn kleinschalige open plekken tot min of meer gesloten vegetaties betrokken. Vanwege de aard van de beschikbare gegevens is de nadruk op het laatste komen te liggen. De informatie is voor het grootste deel verkregen uit literatuur die betrekking heeft op Britse onderzoeken, en voor een kleiner deel uit Nederlandse literatuur en ervaringen.

De zaadvoorraad in heidevelden lijkt in belangrijke mate een functie van de (meestal reeds lange tijd aanwezige) aard van de begroeiing. De zaadproduktie van struikheide is zeer groot, terwijl de verbreiding van het zaad waarschijnlijk ook goed is. De kiemkracht blijft lange tijd bewaard. Zodra de omstandigheden gunstig zijn, beginnen zaden te kiemen, waarbij de heidesoorten een in de tijd zeer gespreid kiemingspatroon vertonen. Vanwege de lichtbehoefte kiemen alleen de op of dicht aan het oppervlak liggende zaden. Essentieel is voorts een goede vochtvoorziening, niet alleen tijdens de kieming maar ook gedurende de vestigingsfase. Het verschil in vochteisen tussen struikheide en dopheide wordt besproken. De factor temperatuur heeft in Nederland in beginsel minder effect op de kieming van struikheide en gaat naar verhouding een grotere rol spelen onder lichtarme omstandigheden. De kiemplanten die in het voor vestiging relatief gunstige voorjaarsseizoen ontstaan, zijn dan ook in belangrijke mate afkomstig van wat dieper liggend zaad. Daaruit volgt dat de temperatuur toch van praktische betekenis is.

Bovenstaande factoren zijn meestal ook van belang voor de kieming van andere plantesoorten uit heidemilieus. Al naar gelang de mate van primaire kiemrust en de temperatuurgevoeligheid zijn soorten in staat te kiemen in resp. herfst, winter en voorjaar. De geringe lichtbehoefte van bijvoorbeeld bochtige smeie, pijpestrootje en schapegras zal het mogelijk maken dat deze soorten ook te midden van een bestaande vegetatie kiemen. Daarmee is echter nog niets bekend over hun vestigingskansen. Alleen van schapegras is vastgesteld dat deze soort een relatief grote tolerantie heeft voor vochttekorten. Voor veel soorten blijkt het nutriënniveau in de voedselarmere bodemtypen een beperkende factor te zijn, echter niet voor struik- en dopheide.

Ten aanzien van het element calcium, dat mede een grote rol pleegt te spelen in de zuurgraad van de bodem, wordt hierop dieper ingegaan voor een drietal plantesoorten. Ook worden b.v. de opvallende reacties besproken van bochtige smele op verhoging van de aluminiumconcentratie. Terwijl genoemd element meestal een toxische werking heeft op plantesoorten, blijkt bochtige smele relatief resistent en vertoont zelfs een positieve reactie op een geringe verhoging van de concentratie. Of de vaak voorkomende soortenarmoede en vergrassing op heidevelden met een en ander verband houdt, is niet bekend.

Zeer belangrijk in heidegemeenschappen lijkt de rol van mycorrhiza's. Dit zijn schimmels die in wederzijds voordeel samenleven met hogere planten. Bij vrijwel alle soorten uit heidemilieus zijn (specifieke) mycorrhiza's aangetroffen. Vestiging van althans heidesoorten lijkt in grote mate afhankelijk van de aanwezigheid van deze schimmels. Het voordeel van de infectie voor hogere planten zou berusten op verhoging van de opname van nutriënten.

In het tweede deel van dit rapport wordt ingegaan op de effecten van enkele beheersmaatregelen, inclusief 'niets doen', op kieming en vestiging. Bij gebrek aan specifieke ervaringen met spontane vegetatieontwikkelingen op verlaten wegen en op vergraven (heide)terreinen, worden de eerste successiestadia beschreven in zandverstuivingen.

De resultaten van toepassingen als maaien, plaggen, betreden en bemesten zijn grotendeels verklaarbaar met hetgeen eerder werd vermeld over de kiemings- en vestigingsecologie. Verwijdering van de 'standing crop' en van de strooisellaag bevordert de kieming en vestiging van de ter plaatse aanwezige soorten. Voor een nader begrip is de grootte van de plagplek (vergelijk smalle en brede rijsporen) daarbij echter van groot belang. Op grotere plagplekken (50 x 50 cm) bereikten hogere planten uiteindelijk een kleinere, en mossen een hogere bedekking dan op kleine plagplekken (5 x 5 cm). Dergelijke verschijnselen zijn eveneens vastgesteld bij resp. diep en ondiep plaggen. Bemesting deed voornamelijk op de voedsel-armere bodemtypen de vestiging van een aantal plantesoorten toenemen. Daarentegen reageerden struikheide, de mossoort Campylopus flexuosus en korstmossen duidelijk negatief. Ten behoeve van de snelle vestiging van een min of meer gesloten heidevegetatie op een tevoren 'steriele' onbegroeide bodem, zijn tenslotte goede resultaten bereikt door middel van aanvoer van heidestrooisel (tuinturf enz.) en met inzaai van schapegras, al dan niet gemengd met struikheide.

Voor een evaluatie van toegepaste methoden van amovering, waarbij de vegetatieontwikkelingen worden afgewogen tegen de doelstellingen van het natuurbeheer ter plaatse, zijn vooralsnog te weinig gegevens beschikbaar.

INLEIDING

Een gedeelte van de militaire terreinen zal volgens de huidige plannen in het Structuurschema Militaire Terreinen worden heringericht. Dit betekent o.a. dat de wegstelsels worden aangepast aan de moderne wijze waarop wordt geoefend met voertuigen. Naast wegverbreding en aanleg van nieuwe wegen wordt daarbij een deel van de bestaande wegen buiten gebruik gesteld (geamoveerd). Er wordt naar gestreefd de overbodig geworden wegen weer een zo natuurlijk mogelijk aanzien te geven. In het recente verleden zijn de Ermelosche, Stakenberger en Elspeetsche Heide reeds op dergelijke wijze heringericht. Dit ging gepaard met amovering van ca. 5-10% van de totale oppervlakte van de betrokken terreinen, corresponderend met enkele tientallen ha. Het wegenpatroon was er tevoren naar verhouding zeer dicht. In de overige opnieuw in te richten militaire oefenterreinen is in het algemeen een belangrijk minder dicht patroon aanwezig. Hoewel nog niet exact vaststaat welke terreinen voor herinrichting in aanmerking komen en nog onbekend is op welke wijze dit zal geschieden, lijkt het waarschijnlijk dat amovering daarbij toch een rol van betekenis zal spelen.

Behalve met amovering van overbodig geworden wegen, heeft men dikwijls te maken met anderssoortige invloeden die direct of indirect op de vegetatie ingrijpen. Een daarvan is vergraving, bijvoorbeeld het graven (en weer dempen) van schuttersputjes. Voorts kan bij het berijden van heide de vegetatie worden beschadigd. Meer indirecte relaties met militaire oefeningen kan men zich voorstellen bij b.v. de gevolgen van bodemverdichting op langere termijn.

Het tempo waarmee regeneratie optreedt en de eventuele veranderingen in soortensamenstelling hangen in de bovenbeschreven situaties in sterke mate samen met de mogelijkheden voor kieming en vestiging van nieuwe planten. Kieming kan men beschouwen als de initiële vorming van planten uit zaad. Vestiging omvat de direct daarop volgende fase waarin het individu in staat is tot fotosynthese en niet meer afhankelijk is van reservestoffen uit het zaad. Wanneer de fase van vestiging eindigt, is niet duidelijk gedefinieerd.

Het uiteindelijke doel van deze studie is antwoord te geven op de volgende vragen:

- wat is het effect van bepaalde beheersmaatregelen, in het bijzonder bodembewerking en inzaai alsook 'niets doen', op het herstel van natuurlijke heide- of stuifzandvegetaties na beschadiging door berijding of vergraving?

- welke beheersmaatregelen (inclusief niets doen) leveren in dat verband het beste resultaat voor het natuurbehoud?

Het specifiek gerichte onderzoek dat nodig is om de bovengestelde vragen te beantwoorden, ontbreekt echter vooralsnog vrijwel geheel. Binnen het kader van hetzelfde project zal dan ook nog veldonderzoek worden verricht naar de resultaten van verrichte amoveringen. Dit rapport beoogt alleen een beknopt overzicht te geven van bestaande gegevens in de literatuur en van enkele praktijkervaringen. Voor zover informatie beschikbaar is in relatie tot het bovengestelde doel, kan dit worden beschouwd als een (niet steeds volledig) antwoord op de volgende, meer algemene vragen:

- met welke snelheid en hoeveelheid zijn zaden/diasporen beschikbaar in een min of meer ongestoorde heidevegetatie?
- met welke snelheid en hoeveelheid kiemen deze zaden?
- welk deel van de kiemplanten weet zich te vestigen c.q. uit te groeien tot volwassen plant?
- wat is de invloed hierop van licht, temperatuur, vocht, bodemchemische eigenschappen, mycorrhiza's, beheer en terreingebruik?

Daarnaast zullen de gegevens van dit rapport dienen als steun bij de interpretatie van de resultaten van het berijdingsonderzoek. Het valt immers te verwachten dat als gevolg van mechanische beschadiging van de vegetatie door berijding de omstandigheden voor kieming en vestiging zullen veranderen. Hetzelfde kan gelden als gevolg van de eventuele veranderingen in de bodem.

Gelet op de aard van de oefenterreinen, beperkt dit rapport zich tot de problematiek rond kieming en vestiging van plantesoorten uit heidemilieus. De alternatieve mogelijkheid die in veel gevallen voor hergroei kan zorgen, namelijk door middel van vegetatieve uitlopers van planten, wordt hier niet besproken. Voorts ligt het accent steeds op de meer natuurlijke ontwikkelingen die plaatsvinden na (her)inrichting en/of gebruik van militaire oefenterreinen. Het doen vestigen en het beheer van begroeiingstypen met als doel het optimaal doen functioneren voor een bepaald gebruik (b.v. schapegrasvegetaties op free-for-all terreinen) is veeleer een cultuurtechnisch vraagstuk en wordt niet onderzocht.

2 ZAADVERBREIDING, ZAADKAPITAAL EN KIEMKRACHT

Op open plaatsen tussen de vegetatie, op verlaten wegen e.d., maar ook tussen bestaande vegetaties, kunnen zich kiemplanten vestigen. De snelheid waarmee dit gebeurt en de soortensamenstelling van de kiemplanten houden nauw verband met de hoeveelheid en samenstelling van de kiemkrachtige zaden die in de bodem aanwezig zijn (zaadbank of -kapitaal) of alsnog worden aangevoerd vanuit de omgeving. De zaadproduktie van struikheide (Calluna vulgaris), meestal de dominante soort op de onderzochte oefenterreinen, is relatief hoog en hangt o.a. af van de standplaats, leeftijd en grootte van de planten. Schattingen van verschillende onderzoekers wijzen op een produktie van ongeveer 1 miljoen zaden per jaar per vierkante meter in gesloten vegetaties (Gimingham 1972). Het zaad is zeer fijn en licht van gewicht; geschoond bevat het per kg ongeveer 50 miljoen zaadjes (Hoogerkamp e.a. 1975). Zaad van struikheide wordt dan ook voor een groot deel door de wind verbreid. Volgens theoretische berekeningen bedraagt de verspreidingsafstand ca. 100 m bij een windsnelheid van 10 m/s, en ca. 250 m bij windsnelheden van 30-40 m/s (Gimingham 1972). De gemiddelde windsnelheid op de hogere zandgronden in Nederland bedraagt 3-4,5 m/s. Stoutjesdijk (1959) schat dat bij een windsnelheid van 6 m/s ca. 50% van het heidezaad binnen 20 m van de ouderplant terechtkomt.

De kiemkracht van zaad van struikheide zou in de grond langere tijd bewaard blijven. Hoogerkamp e.a. (1975) geven een periode van zeker 10-20 jaar, en een literatuurvermelding van 30-40 jaar. Na het voorgaande valt een schatting van het aantal werkelijk kiemkrachtige zaden van struikheide in de bovenste 2 cm van de bodem naar verhouding relatief laag uit. Miles (1973b) vermeldt gemiddelde aantallen van 517 en 1700 zaden die tot kieming konden worden gebracht per vierkante meter te midden van een heidevegetatie in Schotland, op resp. een humusiron podsol en een brown forest soil. Dat zijn bodemtypen die vergelijkbaar zijn met resp. haar- en holt-podzolgronden. Alleen op het laatste bodemtype waren bovendien veel zaden aanwezig van andere plantesoorten. Hoe de grote discrepantie hier verklaard moet worden met het geschatte aantal zaden dat wordt verbreid en gedeponereerd, is niet geheel duidelijk. Op grond van de resultaten van cultuurproeven verwacht Bekendam (1974a) dat afwisselingen tussen droog en nat, schommelingen in temperatuur, vorstschade en wellicht insektenvraat, vele zaden van struikheide te gronde doen gaan. Bovendien gaan, zoals in de volgende paragrafen nader zal worden toegelicht, vele kiemplanten in een vroeg stadium verloren. Toch wordt struikheide beschouwd

als een soort die een behoorlijke zaadbank kan opbouwen (Gimingham 1972, Grime e.a. 1981).

De samenstelling van de zaadbank wordt behalve door de reproductie, verbreiding en behoud van de kiemkracht van het zaad ook bepaald door de historische vegetatieontwikkeling. In tegenstelling tot andere vegetatietypen blijkt onder heide vaak een sterke correlatie te bestaan tussen de soortensamenstelling in de bestaande heidevegetatie en die vertegenwoordigd in de zaadbank. Dit lijkt een gevolg van het feit dat deze plantengemeenschap ter plaatse meestal reeds erg lang bestaat (Miles 1973b).

Alleen de meest frequent voorkomende, overige soorten kwamen op de brow forest soil in bovengenoemde studie met meestal enkele tientallen zaden voor per m^2 . De overige soorten werden slechts in een deel van de vier monsters aangetroffen, met geringe aantallen kiemkrachtige zaden. Mogelijk speelt hierbij een rol dat b.v. graszaden zwaarder zijn dan die van struikheide en dat de afstand waarover het zaad wordt verbreid vanaf slechts lokaal voorkomende planten, geringer is.



foto 1. Een heideveld bestaat uit meer dan (struik)heide alleen.
Een relatief soortenrijke heidevegetatie op een holtpodzol-
grond op de Elspeetsche Heide.

3 ALGEMENE ECOLOGIE VAN KIEMING EN VESTIGING

3.1 Algemeen

Zaad stelt bepaalde eisen aan de omgeving om tot kiemen te komen. Belangrijke factoren zijn daarbij temperatuur, licht-, vocht-, nutriënten-, zuurstof- en koolzuurniveau en de aan- of afwezigheid van remmende of stimulerende stoffen. Voor zover hierover informatie bestaat, zal deze in de volgende paragrafen worden besproken. Voordat aan de kieming kan worden begonnen, moet het zaad soms een periode van (primaire) kiemrust doorbrengen. Onderwijl worden b.v. remmende stoffen in het zaad afgebroken, verweert de harde zaadhuid of raakt het embryo volgroeid. Of er sprake is van primaire kiemrust, kan behalve van de soort ook afhangen van de omstandigheden waaronder de ouderplant groeide en bloeide.

Van o.a. een aantal soorten uit heidemilieus hebben Grime e.a. (1981) kiemingsresultaten bepaald onder uiteenlopende laboratoriumomstandigheden. Het aantal dagen dat nodig was, om 50% van het aantal verse zaden dat uiteindelijk kiemt te laten kiemen ($=t_{50}$ -waarde), was bij soorten als struikheide, schapegras (Festuca ovina) en borstelgras (Nardus stricta) tamelijk groot (resp. 18, 19 en 32 dagen), hetgeen men met primaire kiemrust kan aanduiden. Hoewel grassoorten in het algemeen direct kunnen kiemen, was ook tandjesgras (Sieglingia decumbens) daarin een uitzondering, zelfs in extreme mate. Struikheidezad blijft in de praktijk zelfs vaak liggen tot dat een volgende gunstige periode aanbreekt (Gimingham 1972). Kruipend struisgras (Agrostis canina var. montana) had daarentegen slechts drie dagen nodig als 'halfwaardetijd'.

Nadat de eventuele primaire kiemrust verbroken is, kan het zaad in principe tot kieming overgaan. Wanneer de milieuomstandigheden echter ongunstig zijn, blijft dit achterwege en kan zelfs een toestand van secundaire kiemrust intreden. Deze wordt verbroken zodra de omstandigheden gedurende enige tijd weer gunstig zijn.

Uit onderzoek aan andere milieutypen dan heide is bekend, dat ook andere eigenschappen van het zaad beïnvloed kunnen worden door de groeiplaatsomstandigheden van de ouderplant. De aanpassing van de laatste kan zowel verband houden met een fysiologische en morfologische plasticiteit welke dus omkeerbaar is, als met een genetische differentiatie via selectie (Van der Aart 1980). Zo kan in het eerste geval het zaad van bepaalde plantesoorten die worden betreden, zwaarder of lichter zijn dan op onbetreden plaatsen.

Voor zover de literatuur nadere informatie geeft over bovenstaande factoren, zal hierop in de volgende paragrafen worden ingegaan. In tabel 1 zijn kiemingsresultaten samengevat van een aantal relevante soorten welke Grime e.a. (1981) hebben onderzocht. Deze gegevens dienen met voorzichtigheid te worden gehanteerd. De bedoelde auteurs geven zelf een aantal beperkingen aan. Per soort is slechts zaad verzameld van één populatie, terwijl bovendien de omstandigheden in het laboratorium een versimpeling betekenen van die in het veld. Toch menen de auteurs dat is toegestaan om de gevonden correlaties tussen kiemingsresultaten en bepaalde zaadeigenschappen (b.v. gewicht, vorm, kleur, habitat van de soort, familie) te vertalen in algemene wetmatigheden. Daarbij dient te worden aangetekend dat uitzonderingen bestaan. Die komen ook voor in het beperkte lijstje van geselecteerde soorten uit heidemilieus in tabel 1. Van enkele soorten was het zaad zelfs helemaal niet tot kieming te brengen. Of en in welke mate uitzonderingen werkelijk als zodanig moeten worden beschouwd, of dat de bijzondere omstandigheden tijdens het experiment hierbij een rol hebben gespeeld, is niet steeds duidelijk.

3.2 Heidesoorten

3.2.1 De rol van licht en temperatuur voor struikheide

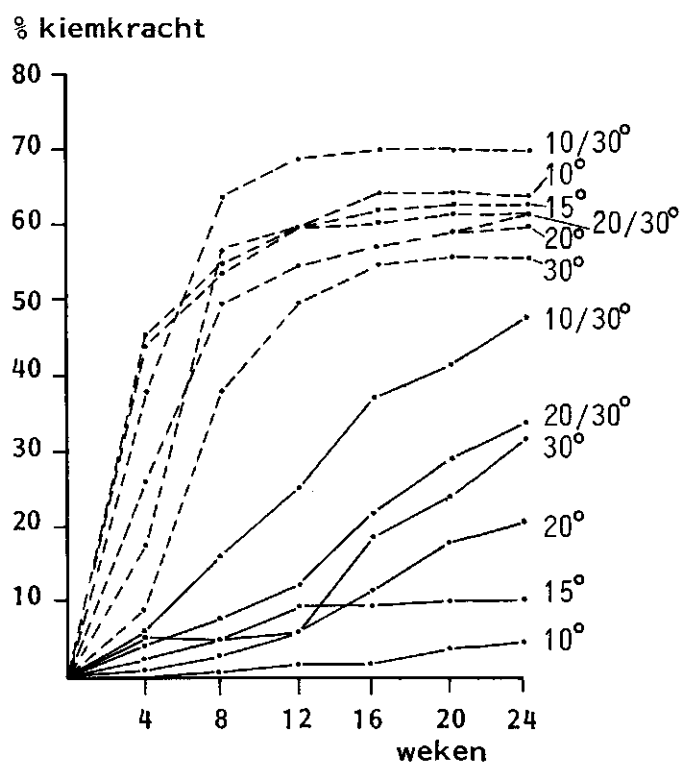
Heidezaad is pas in oktober, of beter nog in november 'rijp'. Het licht, en in mindere mate, de temperatuur zijn belangrijke factoren die de kiemrust van struikheide daarna beïnvloeden. Wat het licht betreft, kan daarbij onderscheid worden gemaakt in de duur, intensiteit en samenstelling (= kleur) ervan. Zelfs bij korte lichtperiodes van b.v. een half uur, toegediend om de paar dagen, blijkt goede kieming op te treden (Gimingham 1972). Behalve voor het uiteindelijk kiemresultaat, is licht tevens van groot belang voor de snelheid waarmee het zaad kiemt. Mits voldoende licht aanwezig is, lopen de kiempercentages bij verschillende temperatuurregimes tussen 10° en 30° C weinig uiteen. In laboratoriumproeven bleken de percentages reeds binnen ca. 8-12 weken steeds 50-70% van het totaal aantal zaden te bedragen, waarna deze nog slechts weinig toenamen (Bekendam 1974b). Dezelfde auteur alsook Grime e.a. (1981) wijzen erop dat de kleur van het licht van belang kan zijn, met name de verhouding rood/infrarood licht. Aangetoond is dat uit het licht-spectrum het rode licht zodanig kan worden geabsorbeerd door het bladerdak, dat de resterende lichtsamenstelling weinig of geen kiemingsinducerende werking meer heeft, of de kiemrust soms zelf kan doen versterken.

zaadgewicht (mg)	kieming van vers zaad %	kieming na droge periode van bewaren										min. resp. max. temperatuur waarbij de kieming 50% is van de hoogste waarde		kieming als functie van lichtsterkte					
		50°C					20°C					min max.		licht		schaduw			
		3 mnd %	6 mnd %	12 mnd %	15 mnd %	20 mnd %	3 mnd %	6 mnd %	12 mnd %	15 mnd %	20 mnd %			% t50	% t50	% t50	% t50		
Struikheide (<i>Calluna vulgaris</i>)	0.03	88	18	73	15	82	18	66	20	92	15	10	28	70	15	62	15	0	-
Kraaiheide (<i>Empetrum nigrum</i>)	0.75	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kruipend struisgras (<i>Agrostis canina</i> var. <i>montana</i>)	0.06	72	3	90	4	70	6	60	6	86	4	-	-	78	9	80	6	30	5
Bochtige smele (<i>Deschampsia flexuosa</i>)	0.43	99	12	99	8	96	9	97	6	100	4	6	28	85	7	92	5	87	5
Schapegras (<i>Festuca ovina</i>)	0.38	85	19	98	6	94	5	-	-	97	4	7	33	86	7	82	7	90	9
Pijpestrootje (<i>Molinia caerulea</i>)	0.53	3	13	8	12	11	13	7	13	-	-	19 ^{*)}	39	50 ^{*)}	4	71 ^{*)}	3	40 ^{*)}	3
Borstelgras (<i>Nardus stricta</i>)	0.38	38	32	25	30	56	57	8	32	25	33	17	36	76	52	70	38	22	41
Tandjesgras (<i>Sieglingia decumbens</i>)	0.87	0	-	0	-	31	25	84	16	95	15	13	29	97	14	93	12	1	-
Blauwe zegge (<i>Carex panicea</i>)	1.88	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Trekruis (<i>Juncus squarrosus</i>)	0.05	99	5	100	4	100	4	100	3	100	4	10	30	100	4	100	4	1	-
Gewone brem (<i>Sarothamnus scoparius</i>)	8.55	73	10	85	9	90	11	47	31	2	-	-	-	98 ^{o)}	5	100 ^{o)}	6	98 ^{o)}	5
Blauwe bosbes (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	0.26	95	20	78	14	90	15	97	15	-	-	12	27	93 ⁻⁾	14	100 ⁻⁾	13	95 ⁻⁾	13
Rode bosbes (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	0.26	60	21	92	19	97	19	91	19	-	-	18	28	98	20	87	17	4	-

Tabel 1. Gegevens over zaadgewicht en kieming van een aantal plantensoorten uit heide milieus
 150- aantal dagen dat nodig is om een resultaat te behalen van 50% van het uiteindelijke kiemingspercentage.
 *) zaad met koude behandeling
 o) zaad met ritsbehandeling
 -) vers zaad
 (naar Grime e.a. 1981; voor meer gegevens zie aldaar)

Mogelijk speelt iets dergelijks zich ook af in heidebegroeiingen, vooral wanneer deze in het voorjaar weer uitlopen, waardoor men op open plekken een hoger kiemingspercentage zou kunnen verwachten.

De invloed van de temperatuur op de kieming van struikheide is voornamelijk van betekenis onder lichtarme omstandigheden. Gimingham (1972) vermeldt dat de optimale temperatuur ligt tussen 17 en 25°C, terwijl bij cultuurproeven van Bekendam (1974b) van de beproefde, constante temperaturen van 10, 15, 20 en 30°C de laatste temperatuur de beste resultaten opleverde. Wisseltemperaturen blijken nog betere resultaten te geven. Een en ander wordt geïllustreerd in figuur 1. Deze figuur laat tevens zien dat onder de beproefde omstandigheden de factor licht zich niet laat vervangen door een gunstig temperatuurregime.



Figuur 1. Verband tussen temperatuur en kieming, in het licht (onderbroken lijnen) en bij volledige duisternis (getrokken lijnen; Bekendam 1974b).

Gimingham vermeldt nog dat verhitting van het zaad gedurende enkele uren tot 60-80° C de kieming doet versnellen en toenemen. Dit zou zelfs het geval zijn bij (kortstondige) verhitting tot 160° C. In normale gevallen blijft de temperatuur op de bodem tijdens een heidebrand beneden 200° C.

Het bovenstaande betekent dat in natuurlijke situaties de oppervlakkige zaden voor een groot deel reeds in de late herfst en in de winter kiemen. De winter wordt door enkele auteurs (Gimingham 1972, Bekendam 1974b) gezien als een ongunstige periode om de kiemplanten te laten overleven. De kiemplanten die pas in het voorjaar ontstaan, zijn in belangrijke mate afkomstig van wat dieper in de bodem liggende zaden.

Omdat ook de jonge planten lichtbehoefstig zijn, vestigt struikheide zich bij voorkeur op open plekken. Te midden van dichte vegetaties zijn de omstandigheden daarvoor meestal ongeschikt. Behalve lichtintensiteit en mogelijk lichtsamenstelling, speelt ook de temperatuur, die op open plekken hoger kan oplopen en sterker wisselt, daarin een rol.



foto 2. Kiemplanten van dopheide.

3.2.2 De rol van vocht voor struik- en dopheide

Voor de kieming van struikheide is het noodzakelijk dat tijdens het groeiseizoen de bodem gedurende tenminste enkele weken achtereen een tamelijk hoge vochtvoorziening heeft. Dit blijkt in de praktijk een zeer belangrijk gegeven. Gimmingham (1972) geeft als kritieke grens waarboven slechts weinig kieming meer optreedt, pF-waarden van 3.3-3.6. Niet alleen worden in vochtige en natte situaties de hoogste kiemingspercentages behaald, maar de kieming verloopt er ook aanmerkelijk sneller dan in drogere situaties. Bij drogere regimes gaat de kieming langere tijd door, maar bereikt minder hoge waarden.

Ook gedurende de fase van vestiging speelt de vochtigheid van de bodem (en van de lucht) een grote rol. Zodra de bodemvochtigheid daalt tot beneden veldcapaciteit, gaat een deel van de zaailingen dood. De relatieve luchtvochtigheid die in de directe nabijheid van gezonde kiemplanten werd gemeten, lag steeds boven 65%. De laatstvermelde auteur geeft daarbij geen temperatuur. Zaailingen die bij kamertemperatuur werden gekweekt in het laboratorium, gingen alle binnen een maand dood bij een relatieve luchtvochtigheid van 60%, terwijl die bij een waarde van 80% bleven leven.

Het belang van voldoende vocht tijdens de periode van kieming en vestiging geldt in nog sterkere mate voor dopheide (Erica tetralix). De tijd die nodig is om kiemkrachtige zaden te laten kiemen, is bij dopheide bovendien veel langer dan bij struikheide. Alleen op natte plaatsen kan dopheide concurreren met struikheide, omdat daar niet alleen vergelijkbare kiemingsresultaten worden bereikt, maar de groei van de eerste soort er zelfs sneller is. Dit laatste is in beginsel ook het geval op minerale bodems. Omtrent de achtergronden van deze verschillen vermeldt Bannister (1964d) dat beide heidesoorten hun huidmondjes bij droogte sluiten, dopheide echter veel eerder dan struikheide. Desondanks verdampst nog relatief veel water via de cuticula. Struikheide is kennelijk echter beter bestand tegen een en ander, dan dopheide. Het is niet zeker of verdroging de directe oorzaak is van groeistagnatie of zelfs van afsterven. Bannister suggereert de mogelijkheid dat deze eerder samenhangt met de afname van de assimilatie, die onvermijdelijk het gevolg is van de sluiting van de huidmondjes. Een verklaring voor het verschil in fysiologie van huidmondjes tussen beide soorten geeft hij echter niet.

Er zijn aanwijzingen dat deze fysiologische aanpassingen ook een fenotypisch karakter kunnen hebben. Planten van struikheide uit natte gebieden sluiten de huidmondjes eerder dan die uit drogere gebieden. Waarschijnlijk geldt dit ook voor dopheide.

In vervolg op het voorgaande ligt het voor de hand dat het vocht-houdend vermogen van de bodem veelal bepalend is voor het aantal zaailingen dat zich uiteindelijk vestigt. Hoewel venige en humeuze bodems minder gunstige kiemingsresultaten kunnen geven in verband met bodemchemische eigenschappen (zie ook par. 3.4), kunnen hier soms ook hoge waarden worden bereikt. Gimingham (1972) vermoedt dat dit verband houdt met het effectievere vasthouden van water in de directe omgeving van de zaden. Om dezelfde reden kiemt heidezaad beter in een geconsolideerd dan in een los substraat. Volgens Hoogerkamp e.a. (1975) sterven de meeste kiemplanten op bodems die of zeer rijk of zeer arm zijn aan organisch materiaal, of arm zijn aan afslibbare delen. Op lemig zand kan een goede kieming worden bereikt.

In heidestrooisel kan de kieming en vestiging zeer worden belemmerd door de fysische eigenschappen ervan (periodieke vochttekorten). Bannister (1964b) heeft dit aangetoond in laboratoriumproeven, terwijl Chapman & Rose (1980) dergelijke bevindingen hadden in veldproeven. Uit eigen waarnemingen is gebleken, dat de mate van veraarding van het strooisel waarschijnlijk echter een grote rol kan spelen. Op het goed veraarde A₀-materiaal met een gemiddelde dikte van 3-4 cm ter plaatse van het proefveld voor een in 1982 uitgevoerd experimenteel berijdingsonderzoek op de Kampinasche Heide komen zeer vele zaailingen van struikheide voor. Gimingham (1972) heeft waargenomen dat veel zaailingen kunnen optreden in kleinschalige depressies in het terrein, waar het mos Campylopus flexuosus een dun laagje organisch materiaal had gevormd. Hij vermeldt dat dergelijke laagten o.a. kunnen worden gevormd door insporing van voertuigen. Zowel op directe als op indirecte wijze (via de grotere bedekking met mos) kan het bestaan van de depressies een gunstiger lucht- en bodemvochtigheid hebben doen ontstaan.

Op sommige plaatsen kan men te maken hebben met een overdosis van water. Van struikheide is bekend dat ook bij een waterniveau dat even boven maai-veld staat, kieming kan optreden mits de temperatuur geschikt is (Gimingham 1972). Het kiemingspercentage bereikt echter minder hoge waarden. Bij lage temperaturen treedt geen kieming op; het zaad in de met water verzadigde grond behoudt dan wel tenminste twee of drie maanden zijn kiemkracht, hetgeen 's winters van belang kan zijn.

Oudere planten van struik- en dopheide blijken verschillend te reageren bij stagnatie van water. Bannister (1964d) heeft in laboratoriumproeven vastgesteld dat struikheide onder dergelijke omstandigheden al spoedig afsterft, in tegenstelling tot dopheide. De auteur suggereert dat de

directe doodsoorzaak verband houdt met de produktie van voor struikheide giftige stoffen in anaërobe bodems, die de fysiologische processen in de plant verstoren. In zijn experiment waren veel wortels afgestorven bij de kwijnende planten. Op het eerste gezicht lijkt het vreemd dat in deze planten in een overmatig natte omgeving vochttekorten werden geconstateerd. Volgens Bannister zouden deze tekorten echter een gevolg kunnen zijn van het voornoemde afsterven van de wortels.

3.2.3 De rol van bodemchemische eigenschappen voor struik- en dopheide

Er is vrij weinig onderzoek gedaan naar de reactie van heidesoorten op verschillende minerale samenstellingen van de bodem. Volgens Gimingham (1972) bestaan er sterke aanwijzingen dat de bodemchemische eigenschappen effect hebben op de kieming van struikheide. Als voorbeeld geeft hij het verschijnsel dat - zolang vocht geen beperkende factor is - op humeus zand betere kieming van struikheide plaatsvindt dan op veen. De optimale pH voor kieming zou volgens proeven met agarculturen liggen tussen 4 en 5. Onder natuurlijke omstandigheden komt struikheide meestal voor op bodems met een pH tussen 3,2 en 7,0. Over de factoren die hierbij direct bepalend zijn voor kieming en vestiging is echter weinig bekend. Binnen de (niet-vermelde) condities van hun proeven vonden Hoogerkamp e.a. (1975) echter geen duidelijk voorkeur voor een bepaalde pH.

Over dopheide vermeldt Sheikh (1970) dat deze soort erg gevoelig is voor hogere concentraties van CO_2 en H_2S die in het grondwater werden gevonden. De plant zou in voorkomende gevallen vergiftiging trachten te voorkomen door ondiep te wortelen. Dezelfde onderzoeker vond in een vergelijkende proef dat dopheide minder goed zuurstofarmoede in de grond kan verdragen dan pijpestrootje (Molinia caerulea).

3.2.4 De rol van mycorrhiza's voor heidesoorten

Een bijzondere rol in het ecosysteem van heidevegetaties spelen hoogstwaarschijnlijk mycorrhiza's. Dit zijn schimmels die infecteren in de wortels van planten, zonder dat een van beide daarvan nadeel ondervindt. De mycorrhiza's die in heidesoorten zijn aangetroffen, behoren tot het type van de 'ericoid-type endomycorrhizas'. Alle onderzochte soorten van de geslachten Calluna, Erica, Empetrum en Vaccinium bleken in het bezit van een dergelijke symbiontische schimmel (Malajczuk & Lamont 1981). De hyfen van de schimmel dringen cellen binnen van de cortex die 1 tot 3 cellagen dik is. Bij kiemplanten van struikheide kan gemiddeld 65% van de totale wortellengte geïnfecteerd zijn. Er is vastgesteld dat 42% van het totale wortelcelvolume in beslag werd genomen door mycorrhiza's.

Hoewel het bestaan ervan reeds langere tijd bekend is, spreken de auteurs elkaar tegen waar het gaat om de precieze betekenis van de mycorrhiza's voor de heideplanten. Gimingham (1972) hecht weinig geloof aan beweringen dat 'endotrophic' mycorrhiza's (atmosferische) stikstof kunnen binden en aldus tot voordeel zijn voor struikheide. In een recente publikatie van Malajczuk & Lamont (1981) wordt daarentegen gesteld dat mycorrhiza's 'zonder twijfel' de opname van nutriënten door heidesoorten bevorderen, vooral van stikstof. Zij zouden in staat zijn organische stikstofverbindingen als eiwitten, aminozuren, glucose, maar ook fosforverbindingen op te nemen, welke vervolgens naar de wortel van de gastheer worden getransporteerd. Woolhouse (1981) legt juist de nadruk op de opname van fosfaten, in fosfaatarme bodems. Hij taxeert de aanwijzingen dat ook de opname van stikstofverbindingen door mycorrhiza's wordt bevorderd daarentegen als minder zeker. Beide eerdergenoemde auteurs wijzen voorts op een tweede aspect, dat voor de groei van heideplanten van belang kan zijn. Door de schimmels kan het apicale meristeem (= groeiweefsel) beschadigd worden. Hierdoor zou de vorming van haarworteltjes gestimuleerd worden. De effecten van mycorrhiza's op hun gastheer zijn moeilijk te onderzoeken, omdat zij zich niet gemakkelijk ontwikkelen in watercultures



foto 3. Versnelde verjonging van struikheide in een éénmalig rijspoor van een brandweerauto. Het spoor is zeven jaar oud.

3.3 Overige plantesoorten uit heidemilieus

3.3.1 De rol van licht, temperatuur en vocht voor overige soorten

Omtrent de rol die genoemde factoren spelen bij kieming en vestiging van de overige plantesoorten uit heidemilieus, zijn weinig exacte gegevens bekend. Van enkele veel voorkomende soorten staan resultaten van kiemings-experimenten door Grime e.a. (1981) vermeld in tabel 1. Over de beperkte toepasbaarheid ervan is reeds gesproken in par. 3.1. Voor zover anderen informatie geven over de genoemde soorten, sluit deze meestal goed aan bij die uit de tabel.

Schapegras verbreidt zich onder natuurlijke omstandigheden voornamelijk door middel van zaad en kiemt waarschijnlijk reeds in de herfst en vroege winter. De soort heeft een relatief grote tolerantie voor vochttekorten. Dit is vooral van belang onder voedselarme omstandigheden (weinig stikstof en fosfor), waardoor de wortelgroei wordt benadeeld (Grime & Curtis 1976).

De geringe kiemingspercentages bij pijpestrootje waren in het experiment van Grime e.a. (1981) volgens de auteurs gedeeltelijk te wijten aan de niet geheel bevredigende kiemingsomstandigheden tijdens de proef en/of een onjuiste voorbehandeling van het zaad.

Van tandjesgras wordt eveneens vermeld dat deze al 's winters lijkt te kiemen (Jefferies & Willis 1964). Volgens Grime is licht daarbij wel onontbeerlijk. De soort vertoont een voorkeur voor standplaatsen met een zekere relatieve rijkdom aan kalk. Dit laatste kan echter in bepaalde mate worden vervangen door vocht (zie ook par. 3.3.2).

Over trekrus (Juncus squarrosus) vermeldt Welch (1967) dat de kiemkracht van de zaden gemiddeld 50% bedraagt, in sommige jaren zelfs bijna 100%. Kieming treedt slechts op, indien de zaden op of vlak onder de oppervlakte liggen. Voorts is de kieming gebonden aan een 'bepaalde' minimumtemperatuur, terwijl het kiemingspercentage toeneemt naarmate de temperatuur stijgt. Ook is sprake van een sterke afhankelijkheid van het vochtgehalte van de bodem. De jonge planten vertonen een langzame groei. Waarschijnlijk zijn ze pas na ca. vijf jaar 'volwassen'.

3.3.2 De rol van bodemchemische eigenschappen voor overige soorten

De invloed die de pH heeft op kieming en groei, is slechts voor enkele plantesoorten onderzocht. Schapegras is een soort die wat dit betreft een uitzonderlijk brede range heeft. Deze soort komt van nature voor op bodems met een zuurgraad die kan variëren van 3,8 tot 7,8. Het lijkt

in dit verband echter waarschijnlijk dat schapegras speciaal aangepaste genotypen heeft (Woolhouse 1981). Een dergelijke tolerantie voor uiteenlopende pH's die eerder reeds werd vermeld voor heidesoorten (par. 3.2.3), wordt ook aangetroffen bij bochtige smele (Deschampsia flexuosa). De kieming wordt pas beïnvloed wanneer de pH tamelijk extreme waarden bereikt ($\text{pH} < 3,5$). Hoewel zaailingen in watercultures een optimale groei vertoonden bij een pH tussen 5,5 en 6,0, overleefden de plantjes zelfs blootstelling gedurende langere tijd aan een zeer lage pH van 3,2. Volgens Hackett (1965) is er geen reden om aan te nemen dat ook oudere planten niet dezelfde voorkeur resp. tolerantie zouden vertonen. Ook pijpestrootje komt zowel in zure als in basische milieus voor (Chwastek 1965).

Het effect dat calcium heeft op de vestiging en groei van een drietal plantesoorten uit heidemilieus, is bestudeerd door Jefferies & Willis (1964). Zij bekeken de reacties van o.a. trekrus, borstelgras en tandjesgras. Globaal zijn deze soorten in voornoemde volgorde meer tolerant voor kalk, waarbij de concentratie van calcium steeds moet worden gezien t.o.v. die van de andere nutriënten. Men zou dus kunnen spreken van een 'relatieve kalktolerantie'. Wanneer de concentraties van de overige elementen evenwel tot zeer geringe waarden worden verlaagd, veel lager dan waarschijnlijk in het veld worden aangetroffen, bleek trekrus zich te kunnen vestigen bij een tamelijk hoog relatief kalkgehalte. Normaliter wordt trekrus aangetroffen op plaatsen waar de concentratie calcium ongeveer gelijk is aan die van de andere nutriënten. Bij borstelgras kan de bedoelde verhouding van 1:1 oplopen tot 7:1, mits de concentratie van de andere nutriënten niet te hoog is. Tandjesgras is tolerant voor een nog bredere range van calcium. Zelfs op tamelijk kalkrijke plaatsen waar deze soort groeit is het nutriëntenaanbod van de andere elementen ook relatief hoog.

Ten aanzien van andere elementen heeft Hackett (1965) onderzocht, wat de invloed is van verschillende concentraties op kieming en groei van bochtige smele in watercultures. Dit is een grassoort die frequent voorkomt in droge heidevelden met een wat voedselrijkere bodem, en die tegenwoordig op veel plaatsen sterk lijkt toe te nemen. Bij bochtige smele bleek geen effect meetbaar van verschillende concentraties van verbindingen met ijzer, kalium en mangaan. Toename van stikstof is daarentegen wel van invloed. Kiemingspercentage en groei nemen in dat geval af. De bovengrens wordt bereikt bij 10 ppm. Het maakt geen verschil of de stikstof voorkomt in de vorm van nitraat- of ammoniumverbindingen.

Een positieve reactie werd geconstateerd op geringe giften aluminium. Dat is opmerkelijk omdat aluminium voor de meeste planten een toxische stof is. Werden de concentraties verder verhoogd, dan bleek bochtige smele steeds toleranter te zijn dan de drie andere grassoorten in een ander experiment van Hackett (1963). Woolhouse (1981) vermeldt nog dat aluminium de opname van calcium en fosfor door de plantewortels lijkt te kunnen beïnvloeden. Dezelfde auteur geeft veel meer informatie omtrent zuurgraad van de bodem, toxiciteit van aluminium, e.d. aan de hand van wat hierover in de landbouw bekend is. Hij suggereert dat de soortenarmoede op vele heidevelden (mede) een gevolg kan zijn van de toxische werking van aluminium en misschien ook van mangaan. Wat de reactie is van bochtige smele op verschillende concentraties van fosforverbindingen, bleef helaas onbekend. Fosfor speelt in relatief voedselarme omstandigheden in het algemeen een zeer belangrijke rol in de aard van de vegetatie. Het is technisch echter zeer moeilijk om bepaalde concentraties van een fosforverbinding op peil te houden in laboratoriumproeven.

3.3.3 De rol van mycorrhiza's voor overige soorten

Ook bij de niet-heideachtigen zijn mycorrhiza's aangetroffen, b.v. bij de geslachten der struisgrassen en zwenkgrassen, alsook bij sommige zeggesoorten, bij pijpestrootje, bochtige smele en borstelgras. Bij het geslacht van de russen (*Juncus*) zijn ze evenwel nog niet aangetroffen. De mycorrhiza's die bij bovenbedoelde soorten voorkomen, zijn van een ander type dan bij de heidesoorten. Malajczuk & Lamont (1981) spreken over 'vesicular-arbuscular endomycorrhizas'. Met betrekking tot deze schimmel is bij plantesoorten uit heidemilieus nog geen onderzoek gedaan, in tegenstelling tot die bij landbouwgewassen. Vanuit het landbouwonderzoek is bekend dat dit type mycorrhiza's het meest voorkomt in voedselarme gronden. Periodieke droogte schijnt schimmelinfectie van de gastheer te bevorderen. Bemesting met stikstofverbindingen of met fosfaten doet de infectie verminderen, hoewel de groei van de hogere plant in principe toeneemt. Andere experimenten tonen dat geringe bemestingsgiften in voedselarme milieus als dat van heide, deze mycorrhiza's doen toenemen. Bij hogere giften nemen ze vervolgens weer af.

Omtrent de rol van VA-mycorrhiza's neemt men wel aan dat deze een snellere groei mogelijk maken van de gastheer in fosfaatarme milieus. De fosfaatopname wordt verhoogd. Door bemesting met fosfaat vermindert het relatieve voordeel van de mycorrhiza voor de plant. De genoemde

auteurs achten het mogelijk dat VA-mycorrhiza's ook de opname van andere nutriënten bevorderen, zelfs in het bijzonder van het element dat in het minimum is. De voedselarmoede waarbij planten nog kunnen groeien in samenwerking met mycorrhiza's, is echter gebonden aan een ondergrens. Indien te weinig nutriënten aanwezig zijn, kunnen zelfs door mycorrhiza's geïnfecteerde wortels niet meer groeien. In de symbiose tussen de hogere plant en de schimmel onttrekt de laatste stofwisselingsprodukten aan de gastheer. Er wordt verondersteld dat de produktie daarvan in heidevelden zó hoog is vanwege de hoge lichtintensiteit, dat de hogere plant geen 'hinder' ondervindt van deze onttrekking.

Een interessant Pools experiment, met evenwel moeilijk interpreteerbare resultaten, is uitgevoerd door Chwastek (1965) met pijpestrootje. Als tegenhanger van bochtige smele is dit een plantesoort die juist op de vochtige plaatsen in een deel van de Nederlandse heidevelden in toenemende mate voor vergrassing zorgt. Pijpestrootje kan men op zeer verschillende bodems aantreffen. Chwastek liet zaad van planten uit een kalkrijk milieu (pH 7,6) kiemen in het substraat van de ouderplanten, naast een zure bodem (pH 3,6). Omgekeerd werd ook zaad dat verkregen was van planten uit het zure milieu, ingebracht in de zure en de basisch-neutrale grond. Tegelijk met het zaaien werd enig oorspronkelijk bodemmateriaal overgebracht in verband met de micro-organismen. Het bleek dat verreweg de beste kiemingsresultaten werden verkregen bij het 'basische' zaad, uitgezaaid in het zure milieu. De laagste kiemingspercentages traden daarentegen op bij het 'zure' zaad, dat werd uitgezaaid in de basisch-neutrale bodem. Analoge resultaten werden bereikt bij de groei van volwassen planten van pijpestrootje, indien deze gedeeltelijk werden overgeplant naar een bodemtype met een veel hogere resp. lagere pH.

Omtrent de achtergronden van deze verschijnselen tast ook de auteur in het duister. Op grond van morfologische studies suggereert zij in de eerste plaats een verband met verschillen in variëteiten en/of ondersoorten. Zij sluit echter niet uit dat ook mycorrhiza's bij het bovenstaande een rol spelen. In ieder geval werden in de wortels van pijpestrootje uit een kalkhoudende grond een veel groter aandeel gevonden van mycorrhiza's, dan in die uit een zure grond.

3.4 Wederzijdse beïnvloeding van diverse plantesoorten

Diverse auteurs gaan in op het feit dat verschillende plantesoorten uit heidemilieus elkaar tijdens en na de kieming kennelijk beïnvloeden, hetgeen van groot belang is voor de uiteindelijke samenstelling van de vegetatie. Het ligt voor de hand dat dezelfde factoren hierbij bepalend zijn.

als die welke een sleutelrol spelen in relatie tot de zuiver abiotische omgeving: licht, vocht, bodemchemische eigenschappen, alsmede (wellicht) fytotoxische stoffen geproduceerd door mycorrhiza's. Onder natuurlijke omstandigheden zullen deze factoren meestal gelijktijdig werkzaam zijn. Dat maakt voorspellingen omtrent de concurrentieverhouding tussen verschillende soorten op een bepaalde plaats moeilijk.

Gebrek aan licht zal struikheide vaak verhinderen te midden van een reeds bestaande oudere (heide)vegetatie te kiemen en zich te vestigen (Gimingham 1972). Soorten met grote zaden zouden in ongemaaide vegetaties in principe grotere vestigingskansen hebben dan die met kleine zaden (Miles 1974b), kennelijk vanwege een relatieve voorsprong door de beschikbaarheid van meer reservestoffen. Dat bemesting de vestigingskansen vaak kan doen vergroten, in het bijzonder op voedselarme humus-podzolbodems, suggereert dat het nutriëtniveau voor vele soorten in heidemilieus daar reeds in het minimum is. Zo vond Welch (1967) dat de vestiging van trekrus op veen wordt bevorderd door de aanwezigheid van kalk, door bemesting en door vermindering van de concurrentie van andere planten. Vermoedelijk is gebrek aan concurrentievermogen dan ook de reden dat veel zaailingen van trekrus plegen af te sterven. In proeven van Miles (1974b) bleken gewone brem (Sarothamnus scoparius) en gaspeldoorn (Ulex europeaus) zich echter niet altijd beter te vestigen na bemesting. Dergelijke gegevens kunnen erop wijzen dat genoemde soorten weinig-eisend zijn ten aanzien van nutriënten. Struikheide gaf op bemeste, afgeplagde bodems zelfs veel minder zaailingen dan wanneer niet werd bemest (Miles 1973b). Iets dergelijks vond de auteur bij het mos Campylopus flexuosus en bij korstmossen (zie ook par. 4.3). Een en ander behoeft echter geenszins te betekenen dat de genoemde soorten ook in een vegetatie een groot concurrentievermogen kunnen ontwikkelen onder voedselarmere omstandigheden. Daarvoor hangt veel af van de groeistrategie van de verschillende soorten die zich bovendien kan wijzigen in de diverse groeistadia van de plant. Een periode van drie jaar is dan ook te kort om te bepalen of een soort die zich vestigt, ook kan standhouden (Miles 1974a). Dezelfde auteur wijst erop dat de resultaten van zijn experimenten de veronderstelling steunen, dat plantesoorten met een lage relatieve groeisnelheid worden bevoordeeld onder voedselarme omstandigheden, terwijl soorten met een hoge relatieve groeisnelheid het beter doen op voedselrijke bodems. Zijn resultaten zijn echter niet geheel eenduidig.

De algemene ervaring laat zien dat b.v. enkele jaren na brand overwegende dopheidevegetaties op niet te vochtige plaatsen voor een groot deel kunnen worden vervangen door struikheide. Dat is vaak ook het geval met begroeiingen waarin pijpestrootje na brand enige tijd domineert. In beide situaties regenereert de struikheide echter voor een (groot) deel uit de oude stronk. In zaaiproeven langs rijkswegen werden aanwijzingen verkregen dat mede-inzaai van schapegras de vestiging en uiteindelijke bedekking van struikheide zelfs doet vergroten (zie ook par. 4.4). Er zijn ook berichten die duiden op het verdwijnen van struikheide door concurrentie. Miles (1973b) meent enige indicatie te hebben dat de grotere bedekking van hogere planten en mossen op bemeste, afgeplagde stukken de vestiging van bepaalde soorten bemoeilijkt, speciaal van struikheide. Aangetoond werd dat het verdwijnen van zaailingen van struikheide in de zomer in een bestaande heidevegetatie verband hield met concurrentie (Miles 1973a).

Een belangwekkende hypothese, gebaseerd op laboratoriumproeven, wordt gegeven door Robinson (1972). Hij acht het waarschijnlijk dat door de wortels van levende struikheideplanten, al dan niet in samenwerking met of uitsluitend door de mycorrhizale schimmel van struikheide, een stof wordt afgescheiden die schadelijk is voor de mycorrhiza's van andere planten. Daardoor zou de mycorrhiza waarmee struikheide onder natuurlijke omstandigheden altijd is geïnfecteerd, zijn gastheer kunnen helpen te blijven domineren (allelopathie). Het zou tevens een verklaring kunnen zijn voor de relatieve armoede aan hogere plantesoorten, waardoor heidevelden in het algemeen worden gekenmerkt. Op latere leeftijd zou wellicht minder schimmeldodende stof worden geproduceerd, waardoor zich dan ook andere soorten kunnen vestigen. Het experimenteel doden van de mycorrhiza in struikheide had tot gevolg dat de heideplanten werden aangetast door schadelijke schimmels. Andere auteurs bestempelen de theorie van Robinson als speculatie (Malajczuk & Lamont 1981).

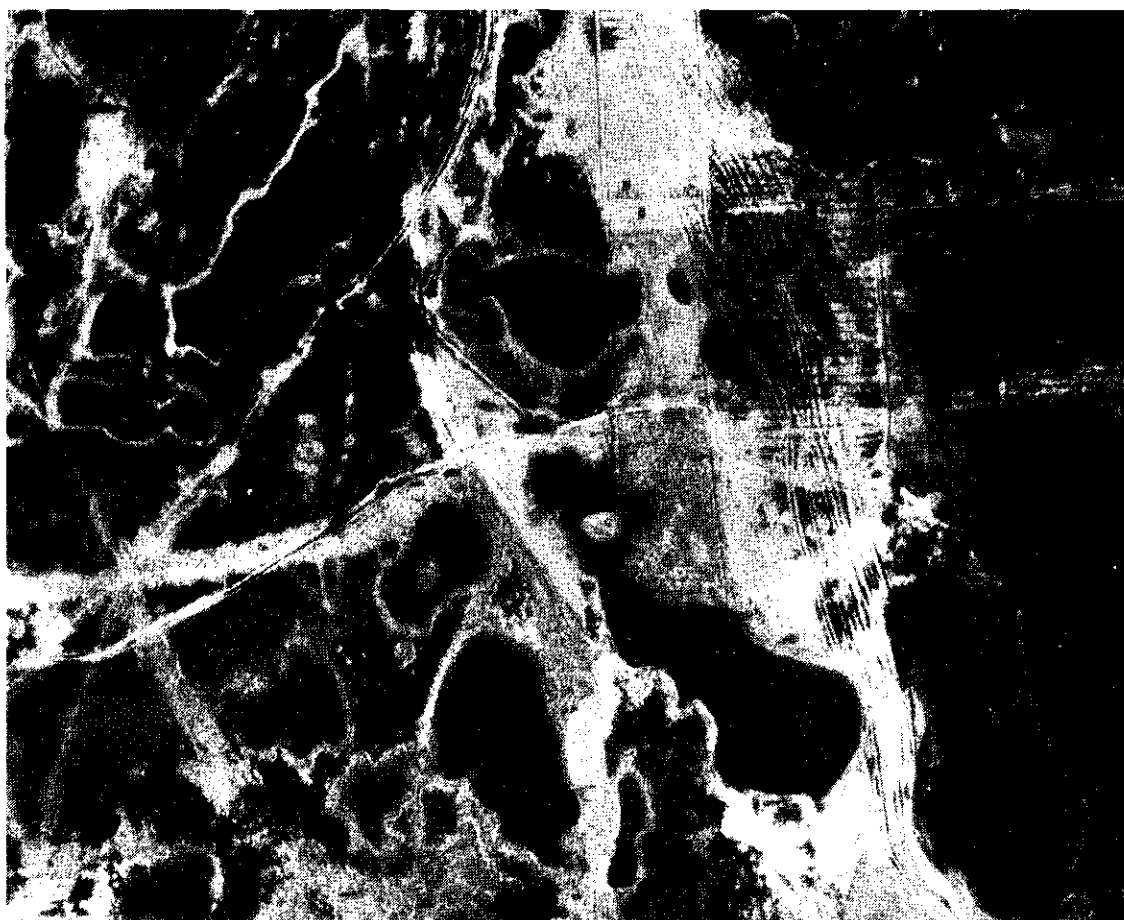


foto 4. In vele vochtige heideterreinen breidt pijpestrootje zich de laatste jaren sterk uit, veelal op plaatsen waar (zeer) lang geleden de bodem werd gestoord, o.a. door berijding. Berijding als primaire of secundaire oorzaak van verandering van kiemings- en vestigingsomstandigheden? Luchtfoto Kampinasche Heide bij Boxtel, 1981.

4 KIEMING EN VESTIGING OP OPEN GROND ZONDER STURENDE BEHEERSMAATREGELEN

4.1 Algemeen

Om te komen tot herstel van zo natuurlijk mogelijke heide- of stuifzand-vegetaties op tevoren kaalgereden of vergraven plekken, heeft men in beginsel de keuze uit verschillende mogelijkheden. In de praktijk zou men daarbij globaal twee principes kunnen onderscheiden. In het eerste geval worden inleidende maatregelen genomen als bodembewerking en in-zaai om zo snel mogelijk een vegetatie te doen vestigen (zie hoofdstuk 5). Vervolgens ontwikkelt deze vegetatie zich dan spontaan; na verloop van tijd wordt deze in beginsel integraal in het beheersregime van de omringende heide opgenomen.

Een tweede mogelijkheid is een zo spontaan mogelijke ontwikkeling vanaf het begin, waarbij deze ontwikkeling pas in een latere fase met behulp van gebruikelijke beheerstechnieken eventueel in de gewenste richting wordt gestuurd. In dit hoofdstuk zal aandacht worden geschonken aan de eerste successiestadia van zo'n spontane ontwikkeling. Voor de vestiging van heidevegetaties op (voormalige) open grond wordt vanuit natuurbeheersoogpunt vaak de voorkeur gegeven aan een dergelijke ontwikkeling. Pas dan is er sprake van een meer evenwichtige relatie tussen abiotisch en biotisch milieu, waarbij de vegetatie een afspiegeling is van (verschillen in) leemgehalte, vochtigheid, mineralenrijkdom e.d. Deze situatie is voortdurend aan veranderingen onderhevig. Veelal vinden natuurlijke veranderingen plaats in de vegetatiesamenstelling en -structuur. Dit is het gevolg van wisselwerkingen tussen de planten onderling, alsook van een wederzijdse beïnvloeding tussen de planten- en dierenwereld, bodem, klimaat e.d. Planten leveren o.a. organische stof die aan de bodem wordt toegevoegd. Omgekeerd veranderen bodemvormende processen, al dan niet onder invloed van de vegetatie, de groeiomstandigheden voor planten. De bedoelde spontane ontwikkelingen in bodem en vegetatie duidt men wel aan als bodemvorming resp. successie. Bekend is de geleidelijke vorming van podzolgronden onder heidevegetaties. Al naar gelang de mineralenrijkdom, grondwaterstand e.d. kunnen zich verschillende typen podzolgronden ontwikkelen, ieder met een corresponderende heidevegetatie. De heidevelden in het binnenland hebben hun bestaan te danken aan het eeuwenlange grondgebruik binnen het voormalige landbouwsysteem. Daarnaast komt heide wel voor als successiestadium op vastgelegd stuifzand. In beide laatste gevallen is sprake van een 'halfnatuurlijk' landschap

(secundaire heide). Hoewel de aanwezige begroeiing zich spontaan gevestigd heeft, zijn bepaalde vormen van (in)direct menselijk ingrijpen essentieel geweest, i.c. het tegengaan van bosopslag, het verschralen van de bodem en verwijdering van de z.g. A₀-horizont.

De verwachtingen die men mag hebben van de natuurlijke vegetatieontwikkelingen op verlaten zandwegen in militaire oefenterreinen, zijn slechts zeer globaal te omschrijven. Goede studies zijn wel verricht van de eerste successiestadia in vastgelegde stuifzanden, welke uitgebreid worden beschreven in Westhoff e.a. (1973). Omdat dit milieutype in sommige opzichten vaak verwant lijkt te zijn aan dat van verlaten zandwegen, zal de vegetatieontwikkeling beknopt worden besproken in de volgende paragraaf.

4.2 Vroegste successie op stuifzanden

Evenals verlaten wegen en kaalgereden plekken te midden van de heide vormt stuifzand een extreem milieutype. Vocht en mineralen zijn vaak in slechts minimale hoeveelheden aanwezig, terwijl op zonnige zomerdagen de temperatuur er tot 50° C kan oplopen. De mogelijkheden voor plantengroei zijn er dan ook beperkt. 's Nachts kan de temperatuur, zelfs midden in de zomer, dalen tot om of onder het vriespunt (Koster 1978). Pas wanneer de aan- en afvoer van zand beneden een bepaalde grens zijn gekomen, kunnen de eerste planten kiemen en zich vestigen. Waar deze grens ligt, is moeilijk te zeggen want deze hangt af van de vochtigheid van de bodem, de expositie, de voedselrijkdom e.d. De eerste soorten die in droge stuifzanden verschijnen, zijn in de regel buntgras (Corynephorus canescens), zandzegge (Carex arenaria), rood zwenkgras (Festuca rubra) en in mindere mate schapegras. Op de meestal wat vochtiger stuifzanden in het zuiden van het land kan ook pijpestrootje als pionier optreden, in het bijzonder op plaatsen met een oud profiel in de ondergrond. Alle genoemde soorten verdragen tot op zekere hoogte regelmatige overstuivingen. Is het milieu meer tot rust gekomen mede dank zij de eerste (ijle) plantengroei, dan doen diverse soorten korstmossen waaronder soms zeer zeldzame, en ruig haarmos (Polytrichum piliferum) hun intrede. In deze fase bereikt de vegetatie meestal een bedekking van bijna 100%. Als vervolgens nieuwe soorten als kruipend struisgras, heidespurrie (Spergula morisonii) en schapegras verschijnen c.q. zich uitbreiden, betekent dit tegelijkertijd de achteruitgang c.q. het verdwijnen van de eerste pioniers. Dit geldt niet voor pijpestrootje dat een veel bredere ecologische amplitude heeft. Tevens ziet men dat milieuverschillen, met name ten aanzien van de beschikbaarheid van voedingsstoffen en bodemvocht, duidelijker tot uitdrukking

gaan komen in de soortensamenstelling. Op wat voedselrijkere plaatsen kunnen namelijk bovendien soorten als vogelpootje (Ornithopus perpusillus), dwergviltkruid (Filago minima) en klein tasjeskruid (Teesdalia nudicaulis) gaan groeien. Alleen op de vochtiger plaatsen kan men nu ook de eerste exemplaren van dopheide verwachten. Struikheide heeft wat dit betreft een wat bredere range. De uitbreiding van beide heidesoorten verloopt meestal zeer geleidelijk. Intussen gaat ook de soortensamenstelling van mossen en korstmossen zich aanpassen aan de veranderende omstandigheden.

De termijn die gemoeid is met de bovenbeschreven ontwikkeling van open zand naar een min of meer gesloten heidevegetatie, varieert van plaats tot plaats. Zelfs binnen één terrein treden daarin veelal grote verschillen op, waardoor mozaïekvormige patronen in de vegetatie ontstaan. Behalve dat hierdoor diverse vegetatie-elementen lange tijd naast elkaar voortbestaan, is de afwisseling overigens van grote betekenis voor met name de entomofauna (= insecten). Zeer globaal kan men de tijd die verloopt voordat hier en daar de eerste heideplanten spontaan verschijnen, schatten in de orde van ca. tien jaar. Daarbij wordt afgegaan op de resultaten op blanco stroken van proefvelden op diep afgegraven insnijdingen langs rijkswegen (zie ook paragraaf 5.4). Van deze plaatsen, die enigszins vergelijkbaar zijn met kaalgereden of vergraven terreindelen, wordt verwacht dat ze pas na 25-40 jaar begroeid zullen zijn met een afwisselende begroeiing van struikheide, schapegras of mossen. Dit laatste is gebaseerd op ervaringen langs de rijksweg Amersfoort-Zwolle (pers. med. Verhoek, SBB). De genoemde perioden stemmen ongeveer overeen met hetgeen is waargenomen bij de luchtfotostudies van stuifzandterreinen naar aanleiding van rapport 10 in deze serie (Beije 1983, in voorb.).

Voor de floristische samenstelling van latere successiestadia, vooral afhankelijk van de bodemeigenschappen, kan worden verwezen naar Westhoff e.a. (1973), De Smidt (1981) en Rijksinstituut voor Natuurbeheer (1979).



foto 5. Het afwisselend vegetatiepatroon in de eerste fase van vastlegging van een zandverstuiving. Veranderingen voltrekken zich zeer geleidelijk.

5 EFFECTEN VAN DIVERSE BEHEERSVARIANTEN OP KIEMING EN VESTIGING

5.1 Ingrepen in het bovengrondse deel van de vegetatie

Met deze ingrepen wordt in de eerste plaats bedoeld op maaien. In heidebegroeiingen is berijden in sommige opzichten daarmee vergelijkbaar. Berijding kan heideplanten immers snel bovengronds doen afsterven, waarna de regeneratie evenals bij maaien afhankelijk is van nieuwe uitlopers uit de stronk, van 'wortelbroed' of van kiemplanten. Een verschil is dat bij berijden geen organisch materiaal wordt afgevoerd; bij maaien wordt althans een gedeelte van het terrein meestal tevens bereden. In beide gevallen blijft de strooisellaag in principe aanwezig. In het onderstaande wordt de aandacht geconcentreerd op de vestiging van kiemplanten.

In vergelijkende proeven waarbij verschillende beheersmaatregelen werden uitgevoerd, heeft Miles (1974b) het aantal kiemplanten bepaald één groeiseizoen nadat de behandeling had plaatsgevonden. Het zaad van de betrokken soorten werd kunstmatig uitgestrooid boven (een gedeelte van) de proefvelden. Van deze soorten komen bochtige smeie, gewoon struisgras (Agrostis tenuis), gewoon biggekruid (Hypochaeris radicata), gewoon brem en gaspeldoorn ook op de Nederlandse heidevelden min of meer regelmatig voor. Maaien en afvoeren van het maaisel, al dan niet vergezeld van verwijdering van de kruid- en moslaag, deed de vestiging van het aantal kiemplanten significant toenemen op de brown forest soil en op de blanket peat. Deze bodemtypen zijn vergelijkbaar met holtpodzolgronden resp. veengronden. Het was opvallend dat van een soort als bochtige smeie, waarvan steeds 200 zaden werden uitgezaaid, ten hoogste enkele planten zich na één groeiseizoen vestigden. Ook van de andere soorten bleef het aantal zaailingen meestal laag, vooral op de twee andere beproefde bodemtypen, te weten een peaty podsol site (vgl. moerige veldpodzolgronden) en een humus-iron podsol (vgl. haarpodzolgronden). Op deze gronden werden bovendien geen significante verschillen geconstateerd tussen de behandelde en de onbehandelde veldjes.

Een wellicht groter effect treedt op bij (vrij intensieve) betreding door edelherten. Miles (1973a) telde het aantal (spontane) zaailingen op door betreding ontstane open plekken in een aantal vegetatietypen, waaronder heide. Hij vergeleek deze aantallen met die in naastliggende, ongestoorde situaties. Het bleek dat op de kale stukjes veel meer zaailingen voorkwamen dan elders, en dat in het algemeen het aantal soorten

daar bovendien drie maal zo hoog was. Dit laatste gold echter niet voor heidevegetaties, waar het aantal soorten binnen en buiten de sporen ongeveer gelijk was. Opmerkelijk genoeg stond tegenover de liefst 158 zaailingen van struikheide op de open plekken geen enkel exemplaar van deze soort op de blanco opnameplaatsen. Voorts bleken veel zaailingen te verdwijnen in de tweede helft van de zomer. De gemiddelde sterfte ervan in een bestaande vegetatie was groter dan op de storingsplekken. Op de laatste plaatsen is de sterfte in de winter gemiddeld daarentegen groter, vooral op organische bodems. Op deze plaatsen waren duidelijk tekenen van opvriezen van de jonge planten. In het algemeen kon echter geen directe oorzaak voor de sterfte onder zaailingen worden aangegeven. Miles noemt vele andere auteurs die eveneens hebben opgemerkt dat zich te midden van bestaande vegetaties zeer weinig zaailingen vestigen.

5.2 Verwijdering van het vegetatiedek inclusief de bovenste bodemlagen

Hierbij kan men denken aan het plaggen van heidevelden, maar ook aan de effecten die kunnen optreden bij het schranken van rupsvoertuigen of bij het slippen van wielvoertuigen.

Verschillende onderzoekers hebben opgemerkt dat verwijdering van de strooisellaag of oppervlakkige bodemverwonding het aantal kiemplanten, o.a. van struikheide, sterk kan doen bevorderen (o.a. Chapman & Rose 1980). Dit lijkt voor wat struikheide betreft vooral verband te houden met de behoefte aan licht en constante aanwezigheid van vocht. Ook in de proeven van Miles (1974b), welke reeds werden genoemd in de vorige paragraaf, bleek verwijdering van het vegetatiedek tot en met de strooisellaag te resulteren in een verdere toename van het aantal (gezaaide) jonge planten. Het effect werd op alle vier beproefde bodemtypen geconstateerd, hoewel deze toename op de voedselarme podzolbodems niet voor alle soorten van toepassing was. De geringe reactie van de diverse behandelingen op de minst voedselhoudende grond (peaty podsol) suggereert dat het oligotrofe karakter ervan daar een grotere beperkende factor is dan de aanwezigheid van de 'standing crop' en van de strooisellaag.

De laatstgenoemde factoren lijken daarentegen wel van groot belang op de rijkere brown forest soil (vgl. holtpodzolgrond). Het feit dat op venige gronden betere vestigingsresultaten werden bereikt dan op minerale gronden, doet vermoeden dat naast het voedingsniveau ook de vochttoestand daarbij een grote rol speelt. Bij het bovenstaande moet men bedenken dat het aantal beschouwde plantesoorten beperkt bleef tot die welke kunstmatig werden uitgezaaid (zie par. 4.1). De meeste van deze

soorten komen niet van nature voor op zeer voedselarme plaatsen.

Interessant zijn nog andere proeven van Miles (1974b) met plaggen op verschillende (micro)schaal. De kieming en vestiging van spontaan aanwezige soorten werden vergelijkend bestudeerd op afgeplagde stukjes van 50 x 50 cm, 15,8 x 15,8 cm en 5 x 5 cm op een brown forest soil. Het plaggen geschiedde ondiep tot en met de zgn. F-laag van de A₀-horizont. Om ingroei van rizomen (wortelstokken) te voorkomen, werden de proefveldjes afgegrensd door aluminium strips in de grond te plaatsen. In totaal werden 18 soorten als kiemplant aangetroffen in twee achtereenvolgende groeiseizoenen. Het grootste deel daarvan komt ook op vergelijkbare plaatsen op holtpodzolgronden in Nederland voor, maar hier frequent voorkomende soorten als pijpestrootje, tandjesgras, schapegras en borstelgras ontbraken. Of deze soorten wel in de omringende vegetatie voorkwamen, wordt niet vermeld. Het resultaat van de proef was dat de grootste dichtheid van kiemplanten vrijwel steeds werd bereikt op de kleinste plagplekken. Alleen reukgras (Anthoxanthum odoratum) en pilzegge (Carex pilulifera) vertoonden geen voorkeur, terwijl gewone brem het liefst kiemde juist op de grootste plagplekken.

Wanneer de verdeling van de kiemplanten over de afzonderlijke plagplekken in beschouwing werd genomen, ontstond voor een groot deel een zelfde beeld als hierboven geschetst. Struikheide, rood zwenkgras en liggend walstro (Galium hercynicum) kwamen frequenter voor langs de randen dan in het centrum van de afgeplagde veldjes. Gewone brem vertoonde zich vaker in het centrum. De auteur vermoedt ten aanzien van de laatste soort dat de grotere wisseling van vocht en temperatuur de harde zaadhuid sneller doet verweren, waardoor de kiemrust verbroken wordt. Zaden van soorten met een geringere kiemrust kiemen kennelijk beter onder de meer gelijkmatige omstandigheden van de kleine plagplekken of langs de randen ervan.

Met betrekking tot de overleving van de kiemplanten vond Miles tegenovergestelde resultaten. Op de kleinere plagplekken met de grootste dichtheid onder het aantal kiemplanten trad juist de relatief grootste sterfte op. Als nettoresultaat bleven op de kleine veldjes zelfs veel minder kiemplanten over per oppervlakte-eenheid dan op de grotere veldjes. Dit gold voor alle soorten, behalve opnieuw voor gewone brem. Deze soort overleefde beter naarmate de veldjes kleiner waren.

Hoewel de meeste hogere planten zich dus minder goed vestigden op de kleinere plagplekken, nam het aandeel van de mossen er naar verhouding sterk toe. De kale bodem werd er dan ook sneller bedekt dan op de grotere plagplekken.

In de praktijk zijn (b.v. door berijding ontstane) kale plekken natuurlijk niet afgeschermd tegen vegetatieve uitlopers vanuit de omgeving, zoals in bovenbeschreven experimenten het geval was. Miles (1974b) heeft ook het herstel van de vegetatie op niet-afgeschermden plagplekken gevolgd, en dat vergeleken met het herstel op de afgeschermden veldjes. Zoals te verwachten, geraakten de kleine plagplekken eerder met vegetatieve spruiten bedekt dan de grotere plekken. Door de concurrentie met deze vegetatieve spruiten nam het aantal kiemplanten af, vooral op de kleinste veldjes. Ook in deze praktijksituatie was de mosbedekking na drie groeiseizoenen groter naarmate de plagplekken kleiner werden (zie ook tabel 2).

Tabel 2. Gemiddelde bedekkingspercentages drie groeiseizoenen na uitvoering van het plaggen, op plagplekken van drie verschillende grootten waarbij (a) vegetatief herstel werd toegelaten en (b) vegetatief herstel werd belemmerd door afknippen en door het inbrengen van aluminium strips aan de randen van de plagplekken (Miles 1974b).

	grootte van plagplek (cm ²)	kale grond	mos	hogere planten ontwikkeld uit vegetatieve spruiten	hogere planten ontwikkeld uit zaad
(a)	2500	34	14	20	35
(b)	2500	29	16	5	49
(a)	250	8	40	40	22
(b)	250	27	32	8	33
(a)	25	4	49	52	7
(b)	25	8	76	0,7	18

Ook in Nederland zijn de laatste jaren plagproeven gedaan, waarbij o.a. het effect wordt onderzocht van verschillende diepten tot waarop het bodemmateriaal wordt verwijderd. Globaal komen de resultaten erop neer dat oppervlakkige verwijdering van strooisel steeds een snelle regeneratie geeft door middel van kiemplanten, zowel van struikheide als van andere hogere plantesoorten uit het betrokken milieutype. Dit is vaak ook het geval als wordt uitgegaan van een voormalige heide die volledig vergrast is door pijpestrootje of bochtige smele. Wordt echter een dikkere plag verwijderd, dan ontstaat een veel ijlere vegetatie van

struikheide en (minder) van andere hogere plantesoorten. Daartussen vestigt zich op den duur een mos- en korstmosvegetatie. Het lijkt erop dat met het plaggen tot op wat grotere diepte tevens een groot deel van de zaadbank verdwijnt, terwijl b.v. op een haarpodzolgrond het meestal zeer geringe vochthoudend vermogen van het blootgelegde bodemmateriaal eveneens een beperkende factor voor de kieming vormt (Diemont e.a. 1982 in voorbereiding; Diemont, RIN pers. med.).

5.3 Bemesting

Het effect van bemesting op kieming en vestiging is relevant in dit onderzoek omdat berijding en betreding een versterkte mineralisatie van de organische stof tot gevolg kunnen hebben. De aandacht richt zich hier dan ook op situaties waarbij verwonding van o.a. de strooisellaag en 'bemesting' steeds in combinatie met elkaar optreden. Meer (nog niet gepubliceerde) informatie is beschikbaar o.a. uit uitgebreide bemestingsproeven op geplagde terreindelen door H.P.G. Helsper, KU Nijmegen.

Proeven van Miles (1973b, 1974b) tonen aan dat althans op de armste bodemtypen bemesting de totale vestiging van zaailingen bevordert. Van meer belang was echter de aard van de begeleidende handeling, d.w.z. of alleen het vegetatiedek werd verwijderd of eveneens de moslaag en eventueel bovendien de F-laag. Voorts bleken niet alle soorten positief te reageren op bemesting na plaggen. Ten aanzien van de minder voedselpreferente soorten gewone brem en gaspeldoorn werden geen significante verschillen geconstateerd. Struikheide gaf zelfs veel minder zaailingen op de bemeste dan op de onbemeste plagplekken. Soortgelijke bevindingen werden gedaan met de mossoort Campylopus flexuosus en met lichenen. De soorten die wel in grotere aantallen optraden op de bemeste plagplekken, hoorden meestal thuis in wat voedselrijkere milieus. Soms verschenen nieuwe soorten, die niet in de directe omgeving voorkwamen. Het meeste effect van bemesting trad op door de toename van bepaalde mossoorten, in het bijzonder Bryum argenteum, Ceratodon purpureus en Pohlia nutans, die elders schaars of afwezig waren. Na twee groeiseizoenen bedekten deze soorten ongeveer 90% van de oppervlakten van de plagplekken op de beide voedselarme podzolgronden (peaty podsol en humus-iron podsol) en 20-30% op de van oorsprong wat rijkere brown forest soil. Omdat de meeste van de nieuwe soorten karakteristiek zijn voor verstoorde bodems, verwacht Miles dat de meeste ervan weer snel zullen verdwijnen.

Over de reactie van bemesting met stikstof- en fosforverbindingen op mycorrhiza's, merkten Malajczuk & Lamont (1981) op dat het percentage van het wortelsysteem dat met mycorrhiza's is geïnfecteerd, daardoor afneemt. De groei van struikheide neemt bij een geringe bemesting toe, om vervolgens bij hogere giften weer af te nemen. In hoeverre hierbij oorzakelijke verbanden bestaan, is niet geheel duidelijk.

5.4 Inzaai van struikheide en/of schapegras gecombineerd met toevoer van diverse soorten organisch materiaal op min of meer 'steriele' grond

Wanneer de bodem wordt 'diepgewoeld' of een gedeelte ervan wordt afgegraven, kunnen in de dan ontstane bovengrond zaden of mycorrhiza's (vrijwel) ontbreken. De vestiging van een vegetatie kan daardoor vertraagd worden. Een dergelijke situatie treft men op militaire terreinen wel aan bij geamoveerde wegen. Ook op plaatsen waar de aanleg van rijkswegen insnijdingen hebben veroorzaakt, heeft men op de nieuw ontstane hellingen te maken met een 'steriele' bodem. De proeven die hier zijn genomen met het inzaaien van heide en schapegras, zijn derhalve interessant met betrekking tot de militaire terreinen. De resultaten, die hieronder in het kort zullen worden besproken, zijn voor een belangrijk deel neergelegd in Hoogerkamp e.a. (1975). Overigens werd in mei 1982 een oriënterend bezoek gebracht aan de twee proelokaties die zijn overgebleven van de oorspronkelijke vijf lokaties met zaaiproeven. De resterende plaatsen zijn gelegen bij Hollandse Rading langs rijksweg 27 en bij Ugchelen langs rijksweg A1. Omdat de proeven na 1975 niet meer zijn vervolgd en ter plaatse diverse beheersmaatregelen zijn uitgevoerd, is bij de interpretatie van de huidige situatie voorzichtigheid geboden.

Tien jaar na aanleg van de proeven blijken de resultaten in het algemeen nog op één lijn te liggen met die welke na drie jaar werden gepubliceerd (Hoogerkamp e.a. 1975). Toevoer van b.v. gehakselde heide, maar vooral struikheidezode, bosgrond of tuinturf hebben de vestiging van struikheide bevorderd, kennelijk in verband met de daarin aanwezige mycorrhiza's. Wellicht verklaart dit ook de betere werking van tuinturf (veen) dan tuinbouwcompost. Vergelijkbare resultaten heeft men verkregen langs de rijksweg Apeldoorn-Zwolle, waar de bovenste 20 cm van de oorspronkelijke bodem werd teruggezet op de nieuwe hellingen. Binnen ongeveer drie jaar ontstond een gesloten vegetatie van struikheide. Omtrent de bodemgesteldheid is in de genoemde gevallen weinig bekend. Ook het uitstrooien van heidemaaisel leverde goede resultaten.

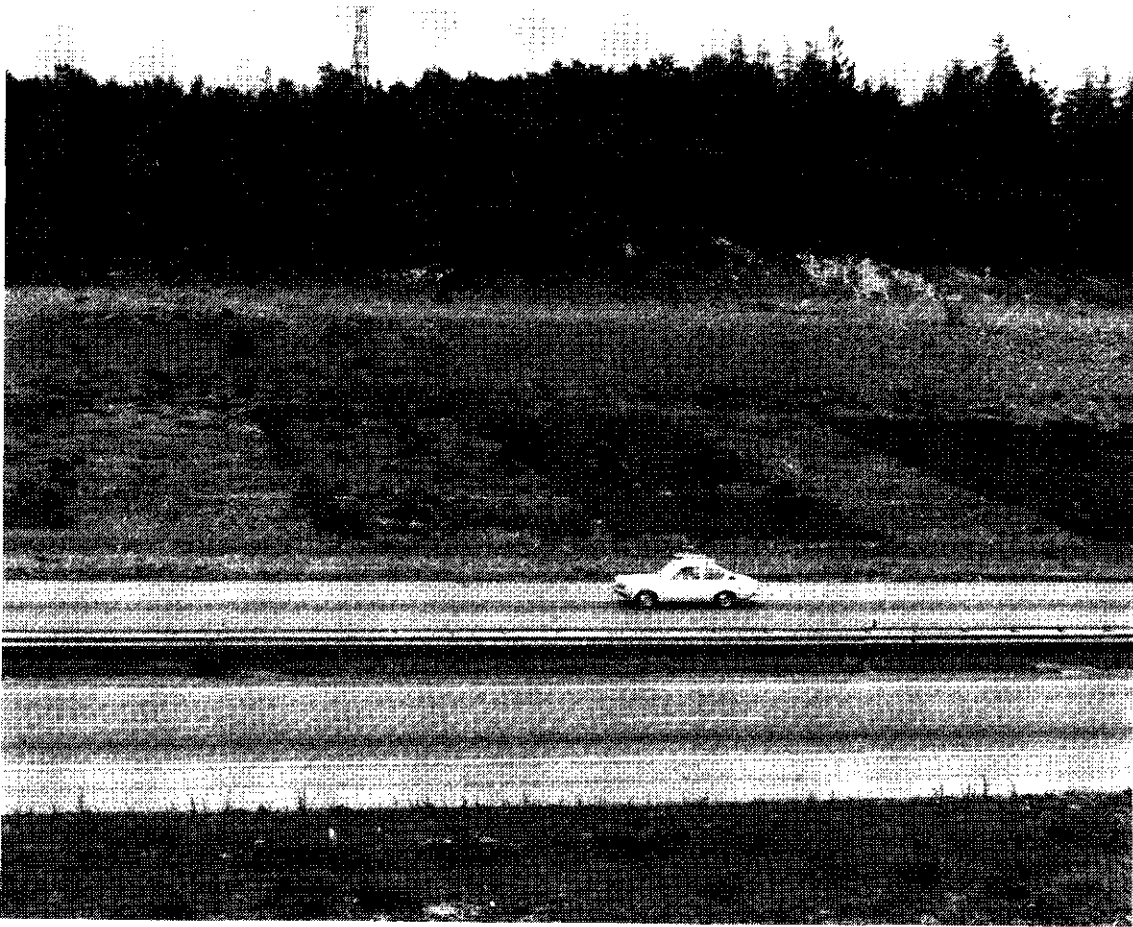


foto 6. De duidelijk verschillende resultaten van de zaaiproeven langs rijksweg A1, tien jaar na aanleg.

Verder valt het op dat het bijzaaien van schapegras in veel gevallen de vestiging van struikheide heeft versneld. Anno 1982 is meestal meer struikheide aanwezig op de plaatsen waar alleen of tevens schapegras is ingezaaid. Waar beide soorten werden ingezaaid, is zelfs meer struikheide en minder schapegras aanwezig dan op de plekken waar alleen de laatste werd ingebracht! Schapegras lijkt daarmee een geringe concurrentiekracht te bezitten ten opzichte van struikheide. Dezelfde aanwijzingen bestaan er voor dopheide. De oorzaak van de snelle kieming en vestiging van struikheide in het geval dat (ook) schapegras wordt ingezaaid, is onzeker. Het is in dit verband opmerkelijk dat de meeste kiemplanten van de breedwerpig gezaaide struikheide verschenen in de geultjes die werden achtergelaten door de zaaimachine waarmee eerder

het schapegras was gezaaid, en vreemd genoeg ook op de zuidzijde van de ontstane richeltjes (pers. med. Verhoek). Mogelijk heeft dus de verandering van het fysisch milieu door de bewerking met de zaaimachine een rol gespeeld. De lijnvormige verdeling van heideplanten is in 1982 veelal nog steeds duidelijk zichtbaar. Ook Miles (1973a) heeft waargenomen dat de microtopografie van open plekken in de vegetatie in sterke mate de dichtheid van zaailingen bepaalt.

Zoals reeds in paragraaf 4.2 werd aangeduid, verkeert de vegetatieontwikkeling op de blanco stroken tien jaar na aanleg van de proeven nog in een beginstadium. Te midden van een gesloten dek van vooral mossen, korstmossen en schapegras beginnen zich thans struikheideplanten te vestigen. Veranderingen voltrekken zich geleidelijk.

5.5 Inzaai van struikheide en/of schapegras gecombineerd met grondbewerking op verlaten wegen en kaalgereden plaatsen

Op een aantal plaatsen zijn in het verleden pogingen ondernomen om op verlaten wegen en kaalgereden plaatsen in heideterreinen weer heide te laten groeien. In dit verband kunnen proefnemingen op de Lünenburger Heide worden vermeld, alsook amoveringswerkzaamheden op een aantal Nederlandse militaire oefenterreinen. Hoewel hiervan geen gedetailleerde resultaten bekend zijn, kan wel een globale indruk worden gegeven. In rapport 4 in deze serie (Weinreich 1981) werd een en ander reeds beschreven hetgeen als volgt kan worden samengevat.

Terreindelen op de Lünenburger Heide ten zuidoosten van Hamburg werden, al naar gelang de mate van aantasting door jarenlange berijding met pantservoertuigen, vanaf 1955 op uiteenlopende wijze behandeld. Plaatsen waar het plantendek voor minder dan 20% was verdwenen en waar de bodem slechts oppervlakkig was verwond, ondergingen een tweemaalige bewerking met een eg en een sleep. Gedeelten die voor 20 tot 100% waren kaalgereden, onder gelijktijdige vermenging van de bovengrond, werden tot 10 cm diep losgemaakt en geëgaliseerd door middel van een twee- tot viermaalige bewerking met dezelfde lichte werktuigen. Bovendien werd hier per ha 20 kg van een grasmengsel van schapegras, rood zwenkgras en bochtige smeke ingezaaid. Op de meest aangetaste plaatsen werd deze hoeveelheid verhoogd tot 25 kg aangevuld met 1 kg zaad van struikheide. Tenslotte werd op voormalige rijbanen de bodem losgemaakt tot een diepte van 20 cm, geëffend en met het laatstgenoemde zaadmengsel ingezaaid. In alle gevallen had zich na 20-25 jaar een vrij gesloten heidevegetatie ontwikkeld. In verband met droogte tijdens de periode van kieming en

vestiging is de inzaai soms nog wel herhaald.

Ook op sommige Nederlandse oefenterreinen zijn in het meer recente verleden soortgelijke maatregelen uitgevoerd als hierboven beschreven (Ermelosche, Stakenberger en Elspeetsche Heide). Het betrof hier uit gebruik genomen zandwegen en terreindelen welke veelal sterk bereden waren geweest, al dan niet gepaard gaande met erosieverschijnselen. Vaak werden ingrijpende maatregelen getroffen tot herstel van het oorspronkelijke reliëf. Ingesleten plekken werden opgevuld met naar elders geërodeerd materiaal en met resterend zand uit nieuw aangelegde wegen. Daarbij is ernaar gestreefd een toplaag aan te brengen van materiaal dat rijker is aan organische stof, mede door de voormalige wegkanten gedeeltelijk over de geamoveerde delen te ploegen. Voorts werd de bodem oppervlakkig losgemaakt en ingezaaid met schapegras, in sommige gevallen ook met struikheide. In het algemeen kan thans worden geconstateerd dat met de gevoerde methode een snelle vestiging van een vegetatie is verkregen. Gedurende de eerste jaren bestaat deze hoofdzakelijk uit schapegras, dat later meestal wordt verdrongen door struikheide. Voormalige zandwegen op de Stakenberger Heide die in 1976/77 werden geamoveerd, zijn anno 1982 vaak nog als grasbanen in de hei herkenbaar. Lokaal is echter al sprake van vestiging van (veel) struikheide. Na de zeer recente amovering van de Elspeetsche Hei in 1981 komen plaatselijk nog wel veel onbegroeide delen voor, kennelijk (mede?) een gevolg van ongunstige weersomstandigheden tijdens de periode van kieming en vestiging.

5.6 Conclusies met betrekking tot effecten van diverse beheersvarianten

Op de wat voedselrijkere bodems (holtpodzolgronden) vormt vooral de aanwezige 'standing crop' en de eventuele strooisellaag een beperkende factor voor de vestiging van kiemplanten van diverse soorten. Het gaat daarbij om tekorten aan respectievelijk licht en vocht. Op de meer voedselarme bodems (haar- en de meeste veldpodzolgronden) is het bovendien een tekort aan nutriënten die vestiging van diverse plantesoorten veelal verhindert, zo er al zaad van deze soorten aanwezig is. Struik- en wellicht ook dopheide ondervinden in de praktijk echter niet vlug hinder van voedingstekorten; het tegendeel is eerder het geval. Van de weinige zaailingen die te midden van een aanwezige vegetatie ontstaan, sterven vele in de tweede helft van de zomer. Op open plekken is daarentegen de sterfte in de winter het grootst. In veldproeven ontstond op kleine plagplekken (vergelijk smalle rijsporen) een relatief grote dichtheid



foto 7. Schapegras ingezaaid op rijen, twee jaar na amovering.
Verwacht wordt dat struikheide zich binnen enkele jaren
spontaan zal vestigen.

aan kiemplanten van vele verschillende soorten. Mede als gevolg van concurrentie door uitgroeiende vegetatieve spruiten trad hier echter een zeer grote sterfte op. Op de kleine plagplekken nam de bedekking met mossen daarentegen snel toe. Hoewel op de grotere plagplekken (vergelyk brede rijsporen) minder kiemplanten ontstonden, bleven er uiteindelijk meer in leven. Mosvegetaties bereikten een minder hoge bedekking. Niet alle hogere plantesoorten reageerden als hiervoor is aangegeven. Gewone brem kiemde bij voorkeur op de grotere plagplekken en in het midden ervan, terwijl de kiemplanten juist langs de randen en in de kleinere veldjes beter overleefden.

In proeven waarbij tot verschillende diepten werd geplagd, gaf oppervlakkige verwijdering van het strooisel een snel herstel te zien van een heidevegetatie met diverse andere hogere plantesoorten. Na plaggen tot op grotere diepte bleef deze vegetatie ijler, terwijl mossen en korstmossen een relatief groot aandeel verkregen in de totale bedekking.

Heeft men te maken met een 'steriele' uitgangssituatie, d.w.z. een bodem zonder zaden en bijbehorende mycorrhiza's, dan speelt kunstmatige aanvoer van de eerste géén, van de tweede wel een grote rol in de vestiging van een heidebegroeiing. Dit laatste lijkt ook te gelden voor inzaai met schapegras, hoewel het niet duidelijk is of de bewuste grondbewerking dan wel de fysieke aanwezigheid van het gras daarbij de doorslag geeft.

Op plaatsen die in het verleden zijn geamoveerd met behulp van meer of minder rigoureuze grondbewerking en met kunstmatige inzaai van struikheide en/of schapegras heeft men na enige tijd een gesloten vegetatiedek verkregen. Na droogte werd daartoe de inzaai eventueel herhaald. Struikheide ging tenslotte meestal domineren.

6 LITERATUUR

- Aart, P.J.M. van der 1980. Plant en milieu. Populatiebiologisch onderzoek aan het geslacht Weegbree. In: Z.W.O. Jaarboek 1980.
- Bannister, P. 1964a. Stomatal responses of heath plants to water deficits J. Ecol. 52: 151-158.
- Bannister, P. 1964b. The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. I. Introduction: germination and establishment. J. Ecol. 52; 2: 423-432.
- Bannister, P. 1964c. The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. II. Field studies. J. Ecol. 52, 3: 481-498.
- Bannister, P. 1964d. The water relations of certain heath plants with reference to their ecological amplitude. III. Experimental studies: general conclusions. J. Ecol. 52, 3: 499-510.
- Bekendam, J. 1974a. Het kiemgedrag van heidezaad (*Calluna*): een laboratoriumkiemmethode en aanwijzingen voor de teelt van heideplanten in de praktijk. Rijksproefstation voor Zaadcontrole, Wageningen.
- Bekendam, J. 1974b. Het kiemgedrag van heidezaad (*Calluna*). Tijdschr. Ver. Kon. Ned. Heidemij 85, 7-8: 268-271.
- Chapman, S.B. & R.J. Rose 1980. The establishment of seedlings on low-land heaths. Ann. Rep. Inst. Terr. Ecol. 1979: 86-88.
- Chwastek, M. 1965. The effect of pH variation on *Molinia caerulea* (L.) Moench. Ekologia Polska, Seria A, XIII, 4: 39-43.
- Diemont, W.H., F.G. Blanckenborg & H. Kampf 1982. Het plaggen van heidevelden. Werkgroep afzet en verwerking van heideplaggen. In voorb.
- Gimingham, C.H. 1972. Ecology of heathlands. Chapman London enz. 226 p.
- Grime, J.P. & A.V. Curtis 1976. The interaction of drought and mineral nutrient stress in calcareous grassland. J. Ecol. 64, 3: 975-988.
- Grime, J.P., G. Mason, A.V. Curtis, J. Rodman, S.R. Band, M.A.G. Mowforth, A.M. Neal & S. Shaw 1981. A comparative study of germination characteristics in a local flora. J. Ecol. 69: 1017-1059.
- Hackett, C. 1963. Ecological aspects of the nutrition of *Deschampsia flexuosa* (L) Trin. I. The effect of aluminium, manganese and pH on germination. J. Ecol. 52, 1,3: 159-168.
- Hackett, C. 1965. Ecological aspects of the nutrition of *Deschampsia flexuosa* (L) Trin. II. The effects of Al, Ca, Fe, K, Mn, N, P and pH on the growth of seedlings and established plants. J. Ecol. 53, 2: 315-334.

- Harper, J.L., J.T. Williams & G.R. Sagar 1965. The behaviour of seeds in soil surfaces and its role in determining the establishment of plants from seed. *J. Ecol.* 53, 2: 273-286.
- Hoogerkamp, M., A.J. Valkenburg & G. Verhoek 1975. Inzaai van struikheide. *Tijdschr. Ver. Kon. Ned. Heidemij.* 86: 376-380.
- Jefferies, R.L. & A.J. Willis 1964. Studies on the calcicole-calcifuge habit. II. The influence of calcium on the growth and establishment of four species in soil and sand cultures. *J. Ecol.* 52, 3: 691-708.
- Koster, E.A. 1978. De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch-geografische studie. *Diss. Univ. A'dam*, 195 p.
- Malajczuk, N. & B.B. Lamont 1981. Specialized roots of symbiotic origin in heathlands. In: R.L. Specht (ed.). *Ecosystems of the world 9B. Heathlands and related shrublands.* Elsevier scientific publishing company, Amsterdam enz. p. 165-182.
- Miles, J. 1972. Experimental establishment of seedlings on a southern English heath. *J. Ecol.* 60: 225-234.
- Miles, J. 1973a. Early mortality and survival of self-sown seedlings in Glenfeshie, Inverness-shire. *J. Ecol.* 61: 93-98.
- Miles, J. 1973b. Natural recolonization of experimentally bared soil in Callunetum in north-east Scotland. *J. Ecol.* 61: 399-412.
- Miles, J. 1974a. Experimental establishment of new species from seed in Callunetum in north-east Scotland. *J. Ecol.* 62: 527-551.
- Miles, J. 1974b. Effects of experimental interference with stand structure on establishment of seedlings in Callunetum. *J. Ecol.* 62, 3: 675-687.
- Robinson, R.K. 1972. The production by roots of *Calluna vulgaris* of a factor inhibitory to growth of some mycorrhizal fungi. *J. Ecol.* 60: 219-224.
- Rijksinstituut voor Natuurbeheer 1979. *Natuurbeheer in Nederland; Levensgemeenschappen.* Pudoc, Wageningen, 392 p.
- Sheikh, K.H. 1970. The responses of different gas concentrations on growth in solution culture; and general conclusions. *J. Ecol.* 58, 1: 141-154.
- Stoutjesdijk, Ph. 1959. *Heaths and inland dunes of the Veluwe.* *Diss. R.U. Utrecht*, 96 p.
- Welch, D. 1967. Studies in the germination and establishment of *Juncus squarrosus*. *The New Phytologist* 66: 89-98.

- Westhoff, V., P.A. Bakker, C.G. van Leeuwen, E.E. van der Voo & I.S. Zonneveld 1973. Wilde Planten 3. Ver. tot Beh. van Natuurmonumenten, Amsterdam, 359 p.
- Woolhouse, H.W. 1981. Soil acidity, aluminium toxicity and related problems in the nutrient environment of heathlands. In: R.L. Specht (ed.), Ecosystems of the world 9B. Heathlands and related shrublands. Elsevier scientific publishing company, Amsterdam enz. p. 215-224.

Samenstelling projectgroep

ing. W.B.M. Arts	- Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
ing. J.F. Bannink	- Stichting voor Bodemkartering
ir. H.M. Beijer	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
ir. W.H. Diemont	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
mw. C.G. Korteweg	- Sectie Landbouwkundig Onderzoek TNO
ir. H. Lambermont	- Ministerie van Defensie, Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen
ir. J.C. Pape	- Stichting voor Bodemkartering
ir. U.D. Perdok	- Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen
drs. J. Wiertz	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer
ir. A.L.J. Wijnhoven	- Rijksinstituut voor Natuurbeheer (projectcoördinator)
ir. F.C. Zuidema	- Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek (voorzitter)
ir. T. Zwart	- Ministerie van Defensie, Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen

Lijst van rapporten welke tot nu toe werden vervaardigd in het kader van dit onderzoek

Eerste fase:

- rapport 1: Wiertz, J. 1980. Achtergrond, probleemstelling en voorgestelde globale studieopzet, met een uitgewerkt voorstel voor studiefase I. RIN, Leersum.
- rapport 2: Vrielink, J.G. & J.C. Pape 1981. Globale beschrijving van de bodemgesteldheid van een aantal militaire terreinen. Stiboka, Wageningen.
- rapport 3: Beijer, H.M. & L.M.F. Husson 1981. Globale beschrijving van het biotisch milieu, de cultuurhistorie en het militair gebruik van een aantal militaire terreinen. RIN, Leersum.
- rapport 4: Weinreich, J.A. 1981. Ingreep-effectrelaties tussen militaire oefeningen en het natuurlijk milieu. RIN, Leersum.
- rapport 5: Beijer, H.M. 1981. Onderzoekvoorstellen. RIN/Stiboka/IMAG/NRLO, Leersum/Wageningen.

Tweede fase:

- rapport 6: Beijer, H.M. 1981. Isolatie-effecten als gevolg van wegen en zandbanen. RIN, Leersum.
- rapport 7: Beijer, H.M. 1981. Kieming en vestiging van plantesoorten uit heidemilieus. RIN, Leersum.

Naar bovenvermelde rapporten kan als volgt verwezen worden (b.v. rapport 1):

Wiertz, J. 1980. Onderzoek naar de effecten van militaire oefeningen op bodem, vegetatie en fauna. 1. Achtergrond, probleemstelling en voorgestelde globale studieopzet, met een uitgewerkt voorstel voor studiefase I. RIN, Leersum.