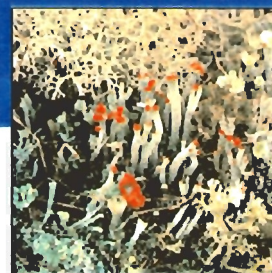
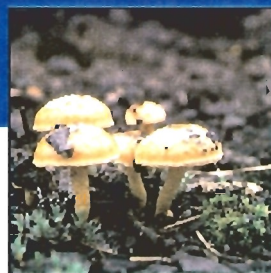


Effecten van brand in bos op arme zandgronden

M. Meijer zu Schlochtern
H.G.J.M. Koop



Alterra-rapport 160, ISSN 1566-7197

Effecten van brand in bos op arme zandgronden

Effecten van brand in bos op arme zandgronden

M. Meijer zu Schlochtern
H.G.J.M. Koop

Alterra-rapport 160

Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte, Wageningen, 2000

REFERAAT

Meijer zu Schlochtern, M., H.G.J.M. Koop, 2000. *Effecten van brand in bos op arme zandgronden*. Wageningen, Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte. Alterra-rapport 160. 94 blz. 12 fig.; 3 tab.; 41 ref.

Het rapport doet verslag van een onderzoek naar de directe en indirecte effecten van brand in bos op arme zandgronden. Voor de directe effecten is op een brandvlakte nabij Kootwijk kort na de brand in kaart gebracht waar grond-, loop- of kronenvuur heeft gewoed. Er is een relatie gelegd met de bosstructuur en het ontstaan van de verschillende soorten brand.

Er is tevens een relatie gelegd tussen de vijf verschillende intensiteiten, die op basis van vlamhoogte zijn onderscheiden, en de overleving van de bomen en struiken in verschillende hoogteklassen. De indirecte effecten zijn onderzocht door vegetatie te onderzoeken op brandvlaktes van verschillende ouderdom.

Deze vegetatieontwikkeling laat zien dat na een korte periode van verrijking, een verarming van nutriënten te zien is. Pioniersoorten koloniseren de brandvlaktes waarbij groundbewonende korstmossen weer veelvuldig aanwezig zijn.

Trefwoorden: brand, brandpatronen, brandintensiteit, landschapsvormende processen, mycoflora, overleving, vegetatieontwikkeling

Keywords: Fire, fire behavior, fire intensity, survival, vegetation response, mycoflora.

ISSN 1566-7197

Dit rapport kunt u bestellen door NLG 49,00 over te maken op banknummer 36 70 54 612 ten name van Alterra, Wageningen, onder vermelding van Alterra-rapport 160. Dit bedrag is inclusief BTW en verzendkosten.

Foto's omslag: M. Meijer zu Schlochtern

Achtergrond: Bosbrand in Finland

Inzet: 1 Verbrande jeneverbessen in Kootwijk

2 Brandplekbundelzwam

3 Korstmossen

© 2000 Alterra, Research Instituut voor de Groene Ruimte,

Postbus 47, NL-6700 AA Wageningen.

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: postkamer@alterra.wag-ur.nl

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

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

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

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
Summary	11
1 Inleiding	13
1.1 Achtergrond	13
1.2 Probleemveld	15
1.3 Doelstelling en hypothesen	17
1.4 Onderzoeksvragen	17
2 Materiaal en methoden	19
2.1 Algemeen	19
2.2 Onderzoeksgebieden	19
2.2.1 Brandvlakte Kootwijk	20
2.2.2 Brandvlakte Strocërzand	20
2.2.3 Brandvlakte Oldebroek	21
2.3 Directe effecten van de brand bij Kootwijk	22
2.4 Vegetatieontwikkeling na brand	24
2.5 Verwerking	26
2.5.1 Directe effecten van brand	26
2.5.2 Vegetatieontwikkeling na brand	27
2.5.3 Vergelijking met successie in Boreale bossen	28
3 Resultaten	29
3.1 Directe effecten van brand (inventarisaties na de brand bij Kootwijk)	29
3.1.1 Terreinkenmerken en brandpatronen	29
3.1.2 Invloed van de bosstructuur op het brandpatroon	30
3.1.3 Invloed van brandintensiteit op de overleving van houtige gewassen	30
3.1.4 Stratificatie voor toekomstige monitoring	38
3.2 Vegetatieontwikkeling na brand	38
3.2.1 Classificatie	38
3.2.2 Ordinatie	40
3.2.3 Verandering in beschikbaar stikstof en zuurgraad	43
3.2.4 Herkolonisatie op brandvlaktes	47
3.2.5 Mycoflora op brandvlaktes	47
3.2.6 Fauna op brandvlaktes	50
4 Discussie	51
4.1 Inhoudelijke discussie	51
4.1.1 Brandpatronen en -intensiteit in relatie tot terreinkenmerken	51
4.1.2 Invloed van de bosstructuur op het verloop van de brand	53
4.1.3 Overleving van de vegetatie	53

4.1.4	Vegetatie ontwikkeling	55
4.1.5	Verwachte ontwikkeling op brandvlakte Kootwijk	60
4.1.6	Vergelijking met Boreale situatie	62
4.2	Methodologische discussie	63
4.2.1	Directe effecten van brand	63
4.2.2	Vegetatieontwikkeling na brand	63
5	Conclusies	65
	Literatuur	67
	<i>Aanhangsels</i>	
	I t/m VII	73-93

Woord vooraf

In dit rapport worden de resultaten van onderzoek naar de effecten van brand in bossen op arme zandgronden gepresenteerd. De brand bij Kootwijk in 1995 was een unieke kans om de invloed van brand, een in Nederland zeldzame gebeurtenis, in de tijd te volgen. Dit verslag beschrijft de vegetatie in het eerste jaar na de brand van Kootwijk. Daarnaast is op andere, oudere, brandvlaktes vergelijkend onderzoek gedaan. Dit maakt het mogelijk in te zien wat er in de loop der tijd kan gebeuren in gebieden die door een brand verwoest zijn. Dit kan als basis dienen voor voorspellingen over de invloed van brand op de vegetatie.

Het onderzoek is deels uitgevoerd in het kader van het project Landschapsvormende Processen. In dit project is de invloed van grootschalige ecologische factoren op de vorming van het landschap onderzocht, waar brand er één van is, met als doel meer inzicht te krijgen in de invloed van grootschalige processen op de (bio)diversiteit van boslandschappen

Veel dank is verschuldigd aan de mensen van Staatsbosbeheer en Defensie met name dhr. F. Klein Lebbink resp. dhr. F.G.M. Borgonje die toestemming hebben verleend om dit onderzoek op hun terreinen uit te laten voeren.

Samenvatting

In het bos- en natuurbeheer staan reeds een aantal jaren de natuurlijke processen die plaatsvinden in (bos)gemeenschappen in de belangstelling. In toenemende mate is er aandacht voor bosbrand als storingsfactor. Door preventieve maatregelen is brand echter geen natuurlijke factor meer in onze bossen. Er is al veel onderzoek gedaan naar brand en de gevolgen daarvan op de vegetatieontwikkeling. Deze onderzoeken hebben veelal betrekking op Boreale bossen, waarin brand een belangrijk onderdeel is in het ecosysteem die zorgt voor een gevarieerde bosstructuur en soorten-samenstelling.

Als gevolg van successie en eutrofiëring ontstaan dikke humusprofielen in de oorspronkelijk voedselarme dennenbossen van Nederland. Deze ontwikkeling zorgt voor een afname in oppervlak van de voedselarme dennenbosgemeenschappen (korstmossen-dennenbos, kussentjesmos-dennenbos en kraaiheidendennenbos). De humusprofielen zorgen voor een afname van de diversiteit en vergroten de brandgevoeligheid van deze bossen. Brand zou op die manier kunnen bijdragen tot instandhouding van voedselarme bosgemeenschappen omdat de totale hoeveelheid vastgelegde stikstof vervluchtigt tijdens de brand, of uitspoelt na de brand.

In augustus 1995 heeft een brand gewoed in natuurgebied nabij Kootwijk waarbij ongeveer 100 ha is verbrand. Dit vormde de aanleiding voor het IBN-DI.O en het SC-DI.O om een onderzoek te starten naar de effecten van brand in bos op arme zandgronden. In het kader van een afstudeervak bosocologie is de eerste fase van dit onderzoek uitgevoerd in 1996. Het doel van het dit onderzoek was een bijdrage te leveren aan de kennis van en inzicht in de effecten van brand in bossen op arme zandgronden.

In dit onderzoek is een analyse gemaakt van de directe en de lange termijn effecten van brand.

De directe effecten zijn onderzocht op de brandvlakte nabij Kootwijk. Hiervoor zijn brandpatronen en de patronen van brandintensiteit-bepalende kenmerken in kaart gebracht, dit om toekomstig monitoren door het Alterra mogelijk te maken. De brand nabij Kootwijk had voornamelijk het karakter van een grondvuur, waarbij het dikke humuspakket vaak tot op het minerale zand is verbrand. Op plaatsen zonder bos heeft een loopvuur pleksgewijs de vegetatie verbrand. Op enkele plekken is ook kronenvuur ontstaan. De bosstructuur was van invloed op het brandpatroon. In uitgestoven laagten met aangeplant bos, dat niet hoger dan 11 m was en een hoge sluitingsgraad had, kon het grondvuur zich tot een kronenvuur met hoge intensiteiten ontwikkelen. Op de landduinen kon geen kronenvuur ontstaan omdat de bomen hier gemiddeld hoger zijn. De open bosstructuur van het spontaan opgeslagen (vliegdenen) bos heeft er niet toe bijgedragen dat delen van het bos gespaard zijn gebleven. Er was geen relatie tussen de aanwezigheid van een struiklaag en het ontstaan van een kronenvuur.

Op basis van vlamhoogte zijn verschillende intensiteiten onderscheiden. De struiklaag was het meest gevoelig voor brand; bij een lichte intensiteit sterft deze laag al af. Bij bomen vanaf 11 m hoogte was de overleving bij een lichte intensiteit (vlammen < 1m) 75-100%. Een intensiteit waarbij vlammen tot 1 m hoogte kwamen (intensiteit II) was fataal voor bomen tot en met 5 m en beïnvloedde bomen tot 15 m hoogte. Hogere bomen stierven af bij intensiteiten waarbij de vlammen tot 3 m of hoger kwamen.

Voor de effecten van brand op de lange termijn (1-26 jaar) is naar de ontwikkeling van de vegetatie op brandvlaktes van verschillende leeftijden gekeken. Er zijn in totaal 92 opnamen gemaakt, waarvan 58 op de brandvlaktes en 34 buiten de brandvlaktes in aangrenzende opstanden (referentie). Uit de opnamen blijkt dat brand na verloop van tijd zorgt voor verarming van de bodem op de arme zandgronden waardoor korstmossen weer terugkomen.

Direct na brand wordt het gebied gekoloniseerd door mossen en kruiden die profiteren van hoge gehalten aan beschikbare stikstof. Hierbij raken de noordhellingen het eerst begroeid. Als de stikstof uit het systeem verdwijnt en de zuurgraad daalt koloniseren pioniersoorten van de Buntgras-associatie het gebied. Deze blijven het langst aanwezig op de zuidhellingen. Hierbij zijn grondbewonende korstmossen die minerale grond prefereren ook veelvuldig aanwezig. Daar waar verjonging van houtige gewassen (Grove den, Berk) plaatsvindt neemt Bochtige smele onder deze verjonging weer in bedekking toe en verdringt daarbij de vegetatie met korstmossen. De ontwikkelingen in vegetatie na brand zijn deels vergelijkbaar met de Boreale successiereksen na brand. Ook in Boreale bossen is na 20-30 jaar een piek in de bedekking met korstmossen te zien. De soortensamenstelling is echter verschillend.

Ook de mycoflora is in dit onderzoek bekeken. Deze reageert snel na brand en vertoont een hoge diversiteit. Vele zeldzame en bedreigde paddestoelen reageren uitbundig na brand.

Door middel van transecttekeningen is de herkolonisatie van de Grove den en Berk onderzocht. Als de weersomstandigheden gunstig zijn (nat) dan zal op de noordhellingen of aan de rand van de brandvlakte verjonging van Grove den het eerste een kans krijgen. De zuidhellingen werden na 26 jaar nog gedomineerd door pioniersoorten van het *Spergulo-Corynephorum*.

Summary

In this research both the short term and long term effects of fire on forest vegetation were analysed. Short term impacts on survival of the vegetation was measured in Kootwijk. Long term effects on vegetation development were measured in Stroeërzand and Oldebroek.

In Kootwijk a 100 ha study site that burned in 1995 was analysed. Fire patterns and characteristics of the terrain were mapped on aerial photographs.

The fire near Kootwijk was mainly a ground fire and burned most of the humus and litter layer. In the non-forested areas the fire had the characteristic of a surface fire. Not all vegetation was burned in the open areas.

Forest structure did influence the behaviour of the fire. A crown fire could develop in places with a high canopy closure, and a tree height less than 11 m. This happened in the lower parts of the area and not in the forest on the sand dunes. In the forest on top of the sand dunes, the trees are on average much higher and were not sensitive for crown fire. There was no relation between the existence of a shrub layer and the development of a crown fire.

In Kootwijk different fire intensities were observed based on flame height. In relation with the survival the following was discovered. The shrub layer did not survive any fire intensity. Trees above 11 m survived for 75-100% if the flamelength was less than 1 m (intensity 1). Flames of more than 1 m (intensity 2) killed most of the trees between 5 and 10 m. Flames which reached 3 m (intensity 4) and higher (intensity 5) killed also the highest trees.

For long term effects in total 92 vegetation relevées were made of which 58 were made on the former fire sites and 34 in the surroundings of the site.

Immediately after fire the area is colonised by mosses and herbs who profit of the higher nitrogen availability. At first hill sides with a northern exposure were colonised. When the nitrogen availability drops and the acidity increases species of the *Corynephorus canescens* association develop. That association stays for a long time on southern slopes.

If forest succession progresses and the canopy closes, *Deschampsia flexuosa* increases in coverage and replaces the lichens.

The succession in mycoflora is much faster than in vegetation and with a high diversity. Many rare and threatened species react excessively in the first few years after fire.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

In Nederland staan in het bos- en natuurbeheer reeds een aantal jaren de natuurlijke processen in (bos)gemeenschappen in de belangstelling. In toenemende mate is er in het buitenland aandacht voor brand als verstoringsfactor. In Canada, de Verenigde Staten en in Scandinavië is in de laatste decennia bosbrand altijd bestreden. Maar herintroductie van brand in verschillende natuurgebieden staat weer ter discussie en wordt op experimentele schaal al toegepast (Schimmel 1993, Zackrisson 1996, Engelman 1987, Parviainen 1996).

De directe aanleiding voor dit onderzoek was een bosbrand nabij Kootwijk in augustus 1995 in een natuurgebied gelegen op arme zandgrond. Staatsbosbeheer besloot het gebied met rust te laten om zo te kijken hoe het gebied zich gaat ontwikkelen.

Brand in natuurlijke (Boreale) ecosystemen

Natuurlijke boscystemen worden regelmatig getroffen door verstoringen als brand, storm en insectenplagen. Runkle (1985) noemt voor boscystemen een jaarlijkse verstering van 0,5 - 2%. Brand als gevolg van blikseminslag was in vroeger tijden de belangrijkste oorzaak van bosbranden. Al vroeg gebruikte de mens brand voor allerlei doeleinden: voor de jacht, voor grazen van vee (schapenteelt in Nederland), omzetten van bos in landbouwgrond, verwijderen van kapafval, stimuleren van verjonging, beheersen van ongewenste of sterk concurrerende soorten (Kozłowski & Ahlgren 1974, Van Busschbach 1950). Nederland ligt buiten de Boreale zone en de arme dennenbosgemeenschappen zijn hier de meest Boreaal getinte bosgemeenschappen. In de Boreale zone zoals in Canada en het Aziatische gedeelte van Rusland alleen al brandt jaarlijks 2-3 miljoen hectare bos af (Hannellius & Kuusela, 1995).

De frequentie waarmee het bos afbrandt is verschillend. Hannellius & Kuusela (1995) noemen voor Finland, voordat er sprake was van brandpreventie, een interval van 50-100 jaar op arme zandgronden en een interval van 200-300 jaar op de rijkere gronden. Ook Zackrisson (1977) noemt voor de arme zandgronden van Noord-zweden een gemiddelde van 80 jaar, waarbij de arme zandgronden gemiddeld eens in de 52 jaar branden en de bossen op moraine gronden gemiddeld eens in de 122 jaar.

Tabel 1.1 Verbrand oppervlak per 1000 ha bos en gemiddelde oppervlakte per brand. De gemiddelde waarden hebben betrekking op de jaren 1983 t/m 1995 (Bron: Marchetti & Romoli, 1997).

	Verbrand oppervlak per 1000 ha bos	Gemiddelde oppervlakte per brand (ha)
België	0,16	1,53
Duitsland	0,12	0,72
Finland	0,02	0,83
Frankrijk	2,11	6,64
Griekenland	8,62	32,04
Groot Brittannië	0,17	1,14
Italië	15,37	11,78
Nederland	0,58	2,14
Noorwegen	0,07	1,14
Polen	0,64	1,25
Portugal	30,7	9,38
Spanje	16,4	19,08

* Deze gegevens hebben betrekking op bos- en natuurterreinen, bosbranden beslaan ongeveer 20% van het totaal verbrand oppervlak (Anoniem, 1993).

Van nature vormt de Fijnspar (*Picea abies*) in Boreale bossen de climaxvegetatie op deze rijkere gronden. Op de arme zandgronden is door het frequenter optreden van brand de Grove den de soort die domineert in de climax omdat de Fijnspar met zijn dunne bast en oppervlakkige wortelstelsel erg gevoelig is voor brand. Maar als gevolg van preventieve maatregelen tegen brand gaat de Fijnspar op deze allerarmste gronden ook domineren (Kozłowski & Ahlgren, 1974; Hannelius & Kuusela, 1995; Zackrisson, 1977).

In tabel 1.1 is te zien wat jaarlijks in Nederland en een aantal ons omringende landen brandt.

Van de Werf (1991) onderscheidt in de bossen op zeer arme gronden drie bosgemeenschappen: het Korstmossen-Dennenbos, het Kussentjesmos-Dennenbos en het Kraaihei-Dennenbos. Deze bosgemeenschappen komen voor op zeer voedselarm en meestal droog stuifzand en in kalkarme kustduinen. Door de huidige depositie van stikstof loopt de oppervlakte van deze bosgemeenschappen terug. Er treedt een verschuiving op naar de PNV Berken-Zomereikenbos. Koop & Van der Werf (1995) geven aan dat de bosgemeenschappen in principe vervangbaar zijn en de ontwikkelingsduur relatief kort is.

Het Korstmossen-Dennenbos is het armste bostype en komt vooral voor in uitgestoven laagten of op zuidhellingen van geëxponeerde zeeduinen. De bosgemeenschap komt meestal niet over aaneengesloten oppervlakten voor, maar als onderdeel van een complex van andere Dennenbosgemeenschappen of met Berken-Zomereikenbos. Het bos is zeer soortenarm en in de typische vorm wordt het aspect bepaald door korstmossen van open stuifzandbegroeiingen ("lichenensteppen") (Van der Werf, 1991). Dit bostype herbergt samen met de andere arme Dennenbosgemeenschappen het hoogste aantal soorten en vruchtlichamen van mycorrhiza-paddestoelen. Het Korstmossen-Dennenbos heeft echter ook een aantal specifieke paddestoelen die allemaal op de Rode Lijst staan als bedreigd, sterk bedreigd, of uitgestorven (Arnolds, 1994).

1.2 Probleemveld

In Nederland gaat veel aandacht uit naar de eutrofiëring en verzuring van natuurgebieden door atmosferische depositie. Deze processen hebben de grootste effecten op de droge voedselarme bodems. De afgelopen decennia is de ondergroei in de naaldbossen aan sterke veranderingen onderhevig geweest (De Vries, 1982; Van Dobben et al., 1994). Deze veranderingen zijn toe te schrijven aan de successie in deze nog jonge bossen en de verhoogde atmosferische depositie van stikstofverbindingen. De successie van de voedselarme dennenbossen wordt versneld. Kaal zand groeit sneller dicht en wordt uiteindelijk bos waarin de Grove den domineert (Pianta, 1986; Prach, 1989). Figuur 1 toont hoe deze successie verloopt in natuurlijke situaties. Door de atmosferische depositie wordt de fase met Bochtige smele eerder bereikt en duurt deze langer omdat dit gras profiteert van de eutrofiëring (Pianta, pers. med.)

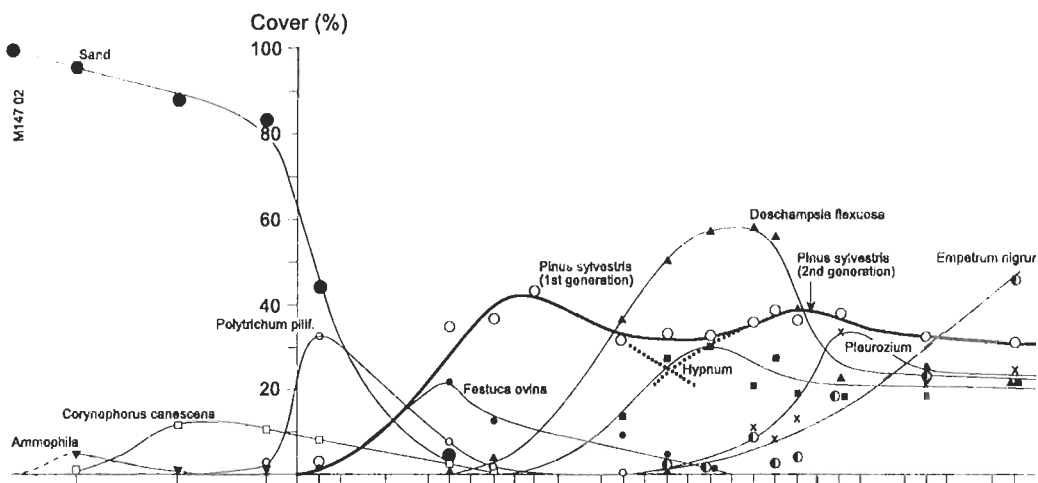


Fig. 1.1 Verandering van dominante soorten in de successie van bossen op arme zandgronden (uit: Prach, 1989).

Tengevolge van deze hoge stikstofdepositie neemt de groei van bomen en daarmee de strooiselproductie toe. Een deel van deze stikstof accumuleert in de strooisellaag en de strooiselafbraak wordt geremd (zie fig. 2.3 voor de verschillende soorten humusprofielen). Maatregelen om de oude voedselarme situatie te herstellen zijn pluggen, strooiselafvoer, maaien/afzetten met afvoer van bodemvegetatie, begrazing en branden (Klap en Schmidt, 1992). Branden zou ook kunnen bijdragen tot instandhouding van voedselarme bosgemeenschappen (Koop & Van der Werf, 1995) omdat de totale hoeveelheid opgeslagen stikstof vervluchtigt tijdens de brand, of uitspoelt na de brand (Viro 1974, Kutiel et al., 1990).

Brand wordt in de Verenigde Staten ook wel gebruikt als preventieve maatregel. Hoe ouder het bos wordt hoe groter de hoeveelheid geaccumuleerd dood materiaal op de bosbodem; de zogenaamde 'fuel load'. Hoe groter deze fuel load wordt hoe groter de

kans is op een oncontroleerbare brand waarbij ook kronenvuren ontstaan. Om dit te voorkomen wordt regelmatig de bosbodem verbrand zodat er geen grote accumulatie plaatsvindt. Het probleem van accumulatie van brandbaar materiaal speelt zeker ook in Nederland en daarom is het belangrijk inzicht te verkrijgen in het brandgedrag in de Nederlandse bossen.

Er is in het verleden al veel onderzoek gedaan naar brand en de gevolgen daarvan op de vegetatieontwikkeling. Deze onderzoeken hebben veelal betrekking op Boreale bossen waarin brand een belangrijk onderdeel is in het ecosysteem en die er voor zorgt dat er een gevarieerde bosstructuur en soortensamenstelling ontstaat (Kozłowski & Ahlgren 1974; Zackrisson 1977). Een aantal organismen is afhankelijk van branden omdat ze aangepast zijn aan brand. Voor diverse soorten schimmels en zaden van bomen en kruiden bijvoorbeeld geldt dat ze hoge temperaturen of minerale grond nodig hebben om te ontkiemen. Bepaalde soorten schimmels zijn afhankelijk van brand voor de kieming of van de effecten van die brand (verhoogde pH bv.) (Petersen 1970). Dit zijn veelal achteruitgaande of bedreigde organismen. Naast een successie in vegetatie is er ook een successie in mycoflora op brandvlaktes waar te nemen. Deze successie start al na enkele weken (Tjallingii-Beukers 1972; Wicklow 1988; Petersen 1970). Er is ook een relatie te leggen tussen de ontwikkeling van de mycoflora en de overige vegetatie (Wicklow, 1988).

Wat de effecten van brand voor de Nederlandse situatie zijn is onbekend. De bossen op de arme zandgronden zijn grotendeels begin deze eeuw ingeplant met voornamelijk Grove den of zijn door spontane vestiging van Grove dennen ontstaan. Deze bossen zijn jong en de natuurlijke dynamiek in deze bossen is nog onbekend. Onderzoek naar brand in deze bossen heeft zich altijd geconcentreerd op de preventie en bestrijding van bosbranden. Hoe brand zich gedraagt in deze bossen en wat de gevolgen zijn voor de verjonging en samenstelling, structuur van het bos etc. is niet bekend, terwijl deze bossen zelfs onder de huidige preventieve maatregelen geregeld branden.

In Noord-Amerika en Scandinavië speelt brand als natuurlijke factor in de dennenbossen een rol en het is daarom niet uit te sluiten dat brand in onze naaldbossen op arme zandgronden ook een rol zou spelen in de bosdynamiek. Wat de effecten van branden zijn en wat de frequentie hiervan is, is niet bekend.

In de Boreale zone zorgt het regelmatig terugkeren van brand in de dennenbossen op de arme zandgronden voor het in stand houden van het door korstmossen gedomineerde dennenbos (Engelmark 1987, Ahti 1977, Zackrisson 1977). Brand zou echter in Nederland ook bij kunnen dragen aan duurzame instandhouding van het PNV-type (Koop & Van der Werf, 1995).

Over de natuurlijke frequentie van branden op de arme zandgronden is niets bekend. Koster (1978) spreekt van veelvuldig branden op de arme zandgronden in het verleden, dus ook hier heeft brand een rol gespeeld in ecosystemen van de arme zandgronden, zij het dat de oorzaak waarschijnlijk menselijk was.

Sinds het begin van deze eeuw wordt er een bosbrandstatistiek bijgehouden waarin alle bos en heidebranden worden geregistreerd. Tevens worden hierin de oppervlaktes en oorzaken van de branden opgenomen. De belangrijkste oorzaak van branden is menselijk handelen in tegenstelling tot de Boreale bossen waar bliksem een belangrijke oorzaak is. Stoffels (1940) noemt voor de periode 1926-1935 bliksem voor 1,4% verantwoordelijk voor bosbranden. In Boreale ecosystemen ligt dit percentage vele malen hoger (cf. Johnson 1992).

Bij onderzoek naar brand en zijn effecten stuit men op de complexe relatie tussen brand en de omgeving waarin die brand plaatsvindt. Verschillende ecologische gevolgen, vaak gekenmerkt door een grote heterogeniteit, zijn vaak terug te voeren op verschillende soorten brandgedrag (Schimmel, 1993). Daarom is het van belang om naast de effecten van brand op de lange termijn ook te kijken naar het gedrag van brand en de directe effecten van brand op het ecosysteem omdat die de uitgangspositie voor de toekomstige ontwikkelingen zullen vormen.

Begin 1996 zijn de bossen veelvuldig in het nieuws geweest vanwege de vele branden die er woedden in natuurgebieden. Dit is een gevolg van langdurige droogte die er toen heerste, die door mogelijke klimaatveranderingen verder toe kan gaan nemen en daarbij de kans op bosbranden zal vergroten. Hoog tijd om eens naar de ecologische gevolgen van bosbranden in de Nederlandse situatie te gaan kijken.

1.3 Doelstelling en hypothesen

Het doel van het dit onderzoek is een bijdrage te leveren aan de kennis van en inzicht in de effecten van brand in bossen op arme zandgronden.

Hierbij zullen een aantal hypothesen getoetst worden:

- I. *De bosstructuur, de verschillende terreinkenmerken (zie §2.3) en de intensiteit van de brand zijn van invloed op de soort brand (loop-, grond- of kronenvuur).*
- II. *De intensiteit van de brand bij Kootwijk was verschillend. Op sommige plekken is de bodem tot op het stuifzand verbrand waar op andere plekken de humuslaag en soms zelfs een gedeelte van de fermentatielaag nog intact is. Dit heeft tot gevolg dat er een grote variatie in vegetatie zal optreden.*
- III. *Brand zal de vegetatie verarmen en zo bijdragen tot het in stand houden van de extreem voedselarme dennenbos-gemeenschappen.*

1.4 Onderzoeksvragen

Om de hypothesen te toetsen zullen de volgende onderzoeksvragen met betrekking tot de directe effecten van brand beantwoord worden:

1. *Wat zijn de brandpatronen (loop-, grond- en kronenvuur) en hoe hangen deze samen met brandintensiteit-bepalende terreinkenmerken en bosstructuur van de brand bij Kootwijk?*

2. Wat is de invloed van de brand bij Kootwijk op de overleving van de aanwezige vegetatie?

Hypothese III heeft betrekking op de lange termijn effecten van brand. Vragen om deze hypothese te kunnen toetsen zijn:

3. Hoe ontwikkelt de vegetatie (hogere planten, mossen en korstmossen, (paddestoelen)) zich in de jaren na de brand?
4. Wat is de snelheid van herkolonisatie door bomen in de verschillende geomorfologische eenheden in de jaren na de brand?
5. Zijn er overeenkomsten in de ontwikkelingen na brand in de Nederlandse stuifzandbossen en in de Boreale bossen.

2 Materiaal en methoden

2.1 Algemeen

De effecten van brand worden beschouwd als het gezamenlijke resultaat van 1. de directe effecten van brand op de abiotische en biotische factoren (zoals verandering in nutriëntenhuishouding, sterfte in populaties) en 2. effecten op langere termijn (Muraro, 1971, volgens Alexander, 1982).

In dit onderzoek is een analyse gemaakt van de directe effecten van brand door onderzoek op brandvlakte Kootwijk. Hiervoor zijn op deze brandvlakte brandpatronen en de patronen van brandintensiteit-bepalende kenmerken in kaart gebracht (§ 2.3), dit om toekomstige monitoring mogelijk te maken.

Voor de effecten van brand op de lange termijn (1-26 jaar) is naar de ontwikkeling van de vegetatie op brandvlaktes van verschillende leeftijden gekeken (§ 2.4). Tot slot wordt in § 2.6 beschreven hoe en met welke programma's de data zijn verwerkt. Maar eerst zullen de bezochte gebieden besproken worden (§ 2.2).

2.2 Onderzoeksgebieden

De onderzochte gebieden liggen alle in het midden van Nederland, op de Veluwe (fig. 2.1). De gebieden worden gekenmerkt door een zeeklimaat met een jaarlijkse neerslag van 750-800 mm en een gemiddelde jaartemperatuur van 9-9,5 °C. De bodems behoren allemaal tot de duinvaaggronden (Wolters-Noordhof, 1981). Dit zijn vaak jonge gronden waarvan de horizonten zwak of onduidelijk zijn ontwikkeld.



Figuur 2.1 De ligging van de onderzochte gebieden (●).

2.2.1 Brandvlakte Kootwijk

Geschiedenis

Op 11 augustus 1995 ontstond in de zuidberm van de A1 (Amersfoort-Apeldoorn) ter hoogte van de afslag Kootwijk-I larderwijk een bermbrand die door een zuidoosten wind oversloeg op de noordberm. Vanaf de noordberm is het vuur het gebied 'De Bremmert' ingegaan en heeft zich in noordwestelijke richting uitgebreid tot in het recreatiegebied 'Caitwickerzand'. In totaal is ongeveer 93 ha natuurterrein verbrand (Ifees, 1995). Het gebied behoort tot de boswachterij Garderen van Staatsbosbeheer. Globaal ligt het gebied tussen de dorpjes Kootwijk, Nieuw Milligen en Assel.

Het onderzochte gebied (met de Amersfoort coördinaten (Am. Co): 182-468) beslaat het verbrande gebied ten noorden van de A1.

Situatie voor de brand

Voor de brand bestond het gebied grofweg voor een derde uit aangeplant bos, een derde uit spontaan opgeslagen bos en verder uit vastgelegd stuifzand (zie Aanhangsel I, kaart 5). Het aangeplante bos werd gedomineerd door Grove den (*Pinus sylvestris*) met in de struiklaag voornamelijk loofhout zoals Vuilboom (*Rhamnus frangula*), Berk (*Betula pendula*), Eik (*Quercus robur*) en Amerikaans krenteboompje (*Amelanchier lamarckii*). Het spontaan opgeslagen bos bestond uit een open landschap van vliegdennen (*Pinus sylvestris*). De kruidlaag werd gedomineerd door Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*) en mossen als Heide-klauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) en Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) (Jansen & Jonkheer, 1990).

Het gebied bestaat uit afwisselend uitgestoven laagten en landduinen. Grenzend aan de brandvlakte ligt een compartiment van het Nationaal Bosbegrazingsonderzoek waarbij uitvoerig onderzoek aan de humusprofielen is verricht (Mekkink et al., 1993). Een gedeelte daarvan is ook verbrand, het humusprofiel van dat aangeplante gedeelte bestond voor de brand voornamelijk uit mor- en moderhumusvormen met een dikte van 8-10 cm (Mekkink et al., 1993) (zie ook fig. 2.3).

Beheer

Het grootste gedeelte had als hoofdfunctie 'natuur' en daarom wordt in het gebied niets gekapt of herplant. Het gebied zal zich op een natuurlijke wijze verder kunnen ontwikkelen.

2.2.2 Brandvlakte Stroeërzand

Geschiedenis

Het onderzochte gebied maakt deel uit van het Stroeërzand (Boswachterij Garderen) en is in 1976 getroffen door een bosbrand. Het bos bestond uit eerste generatie aangeplante Grove dennen van ongeveer 50 jaar oud en is na de brand gekapt en afgevoerd. In totaal is circa 70 ha bos verbrand.

Het onderzochte gebied (Am. co. 176-468) ligt globaal tussen de A1 (Amersfoort-Apeldoorn) ter hoogte van de afslag Garderen-Stroe en de Apeldoornse straat. Het is gelegen in een uitgestoven laagte zonder een duidelijk bodemprofiel.

Situatie voor de brand

De situatie voor de brand zal eruit hebben gezien zoals het omringende bos er nu uit ziet: een eerste generatie Grove den met alleen op open plekken natuurlijke verjonging van Grove den. De verjonging van loofboomsoorten is wel aanwezig maar niet op grote schaal.

Beheer

In het midden van de brandvlakte is een paar jaar geleden het terrein open gekapt, behoudens enkele dennen, om het open karakter van het gebied te behouden. Aan de noordzijde van het gebied is echter sinds 1976 niet meer ingegrepen. Voor de vegetatieopnamen zijn die plekken uitgezocht waar in de afgelopen 20 jaar niet is ingegrepen in de spontane ontwikkeling.

2.2.3 Brandvlakte Oldebroek

Geschiedenis

Op de Oldebroeksche heide (Artillerie Schietkamp Oldebroek) nabij 't Harde ontstond in 1970 als gevolg van een granaatinslag een brand. Deze brand breidde zich uit naar de veiligheidszone die voornamelijk uit bos bestond. In totaal is circa 300 ha bos en heide verbrand. Na de brand zijn alle bomen gekapt en afgevoerd en is 95 % van het gebied weer herplant (Borgonje¹, pers. med, 1996).

Het onderzochte gebied (Am. co. 190,8-492,3) is gelegen op stuifzand in het midden van het toenmalig verbrande gebied langs de spoorlijn Amersfoort-Zwolle. Het terrein beslaat ongeveer 3 ha en bestaat uit afwisselend uitgestoven laagtes met opgestoven landuinen. Er heeft zich nog geen duidelijk bodemprofiel ontwikkeld.

Situatie voor de brand

Voor de brand bestond het gebied uit een eerste generatie aangeplante Grove dennen van ongeveer 40 jaar oud. Over humusprofielen en verjonging is niets bekend.

Beheer

Het onderzochte terrein is nooit herplant, en heeft zich spontaan kunnen ontwikkelen. Pas enkele jaren terug is spontaan opgeslagen Amerikaanse vogelkers (*Prunus serotina*) verwijderd. Het gebied heeft na de hoofdfunctie defensie de nevenfunctie natuurbeheer en -ontwikkeling.

¹ Ing. F.G.M. Borgonje is werkzaam bij defensie als vakleider Cultuurtechniek en Rentmeester van de Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen directie Gelderland.

2.3 Directe effecten van de brand bij Kootwijk

Op de brandvlakte nabij Kootwijk zijn de directe effecten van de brand onderzocht. Om te bepalen welke terreinkenmerken van invloed zijn geweest op het verloop en intensiteit van de brand en om toekomstige monitoring mogelijk te maken zijn de volgende kenmerken in kaart gebracht in de periode van mei tot en met juni 1996.

- Brandpatronen*
- Brandgrens in het terrein
 - *Soort brand (kronen-, loop- of grondvuur)*
 - *Hoogte van de vlammen*

- Terreinkenmerken*- Spontaan of aangeplant bos
- *Loof en/ of naaldboom soorten*
 - *Hoogte van de bomen*
 - *Hoogte van de struiklaag*
 - *De sluitingsgraad van de eerste boomlaag vóór de brand*
 - *De sluitingsgraad van de tweede boomlaag vóór de brand*
 - *De sluitingsgraad van de struiklaag vóór de brand*
 - *De sluitingsgraad van de eerste boomlaag na de brand*
 - *De sluitingsgraad van de tweede boomlaag na de brand*
 - *De sluitingsgraad van de struiklaag na de brand*
 - *Overleving van de eerste boomlaag*
 - *Overleving van de tweede boomlaag*
 - *Overleving van de struiklaag*
 - *Bodemtype*
 - *Geomorfologische eenheden*
 - *Lumusprofielen*

De kartering werd in het veld uitgevoerd met behulp van luchtfoto's (1 : 5000; zwart-wit en kleur), van vòòr en na de brand, die door staatsbosbeheer beschikbaar zijn gesteld. Voor de eerste boomlaag, tweede boomlaag, struiklaag en brandpatronen zijn kopieën van de foto's gebruikt. Hierop werden de brandpatronen en terreinkenmerken al lopend in het veld vastgelegd. Eenheden in het veld met dezelfde brandpatronen en terreinkenmerken werden als zodanig op de foto's gekarteerd.

Brandpatronen

De plekken waar brand geweest was, waren te herkennen aan de aslaag (brandgrens was duidelijk waarneembaar). Er zijn verschillende typen van brand te onderscheiden afhankelijk van de laag waar ze in brandt. Johnson (1992) onderscheidt daarbij 3 soorten branden:

'Ground fire': dit is het grondvuur (of veenbrand); brand in dikke strooisel- of turflagen.

'Surface fire': dit is het loopvuur; een oppervlakkige brand in strooisel en lage vegetatie.

'Crown fire': kronenvuur, brand hoog in de bomen, komt vrijwel uitsluitend voor in naaldbossen omdat het vochtgehalte van naalden lager is dan van bladeren.

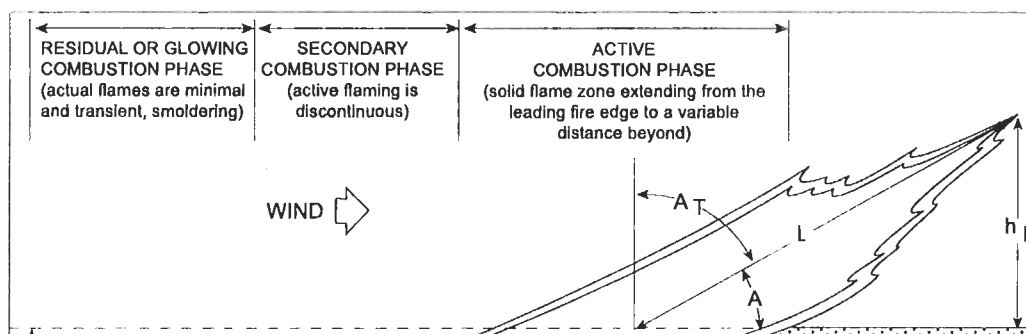
De bepaling van soort brand, kronen- of grondvuur, werd met behulp van de luchtfoto van 20 dagen na de brand gedaan. De plekken met kronenvuur waren duidelijk te herkennen als zwarte plekken op de foto. Op plekken waar geen bos aanwezig was heeft de brand een pleksgewijs patroon achtergelaten. Dit is als complex van afwisselend verbrand en niet verbrande vegetatie gekarteerd.

De intensiteit van het vuur is gedefinieerd als de snelheid waarmee de hitte door vlammen wordt afgestaan (Johnson, 1992). Deze snelheid zegt meer dan de temperatuur van de vlammen omdat er bij het begrip hitte sprake is van arbeid: de hoeveelheid arbeid verricht door een lichaam met een hogere temperatuur naar een lichaam met lagere temperatuur. De temperatuur van een brandend twijgje kan even groot zijn als de temperatuur van een groot kronenvuur maar dit kronenvuur staat meer hitte af dan het twijgje. Het is de hitte van een vuur die verantwoordelijk is voor de temperatuurstijging van de brandstof en daarmee ook de hitte die bepaald of de temperatuurstijging in de boom uitstijgt boven de temperatuur die de boom nog aan kan (Johnson, 1992).

Alexander (1982) ontwikkelde een vergelijking waarbij de intensiteit van een vuur als volgt kan worden berekend aan de hand van de vlamlengte (zie ook figuur 2.2):

$$[1] \quad I = 259,833 (L)^{2,174}$$

Intensiteit I (kWm⁻¹)
 vlamlengte L (in m)



Figuur 2.2 Enkele karakteristieken aan het vuurfront: vlamlengte (L), vlamhoogte (h_F), de hoek van de vlam (θ) en de diepte van de vlam (D) (Uit: Prach, 1989)

De vlamlengte is echter achteraf niet meer te bepalen. Daarom is hier de vlamhoogte als maat voor de intensiteit gekozen. De vlamhoogte is bepaald door het meten van de hoogte van het zwartgeblakerde deel op de stammen. Deze hoogte is op de stammen afgelezen aan de kant vanwaar de brand kwam (oost- zuidoost zijde).

Terreinkenmerken

Het onderscheid tussen spontaan opgeslagen en aangeplant bos werd in het veld bepaald door de aanwezigheid van vliegdennen. Spontaan opgeslagen bos had een diverse bos- en leeftijdsstructuur met hoge en lage bomen en veelal groepen verjonging tussen oudere bomen van meestal vliegdennen.

De hoogte van de bomen en struiken is met een Suunto hoogtemeter of Haglof 'Talltax' hoogtemeter bepaald (gemiddelde van 3 bomen per onderscheiden eenheid).

De sluitingsgraad voor de boom- en de struiklaag is op het oog bepaald aan de hand van de omtrekken van de kronen. Voor de bepaling van de oude sluitingsgraad is gekeken naar de omtrek van de takken die vroeger de kronen moeten hebben gevormd. De sluitingsgraad is in klassen ingedeeld (tabel 2.1).

Tabel 2.1 Indeling van de klassen voor de bepaling van de sluitingsgraad en overleving.

	Klasse			
	a	b	c	d
Sluitingsgraad	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%
Overleving	0-25%	25-50%	50-75%	75-100%

De overleving van de houtige gewassen is gedefinieerd als het percentage bomen dat in het eerste groeiseizoen na de brand groeischeuten en/of bloeiwijzen dragen. Het percentage bomen en struiken dat de brand heeft overleefd werd bepaald door het aandeel levende bomen en struiken te schatten. Het percentage overleving is in klassen ingedeeld (tabel 2.1).

De humusprofielen op de stuifzandgronden worden gekenmerkt door mor- en moderhumusvormen. In figuur 2.3 zijn de belangrijkste horizonten te zien die in dit humusprofiel zijn te onderscheiden.

Humusprofielen, Bodemtype en Geomorfologische eenheden de zijn door Staring Centrum-DLO in kaart gebracht (Smit, 1996).

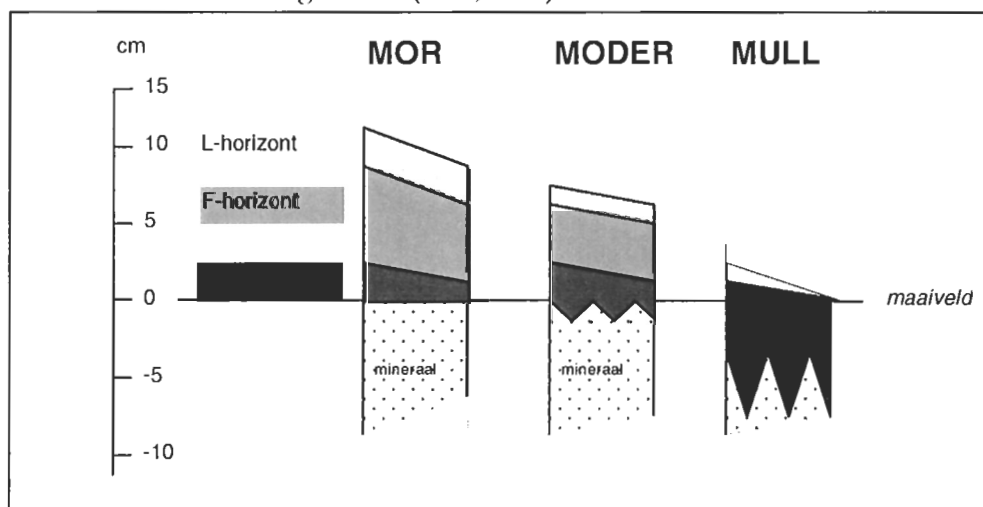


Fig. 2.3 De verschillende hoofdhorizonten in de verschillende humusprofiel-typen (naar Kemmers, 1996).

2.4 Vegetatieontwikkeling na brand

Om de vegetatieontwikkeling na brand te onderzoeken is een vergelijking tussen vegetatieopnamen van onverbrande plekken (controleplots) en van brandvlaktes van verschillende ouderdom gemaakt.

Controleplots

Voor Kootwijk zijn de controleplots in de opstanden gekozen die rondom het verbrande gebied liggen. Deze bestonden uit zowel aangeplant als spontaan opgeslagen bos op landduinen en in uitgestoven laagten.

Het gebied dat is gebruikt als referentie voor de brandvlakte bij Oldebroek ligt op minder dan 1 km. van het onderzochte gebied aan de rand van de toenmalige brandvlakte. Het bestaat uit aangeplant Grove dennen bos wat varicert in leeftijd van 68 tot 102 jaar. In de ondergroei heeft zich Amerikaanse vogelkers gevestigd die enkele jaren geleden is verwijderd. Het bodemprofiel bestaat uit een micropodzol van ± 9 cm. dikte. Er is veel verjonging van loofhout maar deze krijgt weinig kans door de hoge wildstand in het gebied.

Op het Stroeërzand zijn in de direct aangrenzende opstanden controleplots uitgezocht die ook allen in de uitgestoven laagte liggen. Het bos in deze opstanden wordt gedomineerd door Grove den van ongeveer 70 jaar oud met in de ondergroei op enkele plekken een tweede generatie Grove den. De kruidlaag wordt gedomineerd door Bochtige smele. Het bodemprofiel bestaat uit een micropodzol van ± 12 cm. dikte.

Opnamen van hogere planten, mossen en korstmossen

In de periode van 9 juli-18 augustus 1996 in totaal 92 vegetatieopnamen gemaakt in de verschillende onderzoeksgebieden (tabel 2.2).

Tabel 2.2 Overzicht van het aantal vegetatieopnamen op de brandvlakte en daarbuiten (controleplots) in de verschillende onderzoeksgebieden (zie aanhangsel IIIb voor de ligging van de plots).

Onderzoeksgebied	Leeftijd (jaren na brand)	Aantal opnamen op de brandvlakte	Aantal opnamen buiten de brandvlakte (controle)	Totaal
Kootwijk	1	40	18	58
Stroeërzand	20	9	7	16
Oldebroek	26	9	9	18
Totaal	58	34	92	

De opnamen zijn gemaakt in plots van 10×10 m. volgens de methode van Londo (1984). De ligging van het plot tezamen met enkele abiotische kenmerken en de verschillende soorten met hun abundantie zijn ingevuld op een speciaal daarvoor gemaakt veldformulier (zie Aanhangsel II).

Van mossen en korstmossen zijn monsters mee naar huis genomen om verder te determineren of te laten controleren. Vooral de determinatie van korstmossen is moeilijk omdat daar ook vaak gebruik van chemicaliën moet worden gemaakt. Voor dit onderzoek zijn de korstmossen niet altijd tot op soortsniveau gedetermineerd. Wel is het aandeel terrestrische (=grondbewonende) korstmossen in de vegetatie bepaald en zijn karakteristieke soortengroepen daarin onderscheiden zoals korstmossen die vaker op hout groeien en soorten die mineraal zand prefereren. Daarom zijn de soortenlijsten qua korstmossen niet volledig. Korstmossen op de stammen van de bomen (epifytische korstmossen) en algen en zijn niet opgenomen in de vegetatieopnamen.

Bij de verwerking (§2.6) van de opnamen die in Kootwijk zijn gemaakt is alleen de kruid- en moslaag meegenomen om het effect van de brand te analyseren. Als de overgebleven Grove dennen ook in de berekeningen meegenomen zouden worden, zouden deze waarschijnlijk een zware stempel drukken op de resultaten omdat de bedekkingen in de kruid- en moslaag vaak laag zijn. De verjonging van houtige gewassen zijn hier wel verwerkt in de vegetatieopnamen.

Mycoflora

Om een goed mycosciologisch onderzoek uit te voeren waarbij de paddestoelgemeenschappen onderscheiden kunnen worden zijn grote proefvlakken (1000 m²) nodig en een regelmatig bezoek van minstens eens in 14 dagen. Dit was in het kader van dit onderzoek niet mogelijk. Toch is het interessant om te weten welke soorten schimmels er nu aanwezig zijn op brandplekken omdat vele soorten brandplek-paddestoelen in Nederland achteruitgaand of bedreigd zijn (Arnolds et al, 1995, Kuyper, 1996). Daarom zijn alle soorten die op de brandvlaktes gevonden zijn opgeschreven en als er paddestoelen in de proefvlakken van de vegetatieopnamen stonden zijn deze op het veldformulier genoteerd met daarbij een schatting van het aantal vruchtlichamen.

Herkolonisatie door houtige gewassen

Om te bepalen hoe de herkolonisatie van de houtige gewassen zich heeft ontwikkeld op de brandvlaktes zijn op het Stroeërzand en de Oldebroeksche heide transecten uitgezet. Op het Stroeërzand is een transect van 40 m. uitgezet in de uitgestoven laagte. Op de Oldebroeksche heide is een noordzuid transect van 120 m. uitgezet waarin uitgestoven laagten en landduinen vertegenwoordigd waren. Van het transect zijn kronenprojecties en een zijaanzicht getekend van de aanwezige bomen en struiken. Ook zijn hoogte en leeftijd bepaald. De hoogte is bepaald met een hoogtemeter (Suunto hoogtemeter of Haglof Talltax) en de leeftijd van de Grove dennen door het tellen van de takkransen. De leeftijd van de aanwezige berken is niet bepaald.

De herkolonisatie op brandvlakte Kootwijk zal in de toekomst plaats vinden in transecten die daar zijn uitgezet (§2.5.1).

2.5 Verwerking

2.5.1 Directe effecten van brand

Patroonanalyse van de brand- en terreinkenmerken

De gegevens (items) die verzameld zijn op de luchtfoto's zijn gedigitaliseerd met het programma ARC/INFO. Met dit programma zijn ook de kaarten gemaakt door selectie van verschillende items van de bestanden. Op deze kaarten zijn de verschillende brandpatronen en terreinkenmerken verwerkt.

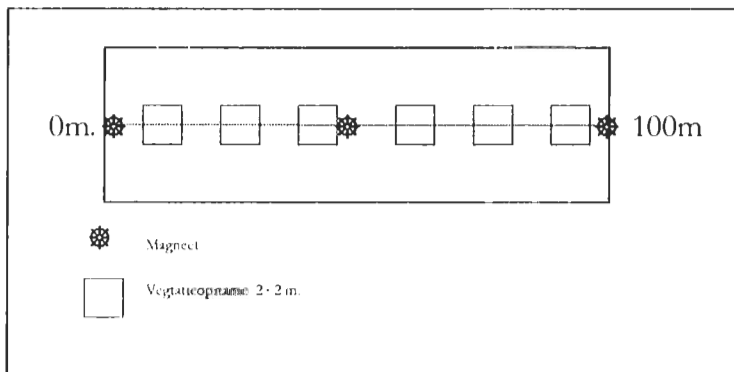
Samen met de gegevens over geomorfologie, bodemgeografie en de bodemtypen heeft er een stratificatie plaatsgevonden van de brandpatronen en terreinkenmerken. Deze stratificatie vormt de basis voor de toekomstige monitoring. Het doel van de monitoring

is het mogelijk maken van een vergelijking in de tijd. Er zal naar de korte (0-5 jaar) en lange termijn effecten (10-20 jaar) gekeken worden.

De monitoring van de vegetatie zal plaatsvinden door transecttekeningen waarin de bosstructuur wordt vastgelegd. Verwerking zal via SILVISTAR plaatsvinden. Daarnaast zullen vegetatieopnamen worden (4 m^2) gemaakt op de as van het transect.

De transecten zijn vastgelegd door middel van ingegraven magneten ($\pm 40 \text{ cm.}$) die met een metaaldetector opgespoord kunnen worden. Per transect zijn 3 magneten ingegraven op 0, 50 en 100 m. op de as van het transect (fig. 2.4).

Van de vegetatieopnamen die op de brandvlakte Kootwijk zijn gemaakt (§2.4) lagen er 23 in transecten. In 13 daarvan zijn in totaal 45 foto's gemaakt van een raamwerk dat precies 1 m^2 in oppervlakte was. De exacte locatie van het raamwerk is vastgelegd op het vegetatieformulier. Deze foto's worden bewaard in een Alterra-archief en moeten het in de toekomst mogelijk maken om verschillen in de vegetatieontwikkeling op 'microniveau' te volgen.



Figuur 2.4 Schema van de te monitoren transecten met de vegetatieopnamen en magneten.

Invloed van brand op de overleving van de vegetatie

De invloed van brand op de overleving van de bomen is voor verschillende boomhoogteklassen onderzocht. Daarna is een indeling van brandintensiteiten gemaakt op basis van vlamhoogte. In totaal zijn 5 brandintensiteiten onderscheiden. Per brandintensiteit is vervolgens bekeken wat de overleving in de verschillende boomhoogteklassen is geweest.

2.5.2 Vegetatieontwikkeling na brand

Verwerking vegetatieopnamen

De vegetatieopnamen zijn verwerkt met het programma BLOKOPNAME. Vervolgens zijn de gegevens verder verwerkt in CANOCO. Een clusteranalyse (TWINSPAN) is gemaakt om de vegetatieopnamen te ordenen.

Ordinatie

Om de vegetatieopnamen te ordenen naar soortensamenstelling en bedekking, kan men gebruik maken van verschillende ordinatietechnieken (zie Kent & Coker, 1992). In een ordinatiediagram wordt een tweedimensionaal beeld van opnamen gegeven. Opnamen die veel op elkaar lijken liggen dicht bij elkaar, en opnamen die weinig op elkaar lijken liggen ver uit elkaar.

Naast deze gewone ordinatie zijn er ook ordinatietechnieken waarin rekening wordt gehouden met omgevingsvariabelen. Eén daarvan is de Canonische ordinatie. Canonische ordinatie is ontworpen om algemene patronen in de variatie van soortensamenstelling te ontdekken die 'het beste' verklaard kunnen worden door de omgevingsvariabelen. Hierbij wordt dus tegelijkertijd gebruik gemaakt van ordinatie- en regressietechnieken. Canonische ordinatiediagrammen laten daarom niet alleen de verschillende vegetatiepatronen zien maar ook de relaties tussen soorten en de verschillende omgevingsvariabelen.

Canonische Correspondentie Analyse (CCA) is een techniek die voor de assen van de diagram een lineaire combinatie van omgevingsvariabelen kiest die een maximale spreiding in soorten veroorzaakt (Jongman et al., 1987). Voor de effecten van brand op de vegetatieontwikkeling is een CCA-analyse gebruikt in het programma CANOCO (Ter Braak, 1987). Als omgevingsvariabelen zijn meegenomen in de ordinatie: Leeftijd (jaren na brand, na aanplant), brand (wel of geen), dikte van de F-laag, noordhelling, zuidhelling, uitgestoven laagte. De drie onderzoeksgebieden liggen geografisch gezien ver genoeg uit elkaar om een verschil in klimaat te hebben. Bij de analyse is rekening gehouden met biogeografische effecten en/of andere effecten (neerslag, atmosferische stikstofdepositie (sterke noordzuid gradiënt)). Daarom zijn als co-variabelen de Amersfoort-coördinaten meegenomen om eventuele verschillen die toegeschreven kunnen worden aan verschil in geografische ligging te ondervangen. De variantie die niet door de co-variabelen verklaard werd is vervolgens gebruikt voor de berekeningen.

Omdat geen bodemonsters zijn genomen in de vegetatieopnamen, zijn geen werkelijke waarden bekend van abiotische kenmerken als stikstofgehalte, zuurgraad, vocht etc. Om toch een beeld te krijgen van de abiotische omstandigheden van de plots is gebruik gemaakt van indicatiewaarden van Ellenberg (1991). Van elke opname werd een indicatiewaarde berekend als gewogen rekenkundig gemiddelde van de indicatietallen van alle in die opname voorkomende soorten.

2.5.3 Vergelijking met successie in Boreale bossen

Bij de bespreking van de gevonden soorten in de discussie zullen vergelijkingen met onderzoeken in Boreale bossen gemaakt worden. Er is nagegaan of de ontwikkelingen overeenkomsten hebben of dat ze duidelijk verschillend zijn.

3 Resultaten

3.1 Directe effecten van brand (inventarisaties na de brand bij Kootwijk)

3.1.1 Terreinkenmerken en brandpatronen

Kaart 1 laat de situatie zien van hoe het gebied er voor de brand uit moet hebben gezien. Hierin is de sluitingsgraad en de boomhoogte afgebeeld. Wat opvalt is het grote verschil in boomhoogtes en sluitingsgraad. De plekken met een hoge sluitingsgraad zijn veelal aangeplant bos (zie ook kaart 5 Aanhangsel I). De bomen met hoogtes boven 11 of 12 meter zijn te vinden op de stuifduinen (zie voor geomorfologie Smit (1996)).

De brand had voornamelijk het karakter van een grondvuur (kaart 2), waarbij het grootste gedeelte van het humusprofiel is verbrand. Er is een aslaag overgebleven met daarop een litterlaag van naalden die gevallen zijn van de bomen die na de brand afgestorven zijn. Zie ook Smit (1996) voor gedetailleerde beschrijving en kartering van de overgebleven humusprofielen. Een kenmerk van een grondvuur is dat nadat het vuurfront gepasseerd is door nagloeien het verdere humusprofiel verbrandt. Tevens is het vuur ondergronds in stobben en boomwortels verder gegaan, waardoor in het landschap gaten in de grond zijn ontstaan en waardoor waarschijnlijk in de uren en dagen erna nog regelmatig het vuur weer oplaaide.

In het gebied met recent vastgelegd stuifzand had de brand een pleksgewijs karakter en bestond het uit loopvuur waarbij delen van de (korst)mos vegetatie verbrand zijn maar waarbij ook delen gespaard zijn gebleven.

Op slechts enkele plekken in het bos is naast het grondvuur ook een klein kronenvuur met een gemiddelde opp van 1300 m² ontstaan. Dit was zowel in het spontane bos als in het aangeplante bos het geval. Het kronenvuur ontstond in het aangeplante bos op plekken waar de bomen gemiddeld lager dan 11 m waren en waar de sluitingsgraad hoog was (kaart 1).

Veel bomen zijn door de brand beschadigd en gedeeltelijk of helemaal afgestorven. Op sommige plekken was de brand niet zo intens dat ze afstierven maar wel dat ze een aanzienlijk deel van hun kronen hebben verloren. Dit is op kaart 3 te zien waarop de sluitingsgraad van het gebied na de brand is weergegeven. Het was niet mogelijk om de kaarten van het bodem- en humusprofielenonderzoek van Smit (1996) te koppelen aan de kaarten met intensiteiten van het vuur.

3.1.2 Invloed van de bosstructuur op het brandpatroon

De bosstructuur kan op verschillende manieren van invloed zijn op het soort brand. De aanwezigheid van een struiklaag of lage kronen zouden een opstapje kunnen zijn voor het overspringen van het grondvuur naar de kronen, waarbij dus een kronenvuur zou ontstaan. In het aangeplante bos was op geen van de plekken waar zich een kronenvuur heeft kunnen ontwikkelen een struiklaag aanwezig (Aanhangsel I; kaart 6). Verder is het opvallend dat op plekken waar geen bos aanwezig was het vuur een pleksgewijs karakter had, en waarbij delen van de vegetatie niet verbrand zijn. Het gaat hierbij dan om grote open plekken zoals de open vlakte van de Bremmert. De open plekken in het spontaan opgeslagen bos hadden niet het effect van een barrière voor het vuur waardoor delen van het bos gespaard kunnen zijn gebleven.

3.1.3 Invloed van brandintensiteit op de overleving van houtige gewassen

De overleving van de vegetatie was verschillend voor de verschillende lagen. De overleving van de struiklaag was laag. Deze laag is in het bos veelal geheel verdwenen (Aanhangsel I; kaart 7).

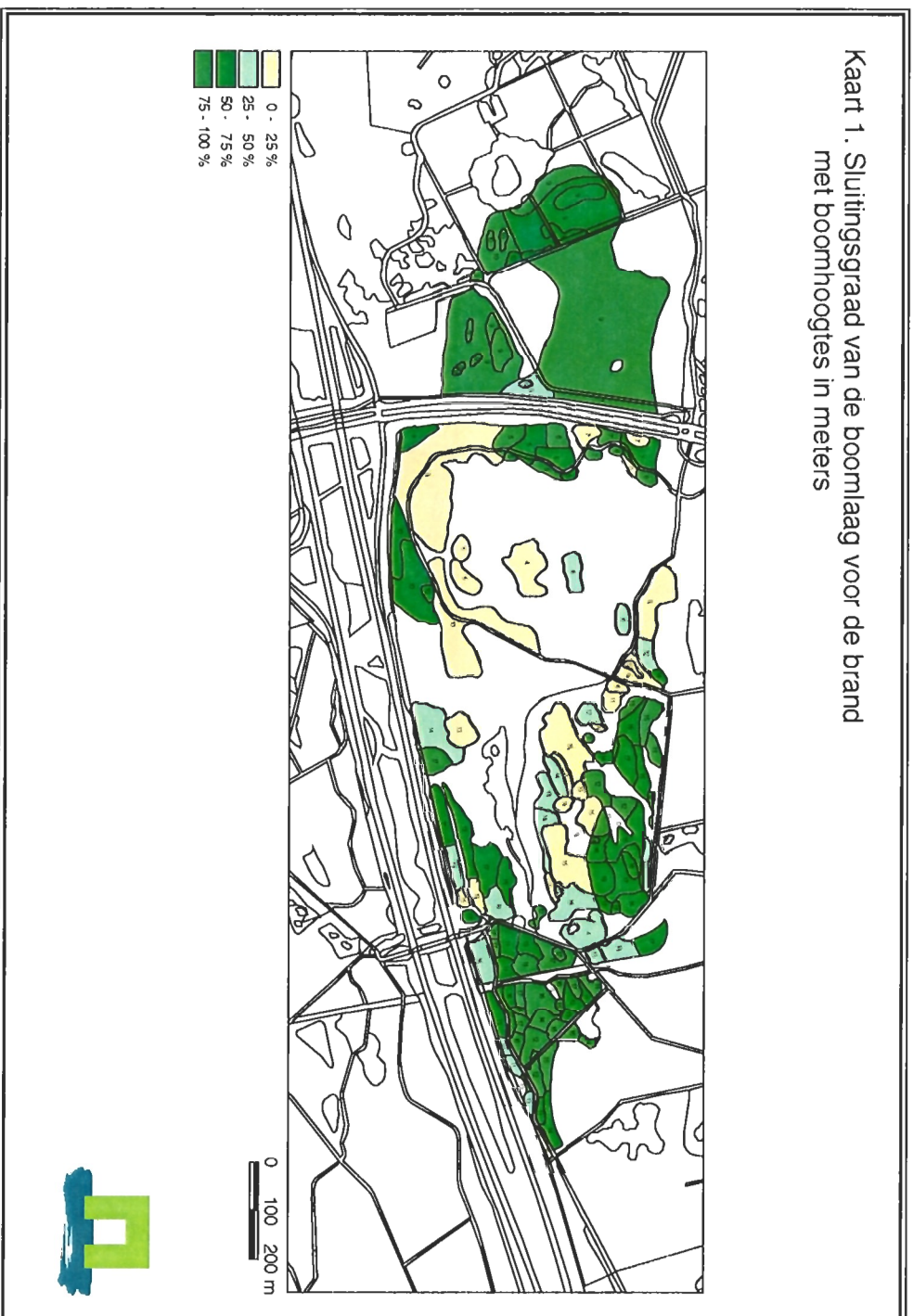
De tweede boomlaag die op enkele plekken aanwezig was heeft ook een laag overlevingspercentage (Aanhangsel I; kaart 8).

Op kaart 4 is te zien wat de overleving van de eerste boomlaag is.

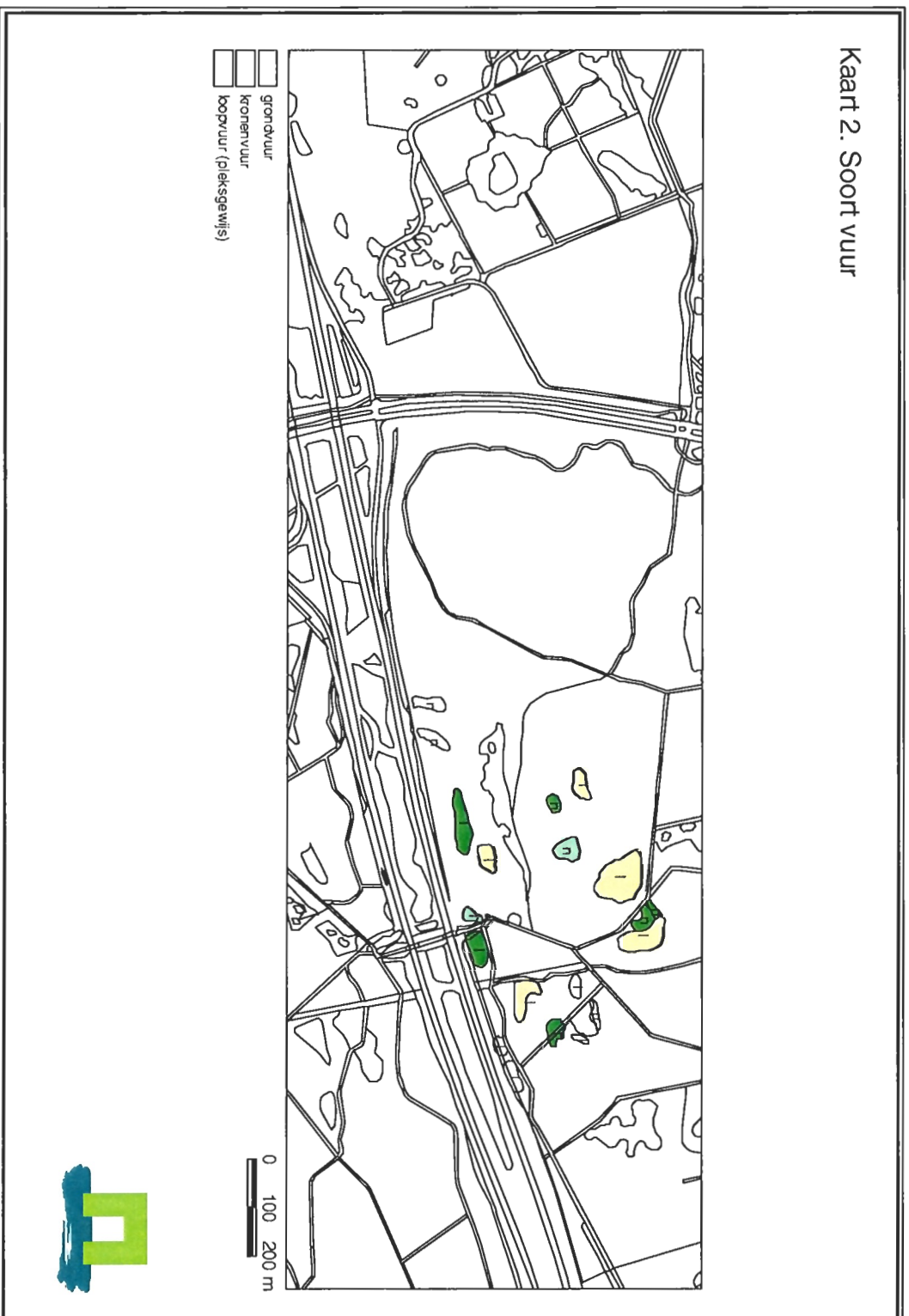
Alle lagen zijn ingedeeld in hoogteklassen en per boomhoogteklasse is berekend wat de overleving was na de brand. Om een beeld over de verdeling van de boomhoogteklassen in het hele gebied te krijgen is in figuur 3.1 de overleving uitgezet tegen de oppervlakte die de betreffende boomhoogteklasse in het hele gebied besloeg. In de figuur is bijvoorbeeld te zien dat van de bomen met een hoogte van 9 m, het grootste gedeelte van de bomen, en een overlevingspercentage van 0 - 25 %, een oppervlakte van circa 90.000 m² beslaan.

In figuur 3.2 is diezelfde overleving per boomhoogteklasse uitgezet tegen het percentage van de totale oppervlakte die de betreffende boomhoogteklasse beslaat. Hierdoor ontstaat een beter beeld van welke boomhoogtes gevoelig zijn geweest voor de brand. Hierin is te zien dat van de bomen uit de boomhoogteklassen tot 14 m voor het grootste gedeelte (55% of meer) in de klasse van 0-25% overleving terechtkomen. Bij boomhoogteklasse 14 en hoger is te zien dat hier relatief meer bomen overleven, gemiddeld meer dan 50 % van de bomen valt in de overlevingscategorie van 75-100%.

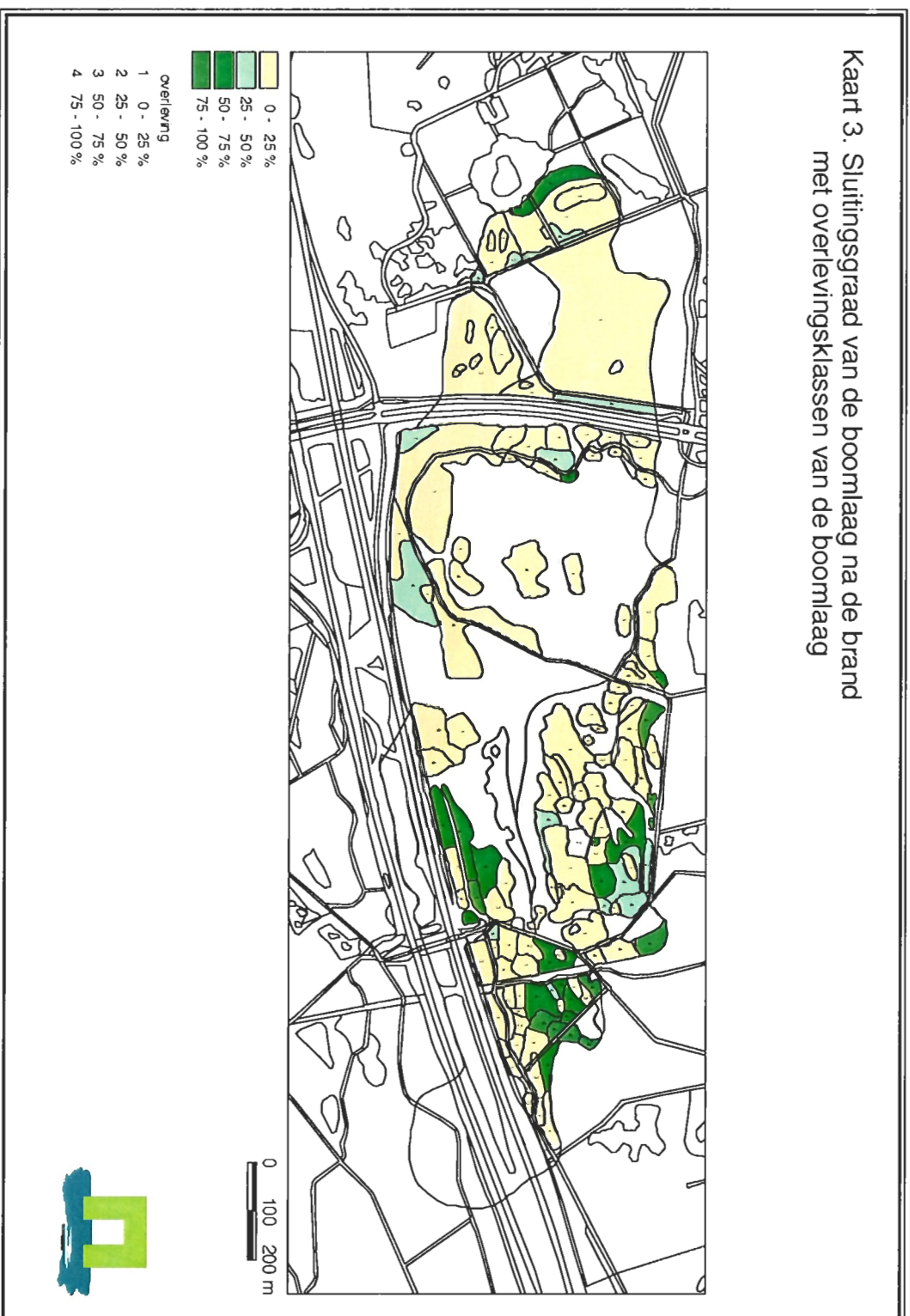
Kaart 1. Sluitingsgraad van de boomlaag voor de brand met boomhoogtes in meters



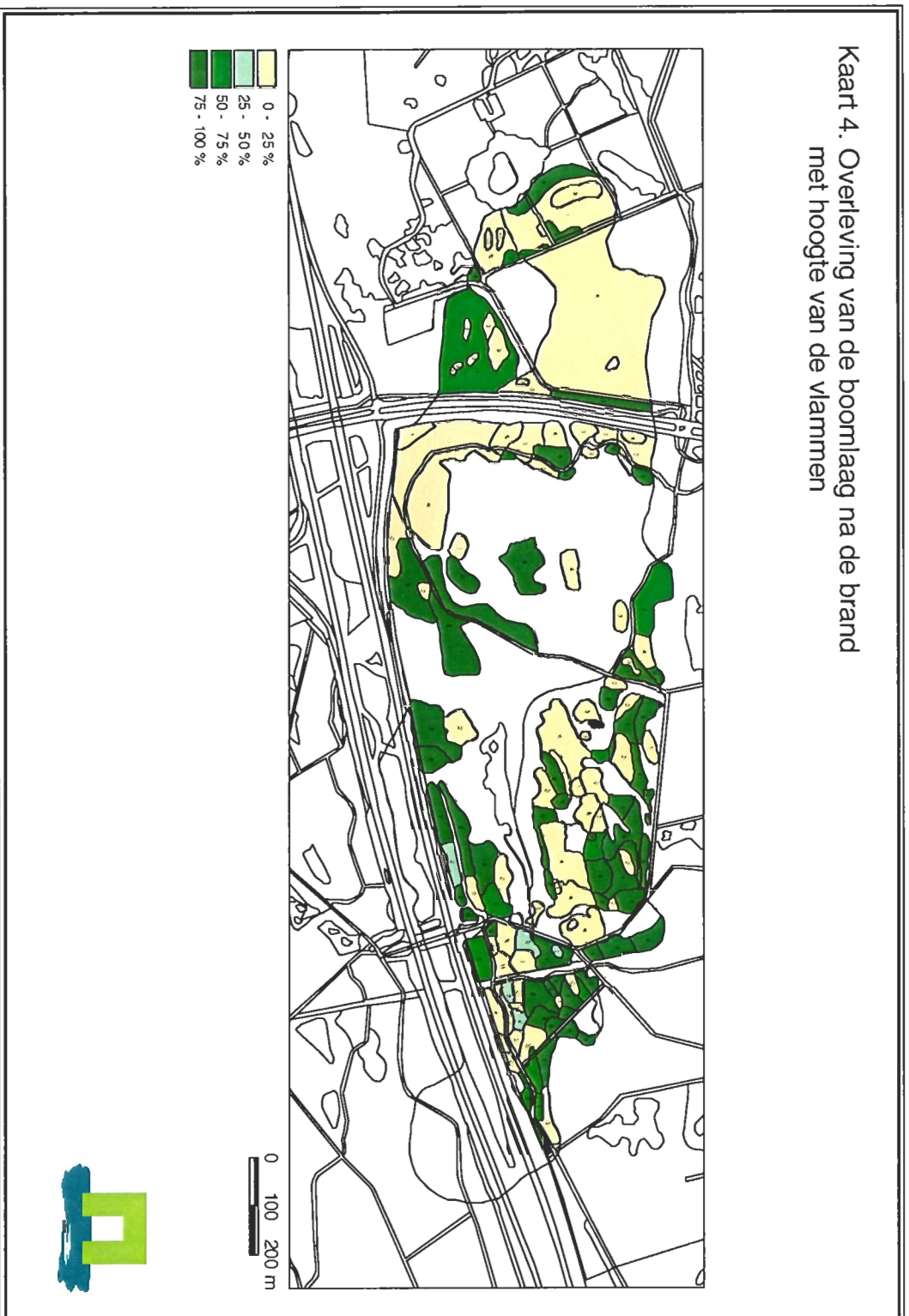
Kaart 2. Soort vuur



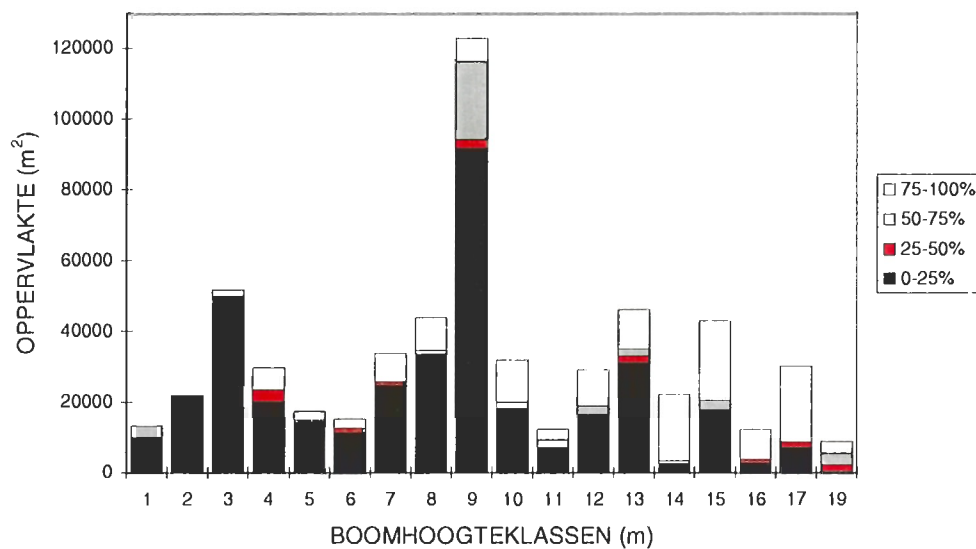
Kaart 3. Sluitingsgraad van de boomlaag na de brand met overlevingsklassen van de boomlaag



Kaart 4. Overleving van de boomlaag na de brand met hoogte van de vlammen

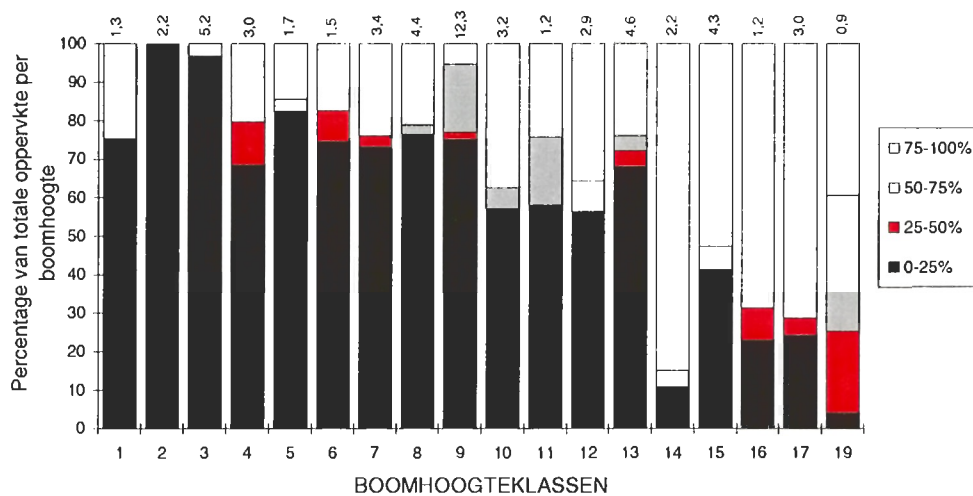


Overlevingsklassen per boomhoogte



Figuur 3.1 Overleving in klassen per boomhoogte, uitgezet tegen de oppervlakte die de betreffende boomhoogteklasse beslaat. Oppervlaktes kunnen iets afwijken van de werkelijke waarden omdat deze van luchtfoto's zijn berekend.

Overleving (in klassen) per boomhoogte-klasse



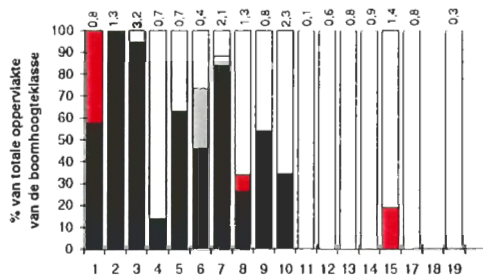
Figuur 3.2 Percentage overleving van totaal aantal bomen uit de boomhoogteklasse, uitgedrukt als percentage van de totale oppervlakte (boven de kolommen) die de betreffende boomhoogteklasse beslaat.

De overleving van bomen zoals weergegeven in figuur 3.1 en 3.2 is niet te verklaren zonder daarbij de intensiteit te betrekken. De intensiteit van het vuur is ingedeeld op basis van vlamhoogte (zie §2.3). Hierbij zijn 5 intensiteiten onderscheiden. In figuur 3.3 is de overleving per boomhoogteklasse uitgesplitst naar de verschillende intensiteiten van het vuur.

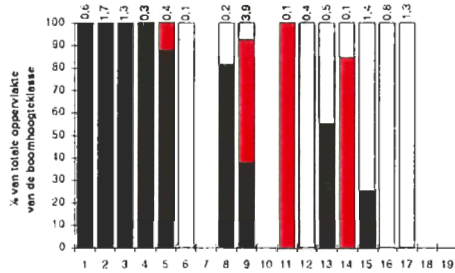
Uit deze figuur blijkt dat een lichte intensiteit (intensiteit I) het grootste effect heeft op de struiklaag. Lage struiken overleven deze lichte brand in het algemeen niet. Ook hogere struiken (± 7 m) hebben veel last van deze lichte brand en vele individuen overleven dit ook niet. De boomlaag is op enkele individuen na minder gevoelig voor deze intensiteit; de overleving lag hier tussen de 75 en 100%. Lagere bomen overleefden minder vaak dan hogere bomen. Plekken met vuur van een iets hogere intensiteit (intensiteit II) hadden voornamelijk effect op de struiklaag. De struiklaag is bij deze intensiteit vrijwel geheel afgestorven. In de boomlaag was het effect van de brand wisselend, maar de hoogste bomen overleefden vrijwel allemaal.

Bij intensiteit III, waarbij de vlammen op de bast van de bomen een hoogte bereikten van 2 m, is de boomlaag grotendeels aangetast; maar ook hier is het wisselend wat de overleving betreft.

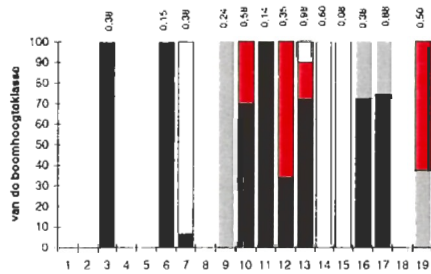
Bij Intensiteit IV is bij de meeste boomhoogtes de overleving 0 tot 25%. Bij intensiteit V is de overleving bij alle boomhoogtes 0 tot 25%. Dit betekent dat vrijwel geen enkele boom deze intensiteit heeft overleefd.



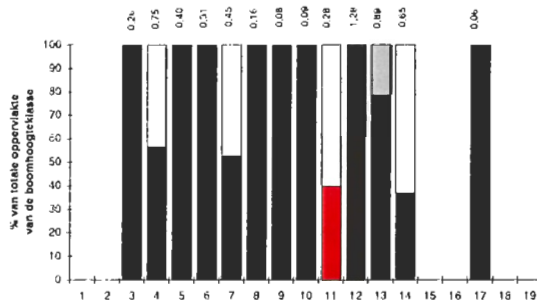
Intensiteit I



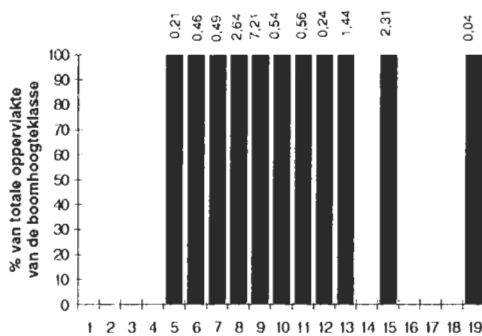
Intensiteit II



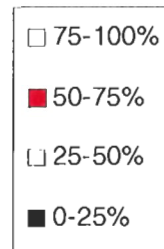
Intensiteit III



Intensiteit IV



Intensiteit V



Figuur 3.3 Overkering (in klassen) per boomhoogte en per brandintensiteit, waarbij I = vlammen gemiddeld kleiner dan 1 m, II = vlammen gemiddeld 1 m, III = vlammen gemiddeld 2 m, IV = vlammen gemiddeld 3 m en V = vlammen gemiddeld hoger dan 4 m. Boven de kolommen staan de oppervlaktes in ha.

3.1.4 Stratificatie voor toekomstige monitoring

Op basis van de inventarisaties in dit onderzoek (3.1.1) en het onderzoek van het SC-DI.O is een stratificatie van geomorfologie, spontaan dan wel aangeplant bos en overleving van het bos opgesteld.

De volgende strata zijn daarbij onderscheiden:

1. landduin, aangeplant bos, veel sterfte;
2. landduin, aangeplant bos, weinig sterfte;
3. landduin, spontaan bos, veel sterfte;
4. landduin, spontaan bos, weinig sterfte;
5. uitgestoven laagte, aangeplant bos, veel sterfte;
6. uitgestoven laagte, aangeplant bos, weinig sterfte;
7. uitgestoven laagte, spontaan bos, veel sterfte;

Er bleek geen stratum te zijn van een uitgestoven laagte met spontaan bos en weinig sterfte. In ieder van de 7 strata is een transect van 100×10 m uitgezet voor de toekomstige monitoring (zie §2.5). De ligging van de transecten is weergegeven in kaart 3.

3.2 Vegetatieontwikkeling na brand

3.2.1 Classificatie

Aanhangsel IIIa geeft een overzicht van alle soorten, met hun abundantie, die gevonden zijn in de plots (weergegeven in een TWINSPAN classificatie). In aanhangsel IIIb is tevens een lijst van gevonden soorten met hun wetenschappelijke en Nederlandse namen en gebruikte afkortingen opgenomen. Hier volgt een beschrijving van de belangrijkste soorten die gevonden zijn op de verschillende brandvlaktes en daarbuiten.

Niet verbrand (controleplots)

De controleplots variëren in leeftijd van 60-102 jaar. De plots kenmerkten zich door een dikke F-laag in het humusprofiel met daaronder een dunne humuslaag. Er werden veel soorten waargenomen die typerend zijn voor de latere bossuccessie (50-100 jaar) (F'anta 1986, Prach 1989). Dit waren Bochtige smele, Heide-klauwtjesmos, Gewoon gaffeltandmos. Op noordhellingen werd Kraaihei (*Empetrum nigrum*) vaker waargenomen. Verder was in bijna alle controleplots verjonging van loofbomen te vinden. Dit waren soorten als Vuilboom, Lijsterbes (*Sorbus aucuparia*), Amerikaans krenteboompje, Berk (*Betula*) (meestal *pendula*) en Zomereik (*Quercus robur*). Een ander kruid dat typerend is voor de latere stadia van bossuccessie is de Rankende helmbloem (*Ceratocarpus claviculata*). Deze soort was veelvuldig aanwezig in de plots. In een aantal opnamen van Kootwijk en Oldebroek werd Franjemos gevonden (*Ptilium ciliare*), vroeger een meer algemene maar nu een achteruitgaande soort (Bijlsma en Siebel, pers. med.)²

² Rienk-Jan Bijlsma, Henk Siebel (Vereniging Natuurmonumenten).

De spontaan opgeslagen bossen waar vegetatieopnamen zijn gemaakt kenmerkten zich door een afwisselend landschap van vliegdennen met daartussen open plekken waarin ook veel pioniersoorten groeiden van de associatie van Buntgras en Heidespurrie (*Spergulo-corynephorum*) zoals Ruig haarmos (*Polytrichum piliferum*) en verschillende soorten korstmossen.

Eén jaar na brand (Kootwijk)

De opnamen die in Kootwijk gemaakt zijn kenmerken zich door soorten die typerend zijn voor voedselrijke of verstoorde groeiplaatsen. Voor deze soorten geldt dat de bedekkingen meestal laag waren. De volgende mossoorten werden in bijna iedere opname waargenomen: het Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*), Gewoon krulmos (*Funaria hygrometrica*), Slankmos (*Leptobryum pyriforme*) en Gewoon peermos (*Pohlia nutans*). De soorten zijn zeer algemeen voor Nederland en komen vaak voor op verstoorde plekken waar sprake is van een zekere mate van stikstofverrijking. Op brandplekken worden ze vaak massaal aangetroffen (Louw & Rubers, 1989). Het parapluutjesmos (*Marchantia polymorpha*) is vooral bekend van vochtige plaatsen. Deze soort werd vooral in de opnamen op noordhellingen waargenomen.

Opvallend waren een aantal kruiden in de opnamen. Paardebloem (*Taraxacum spec.*), Distel (*Cirsium-spec.*), Canadese fijnstraal (*Erigeron canadensis*) en Wilgeroosje (*Chamerion angustifolium*) waren veelvuldig in de opnamen aanwezig, vaak vertegenwoordigd met maar enkele exemplaren.

In juli werden de eerste zaailingen van de Grove den waargenomen. In het grootste gedeelte van de opnamen waren zaailingen van Grove den aanwezig. In oktober echter waren deze zaailingen veelal dood. Zaailingen van de Berk stonden op iets vochtiger plekken en waren dan massaal aanwezig. In oktober werden deze zaailingen wederom waargenomen. Verjonging van de Jeneverbes is niet waargenomen.

20 Jaar na brand (Stroeërzand)

De vegetatie op het Stroeërzand bestond uit een open landschap met groepen van Grove den met daartussen een vegetatie van grassen, mossen en korstmossen. Langs de rand een van de brandvlakte was een dichte opstand van Grove den te vinden die het karakter had van een bos in de stakenfase. De opnamen die op open plekken zijn gemaakt werden gekenmerkt door pioniersoorten die typerend zijn voor vastgelegd stuifzand behorende tot het *Spergulo-corynephorum* Buntgras, Zandstruisgras (*Agrostis vinealis*) en Schapezuring (*Rumex acetosella*) met daartussen mossen en korstmossen vormden de vegetatie. Van de mossen vormt het Grijs kronkelsteeltje (*Campylopus introflexus*) de hoogste bedekking en vormt vaak dikke matten. Als deze afsterven raken ze overgroeid met korstmossen (vooral *Cladonia coccifera*, *C. floerkeana*). Van de grondbewonende korstmossen kwamen naast de meer humicole soorten (*C. bacillaris/macilenta*, *C. floerkeana*, *C. chlorophaea/merochlorophaea*) ook een aantal soorten voor die mineraal zand prefereren zoals Spruitend beermos (*C. ramulosa*), *C. gracilis*, Open rendiermos (*Cladina portentosa*), Kraakloof (*Coelocaulon aculeatum*). Deze grondbewonende korstmossen hebben een voorkeur voor het stuifzand (Brand et al., 1988)

In de opstanden in de rand van de brandvlakte en onder groepjes dennen waren soorten als Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*), Heide-klauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*) en Bochtige smele aanwezig, wat duidt op een later stadium in de successie.

26 Jaar na brand (Oldebroek)

De brandvlakte bestond hier uit een open landschap met groepen Grove den verspreid over het gebied. Op de zuidhellingen waren hier en daar nog kleine plekken met kaal zand te vinden, maar de rest van het gebied bestond uit vastgelegd stuifzand. De open plekken waren bedekt met mossen, korstmossen, grassen (*Agrostis vinealis*, *Corynephorus canescens*, *Festuca ovina*) of Struikhei (*Calluna vulgaris*). In de plots waren soms hoge bedekkingen van groundbewonende korstmossen te zien. Soorten die waargenomen werden waren veelal soorten die minerale gronden prefereren (o.a. *C. rumulosa*, *C. coccifera*, *C. cervicornis*).

3.2.2 Ordinatie

In figuur 3.4 is een CCA-diagram te zien van de gevonden soorten en de omgevingsvariabelen I'-laag, leeftijd, brand en de geomorfologische variabelen uitgestoven laagte, noordhelling van een landduin en zuidhelling van een landduin.

De eigenwaarde van as-1 is 0,47 en van as-2 0,30 nadat de assen gecorrigeerd waren door de co-variabelen. De eerste twee assen verklaren samen 76,3% van de variantie. De eerste as scheidt de soorten van de brandvlaktes van de soorten uit onverbrande plots. Tevens scheidt de eerste as de soorten die op een dikke I'-laag groeien van de soorten die op een dunne I'-laag groeien.

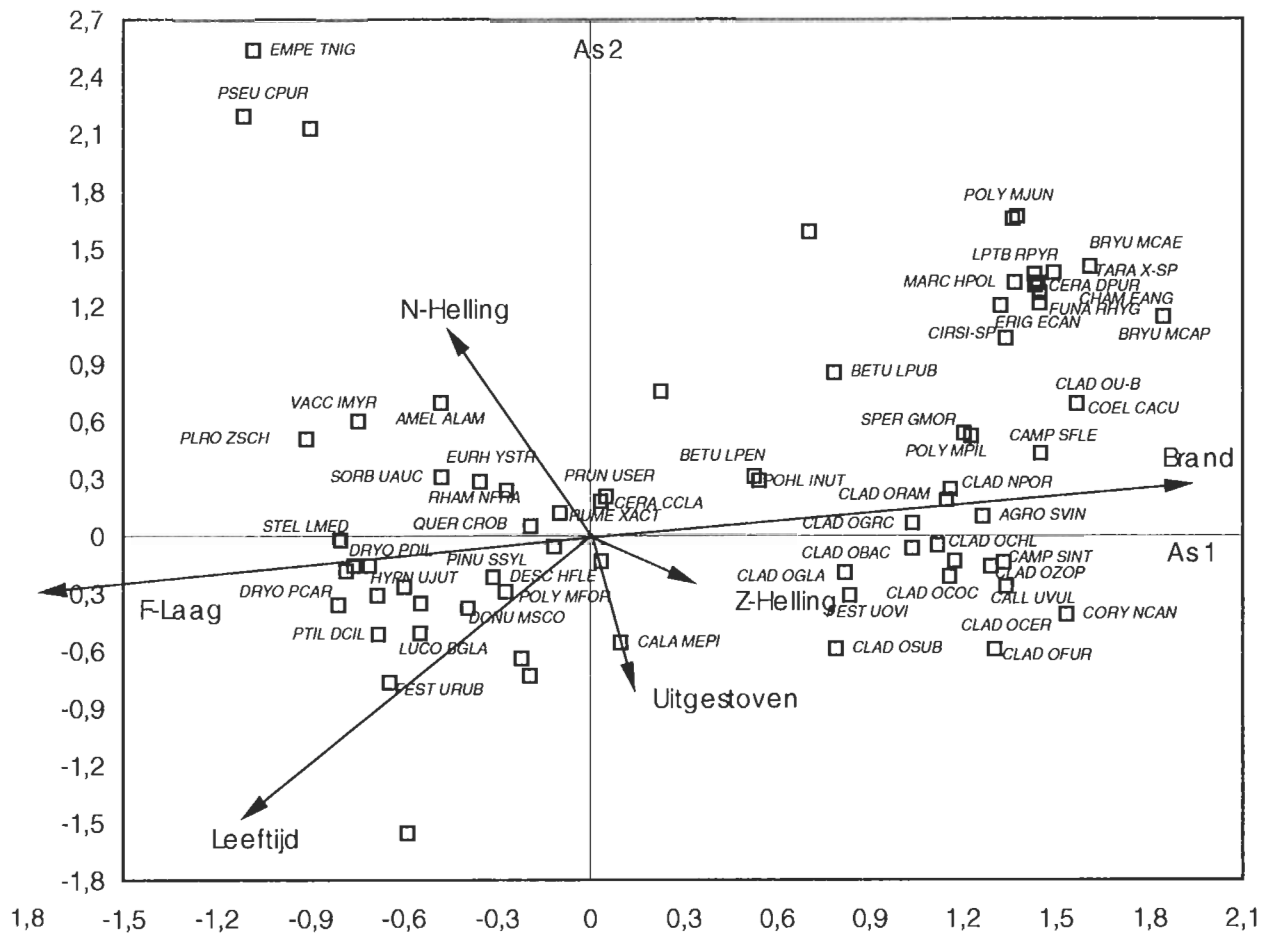
Uit figuur 3.4 blijkt dat de 'I'-laag' van een opname negatief gecorreleerd is met de eerste as (-0,74) en nauwelijks gecorreleerd met de tweede as (-0,10). De pijl wijst in de richting van de plots (fig 3.5) die de dikste I'-laag hebben. De 'I'-laag' heeft een hoge correlatie met de variabele 'humuslaag' (0,85; daarom niet afgebeeld) en in de ordinatie wijst de pijl in de richting van soorten die zich ontwikkelen bij een dikke fermentatielaag of een humuslaag. Dit zijn soorten als Brede stekelvaren (*Dryopteris dilatata*), Smalle stekelvaren (*Dryopteris carthusiana*), Blauwe bosbes (*Vaccinium myrtillus*). Ook wijst de pijl richting Bochtige smele (*Deschampsia flexuosa*), Heide-klauwtjesmos (*Hypnum jutlandicum*), soorten die verantwoordelijk zijn voor de dikke fermentatielaag.

De variabele 'leeftijd' is met beide assen negatief gecorreleerd (As-1: -0,48; As-2: -0,64). De opnamen met de hoogste leeftijd zijn in figuur 3.5 linksonder in de ordinatie te vinden. De opnamen met de laagste leeftijd in de rechterbovenhoek. Rechtsboven zijn de plots afgebeeld die een jaar na de brand zijn opgenomen. In deze plots vindt men de kruiden die kort na de brand een kans krijgen, zoals Paardebloem (*Taraxacum-sp.*), Wilgeroosje (*Chamerion angustifolium*), Canadese fijnstraal (*Erigeron canadensis*), Distel (*Cirsium-spec.*) en verschillende mossoorten als Gewoon krulmos (*Funaria hygrometrica*), Slangmos (*Leptobryum pyriforme*), Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*), Parapluitjesmos (*Marchantia polymorpha*), Zode-knikmos (*Bryum caespitium*).

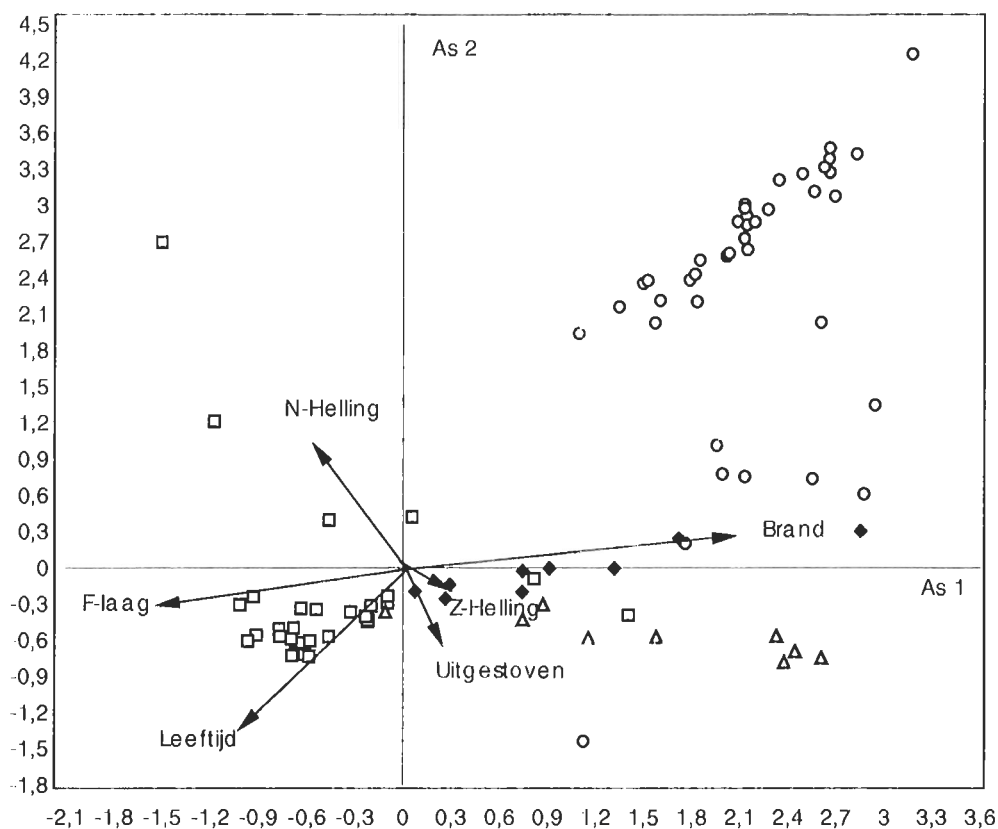
De variabele 'brand' heeft een hoge correlatie met de eerste as (0,84) en wijst richting de soorten van het korstmossenrijke *Spergulo-Corynephorum* als *Cladonia ramulosa* en *Cladonia gracilis* maar ook andere soorten als Zandstruisgras, Buntgras en ook Struikheide.

De geomorfologische eenheden 'uitgestoven laagte' en 'noordhelling' zijn vooral gecorreleerd met de tweede as (-0,30 en 0,41 resp.) en veel minder met de eerste as (0,06 en -0,19). 'zuidhelling' is weinig gecorreleerd met de tweede as (-0,09) en iets meer met de eerste as (0,15). De vectoren 'zuidhelling' en de 'uitgestoven laagte' wijzen beide in de richting van diverse soorten korstmossen. De vector 'noordhelling' richt zich vooral op Kraaiheide, Bronsmos, Blauwe bosbes, en houtige gewassen als Vuilboom (*Rhamnus frangula*) en Amerikaans krenteboompje (*Amelanchier lamarckii*). Noordhellingen hebben een minder extreem microklimaat en een betere nutriëntenvoorziening dan zuidhellingen en uitgestoven laagten waardoor deze soorten die een later stadium van de successie representeren zich als eerste op deze hellingen vestigen.

In de ordinatiediagram van de opnamen (fig 3.5) is te zien hoe de opnamen uit de verschillende brandvlaktes en controleplots geclusterd zijn. De controleplots bevinden zich vooral links van de tweede as en met een zwaartepunt onderin het diagram in de richting van hogere leeftijden en dikkere I'-lagen. De opnamen op brandvlaktes van Kootwijk (met jonge leeftijd) zijn rechtsbovenin het diagram geclusterd met een hoge spreiding in de richting van 'leeftijd' en 'I'-laag'. De opnamen van het Stroeërzand vormen een langwerpig cluster in de richting van 'I'-laag'. Op de leeftijdsas halen de opnamen van het Stroeërzand de opnamen van Oldebroek in. De opnamen van Oldebroek zijn rechtsonderin de ordinarie geclusterd en hebben net als de opnamen van het Stroeërzand een hoge spreiding in de richting van 'I'-laag'.



Figuur 3.4 Ordinatiediagram gebaseerd op de Canonische Correspondentie Analyse van de vegetatie op brandvlaktes waarbij twee kwantitatieve omgevingsfactoren (leeftijd, F-laag) en vier nominale omgevingsfactoren (uitgestoven laagte, zuid-helling, noord-helling, gebrand of niet) zijn meegenomen in de berekening. De vectoren van de omgevingsvariabelen zijn 2 × vergroot. De eigenwaarden van de assen 1 en 2 zijn 0,47 en 0,30. (Zie CCA-diagram in Aanhangsel IV voor alle soorten)



Figuur 3.5 Ordinatie diagram van de vegetatieopnamen (○ = brandvlakte Kootwijk, ◆ = brandvlakte Stroeërzand, ▲ = brandvlakte Oldebroek, □ = controleplots) gebaseerd op de Canonische Correspondentie Analyse. Twee kwantitatieve omgevingsfactoren (leeftijd en F-laag) en vier nominale omgevingsfactoren (uitgestoven laagte, zuid-belling, noord-belling, gebrand of niet) zijn meegenomen in de berekening. (Getallen op as-1 en as-2 zijn door CANOCO berekende getallen)

De vectoren van de omgevingsvariabelen zijn 2 × vergroot.

De eigenwaarden van de assen 1 en 2 zijn 0,47 en 0,30.

(Zie Aanhangsel V voor het CCA-diagram met alle opnamennummers)

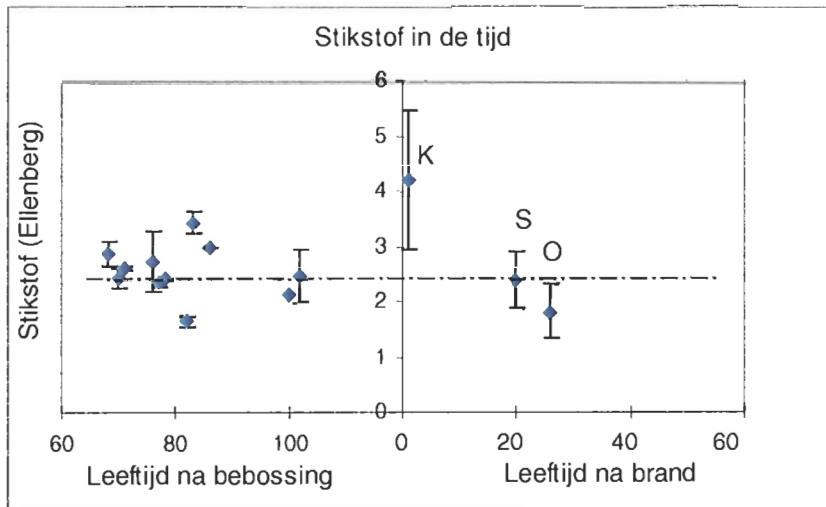
3.2.3 Verandering in beschikbaar stikstof en zuurgraad

Stikstof

Van de vegetatieopnamen zijn gemiddelde Ellenberg indicatiewaarden berekend voor stikstof en zuurgraad (zie aanhangsel VI voor de betekenis van de indicatiewaarden).

In figuur 3.6 zijn de indicatiewaarden voor stikstof met hun standaarddeviatie uitgezet tegen de leeftijd van de plots voor en na brand. De punten zijn gemiddelden van de opnamen uit eenzelfde leeftijds categorie.

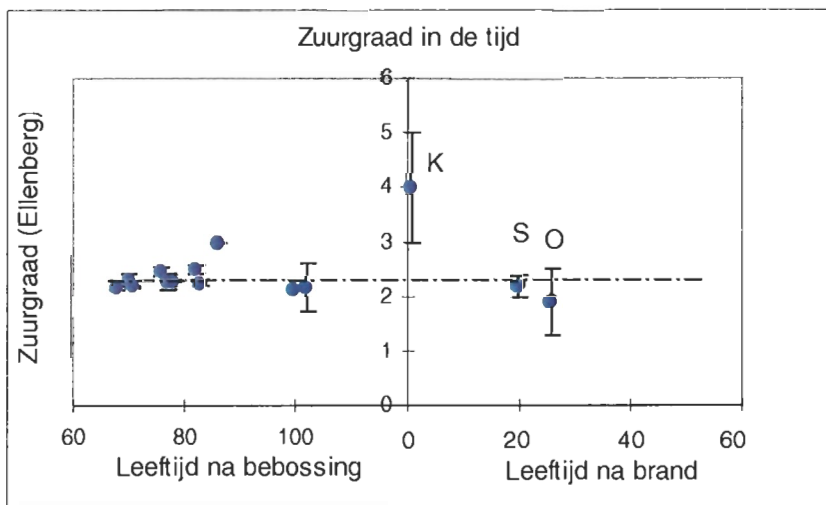
De 1 jaar oude brandvlakte van Kootwijk heeft de hoogste gemiddelde Ellenberg indicatiewaarde voor stikstof. De oudere brandvlaktes (Stroeërzand en Oldebroek) liggen onder het gemiddelde van de controleplots.



Figuur 3.6 Gemiddelde Ellenberg indicatiewaarden voor stikstof met standard error, uitgezet tegen de leeftijd van de plots voor de brand (na bebossing) en na de brand. (K= Kootwijk, S= Stroeyland, O= Oldebroek, ----- = het gemiddelde van de niet verbrande plots).

Zuurgraad

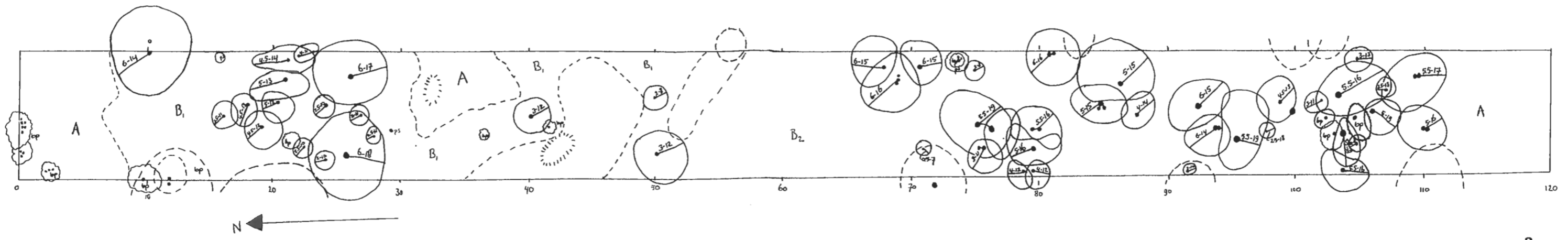
Het verloop van de indicatorwaarden voor zuurgraad in de tijd (figuur 3.7) heeft hetzelfde patroon als het verloop van de stikstof in de tijd (figuur 3.6). Kootwijk heeft een gemiddeld hogere indicatiewaarde voor zuurgraad dan de oudere plots. Dit betekent dat de pHI gemiddeld hoger is kort na de brand (zie appendix III). Vervolgens zakt de pHI (1-25 jaar) na de brand snel tot onder het niveau van voor de brand.



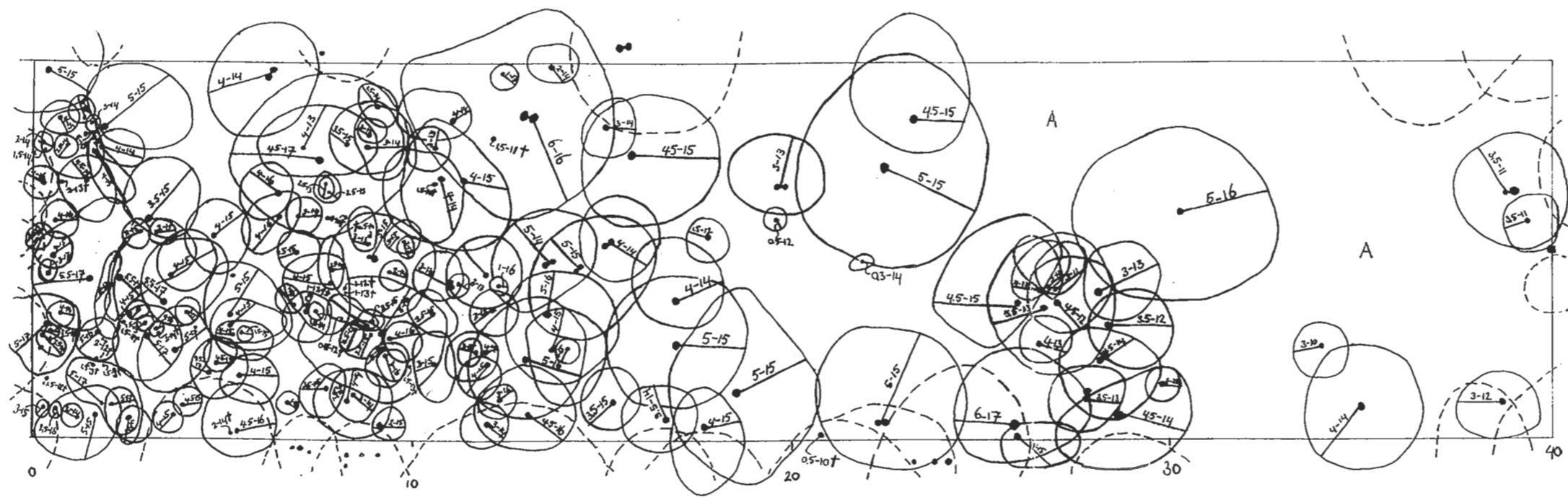
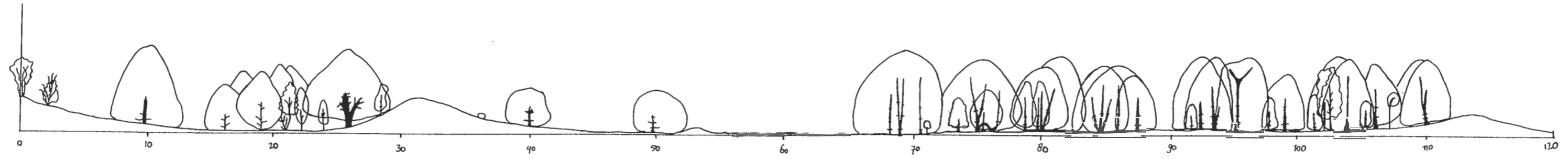
Figuur 3.7 Gemiddelde Ellenberg indicatiewaarden voor zuurgraad met standard error, uitgezet tegen de leeftijd van de plots voor de brand (na bebossing) en na de brand. (K= Kootwijk, S= Stroeyland, O= Oldebroek, ----- = het gemiddelde van de plots voor brand).

Figuur 3.8 Transecttekeningen van 2 brandvlaktes op het Stroeyland (a., b.) en het defensieterrain Oldebroek (c., d.). In borenanzichten (a., c.) zijn de kroonprojecties van de bomen weergegeven met daarin de hoogte van de betreffende boom met zijn leeftijd, b. en d. geven de zijanzichten weer (zie pagina hiernaast)

A3 invoegen = fig. 3.8



a.




c.


A = Vegetatie van soorten als Buntgras (*Corynephorus canescens*), Heidespurrie (*Spergula morisonii*), Schapegras (*Festuca ovina*) en verschillende soorten korstmossen. (*Spergulo-corynephoretum*)

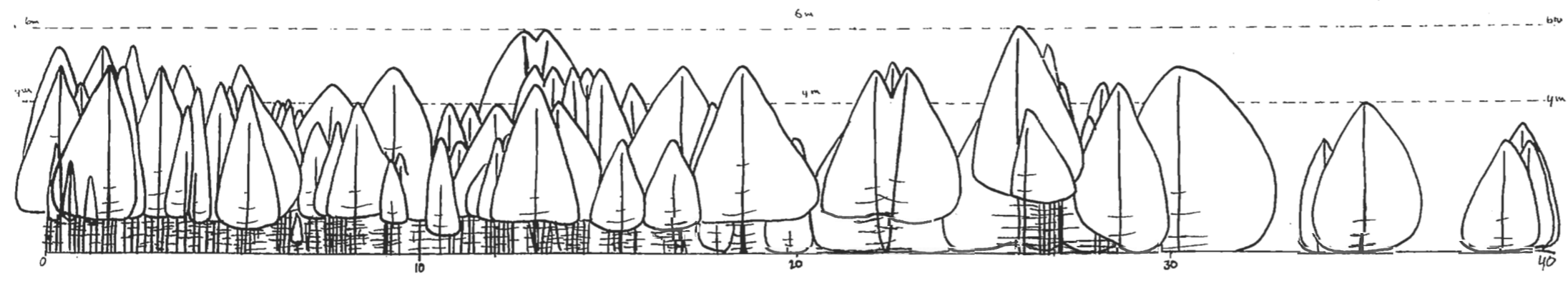
B = Struikheide met enkele soorten korstmossen

B₁ = Struikheide afgewisseld met Bochtige smele

"4.5-15" = Hoogte en leeftijd van de boom

 = Ruwe berk (*Betula pendula*)

 = Kaal zand



d.

3.2.4 Herkolonisatie op brandvlaktes

Oldebroek

Op figuur 3.8 a. en b. is het transect weergegeven dat is opgenomen in Oldebroek. Het Noord-Zuid transect staat haaks op de richting van de stuifduinen. Te zien is dat de zuidhellingen nog nauwelijks door bomen zijn gekoloniseerd. De vegetatie bestaat daar uit pioniersoorten van het *Spergulo-Corynephoretum*. Op twee plekken (33m en 42m) is zelfs na 25 jaar nog geen begroeiing te zien.

Op de noordhellingen staan de oudste bomen (16-19 jaar). Hier is de kolonisatie van Grove den begonnen. In de schaduw van deze bomen is vervolgens ongeveer 5 jaar later nog een aantal dennen opgeslagen.

Tussen 65m en 110m van het transect zijn in de uitgestoven laagte een aantal dennen opgeslagen met ongeveer dezelfde leeftijd. De meeste bomen op dit transectinterval zijn geschat uit vestigingsjaar 1981, een aantal andere bomen uit 1980 of 1982. Deze leeftijdsverdeling komt overeen met de leeftijdsverdeling in de uitgestoven laagte van het Stroeërzand. Opvallend is dat de eerste 9 jaar geen succesvolle vestiging van Grove den heeft plaatsgehad.

Stroeërzand

Figuur 3.8 c. en d. geven het boven- en zij aanzicht weer van het transect wat in het Stroeërzand gemaakt is. Het begin van het Noord-Zuid transect ligt op ongeveer 10m vanaf de rand van de brandvlakte en is gericht naar het midden van de brandvlakte.

Duidelijk te zien is het grote aantal Grove dennen van 0-20 m. De concurrentie is hier groot en een groot aantal boompjes was al gestorven of stonden op het punt te sterven door lichtgebrek.

De bomen hebben voordeel gehad van randeffecten in de vorm van een gunstiger microklimaat en een nabije zaadbron van de Grove dennen aan de rand van de brandvlakte. De eerste bomen vestigden zich in 1979 en staan aan het begin van het transect (0-5m). Daarna is het meest voorkomende vestigingsjaar 1981 en in mindere mate 1980 en 1982. Opvallend is dat de eerste 3 jaar geen succesvolle vestiging van Grove den heeft plaatsgehad.

Kootwijk

In Kootwijk zijn in totaal 7 transecten uitgezet (§ 3.1.2) maar de transecten zijn niet in dit onderzoek opgenomen.

3.2.5 Mycoflora op brandvlaktes

In tabel 3.1 is een overzicht gegeven van de brandplek-paddestoelen die gevonden zijn op de verschillende proefvlakken gedurende de maanden mei-aug. en op 10 okt. 1996.

Tabel 3.1 Waargenomen brandplek-paddestoelen in de verschillende proefvlakken gedurende de maanden mei-aug. en op 10 okt. 1996. De afkortingen in kolom 6 hebben de volgende betekenissen: VN = Verdwinen (na 1975 niet meer waargenomen); EB = Ernstig bedreigd; BE = Bedreigd; KW = Kwetsbaar; GE = Geroelig.

	Kootwijk	Stroecër-zand	Oldebroek	Oecologie (Arnolds et al., 1995)	Opgenomen in Rode lijst (Arnolds & Van Ommering, 1996)
Brandplek-bundelzwam (<i>Pobolota biglandensis</i>)	30 mei -10 okt.	-	-	Saprotroof op dood, verbrand hout, voornamelijk van coniferen en Struikheide	KW
Brandplek-franjehoed (<i>Psathyrella pennata</i>)	23 mei, 10 okt.	-	-	Saprotroof op verkoalde houtresten in loof- en naaldbossen, wegbermen en droge heide op zure, voedselarme zandgrond.	BE
Bosbrandvlamhoed (<i>Gymnopilus odini</i>)	10 okt.	18 aug	-	Saprotroof, op de grond en op hout, op brandplekken, in naaldbossen en op veen.	BE
Bekerzwam (<i>Peziza spec.</i>)	begin mei	-	-		BE
Gewoon houtskoolbekertje (<i>Anthrachia melaloma</i>)	17, 18 juli	-	-	Saprotroof, op brandplekken.	BE
Tolzwam (<i>Coltricia perennis</i>)	24 juli, 10 okt.	begin aug	11 juli	Vormt ectomycorrhiza met Grove den, Beuk en Eik.	BE
Oliebolszwam of koffievuurtjeszwam (<i>Rhizina undulata</i>)	14 juni-10 okt	-	-	Parasitair op naaldbomen, vruchtlichamen verschijnen op brandplekken in naald- en gemengde bossen en op kapvlaktes.	BE
Brandplekmosklokje (<i>Galerina carbonicola</i>)	10 okt.	-	-	Saprotroof op brandplekken tussen mossen.	GE
Brandplekvaalhoed (<i>Hebeloma anthracophilum</i>)	10 okt.	-	-	Saprotroof of ectomycorrhiza-vormend op o.a. brandplekken.	-
Spinragkuddeschijfje (<i>Pyrenema omphalodes</i>)	mei - aug, 10 okt	-	-	Saprotroof op brandplekken, ook op gestoomde grond.	KW
Glanzende houtskoolzwam (<i>Daldinia verrucosa</i>)	mei - aug, 10 okt	-	-	Saprotroof op verbrand hout van brem (<i>Cytisus</i>), Berk of Eik.	EB
<i>Mycena galopus var. nigra</i>	10 okt	-	-	-	-
Rondsporig pekzwammetje (<i>Tephroclype anthracophila</i>)	10 okt	-	-	Saprotroof, vrijwel altijd op brandplekken in allerlei milieus.	KW

De Brandplekbundelzwam werd in Kootwijk voor het eerst waargenomen op 30 mei 1996 op dode wortels en hout van Grove den en Jeneverbes. In oktober was deze paddestoel erg algemeen op de brandvlakte. De Glanzende houtskoolzwam was algemeen op dode berken en op Vuilboom aanwezig. Het Spinragkuddeschijfje is een kleine ascomycete die opvalt door de roze-oranje kleur. De vruchtlichamen werden eind mei voor het eerst gevonden op de aslaag. In juli werd ze in bijna iedere vegetatieopname waargenomen. In oktober waren de vruchtlichamen op slechts enkele plekken nog aanwezig.

De eerste vruchtlichamen van de Oliebolzwam of Koffievuurtjeszwam werden half juni waargenomen op de grond rond dode bomen. In juli werden enorme aantallen vruchtlichamen waargenomen in het hele gebied. Het is een grote opvallende ascomyceet die typisch is voor brandplekken. Ze komt vooral voor op brandplekken in naald- en loofbossen op arme zandgronden. De sporen kiemen na verhitting, waarna het substraat, levende wortels van naaldbomen, door middel van hyfenstrengen bereikt wordt.

Op 24 juli werd in Kootwijk de eerste Tolzwam waargenomen. In oktober was zij al op meerdere plekken aanwezig. Op brandvlakte Oldebroek werd zij dit jaar ook enkele malen waargenomen en op de brandvlakte van het Strocërzand was ze veelvuldig aanwezig.

De Brandplekfranjehoed is een vrij zeldzame achteruitgaande paddestoel. Ze werd in het voorjaar eenmaal waargenomen. In oktober was ze erg algemeen op de brandvlakte.

Het Gewone houtskoolbekertje werd op 17 en 18 juli in een drietal opnamen gevonden. Deze brandplekpaddestoel is vrij algemeen maar achteruitgaand en typerend voor brandplekken (Arnolds et al., 1995).

Een bijzondere vondst was een aantal exemplaren van het brandplekmosklokje tussen zaailingen van Berk (6 × eerder in Nederland waargenomen). Het Rondsporig pekszwammetje is eenmaal waargenomen in oktober en de Dadelbruine brandplekbekerzwam is ook eenmaal waargenomen in mei.

In de controleplots is geen van de gevonden brandplekpaddestoelen waargenomen.



De Oliebolzwam (Rhizina undulata) is tegenwoordig een vrij zeldzame paddestoel. In het eerste jaar na de brand bij Kootwijk werd de soort massaal waargenomen.

3.2.6 Fauna op brandvlaktes

Naast de flora en mycoflora op brandvlaktes die is beschreven reageert ook de fauna op de veranderingen van het ecosysteem door de brand. Brand vernietigt het habitat van dieren en insecten en heeft een grote invloed op de populatiedynamiek. Hoe dit door brand wordt beïnvloed en hoe de brandvlakte weer gekoloniseerd wordt valt echter buiten het onderwerp van dit onderzoek. Tijdens het veldwerk werden wel een aantal interessante waarnemingen gedaan die het vermelden waard zijn.

Al in het eerste jaar werden de dode bomen massaal aangevallen door insecten. Veelal snuitkevers, maar ook boktorren en andere kevers. Insecten-etende vogels als Spechten werden hierdoor aangetrokken en waren volop in het gebied aanwezig (Grote bonte specht, Zwarte specht, Kleine bonte specht, bonte vliegenvanger, gekraagde roodstaart e.d.).

Ook o.a. rode bosmieren werden in de eerste dagen na de brand alweer waargenomen in het verbrande gebied. Van de reptielen werden de Zandhagedis en Hazelvorm waargenomen. Hoe de de brand de populatiedynamiek van insecten, vogels, reptielen etc. beïnvloedt verdient verder onderzoek.

4 Discussie

4.1 Inhoudelijke discussie

4.1.1 Brandpatronen en -intensiteit in relatie tot terreinkenmerken

De brand nabij Kootwijk heeft voornamelijk het karakter van een grondvuur gehad waarbij (bijna) het hele humusprofiel is afgebrand (Smit, 1996). Branden in de Boreale bossen hebben het kenmerk dat aan het front een hoge intensiteit en hoge vlammen waargenomen worden. Dit komt door de opbouw van het humusprofiel dat door zijn dikte, lage vochtigheid en zijn luchtige opbouw uitermate brandbaar is. Vaak gaat dit ook gepaard met het ontstaan van een kronenvuur (Johnson, 1992). Op de brandvlakte nabij Kootwijk is op een aantal kleine plekken ook een kronenvuur ontstaan (kaart 2). Als oorzaak voor het ontstaan van kronenvuur op een aantal plekken werd gedacht aan een relatie met de bosstructuur waarin bijvoorbeeld een dichte struiklaag of veel dode takken op de stam voor het vuur een opstap geweest zou kunnen zijn om over te springen naar de kronen. Op de plekken met kronenvuur was echter geen struiklaag aanwezig zodat er geen opstap mogelijk was (zie kaart 6)

Van Wagner (1977) definieert 3 soorten kronenvuur; (I) passief kronenvuur, waarbij de vlammen plaatselijk overslaan op de kronen en daarbij de kronen verbranden, maar wat zich niet in de aangrenzende kronen kan handhaven. (II) een actief kronenvuur waarbij het vuur op de kronen overslaat en zich daar verder verspreidt in aangrenzende kronen, gesteund door een loop- of grondvuur met hoge intensiteit. Het derde type is een onafhankelijk kronenvuur, dat zich in de kronen kan handhaven zonder vuur op de grond maar vaak gepaard gaat met een harde wind. Deze 3 typen van kronenvuur zijn het resultaat van 3 beperkende factoren, gebaseerd op eigenschappen van het vuur: I intensiteit van het vuur op de bodem, deze moet hoog genoeg zijn om de ontstekingstemperatuur van de kroon te halen, II een kritieke verspreidingssnelheid van het vuur in de kronen om zich daar te kunnen handhaven en III een horizontale energie flux van het vuur in de kronen die groot genoeg is om de nog niet verbrande aangrenzende kronen zodanig te verhitten dat deze ook kunnen ontvlammen. Eigenschappen van de kroonlaag die bepalen of een kronenvuur mogelijk is, zijn: I de hoogte van de kroon boven de grond (kroonbasis), II dichtheid van de kronen (kg naalden/m³ kroon) en III het vochtgehalte van de naalden. Hierbij moet bekend zijn wat de ontstekingstemperatuur is van de kroon: de temperatuur waarbij de kroon vlam vat. Als eerste moet een temperatuur van 100 °C bereikt worden om het water uit de kroon te verdampen. Vervolgens moet de temperatuur verder oplopen tot 300 °C zodat de gassen die ontstaan bij de verdamping van hout vlam vatten. Vochtgehalte van de naalden is dus belangrijk en bepalend voor de ontstekingstemperatuur. Lage vochtgehalten treden op in het voorjaar en het begin van de zomer (Johnson, 1992). Daarnaast is de hoogte van de kroonbasis logischerwijs ook belangrijk. Wind is een belangrijke factor in het ontstaan van kronenvuur omdat wind het vuur op de grond intenser maakt, en in extreme gevallen ook een actief of zelfs een onafhankelijk kronenvuur kan laten ontstaan (Van Wagner 1977).

Ook op de brandvlakte van Kootwijk heeft de wind vermoedelijk een rol gespeeld bij de intensiteit van het vuur wat blijkt uit de evaluatie na de brand (I lees 1995, Anoniem 1995). Aan de oostkant van de weg Kootwijk-IJardervijk direct aan de open vlakte is het vuur intenser geweest (kaart 4, vak 11c (aanhangsel 3b)) doordat de wind op de open vlakte kon aanwakkeren. Alleen in extreme gevallen wanneer er een harde wind staat en de conditie van de kroon ideaal is (hoge dichtheid, laag vochtgehalte) kan een actief kronenvuur ontstaan (Molchanov (1957) in Van Wagner (1977)). Daarom is de kans op actief kronenvuur in bos op stuifduinen in Nederland niet erg waarschijnlijk, behalve wellicht in het voorjaar als het vochtgehalte in de naalden laag is en bij een harde wind en grote fuel-load.

De brand nabij Kootwijk was aan het einde van een (droge) zomer en een verklaring voor het optreden van kronenvuur moet gezocht worden in het feit dat het dikke droge humusprofiel plaatselijk voor een hoge intensiteit van de brand heeft gezorgd, waardoor het vuur op sommige plekken met een lage kroonbasis (uitgestoven laagten) toch op de kronen kon overslaan. Dit kronenvuur zou volgens de definitie van Van Wagner (1977) een passief kronenvuur (type I) zijn dat zich niet in stand kan houden maar ontstaan is door een combinatie van een lage kroonbasis en een grondvuur met een hoge intensiteit. De kronen hebben vlam gevat en zijn vervolgens helemaal verbrand maar het heeft zich niet in horizontale richting kunnen verspreiden. Van belang hierbij was ook de sluitingsgraad; in bos met een hoge sluitingsgraad kan de temperatuur onder de kroonlaag hoger oplopen en kunnen kronen eerder ontvlammen (Johnson,1992). Op de stuifduinen heeft zich nergens een kronenvuur ontwikkeld omdat de bomen gemiddeld hoger waren (en daarmee ook de kroonbasis, deze is nl. niet gemeten) dan in de uitgestoven laagtes. Het grondvuur kan daarom op de stuifduinen niet de vereiste intensiteit hebben bereikt voor het ontstaan van een kronenvuur.

In het zuidwestelijk gedeelte van de brandvlakte zouden bluswerzaamheden invloed gehad kunnen hebben op het niet verder verspreiden van het kronenvuur.

In het spontaan opgeslagen bos met lage sluitingsgraad heeft zich op een aantal plekken ook een kronenvuur kunnen ontwikkelen. Ook dit is een passief kronenvuur geweest. De vliegdennen in dit bos hebben veelal hun takken op de grond hangen en dit zou dus ook wederom een opstap kunnen zijn om zo de gehele boom in brand te zetten. Het patroon is echter onregelmatig en er zijn ook bomen te vinden waarbij de takken die op de grond hangen wel verbrand zijn, maar de boom verder gespaard is gebleven. Ook hier moet de verklaring gezocht worden in de aanwezigheid van de hoeveelheid fuel-load onder de boom. Op plekken waar de hele boom in brand heeft gestaan was de fuel-load rondom de boom hoger in de vorm van een aanwezige laag Bochtige smele. Op andere plekken waar de boom niet geheel verbrand is, was de fuel-load niet zo groot dat zich vuur met een hoge intensiteit heeft kunnen ontwikkelen zodat de naalden van de bomen konden ontvlammen. In dit open landschap kan zich geen actief of onafhankelijk kronenvuur ontwikkelen omdat er geen sprake is van een homogene kroonlaag waarin het vuur zich kan verspreiden. Kronenvuren zijn aanzienlijk moeilijker te starten als de kroonbasis hoger wordt.

Het pleksgewijze karakter van de brand op de open vlakte met recent vastgelegd stuifzand is te verklaren door de afwezigheid van een grote fuel load. Alleen de verdroogde en of dode grassen en mossen zijn plaatselijk verbrand. Verder onderzoek naar informatie over fuel load en de kans op de ontwikkeling van kronenvuur is daarom gewenst.

4.1.2 Invloed van de bosstructuur op het verloop van de brand

Door de relatief kleine oppervlakte van de brand was het niet mogelijk om een relatie te leggen tussen de openheid van het bos en het verloop van de brand. Op de open mosvlakte heeft de brand een pleksgewijs karakter waardoor delen gespaard zijn en andere delen verbrand. Op deze vlakte waren geen data over de invloed van brand op de bosstructuur te verzamelen omdat je hier nauwelijks van bos kunt spreken. In het bos ten Westen van de N302 (Caitvickerzand) zou je wel kunnen spreken van een open bosstructuur maar de doorsnijding van het gebied met veel wegen en paadjes is zeer kunstmatig en zal het brandgedrag zeker hebben beïnvloed.

Een tweede reden voor het niet ontstaan van een kronenvuur op de stuifduinen zou de aanwezigheid van een struiklaag van loofhout kunnen zijn. Loofbomen zijn moeilijker te ontvlammen omdat ze een hoger vochtgehalte in de bladeren hebben dan de naaldbomen in de naalden. De struiken kunnen de hitte tegengehouden hebben waardoor de kronen niet konden ontvlammen.

4.1.3 Overleving van de vegetatie

Mos- en kruidlaag

De mos- en kruidlaag is in de beboste delen overal verbrand, maar de regeneratie van soorten is afhankelijk van de gevoeligheid van de soort voor brand (Schimmel, 1993). Na een milde brand zal de soortensamenstelling nauwelijks veranderen en Bochtige smele zal zelfs iets in bedekking toe kunnen gaan nemen. Bij hogere intensiteiten zal Bochtige smele echter niet meer terugkomen. Soorten die diep wortelen (bv. Blauwe bosbes), in de zaadbank zijn opgeslagen (bv. Struikhei) of door de wind verspreid worden (bv. Wilgeroosje) krijgen dan meer kans (Schimmel, 1993).

In Kootwijk is door het grondvuur vrijwel alles tot op de minerale grond verbrand. Op slechts enkele plekken is nog een deel van de fermentatielaag over die dik genoeg was voor regeneratie van Bochtige smele. Daar waar nog maar een klein deel van de fermentatielaag over was, is deze vaak irreversibel ingedroogd (Smit, 1996) zodat de regeneratie van Bochtige smele ook hier geen kans kreeg. Mossen als Gewoon gaffeltandmos (*Dicranum scoparium*) en Heide-klauwtjesmos (*Ilypnum jutlandicum*) zijn niet meer teruggekomen omdat deze juist in het bovenste deel van het humusprofiel groeien.

Struiklaag

Op een aantal plaatsen in het aangeplante bos heeft zich een struiklaag van loofbomen kunnen ontwikkelen. Deze struiklaag wortelde voornamelijk in de fermentatie- en humuslaag van de bodem. Dit is goed in het veld waar te nemen; de struiken zijn allemaal omgevallen omdat het horizontale wortelstelsel door het verbranden van het humusprofiel aan de oppervlakte zijn komen te liggen. Een belangrijke oorzaak van de hoge mortaliteit in de struiklaag, zelfs bij een lage intensiteit (fig. 3.2), moet dan ook gezocht worden in het feit dat de brand in het hele humusprofiel heeft gewoed en daarbij dus het wortelstelsel heeft aangetast. Ook de dunne bast en de geringe hoogte van de vaak nog jonge struiklaag heeft bijgedragen aan de sterfte van de struiken.

Een enkele Berk is uitgelopen vanuit de stamvoet, mogelijk omdat de bast van vooral oude berken aan de voet wat dikker is, wat deze soort (een beetje) beschermt tegen de brand en ze minder gevoelig maakt (Hannellius & Kuusela, 1995, Parviainen 1995).

Boomlaag

De overleving in de boomlaag is erg verschillend. Het gebied is een mozaïek van plekken met weinig overleving en veel overleving (zie kaart 4; § 3.1). Tevens is in figuur 3.3 te zien dat de overleving van de bomen ook afhankelijk is van de intensiteit van het vuur. De relatie tussen intensiteit van de brand en de sterfte van de boom is afhankelijk van een groot aantal standplaats- en brandfactoren, opstandskenmerken, morfologie-eigenschappen, brandeigenschappen die de sterfte van een boom bepalen (Peterson en Ryan 1986).

De boom zal sterven door een combinatie van aantasting of verlies van de hele of delen van de kroon en beschadiging aan het cambium ('ringen') (Johnson 1992; Peterson & Ryan 1986). Deze relatie tussen beschadigd gedeelte van de kroon en mortaliteit is soort- en standplaatsafhankelijk volgens Peterson & Ryan (1986). Een permanente aantasting van het cambium vindt plaats bij een temperatuur van 60 °C. De temperatuur waarbij de kronen afsterven is 60-70 °C (Kayll 1968; in Johnson 1992, Methven 1971; in Johnson 1992). Maar omdat er grote verschillen zijn tussen de verschillende soorten brand en verschillende soorten bomen wordt de sterfte van de boom bepaald door een groot aantal factoren zowel op soortniveau als op opstandsniveau. Ryan & Reinhardt (1988) modelleren van een aantal Noordamerikaanse boomsoorten de sterfte na brand aan de hand van een combinatie van aantasting van het cambium en aantasting van de kronen. De aantasting van het cambium is hierin afhankelijk van de soort boom en de dikte van de bast en daarmee ook van de diameter van de boom. De aantasting van de kroon wordt uitgedrukt in percentage aangetast kroonvolume.

In dit onderzoek is alleen een relatie gelegd tussen de hoogte van de boom en de hoogte van de vlammen. Op basis van vlamhoogte zijn een vijftal intensiteiten onderscheiden (fig. 3.3) met ieder hun eigen invloed op de overleving van bomen van verschillende hoogte. Te zien is dat bomen met een geringe hoogte gevoeliger zijn voor brand dan bomen met een grotere hoogte. Deze vergelijking met de hoogte is indirect een vergelijking met schorsdikte, want hoe hoger de boom, hoe beter de groei en dus hoe dikker ook de schors (bij Grove den). De aantasting van de kronen is ook afhankelijk

van de hoogte, gezien het horizontale temperatuursverloop boven brand zijn kronen op grotere hoogte minder gevoelig dan kronen dicht bij het vuur, bij gelijk blijvende intensiteiten (Van Wagner 1977).

In dit onderzoek zijn alleen de bomen die direct na de brand of in het eerste 10 maanden daarna zijn gestorven in kaart gebracht. Lichter verwacht mag worden dat ook in de jaren daarna nog bomen zijn gestorven als gevolg van stress of aantastingen door pathogenen.

Op kaart 1 en 3 (§ 3.1) is te zien dat er een verschil is tussen oude en nieuwe bedekking. De beschadiging van de kroon zorgt ervoor dat de boom verzwakt en gevoeliger wordt voor allerlei pathogenen (schimmels, insecten). Een uitbraak van de agressieve oliebolzwam, die door de hitte kon kiemen zou er toe hebben kunnen bijgedragen dat er veel bomen zijn gestorven en nog zullen sterven.

Om een indruk te krijgen of de brand een gemiddeld karakter had of niet zou men de verspreidingsnelheid van het vuurfront moeten weten.

Schimmel (1993) onderscheidt echter 4 'hevigheids-klassen', gebaseerd op de hoeveelheid brandstof die in zijn experimentele branden wordt geconsumeerd. Op basis van de vegetatie die hij waarneemt in de jaren na brand bij deze 'hevigheidsklassen' en de vegetatie die nu in Kootwijk waargenomen is in het eerste jaar na brand vallen de intensiteiten in Kootwijk te vergelijken met de hevigst verbrande klassen (hevigheidsklasse 3 en 4) van Schimmel (1993).

4.1.4 Vegetatie ontwikkeling

De belangrijkste veranderingen voor de vegetatie na brand is de toegenomen lichtintensiteit op de bodem, het verbranden van de bodem en de bodemvegetatie. Er zijn verder veranderingen in vochtigheid, nutriënten, en textuur van de bodem en in temperatuur en vochtigheid (van de lucht) na een brand (Kozłowski & Ahlgren, 1974). Bij een brand met een intensiteit waarbij de oude vegetatie niet meer kan regenereren is de vegetatie vooral uit zaad afkomstig. In het noorden van de Verenigde Staten wordt eenderde van de zaden door de wind verspreid, eenderde door vogels en kleine zoogdieren. De rest door herten en andere grotere zoogdieren (Ahlgren 1966). Of dit ook voor de Nederlandse situatie geldt is niet bekend, maar in Kootwijk bestaat de kruidlaag nu vooral uit de door wind verspreide soorten als Wilgeroosje (Fire-weed), Paardebloem, Heidespurrie (*Spergula morisonii*) en Canadese fijnstraal. Deze soorten zijn aanwezig in zeer lage bedekkingen. Ook Schimmel (1993) constateerde in het eerste jaar na brand lage bedekkingen bij hogere intensiteiten van brand. Pas in het derde jaar na brand trad een top in de bedekking van Wilgeroosje op met een bedekking van $\pm 10\%$.

Moslaag

Mossoorten die regelmatig op brandvlaktes worden waargenomen en die na 5-10 jaar weer verdwijnen zijn, zijn Purpersteeltje (*Ceratodon purpureus*), Zand-haarmos (*Polytrichum juniperinum*), Ruig haarmos (*Polytrichum piliferum*), Parapluitjesmos (*Marchantia polymorpha*),

Gewoon krulmos (*Funaria hygrometrica*), Peermos (*Pohlia nutans*) (Ahlgren 1974). Purpersteeltje, Ruig haarmos, Parapluitjesmos, Gewoon krulmos en Peermos zijn na de brand in Kootwijk ook de dominerende soorten in de moslaag.

Parapluitjesmos was één van de eerste mossen die de brandvlakte koloniseerde (pers. Waarn. 1996), dit is in overeenstemming met waarnemingen door Ahlgren (1974) in het noorden van de Verenigde Staten, waar deze soort ook als een van de eerste werd waargenomen. De soort had zijn optimum in het derde jaar. Parapluitjesmos is vooral bekend van vochtige plaatsen en werd in Kootwijk vooral in de opnamen op de noordhellingen waargenomen. Waarschijnlijk is de aslaag het meest vochthoudend op de noordhellingen (Kemmers, pers. med., 1996). Vaak was deze laag in het voorjaar het meest vochtig ondanks de droogte in die periode.

Op de brandvlaktes van Stroe en Oldebroek kwam de samenstelling van de (korst)mossenflora overeen met normale niet-verbrande stuifzandvegetaties, dit is in overeenstemming met onderzoek van Daniëls & Krüger (1996), die ook op verbrande plekken in stuifzandvegetaties de mosflora hebben gevolgd en daarbij geen floristische verschillen meer waarnamen na 15 jaar.

Herkolonisatie door bomen

In de zomer vond verjonging van de Grove den plaats in Kootwijk. In oktober was deze weer afgestorven. Slechts op enkele plekken waren nog kiemplanten te zien. De zwarte ondergrond veroorzaakt extremen in temperatuur van de bovengrond, dit is fataal voor de verjonging (Diaz Ferreros et al., 1990). Verjonging van Berk was nog wel veelvuldig aanwezig, vermoedelijk omdat deze vooral op vochtige plekken stonden.

Op de transecttekeningen (fig. 3.8) is te zien dat de eerste verjonging van Grove den plaatsvindt op de noordhellingen (Oldebroek) of in de bosrand (Strocërzand) en dat de zuidhellingen lange tijd onbegroeid blijven. De Blois et al. (1991) vonden in een onderzoek naar verschillen in microklimaat in zandverstuivingen dat noord-oosthellingen de laagste instraling en de hoogste bodemvochtigheid hebben. Hier zal verjonging de meeste kans krijgen om door te groeien in tegenstelling tot zuidhellingen waar extreme temperatuursverschillen de verjonging negatief beïnvloeden. Verder tonen zij aan dat de uitgestoven laagtes qua klimaat tussen een noord- en zuidhelling inzitten, maar dat er opvallend veel vorstdagen zijn. Koster (1978) spreekt over 'vorstmeren' in de laagten. Zackrisson (1977) spreekt over vorststeppen in Zweden die na verloop lichenensteppen worden omdat verjonging daar geen kans krijgt.

De situatie in de bosrand op het Strocërzand is waarschijnlijk vergelijkbaar met de noordhellingen omdat de bomen in het onverbrand gedeelte voor een scherm zorgen waardoor een minder extreem klimaat ontstaat voor de verjonging.

Wat verder opvalt in de transecttekeningen zijn de grote hoeveelheid bomen met ongeveer dezelfde leeftijd. Panta (1995) stelt dat de verjonging van Grove den slechts eens in de ongeveer 15 jaar een kans krijgt door te groeien door gunstige weersomstandigheden (niet te hete zomer) en een jaar waarin veel zaad geproduceerd wordt. De bomen in de transecttekeningen met de leeftijd van 14, 15 of 16 jaar hebben

daarom wellicht allemaal hetzelfde kiemjaar. De voet van de bomen is meestal overgroeid en de wonden van de takkransen waren soms al verdwenen en daarom zou er bij het schatten van de leeftijd wellicht verschillen zijn opgetreden in waargenomen leeftijden die er misschien niet zijn. Rietmeijer (1992)(volgens Fanta 1995) stelt dat koele, vochtige mei-maanden bepalen of de verjonging een kans krijgt. De zomer van 1980 was erg nat (anoniem 1995). Het is daarom waarschijnlijk dat het kiemingsjaar van de boompjes 1980 is.

Mycoflora

Op de brandvlakte nabij Kootwijk is in de korte tijd van dit onderzoek een verandering van mycoflora waargenomen. Een aantal ascomyceten werden aan het begin van de zomer (soms massaal) waargenomen en waren in oktober al weer in aantal afgenomen. Dit geldt voor de Oliebolzwam, het Spinragkuddeschijfje, het Gewoon houtskoolbekertje. Alle waargenomen brandplekpaddestoelen zijn opgenomen in de Rode Lijst II het zijn bijna allemaal achteruitgaande of sterk bedreigde soorten (Arnolds et al., 1995; Nauta et al., 1995, Arnolds & Van Ommering, 1996).

Deze waarnemingen zijn in grote lijnen in overeenstemming met andere inventarisaties op brandvlaktes. De mycoflora wordt gekenmerkt door een snelle successie met vele bijzondere paddestoelen. Tjallingii-Beukers (1972) heeft de brandvlakte Oldebroek enkele keren geïnventariseerd op de specifieke mycoflora (zie tabel 4.1). Het betreft hier waarschijnlijk niet dezelfde plek als de plots in dit onderzoek, maar plekken buiten het defensieterrain. Overeenkomstige soorten in de eerste anderhalf jaar na de brand waren Oliebolzwam, Brandplekbundelzwam, Brandplekfranjehoed, Bosbrandvlamhoed. Ook Bos (1998) vond deze soorten op de brandvlakte nabij Kootwijk. Hij heeft gedurende anderhalf jaar de mycoflora iedere 2 weken geïnventariseerd (zie tabel 4.1).

De ontwikkelingen op de brandvlakte van Kootwijk volgen de ontwikkelingen die Petersen (1970) beschrijft in zijn theorie naar aanleiding van een onderzoek op brandplekken in Denemarken. Hierin verklaart hij de successie van de mycoflora aan de hand van veranderingen die plaatsvinden in de bodem als gevolg van de brand.

Als eerste verschijnen soorten die betrokken zijn bij de afbraak van wortels van planten en bomen die door de brand zijn gestorven (o.a. *Anthracoelia melanoma*, *Ascobolus carbonarius*, *Coprinus angulatus*, *Vaerberia carbonarium*, *Geopyxis carbonaria*, *Pholiota highlandensis*, *Rhizina undulata*). Een tweede groep is betrokken bij de afbraak van organische verbindingen uit de humuslaag (*Peziza* spec.). Een derde groep paddestoelen verschijnt pas op het moment dat er zich een mostapijt heeft gevormd op de brandplekken (*Omphalina postii* (op Paraplutjesmos), *O. pyxidata*, *Lamprospora carbonicola* (op Krulmos), *Neottiella betleri* (op Purpersteeltje), *Octospora* spec.). De waarnemingen die in Kootwijk gedaan zijn, kunnen gerekend worden tot de eerste twee groepen die Petersen beschrijft. Wellicht is het nog te vroeg voor waarnemingen uit de derde groep, de paddestoelen die afhankelijk zijn van mossen. Geesink (1972) heeft in Nederland op brandplekken 4 jaar lang mycologische inventarisaties gedaan en ook in vergelijking met zijn onderzoek zijn een aantal dezelfde ontwikkelingen gevonden. Tevens vindt hij ook soorten uit de laatste groep. Geesink (1972) merkt op dat de interessantste en meest zeldzame

paddestoelen na 3 à 4 jaat verschijnen. In Kootwijk mag eenzelfde ontwikkeling verwacht worden. Tevens zullen waarschijnlijk ook ectomycorrhizasoorten zich weer laten zien rond de nog levende bomen van de opstand. Door het verdwijnen van het dikke humuspakket krijgen bijzondere ectomycorrhiza-soorten waarschijnlijk ook weer een kans na verloop van tijd (Baar, 1995).

Tabel 4.1 Waargenomen paddestoelen op brandvlakte Oldebroek door Tjallingii-Benkers (1972) en op de brandvlakte bij Kootwijk door Bos (1998). Soorten met een * zijn ook in dit onderzoek op dezelfde plaats en tijd gevonden.

1 st e najaar	1 st e zomer	2 ^{de} najaar	Tijdstip van vondst onbekend
<u>Oldebroek</u> (Tjallingii-Benkers, 1972)			
<i>Rhizina undulata</i> (reel), <i>Pholiota biglandensis</i> , <i>Psathyrella pennata</i> ,	<i>Rhizina undulata</i> , <i>Pholiota biglandensis</i> , <i>Psathyrella pennata</i> , <i>Coprinus angulatus</i> , <i>Gymnopilus odini</i> , <i>Psathyrella hydrophilla</i>	<i>P. biglandensis</i> , <i>Psathyrella pennata</i>	<i>Tephrocye ambusta</i> , <i>Omphalia maura</i> , <i>Pustularia rosea</i> , <i>Omphalia clusiliformis</i> Kibner & Romagn.
<u>Kootwijk</u> (Bos, 1998)			
<i>Anthracobia melanoma</i> , <i>Peziza subriolacea</i> , <i>endocarpoides</i> ,	<i>Rhizina undulata</i> *, <i>Pholiota biglandensis</i> *, <i>Psathyrella pennata</i> *, <i>Gymnopilus odini</i> *, <i>Pyronema omphalodes</i> *, <i>Anthracobia melanoma</i> *, <i>Daldinia vernicosa</i> *, <i>Gymnopilus pseudofulgens</i> *, <i>Coltricia perennis</i> *, <i>Auriculariopsis ampla</i>	<i>Anthracobia melanoma</i> *, <i>Rhizina undulata</i> *, <i>Pholiota biglandensis</i> *, <i>Gymnopilus odini</i> *, <i>Psathyrella pennata</i> *, <i>Daldinia vernicosa</i> *, <i>Gymnopilus pseudofulgens</i> , <i>Coprinus angulatus</i> , <i>Tephrocye anthracophila</i> *, <i>Peziza thrauchycaarpa</i> , <i>Coltricia perennis</i> *, <i>Auriculariopsis ampla</i> , <i>Pseudoomphalina pachyphylla</i> , <i>Mycena galopus</i> var. <i>nigra</i> *	

Als oorzaak voor het optreden van een specifieke mycoflora op brandplekken geeft Petersen (1970) aan dat voor sommige soorten de verhitting van de grond door de brand van belang is voor de kieming van sporen, maar dat het ook zo kan zijn dat de specifieke nutriëntensamenstelling van de aslaag en de pH de belangrijke factoren zijn voor het verschijnen van brandplekpaddestoelen.

Vegetatieontwikkeling aan de hand van de ordinatie

Afhankelijk van de verschillende geomorfologische eenheden zal er na brand een verschillende ontwikkeling van de vegetatie in de tijd plaats vinden (zie fig. 3.4). In de uitgestoven laagten en op zuidhellingen zullen zich eerst soorten als Buntgras, Zandstruisgras en Struikheide of mossen als Grijs kronkelsteeltje, korstmossen als *Cladonia ramulosa*, *Cl. gracilis* vestigen. Als deze afsterven komt er een korstmossen

gemeenschap met meer humicole soorten als *Cladonia bacillaris / macilenta*, *C. floerkeana*, *C. chlorophaea / merochlorophaea* (zie fig 3.4). Op noordhellingen zullen dezelfde ontwikkelingen als op zuidhellingen plaatsvinden alleen deze fase duurt veel korter omdat al snel de eerste bosontwikkeling met Grove den zich zal aftekenen (§ 3.4) en vervolgens ook de eerste verjonging van loofhout zoals Berk, Zomereik en struiken als Amerikaans krenteboompje, Lijsterbes, en Vuilboom (zie pijl 'noordhelling').

Zonder de invloed van brand ontstaan er in de loop van de successie in de kruidlaag mogelijkheden voor dikke mospakketten van Heide-klauwtjesmos en Bronsmos. Ook ontwikkelt de fermentatielaag zich met daarop soorten als Bochtige smele, Heide-klauwtjesmos en na ongeveer 80 jaar (Prach, 1989; Fanta, 1986) ontstaat er een humuslaag die kansen biedt voor soorten als Blauwe bosbes, Smalle en Brede stekelvaren. Als er een humuslaag ontwikkelt kan ook Kraaihei zich vestigen. Kraaihei heeft op de noord Veluwe zijn meest zuidelijke verspreidingsgebied en daarom is deze soort alleen daar te verwachten.

De factor 'Brand' heeft duidelijk invloed op de soortensamenstelling waardoor de ontwikkeling van korstmossen wordt gestimuleerd (zie fig 3.4). De variabele 'brand' kan ook als intensiteit gezien worden. Plots die minder zwaar verbrand zijn, komen weer eerder tot ontwikkeling, dit geldt voor de plots waar een I¹-laag is overgebleven na de brand. Dit komt tot uitdrukking in tegenovergestelde assen I¹-laag en Brand. De opnamen die op de brandvlaktes genomen zijn vertonen ook een gradiënt op de leeftijdsas van de ordinatie. Minder zwaar verbrande plekken komen verder op de leeftijdsas terecht, en zijn dus minder ver teruggezet in de successie dan plekken waar de brand alle nutriënten heeft verwijderd.

Zandzegge (*Carex arenaria*) komt uit de ordinatie als een soort die typisch is voor jonge brandplekken. Dit komt waarschijnlijk omdat deze wortelt onder de I¹-laag in het minerale zand. Het temperatuursverloop in de grond vertoont tijdens de brand een sterke verticale gradiënt (Schimmel, 1993). De brand heeft de wortels van Zandzegge dus nauwelijks aangetast en deze soort kon daarna weer terugkomen. Hierdoor lijkt het alsof het een typische soort is van brand.

Dat de opnamen van het Stroeërzand de opnamen van Oldebroek op de leeftijdsas inhalen (fig. 3.5), uit zich ook in de grafiek van Ellenberg getallen, waarbij Oldebroek lagere Ellenberg indicatiewaarden voor stikstof heeft dan het Stroeërzand (fig. 3.6). Men zou hieruit af kunnen leiden dat een minimale stikstofbeschikbaarheid zich pas na 25 jaar of later voordoet terwijl onderzoeken in het mediterrane gebied aantonen het minimum in beschikbare stikstof zich al na een paar jaar voordoet (pers. med. J. Sevink, 1996). Een verklaring hiervoor kan zijn dat het Stroeërzand tegen de Gelderse Vallei aanligt waar een stikstofdepositie van 55-80 kg/ha/jaar wordt gemeten. Oldebroek ligt noordelijker op de Veluwe en heeft een jaarlijkse stikstofdepositie van 40-55 kg/ha/jaar (Frisman, 1992 volgens Farjon et al., 1994). Een andere verklaring is het verschil in grootte van de brandvlakte. Het Stroeërzand is kleiner en heeft nu meer invloed van het omringende bos. De ontwikkeling gaat daarom sneller dan op de brandvlakte van Oldebroek.

Om meer betrouwbare uitspraken te kunnen doen over de veranderende abiotische omstandigheden zouden in de vegetatieopnamen chemische analyses genomen moeten worden. Het SC-DIO heeft in de transecten bodemmonsters genomen om de chemische samenstelling van het humusprofiel te bepalen. Ook in het onderzoek van Ketner-Oostra (1996) op de open vlakte in het verbrande gebied zijn chemische analyses uitgevoerd. Uit de bevindingen blijkt dat er geen sprake is van een pH-sprong en dat het percentage stikstof daalt. Hier was sprake van een lichte brand, wat overeenkomt met Pietikainen & L'ritze (1993). Zwaardere intensiteiten tonen wel degelijk een pH-sprong wat gevolgen heeft voor vegetatie, mycoflora en bodemleven. (Viro 1974; Petersen, 1970, Pietikainen & L'ritze 1993). De Ellenbergwaarden indiceren de beschikbaarheid. De totale hoeveelheid stikstof neemt echter af door de brand (Kozłowski & Ahlgren, 1974).

Ontwikkeling op podzolgronden

Dit onderzoek is gedaan op arm stuifzand met een ontwikkeling van een micropodzol. In stuifzandgebieden zijn echter ook plekken waar de oude humuspodzol bewaard is gebleven en is overstoven. Hier verloopt de ontwikkeling van vegetatie na brand anders omdat vocht en voedingsstoffen op dit soort groeiplaatsen niet alleen in het humusprofiel zijn opgeslagen maar ook in de humeuze en soms lemige minerale ondergrond. Hierdoor verdwijnen met het verbranden van het humusprofiel niet alle voedingsstoffen en absorptie mogelijkheden voor vocht en nutriënten. In bosreservaat Galgenberg (boswachterij Amerongen) is na brand op een holtpodzol een toename van Blauwe bosbes waargenomen (Clerckx et al. 1996). Ook na een brand op een haarpodzol in Oldebroek (1990) was een toename van Pijpestrootje (*Molinia caerulea*) en Bochtige smele te zien. Ook in Boreale bossen waar podzolgronden veelvuldig aanwezig zijn wordt dit waargenomen (Schimmel, 1993).

4.1.5 Verwachte ontwikkeling op brandvlakte Kootwijk

Op sommige plekken van de brandvlakte bij Kootwijk is de I'-laag en II-laag verdwenen, maar op andere plekken is maar een deel van de I'-laag verbrand. Vaak is deze laag irreversibel ingedroogd (Smit, 1996) waardoor geen hergroei van Bochtige smele heeft plaatsgevonden. In deze laag zal op een aantal plaatsen door de afwezigheid van een gesloten kronendak de decompositie als gevolg van toegenomen straling versnellen en zullen meer nutriënten beschikbaar komen (Hannellius & Kuusela, 1995).

De overgebleven I'-laag zal echter niet de enige factor zijn die de toekomstige ontwikkeling zal bepalen. De bomen in Kootwijk zullen ook zeker invloed hebben op de ontwikkeling. Daar waar het kronendak nog (gedeelte) intact is zal de vegetatieontwikkeling sneller gaan door gunstiger lichtklimaat en hogere vochtigheidsgraad.

De grotere verschillen in temperatuur op de bosbodem kunnen van invloed zijn op de verjonging (Kozłowski & Ahlgren, 1974). In Kootwijk zal daarom op sommige

plekken eerder verjonging ontstaan dan op andere plekken door de overleving van de kroonlaag.

Na de brand zijn veel bomen afgestorven en hebben vervolgens hun naalden laten vallen. Hierdoor is er een strooisellaag ontstaan van enkele mm dikte. Dit was niet het geval op de plekken waar kronenvuur heeft gewoed. Deze plekken zullen waarschijnlijk minder snel verzuren door het ontbreken van deze zure strooisellaag. Shakesby et al. (1994) hebben aangetoond dat de strooisellaag die ontstaat na brand door het vallen van naalden erosie van de bodem voorkomt. Daarom zullen plekken met kronenvuur in Kootwijk ook gevoeliger voor erosie zijn omdat daar geen strooisellaag aanwezig is. In het gebied met recent vastgelegd stuifzand is dit goed te zien; op de plekken waar de vegetatie verbrand is zijn kuultjes ontstaan doordat de wind vat kreeg op het stuifzand.

Smit (1996) suggereert dat in Kootwijk in de toekomst sprake zou kunnen zijn van inversie in het landschap omdat de delen die voor de brand het verst waren in de bodemontwikkeling, daar waar bomen aanwezig waren, nu het verst teruggezet zijn door verbranding van het humusprofiel. De delen van het landschap die het minst ver waren, de open mosvlakte, is op een aantal plaatsen gespaard gebleven en deze plekken zijn nu het verst in de ontwikkeling. Vermoedelijk zal die inversie niet verder doorzetten, de nu al aanwezige strooisellaag van naalden en bast en later de eventueel omgevallen bomen zorgen namelijk voor een snellere aanvoer van nutriënten in vergelijking met het open stuifzand.

Op plekken met veel sterfte zal het bos na verloop van tijd (gedeeltelijk) instorten. Het dode hout zal wellicht een goede kans bieden aan de humicole korstmossen. Nieuwe vestiging van *Groves* den zal sneller optreden dan in Oldebroek en het Stroeërzand waar alle (levende en dode) bomen zijn geveld en afgevoerd na de brand. Overlevende dennen in Kootwijk zullen als zaadbron dienen en bovendien samen met de nog aanwezige dode bomen meer beschutting tegen het extreme microklimaat bieden, waardoor de nieuwe generatie dennen meer kansen heeft.

De noordhellingen zullen het eerst begroeid raken. Deze hebben één jaar na de brand al een hogere bedekking aan mossen dan de zuidhellingen.

In het bos met weinig sterfte zullen de groundbewonende korstmossen weinig kansen krijgen. Hier zal een snellere successie plaats gaan vinden. Bochtige smele zal hier na 20 jaar weer domineren gezien de bedekkingen in de dichte opstanden in de rand van de brandvlakte van het Stroeërzand.

De groundbewonende korstmossen zullen in de uitgestoven laagte waar geen bos stond na verloop van tijd wel weer een kans krijgen. In deze laagte is ook veel van de vegetatie verbrand waarna het zand weer is gaan stuiven. Na verloop van tijd zullen de korstmossen hier weer opnieuw aanwezig zijn.

De geomorfologie van het gebied zal ook zijn invloed hebben op toekomstige ontwikkelingen. Op de toppen van de stuifduinen zijn de effecten van winderosie te

zien. Hier is de aslaag plaatselijk al weggewaaid en is de minerale bodem te zien. Naast winderosie zal ook regenwater er voor zorgen dat as naar beneden gespoeld wordt en onderaan hellingen accumuleert. Zo ontstaat een patroon van voedselarme en voedselrijkere delen in het landschap met elk een eigen tempo van ontwikkeling.

4.1.6 Vergelijking met Boreale situatie

In dit onderzoek is gebleken dat na 20 tot 26 jaar er een afwisselend patroon ontstaat van open plekken met blad- en korstmossen en plekken waar onder de nieuwe generatie Grove dennen vaak al weer mossen aangetroffen worden die kenmerkend zijn voor latere stadia van de successie. In § 4.1.4 is al enkele keren een vergelijking gemaakt met onderzoeken uit Boreale bossen (Kozłowski & Ahlgren, 1974; Schimmel, 1993). Het voorkomen van verschillende soorten mossen en kruiden vertoont overeenkomsten met de Boreale situatie. Lichter er wordt ook veelvuldig melding gemaakt van soorten die hier niet voorkomen. Dit geldt vooral voor verschillende soorten korstmossen. Rendiermossen doen er in Scandinavië meer dan 40 jaar over om dezelfde bedekkingen van voor de brand te bereiken. Andere korstmossen tussen de 20-30 jaar. Voor compleet herstel is 30-40 jaar nodig. Na 50 jaar was het percentage lichenen op verbrande plekken 5 maal groter dan op ongebrande plots van dezelfde leeftijd (Uggla (1950) volgens Ahlgren, 1974). In het Stroeërzand en Oldebroek zijn korstmossen nu al volop aanwezig en het lijkt er dus op dat een compleet herstel in Nederland geen 30-40 jaar hoeft te duren. Schimmel (1993) noemt een piek in de bedekking van korstmossen tussen de 20-30 jaar, waarna deze verdrongen wordt door Bronsmos en Gewoon etagemos (*Hylocomium splendens*) terwijl de bedekking van bomen toeneemt. Dit lijkt meer in overeenstemming met de Nederlandse situatie, behalve dat Gewoon etagemos bij ons niet algemeen voorkomt (Louw & Rubers, 1989). Verder wordt veelal melding gemaakt van verjonging van *Populus tremuloides*. Deze Noordamerikaanse soort komt in Nederland niet voor maar wel de vicariërende Ratelpopulier (*Populus tremula*). Deze soort is niet waargenomen in de opnamen maar wel een enkele maal in Oldebroek. Opvallend in Oldebroek was dat in aangrenzende, op de brandvlakte van 1970 geplante, opstanden wel veelvuldig Ratelpopulieren en ook andere populieren stonden die zich spontaan hebben gevestigd. Tevens maakt Hees (1984) op brandvlakte Stroeërzand melding van ratelpopulier in twee van zijn proefvelden.

Hoewel verschillen in soortensamenstelling is er een zelfde trend in ontwikkeling na brand te constateren. Mogelijk is de herstelsuccessie sneller, wat gezien een minder extreem klimaat niet onlogisch lijkt.

4.2 Methodologische discussie

4.2.1 Directe effecten van brand

Intensiteit

Als maat voor de intensiteit is de vlamhoogte genomen in plaats van de vlamlengte zoals Alexander (1982) beschrijft in zijn model voor intensiteit van brand. De lengte is echter achteraf niet meer te bepalen, maar de hoogte is na de brand goed waarneembaar op de stammen. De hoogte van het zwartgeblakerde gedeelte op de stam als maat voor de vlamhoogte is echter arbitrair omdat de vlammen wellicht langs de boom omhoog kruipen en daarom kan er een verschil optreden in de werkelijke vlamhoogte en de vlamhoogte die in dit onderzoek is gebruikt. Deze overschatting van de vlamhoogte zorgt er echter wellicht voor dat de vlamhoogte weer meer overeenkomt met de vlamlengte. In dat geval is de schatting van de vlamhoogte als maat voor de intensiteit redelijk. Dit is al te zien aan de struiken die er aanwezig waren die vaak maar tot een halve meter verbrand waren terwijl de bomen er naast soms tot 1 meter verbrand waren. De hoogte van het zwartgeblakerde deel zegt wel iets over de intensiteit voor die specifieke boom omdat de temperatuur rond de stammen wel hoger oploopt door het omhoog kruipen van de vlammen en daardoor van invloed kan zijn op de aantasting van de cambiumlaag.

Brandpatronen

De brand bij Kootwijk heeft niet helemaal zijn natuurlijke beloop gehad. Er hebben intensieve blusmaatregelen plaatsgevonden die hun invloed hebben gehad op het verloop van de brand. Nadat een vuurfront passeert smeult de brand nog lange tijd na waarbij nog grote delen van het humusprofiel geconsumeerd worden (Johnson, 1992). Blusmaatregelen hebben hier waarschijnlijk veel invloed op gehad doordat er veel nageblust is. Hierdoor is waarschijnlijk ook een deel van de variatie in humusprofiel ontstaan en teniet gedaan. Blusmaatregelen zorgen op die manier voor extra heterogeniteit. Dit heeft op zijn beurt weer invloed op toekomstige ontwikkelingen zoals bijvoorbeeld langs de grens van de brand waar Bochtige smeul weer opnieuw uit kon lopen doordat niet het hele humusprofiel is verbrand. Het is niet waarschijnlijk dat bluswerkzaamheden invloed hebben gehad op de overleving van bomen omdat juist het vuurfront en niet het nagloeien de overleving van de bomen bepaald. (Johnson, 1992). Het nablussen heeft dus een deel van het positieve effect van de brand nl. de afbraak van de strooisellaag teniet gedaan, terwijl er op de overleving van de bomen geen invloed is geweest van de bluswerkzaamheden.

4.2.2 Vegetatieontwikkeling na brand

In Nederland zijn weinig grote brandvlaktes te vinden. Voor dit onderzoek zijn een drietal grote brandvlaktes onderzocht die allemaal op arm stuifzand liggen. De leeftijd (jaren na brand) van de brandvlaktes is verschillend maar vormt geen continue reeks. Er ontbreken brandvlaktes met een leeftijd tussen 1 en 20 jaar en ouder dan 26 jaar. Gezien het feit dat de eerste jaren na brand de meest dynamische fase is (Schimmel, 1993) ontbreekt dus een belangrijk deel in de tijdreeks. Daarom

wordt in Kootwijk nu gestart met de monitoring om deze fase goed te kunnen volgen.

Een ander punt van discussie is het verschil in beheer wat heeft plaatsgevonden na brand. In Kootwijk heeft geen beheer plaatsgevonden na de brand, maar op de oudere brandvlaktes zijn na de brand alle bomen gekapt en afgevoerd. Het heterogene karakter dat een brand heeft (§ 3.1) en de effecten daarvan op toekomstige ontwikkelingen zijn daardoor teniet gedaan. De uitgangsposities van de brandvlaktes zijn dus verschillend. De beide oudere brandvlaktes vallen dus eigenlijk in een categorie met een extreem intensieve brand waarbij alle brandstof is opgebruikt. Dit soort intensiteiten komen slechts zelden voor en dan alleen op zeer grote brandvlaktes.

Zackrisson (1996) stelt dat brand belangrijk is voor de ontwikkeling van het bos door een aanwezigheid van een laag houtskool die de op verschillende wijze invloed heeft op de ontwikkeling van het bos. Zo zouden fenolen die later in de successie vrijkomen uit bepaalde soorten planten en die negatief zijn voor de ectomycorrhizaflora van het bos en voor de zaailingen van bomen gebonden of geïnactiveerd worden en daardoor zou de invloed van die fenolen beperkt blijven. Herhaalde brand activeert de houtskool waardoor die negatieve invloeden gekeerd worden.



Kootwijk in 2000

5 Conclusies

De bosstructuur en de verschillende terreinkenmerken en intensiteit zijn van invloed op de soort brand.

1. De brand nabij Kootwijk had voornamelijk het karakter van een grondvuur, waarbij het dikke humuspakket vaak tot op het minerale zand is verbrand. Op plaatsen zonder bos heeft een loopvuur plaatsgewijs de vegetatie verbrand. Op de landduinen is geen kronenvuur ontstaan omdat de bomen hier gemiddeld hoger zijn.

De bosstructuur was van invloed op het brandpatroon dat in uitgestoven laagten met aangeplant bos, dat niet hoger dan 11 m. was en een hoge sluitingsgraad had, het grondvuur zich tot een kronenvuur met hoge intensiteiten heeft kunnen ontwikkelen. De open bosstructuur van spontaan opgeslagen (vliegdenen) bos heeft er niet toe bijgedragen dat delen van het bos gespaard zijn gebleven. Er was geen relatie tussen de aanwezigheid van een struiklaag en het ontstaan van een kronenvuur. De struiklaag was niet van invloed op het brandpatroon.

De intensiteit van de brand bij Kootwijk was verschillend. Op sommige plekken is de bodem tot op het stuijzand verbrand waar op andere plekken de humuslaag en soms zelfs een gedeelte van de fermentatielaag nog intact is. Dit heeft tot gevolg dat er een grotere variatie in vegetatie zal optreden.

Op basis van vlamhoogte kunnen verschillende intensiteiten onderscheiden worden. De struiklaag is het meest gevoelig voor brand; bij een lichte intensiteit sterft deze laag al af. Bij bomen vanaf 11 m. hoogte is de overleving bij een lichte intensiteit 75-100%. Een intensiteit waarbij vlammen tot 1 m. hoogte komen (intensiteit II) is fataal voor bomen tot en met 5 m. en beïnvloedt bomen tot 15 m. hoogte. Hogere bomen sterven af bij intensiteiten waarbij de vlammen tot 3 m. of hoger komen.

Brand zorgt voor een verarming op de arme zandgronden waardoor de groundbewonende korstmossen weer terugkomen.

3. Direct na brand wordt het gebied gekoloniseerd door mossen en kruiden die profiteren van hoge gehalten aan beschikbare stikstof. Hierbij raken de noordhellingen het eerste begroeid. Als de stikstof uit het systeem verdwijnt en de zuurgraad daalt zullen pioniersoorten van de Buntgras-associatie het gebied koloniseren en deze blijven het langste aanwezig op de zuidhellingen. Hierbij zijn groundbewonende korstmossen die minerale grond prefereren ook veelvuldig aanwezig. Daar waar verjonging optreedt zal Bochtige smele onder deze verjonging weer in bedekking toe gaan nemen en de korstmossen vegetatie daarbij verdringen. De mycoflora ontwikkelt zich snel na brand en heeft een hoge diversiteit. Vele zeldzame en bedreigde paddestoelen reageren uitbundig na brand.

4. Als de weersomstandigheden gunstig zijn (nat) dan zal op de noordhellingen of aan de rand van de brandvlakte verjonging van Grove den het eerste een kans

krijgen. De zuidhellingen worden na 26 jaar nog gedomineerd door pioniersoorten van het Spergulo-Corynephorretum.

5. De ontwikkelingen in vegetatie na brand zijn grotendeels vergelijkbaar met de Boreale successiereksen na brand. Ook in Boreale bossen is na 20-30 jaar een piek in de bedekking met korstmossen te zien.

Literatuur

- Ahlgren, C.E. (1966). Small mammals and reforestation following prescribed burning. *J. Forest.* 64: 614-618.
- Ahlgren, C.E. (1974). Effects of fires on temperate forests: North Central United States. In: *Fire and ecosystems*. Kozlowski T.T. & Ahlgren, C.E. (eds.). Academic Press, New York: 195-223.
- Ahti, T., (1977). Lichens of the boreal coniferous zone. In: *Lichen ecology*. Seaward, M.R.D. (ed.). Academic Press, London, New York, San Fransisco.
- Alexander, M.E. (1982). Calculating and interpreting forest fire intensities. *Can. J. Bot.* 60: 349-357.
- Anoniem. (1995). Statistiek van branden in bos- en natuurterreinen in 1993. Werkdocument IKC Natuurbeheer nr.75. Informatie- en KennisCentrum Natuurbeheer, Wageningen.
- Anoniem. (1995). Dagoverzicht van het weer in Nederland. 1995 nummer 33. KNMI, De Bilt.
- Aptroot, A., Van Herk, K. (1994). *Veldgids korstmossen, veldgids nr.7 (2e druk)*. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht, 144p.
- Arnolds, E. (1994). Bedreigde paddestoelen in Nederland. In: *Paddestoelen en natuurbeheer: wat kan de beheerder?* Kuiper, Th. W. (red.). Wetenschappelijke Mededeling KNNV, nr. 212. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht, 100 pp.
- Arnolds, E. Kuiper, Th. W., Noordeloos, M.E. (red.). (1995). *Overzicht van de paddestoelen in Nederland*. Nederlandse Mycologische Vereniging. Wijster, 873 p.
- Arnolds, E. Van Ommering, G (1996). *Bedreigde en kwetsbare paddestoelen in Nederland. Toelichting op de Rode Lijst*. Rapport IKC Natuurbeheer nr.24. Wageningen, 120 p.
- Baar, J. (1995). *Ectomycorrhizal fungi of Scots pine as affected by litter and humus*. Proefschrift Landbouwniversiteit Wageningen, 139 pp.
- Biersma, R. (1996). Meer bos, minder brand. *NRC Handelsblad* 2 mei 1996.
- Bos, L. (1998). Het jaar na de brand bij Kootwijk. *Coolia* 41 (1): 8-16.

Brand, A.M., Aptroot, A., De Bakker, A.J., Van Dobben, H.F. (1988). Standaardlijst van de Nederlandse korstmossen. Wetenschappelijke Mededeling KNNV nr. 188. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht, 68 pp.

Clerkx, A.P.P.M., Broekmeyer, M.F.A., Szabo, P.J., Van Hees, A.F.M., Van Os, L.J., Koop, H.J.G.M. (1996). Bosdynamiek in bosreservaat Galgenberg. IBN-Rapport 217, Wageningen.

Daniëls, F.J.A. & Krüger, O. (1996). Veranderingen in droge stuifzandbegroeiingen bij Kootwijk na kappen en verwijderen van Grove dennen. *Stratiotes* 13: 37 - 56.

De Blois, P., Van Boxel, J.H., Fanta, J. (1991). Microklimaat en successie: ruimtelijke variabiliteit. *Nederlands bosbouw tijdschrift* 63, 269-276.

De Vries, I.M. (1982). De invloed van luchtverontreiniging/zure neerslag op hogere planten. Scriptie rijksuniversiteit Utrecht.

Díaz-Fierros, F., Benito, F., Vega, J.A., Castela, A., Soto, B., Pérez, R., Taboa, T. (1990). In: *Fire in ecosystem dynamics. Mediterranean and Northern Perspectives*. Goldammer, J.G., Jenkins, M.J. (eds). SPB Academic Publishing bv. Den Haag, 199 pp.

Elgersma, A.M., Roon, T. (1996). Groeiplaatsen van de stuifzandgebieden: eigenschappen en betekenis voor bos- en natuurbeheer. *Nederlands bosbouw tijdschrift* 68, 5: 171-176.

Ellenberg, H., Weber, R., Düll, Wirth, V., Werner, W., Paulßen, (1991). *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. *Scripta geobotanica XVIII*. Verlag Erich Goltze KG, Göttingen. 248 pp.

Engelmark, O. 1987. Fire history correlations to forest type and topography in northern Sweden. *Annales Botanici Fennici* 24:317-324.

Fanta, J. (1995). Walddynamik in Flugsandgebieten des niederländischen Teiles des nordwesteuropäischen Diluviums. *Forstarchiv* 66: 128 - 132.

Fanta, J. (1986). Primary succession on blown-out areas in Dutch drift sands. In Fanta, J. (ed): *Forest dynamics research in Western and Central Europe*. Proceedings IUFRO workshop. Pudoc Scientific Publications, Wageningen, p. 164-169.

Farjon, J.M.J., Prins, A.H., Bulens, J.D. (1994). Abiotische kansrijkdom natuurontwikkeling van grote begeleid-natuurlijke eenheden in Nederland. Een landelijke verkenning. SC- DLO. Rapport nr. 313, IBN-rapport 060, Wageningen.

- Geesink, J., (1972). Vier jaar mycologische observaties op brandplekken. *Coolia* 5: 118-132.
- Hannellius, S., Kuusela, K. (1995). Finland, the country of evergreen forest. Forssan kirjapaino oy. 192 pp.
- Hees, H., (1984). Inventarisatie van de flora in proefvelden van 60 × 40 m in de vakken 109 b, 109 c en 113 a (Strocërzand) 7 jaar na brand. Verslag Staatsbosbeheer.
- Hees, H., (1995). De natuurbrand in de boswachterij Garderen die begon op vrijdag 11-8-1995. Verslag uitgereikt tijdens een excursie van IVN-leden. Staatsbosbeheer. Garderen.
- Jansen, G.W. & Jonkheer, R. (1990). Vegetatiekartering heideterreinen Veluwe. Deelgebied Garderen oost. Bureau Nieuwland. Wageningen. 34 pp.
- Johnson, E.A., (1992). Fire and vegetation dynamics: Studies from the North American boreal forest. Cambridge University Press, New York. 129 p.
- Jongman, R.H.G., Ter Braak, C.J.F., Van Tongeren, O.F.R. (1987). Data analysis in community and landscape ecology. Pudoc, Wageningen, 299 p.
- Kemmers, R.H. (editor) (1996). De dynamiek van strooisellagen. Voordrachten tijdens de themamiddag georganiseerd door DLO-Staring Centrum, Wageningen, 6 oktober 1995. Wageningen, SC-DLO. Rapport no. 438.
- Kemmers, R.H., Koop, H. (1996a). Effect van brand in bos op arme zandgronden. Onderzoeksvoorstel.
- Kemmers, R.H., P. Mekking, Smit, A. Sevink, J. (1996b). Effecten van bosbegrazing op het humusprofiel van arme zandgronden onder naaldbos. SC-DLO. Rapport nr. 294. Wageningen.
- Kent, M., Coker, P. (1992). Vegetation Description and Analysis. A Practical Approach. John Wiley and sons, Chisester, 363 pp.
- Ketner-Oostra, R. (1996). Verbrande stuifzandvegetatie op het Nieuw Milliger-zand. Basis-onderzoek voor de opzet van een Monitor-programma in verbrande stuifzandvegetatie. Staatsbosbeheer. Regio Veluwe-Achterhoek. 25 p.
- Koop, H. & Van der Werf, S. (1995). Natuurlijke bosgemeenschappen, A-locaties en boscomplexen; achtergronddocument bij de ecosysteemvisie Bos. IBN-rapport 162. IBN-DLO. Wageningen.

Klap, J.M., Schmidt, P. (1992). Maatregelen om effecten van eutrofiëring en verzuring in bossen tegen te gaan. I linkeloord report nr. 3, Landbouwwuniversiteit Wageningen.

Koster, E.A. (1978). De stuifzanden van de Veluwe; een fysisch geografische studie. Proefschrift, publikatie Fysisch Geografisch en Bodemkundig Laboratorium 27, Universiteit van Amsterdam

Kozłowski, T.T., Ahlgren, C.E. (eds.) (1974). Fire and ecosystems. Academic Press, New York, 542 pp.

Kutiel, P., Naveh, Z., Kutiel, H. (1990). The effect of a wildfire on soil nutrients and vegetation in an Aleppo pine forest on mount Carmel, Israel. In: Fire in ecosystem dynamics. Mediterranean and Northern Perspectives. Goldammer, J.G., Jenkins, M.J. (eds). SPB Academic Publishing bv. Den Haag, 199 pp.

Kuyper, Th. W. (red.). (1994). Paddestoelen en natuurbeheer: wat kan de beheerder? Wetenschappelijke Mededeling KNNV, nr. 212. Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging, Utrecht, 100 pp.

Kuyper, Th. W. (1996). Kartering van paddestoelen op landelijke en regionale schaal. De Levende Natuur 97(5): 176-178.

Londo, G. (1984). 6. The decimal scale for relevés of permanent quadrats. In: Sampling methods and taxon analysis in vegetation science. Knapp, R. (ed.). Dr. W. Jonkers Publishers, Den Haag.

Marchetti, M., Romoli, G. (1997). Data collection for the DOBRIS+3 report. Forest fires (draft 15 April). European Forest Institute. 37pp.

Mekkink, P., Kemmers, R.H. (1993). Bodemgeografie en vegetatie in de compartimenten Kootwijkerveen, 's Grevenhout en Deelerwoud van het Nationaal Bosbegrazingsonderzoek. SC-DLO. Rapport nr. 245. Wageningen.

Nauta, M.M., Vellinga, E. C. (1995). Atlas van Nederlandse paddestoelen. A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, 352 pp.

Parviainen, J. 1996. Impact of fire on Finnish forests in the past and today. Silva Fennica 30 (2-3): 353-359.

Petersen, P.M. (1970). Danish fireplace fungi: an ecological investigation on burns. Dansk Botanisk Arkiv 27, 1-97.

Peterson, D.J., Ryan, K.C. (1986). Modeling postfire conifer mortality for long-range planning. Environmental Management 10 (6); 797-808.

- Pietikäinen, J. & Fritze, H., 1993. Microbial biomass and activity in the humus layer following burning: short-term effects of two different fires. *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1275-1285.
- Prach, K. (1989). Primary forest succession in sand dune areas, The Veluwe, Central Netherlands. Rapport 544, De Dorschkamp, Wageningen, 117 p.
- Runkle, J.R. (1985). Disturbance regimes in temperate forests. In: The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Pickett, S.T.A., White, P.S. (eds). Academic Press.
- Ryan, K.C. & Reinhardt, E.D. (1988). Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1291 - 1297.
- Schimmel, J. (1993). Fire behavior, fuel succession and Vegetation response to fire in the Swedish boreal forest. Thesis. Swedish University of Agricultural sciences, department of Forest vegetation Ecology. Umeå, Sweden.
- Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, A.J.B., Gonçalves, A.J.B., Walsh, R.P.D. (1994). Limiting soil loss after forest fire in Portugal: the influence of different post-fire timber clearance practices. In: Proceedings of the 2nd International Conference of Forest Fire Research. Vol II, D 39, pp. 1161-1170, Coimbra.
- Smit, H.M.C. (1996). Effecten van bosbrand op arme zandgronden in de omgeving van Kootwijk. Weergave van de Ausgangssituatie. SC-DIO. Rapport nr. 473. Wageningen.
- Stoffels, A. (1940). De samenhang tussen het optreden van bos- en heidebranden en meteorologische factoren in Nederland. *Nederlands Bosbouw Tijdschrift* 13, 5: 89-95.
- Ter Braak, J.F. (1987). CANOCO- a FORTRAN program for canonical community ordination by [partial] [detrended] [canonical] correspondence analysis, principal components analysis and redundancy analysis (version 2.1). TNO Institute of Applied Computer Science, Statistics Department Wageningen. Wageningen. 95 p.
- Tjallingii-Beukers, D., (1972). Paddestoelen van brandplekken. *Coolia* 5: 111-116.
- Touw, A., Rubers, W.V. (1989). De Nederlandse Bladmossen. Flora en verspreidingsatlas van de Nederlandse Musci (Sphagnum uitgezonderd). Stichting Uitgeverij Koninklijke Nederlandse Natuurhistorische Vereniging. Utrecht
- Van Dobben, H.F., Vocks, M.J.M.R., Jansen, E., Dirkse, G.M. (1994). Veranderingen in de ondergroei van het Nederlandse dennenbos over de periode 1985 - 1993. IBN-rapport 085. Wageningen.

Van Busschbach, F.J., (1950). Bosbrand. Scriptie landbouwhogeschool, afdeling houtteelt. 64 p.

Van Wagner, C.E. (1970). Fire and Red pine (*Pinus resinosa*). Proceedings of the 10th Annual Tall Timbers Fire Ecology Conference. pp. 211-214.

Van Wagner, C.E. (1973). Height of crown scorch in forest fires. Canadian Journal of Forest Research 3: 373-378.

Van Wagner, C.E. (1977). Conditions for the spread of crown fire. Canadian Journal of Forest Research 7: 23-34.

Van der Werf, S. (1991). Natuurbeheer in Nederland. Deel 5. Bosgemeenschappen. Pudoc. Wageningen

Viro, P.J. (1974). Effects of fire on soil. In: Fire and ecosystems. Kozlowski, T.T., Ahlgren, C.E. (eds.)(1974). Academic Press, New York, 542 pp.

Voormolen, S.(1996). Arme dennenbossen moeten branden. BIONieuws 9, 4mei 1996, jaargang 6.

Wicklow, D.T. (1988). Parallels in the development of post-fire fungal and herb communities. In: Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. (1988): 94B: 87-95.

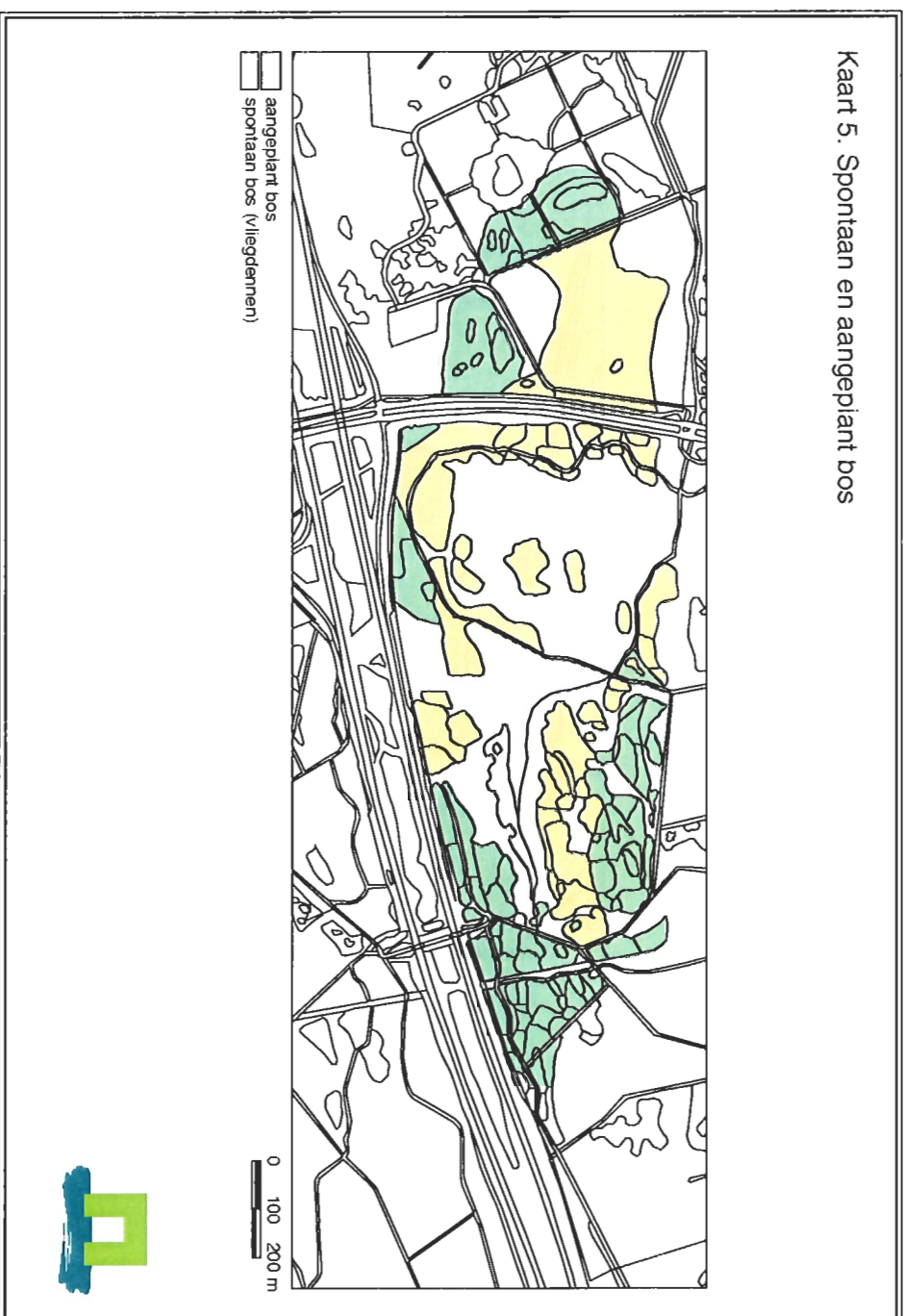
Wolters-Noordhoff. (1981). De grote bosatlas. 49ste druk. Wolters-Noordhoff Atlasproducties. Groningen.

Zackrisson, O. (1977). Influence of forest fires on the North Swedish boreal forest. Oikos 29: 1. pp 22-32.

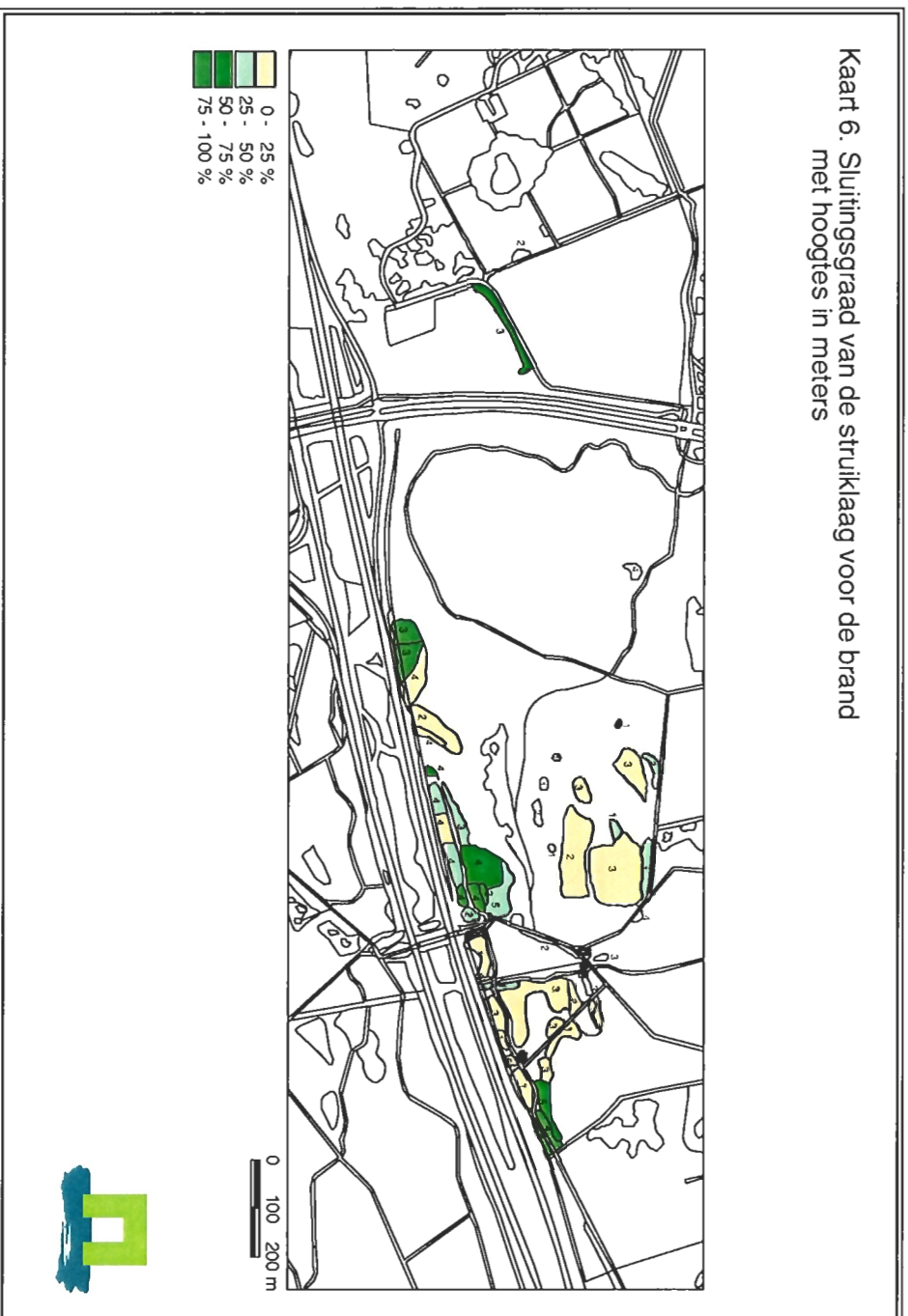
Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., Wardle, D.A. (1996). Key ecological function of charcoal from wildfire in the Boreal forest. Oikos 77: pp 10-19.

Aanhangsel I

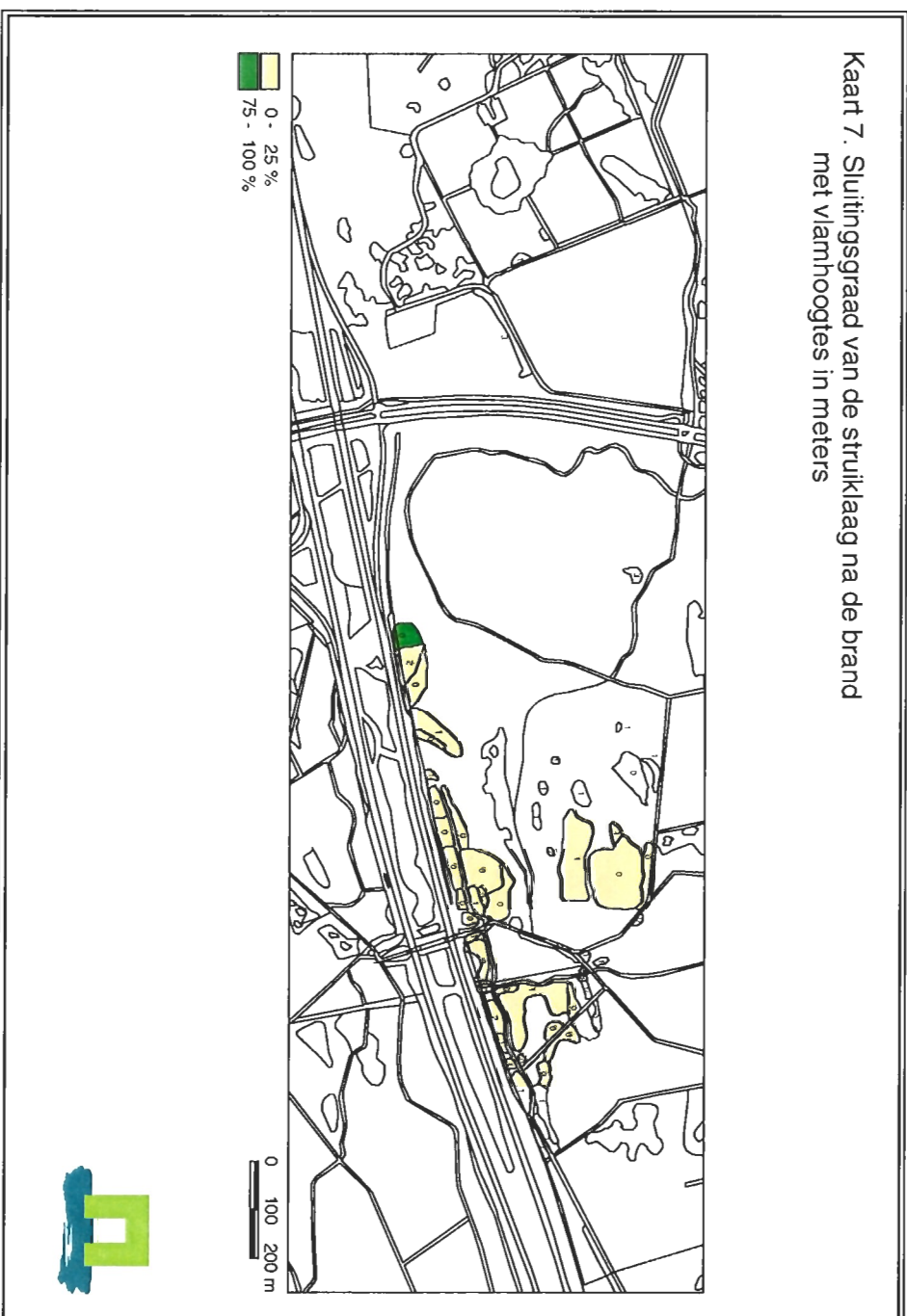
Kaart 5: Spontaan en aangeplant bos



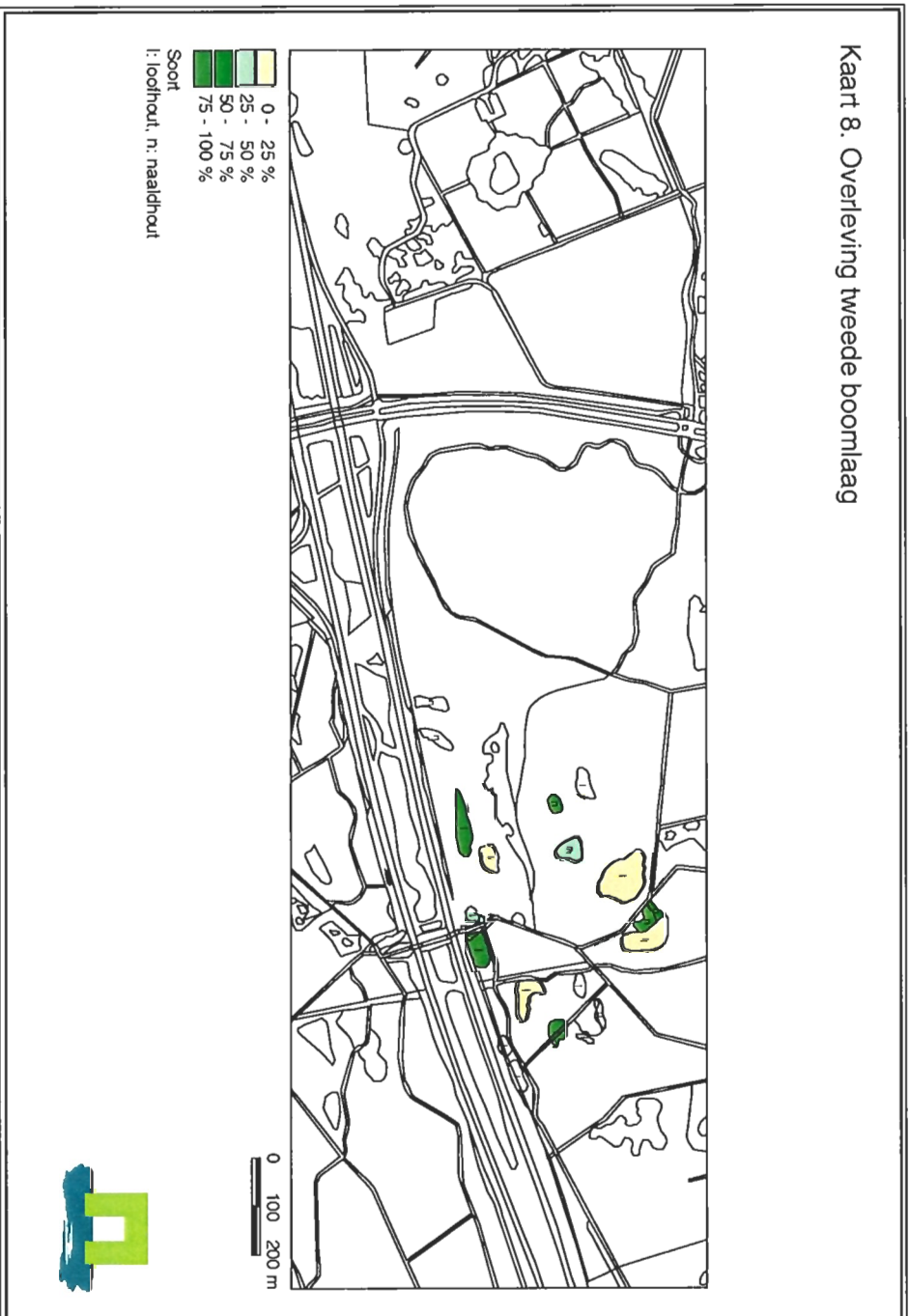
Kaart 6. Sluitingsgraad van de struiklaag voor de brand met hoogtes in meters



Kaart 7. Sluitingsgraad van de struiklaag na de brand
met vlamhoogtes in meters



Kaart 8. Overleving tweede boomlaag



Aanhangsel II

Formulier waarop de soorten en hun bedekking in de plots werden weergegeven.

opname: M. Meijer zu Schlochtern		datum: juli 1996	
opnamer:			
Am. coördinaten:		afmetingen: x m	
habitat:			
exp.:		incl.:	
profiel humus:			

situatie plot

.1 <1%	= r (rare) p (rather sparse) a (plentiful) m (very numerous)	4 35-45%
.2 1-3%		5 45-55%
.4 3-5%		5- = coverage 45-50%
		5+ = coverage 50-55%
1 5-15%		6 55-65%
1- = coverage 5-10%		7 65-75%
2 15-25%		8 75-85%
3 25-35%		9 85-100%

BOOMLAAG	uitwendige bed:	%	inwendige bed:	%	hoogte=	m
Pinus sylvestris			Sorbus aucuparia			
Quercus robur						
Betula pubescens						
Betula pendula						

STRUKLAAG	uitwendige bed :	%	inwendige bed:	%	hoogte=	m
Betula pubescens			Sorbus aucuparia			
Betula pendula						
Quercus robur						
Rhamnus frangula						
Pinus sylvestris						
Prunus serotina						

KRUIDLAAG	uitwendige bed :	%	inwendige bed:	%	hoogte=	cm
Calluna vulgaris			Vaccinium myrtillus			
Deschampsia flexuosa			Vaccinium vitis-idaea			
Spergula morisonii	<i>heidespurrie</i>		Festuca rubra s.l.	<i>rood zwenkgras</i>		
Festuca ovina s.l.	<i>schapegras</i>		Empetrum nigrum			
Corvnephorus canescens	<i>bunigras</i>					
Agrostis vinealis	<i>zandstruisgras</i>					
Rumex acetosella	<i>schapezuring</i>					
Ceratocarpus claviculata	<i>rankende helmblom</i>					
Calamagrostis epigeos	<i>duinriet</i>		Prunus serotina			
Epilobium	<i>wilgeroasje</i>		Quercus robur			
Erigeron canadensis	<i>Canades fijnstraal</i>		Sorbus aucuparia			
Capsella bursa-pastoris	<i>Gewoon herderstasje</i>		Betula pendula			
			Betula pubescens			
			Pinus sylvestris			

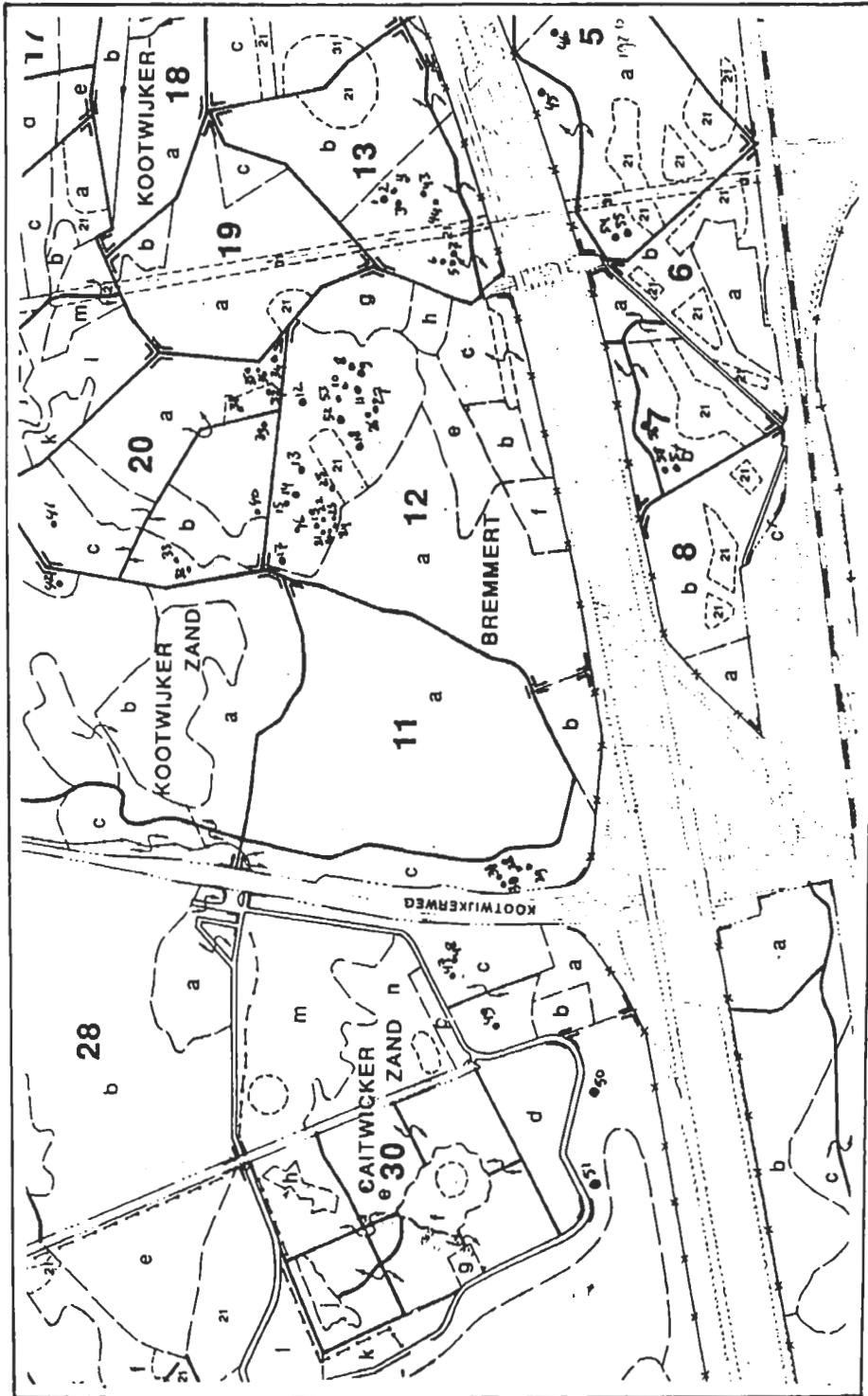
.1	<1%	= r (rare) p (rather sparse) a (plentiful) m (very numerous)	4	35-45%
.2	1-3%		5	45-55%
.4	3-5%		5	= coverage 45-50%
			5+	= coverage 50-55%
1	5-15%		6	55-65%
1-	= coverage 5-10%		7	65-75%
1+	= coverage 10-15%		8	75-85%
2	15-25%		9	85-100%
3	25-35%			

MOSLAAG	inwendige bed:	%	uitwendige bed :	%	hoogte =	cm
KAAL ZAND	%					
Polytrichum piliferum	<i>ruig haarmos</i>		.Cladonia floerkeana	<i>rode heidelucifer</i>		
Campylopus introflexus	<i>grijs kronkelsteelje</i>		.Cladonia coccifera (= C. coccifera var. pleurota/ .C. pleurota)	<i>rood bekermos</i>		
Ceratodon purpureus	<i>purpersteelje</i>		.C. bacillaris, C. macilenta			
Dicranum scoparium	<i>gaffeltandmos</i>		.C. subulata			
Dicranum spurium	<i>gekroesd gaffeltandmos</i>		..C. coniocraea	<i>smal bekermos</i>		
Polytrichum formosum (bos)	<i>fraai haarmos</i>		.C. cervicornis (=C. verticillata (= C. cervicornis asp. verticillata), C. rupii)	<i>stapelbekerje</i>		
Pleurozium schreberi	<i>bronsmos</i>		.C. chlorophaea	<i>fijn groen bekermos</i>		
Eurhynchium praelongum	<i>fijn laddermos</i>		..C. fimbriata	<i>kopjes bekermos</i>		
Ptilidium ciliare	<i>frammos</i>		C. humilis (= C. conistea)	<i>patatzak-bekermos</i>		
Campylopus pyriformis	<i>breekblaadje</i>		.C. furcata	<i>gevorkt heidestaarje</i>		
Pohlia nutans	<i>peermos</i>		.C. crispata			
Marchantia polymorpha	<i>parapluisjesmos</i>		.C. ramulosa (= C. pityrea, C. anomaea)			
Leptobryum pyriforme			.C. strepsilis			
Hypnum jutlandicum			.C. glauca	<i>bruin heidestaarje</i>		
Hypnum cupressiforme	<i>klauwtjesmos</i>		.C. gracilis	<i>bruin bekermos, giraffe</i>		
Funaria hygrometrica	<i>gewoon krulmos</i>		.C. zopfi (= C. stricta)			
			.C. uncialis	<i>varkenspoorje</i>		
			C. merochlorophaea (= C. cryptochlorophaea, C. gravi en variëteiten)	<i>bruin bekermos</i>		
			.C. pyxidata			
			.C. foliacea			
			.Cladina portentosa (= C. impexa)	<i>open, gewoon rendiermos</i>		
			.Cladina arbuscula (= C. arbuscula, C. sylvatica)	<i>gebogen rendiermos</i>		
			Coelocaulon aculeatum (= Cornicularia aculeata)	<i>kraakloof</i>		
monster			monster			
monster			monster			
monster			monster			
monster			monster			
monster			monster			

Verklaring van de afkortingen van de soorten met hun wetenschappelijke en nederlandse naam.

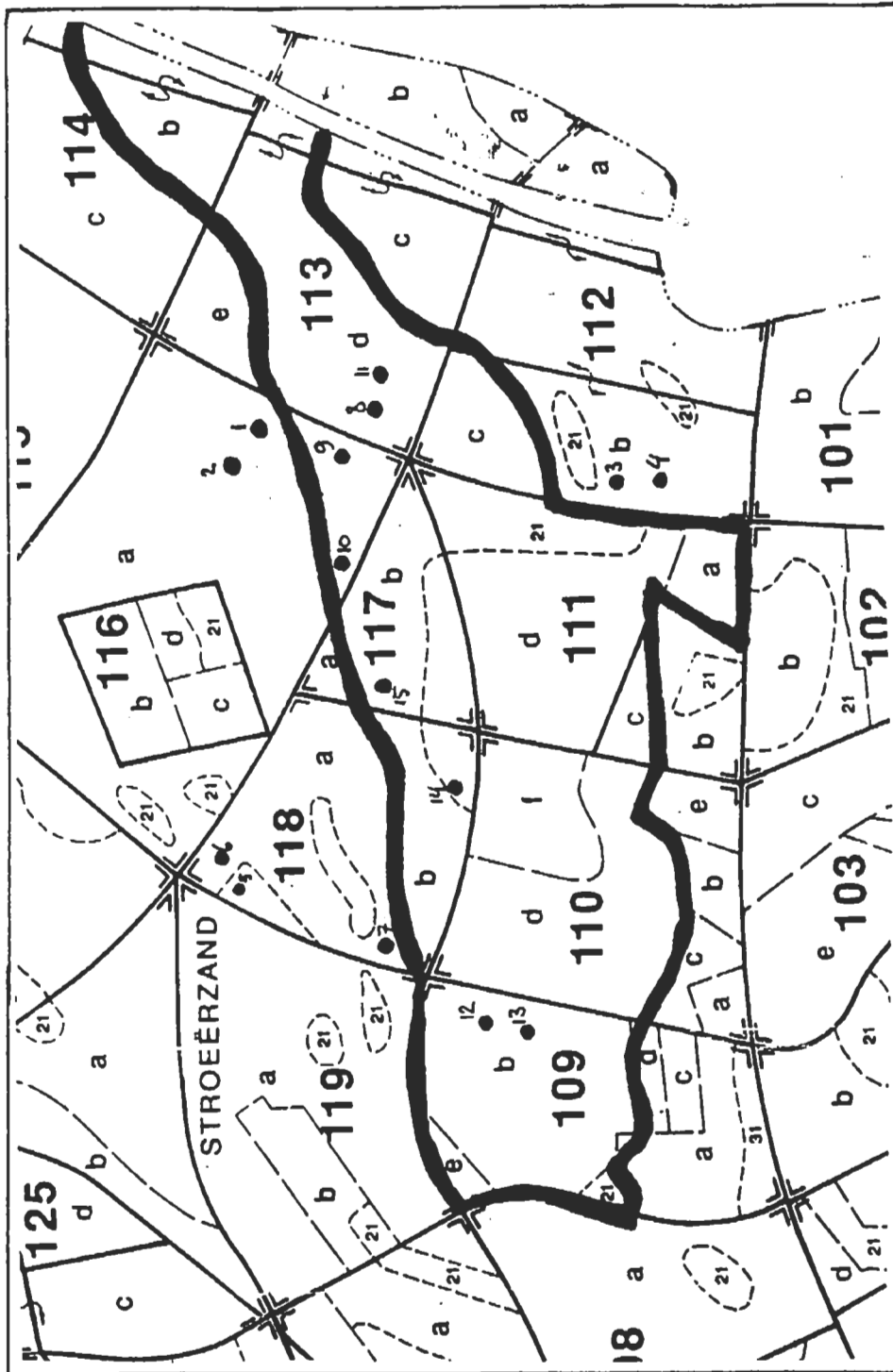
AGROSVIN	<i>Agrostis vinealis</i>	Zandstruisgras
AIRA PRA	<i>Aira praecox</i>	Vroege haver
AMELALAM	<i>Amelanchier lamarckii</i>	Amerikaans krentebe
AULACAND	<i>Aulacomnium androgynum</i>	Gewoon knopjesmos
BARBIBAR	<i>Barbilophozia barbata</i>	Glanzend tandmos
BETULPEN	<i>Betula pendula</i>	Ruwe berk
BETULPUB	<i>Betula pubescens</i>	Zachte berk
BRYUMCAE	<i>Bryum caespiticium</i>	Zode-knikmos
BRYUMCAP	<i>Bryum capillare</i> s.l.	Gedraaid knikmos
CALAMEPI	<i>Calamagrostis epigejos</i>	Duinriet
CALLUVUL	<i>Calluna vulgaris</i>	Struikhei
CAMPSFLE	<i>Campylopus flexuosus</i>	Bos-kronkelsteeltje
CAMPSINT	<i>Campylopus introflexus</i>	Grijs kronkelsteelt
CAMPSPYR	<i>Campylopus pyriformis</i>	Gewoon kronkelsteelt
CARDU-SP	<i>Carduus species</i>	Distel (G)
CAREXARE	<i>Carex arenaria</i>	Zandzegge
CERACCLA	<i>Ceratocarpus claviculata</i>	Rankende helmblom
CERADPUR	<i>Ceratodon purpureus</i>	Purpersteeltje
CERASFON	<i>Cerastium fontanum</i> subsp.	Gewone hoornbloem
CHAMEANG	<i>Chamerion angustifolium</i>	Wilgeroosje
CLADNPOR	<i>Cladonia portentosa</i>	Open rendiermos
CLADO-SP	<i>Cladonia species</i>	--
CLADOBAC	<i>Cladonia bacillaris/macilenta</i>	Dove heidelucifer
CLADOCER	<i>Cladonia cervicornis</i>	Stapelbekertje
CLADOCHL	<i>Cladonia chlorophaea</i>	Fijn bekersmos
CLADOCOC	<i>Cladonia coccifera</i>	Rood bekersmos
CLADOCOI	<i>Cladonia coniocraea</i>	Smal bekersmos
CLADOFLO	<i>Cladonia floerkeana</i>	Rode heidelucifer
CLADOFUR	<i>Cladonia furcata</i>	Gevorkt heidestaartje
CLADOGLA	<i>Cladonia glauca</i>	Bruin heidestaartje
CLADOGRC	<i>Cladonia gracilis</i>	Bruin bekersmos
CLADORAM	<i>Cladonia ramulosa</i>	Spruitend bekersmos
CLADOSUB	<i>Cladonia subulata</i>	Priemheidestaartje
CLADOU-B	<i>Cladonia uncialis</i> ssp. bi	Varkenspootje
CLADOZOP	<i>Cladonia zopfii</i>	Ezelspootje
COELCACU	<i>Coelocaulon aculeatum</i>	Kraakloof
CORYNCAN	<i>Corynephorus canescens</i>	Buntgras
DCLLAHET	<i>Dicranella heteromalla</i>	Gewoon pluisjesmos
DCNUMSCO	<i>Dicranum scoparium</i>	Gewoon gaffeltandmo
DESCHFLE	<i>Deschampsia flexuosa</i>	Bochtige smele
DRYOPCAR	<i>Dryopteris carthusiana</i>	Smalle stekelvaren
DRYOPDIL	<i>Dryopteris dilatata</i>	Brede stekelvaren
EMPETNIG	<i>Empetrum nigrum</i>	Kraaihei
EPILOHIR	<i>Epilobium hirsutum</i>	Harig wilgeroosje
ERIGECAN	<i>Erigeron canadensis</i>	Canadese fijnstraal
EURHYPRA	<i>Eurhynchium praelongum</i>	Fijn snavelmos
EURHYSTR	<i>Eurhynchium striatum</i>	Geplooid snavelmos
FESTUOVI	<i>Festuca ovina</i>	Schapegras
FESTURUB	<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras s.l.
FUNARHYG	<i>Funaria hygrometrica</i>	Gewoon krulmos
GALEOTET	<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gewone hennepnetel
HYPNUJUT	<i>Hypnum jutlandicum</i>	Heide-klawtjesmos
JUNIPCOM	<i>Juniperus communis</i>	Jeneverbos
LPTBRPYR	<i>Leptobryum pyriforme</i>	Slankmos
LUCOBGLA	<i>Leucobryum glaucum</i>	Russentjesmos
MARCHPOL	<i>Marchantia polymorpha</i>	Parapluitjesmos
MOLINCAE	<i>Molinia caerulea</i>	Pijpestrootje
ORTHOLIN	<i>Orthodontium lineare</i>	Geelsteeltje
PICEAABI	<i>Picea abies</i>	Fijnspar
PINUSSYL	<i>Pinus sylvestris</i>	Grove den
PLAGTLAE	<i>Plagiothecium lactum</i>	Klein platmos
PLROZSCH	<i>Plourozium schreberi</i>	Bronsmos
POHLINUT	<i>Pohlia nutans</i>	Gewoon peermos
POLYMFOR	<i>Polytrichum formosum</i>	Fraai haarmos
POLYMJUN	<i>Polytrichum juniperinum</i>	Zand-haarmos
POLYMLON	<i>Polytrichum longisetum</i>	Gerand haarmos
POLYMPIL	<i>Polytrichum piliferum</i>	Ruig haarmos
PRUNUSER	<i>Prunus serotina</i>	Amerikaanse vogelke
PSEUCPUR	<i>Pseudoscleropodium purum</i>	Groot laddermos
PTILDCIL	<i>Ptilidium ciliare</i>	Franjemos
QUERCROB	<i>Quercus robur</i>	Zomereik
RHAMNFRA	<i>Rhamnus frangula</i>	Sporkehout
RUBUS-SP	<i>Rubus species</i>	Braam (G)
RUMEXACT	<i>Rumex acetosella</i>	Schapezuring
SAMBUNIG	<i>Sambucus nigra</i>	Gewone vlier
SENECSYL	<i>Senecio sylvaticus</i>	Boskruiskruid
SORBUAUC	<i>Sorbus aucuparia</i>	Wilde lijsterbes
SPERGMOR	<i>Spergula morisonii</i>	Heidespurrie
STELLMED	<i>Stellaria media</i>	Vogelmuur
TARAX-SP	<i>Taraxacum species</i>	Paardebloem (G)
TUSSIFAR	<i>Tussilago farfara</i>	Klein hoefblad
VACCIMYR	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Blauwe bosbes

Appendix IIIb



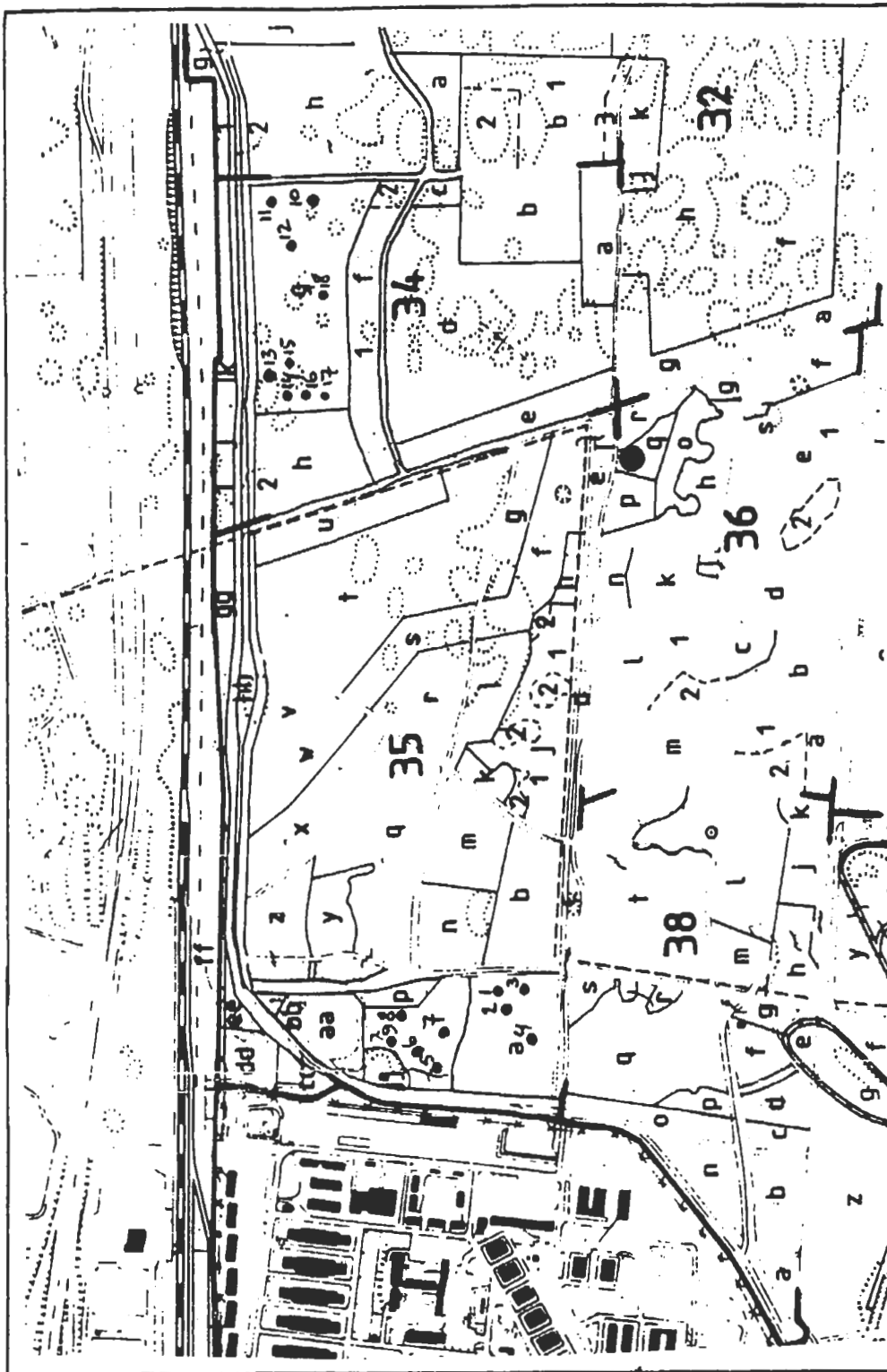
Ligging van de plots in Kootwijk (opgenomen in 1996).

● = plot



Ligging van de plots in het Stroerzand (opgenomen in 1996).

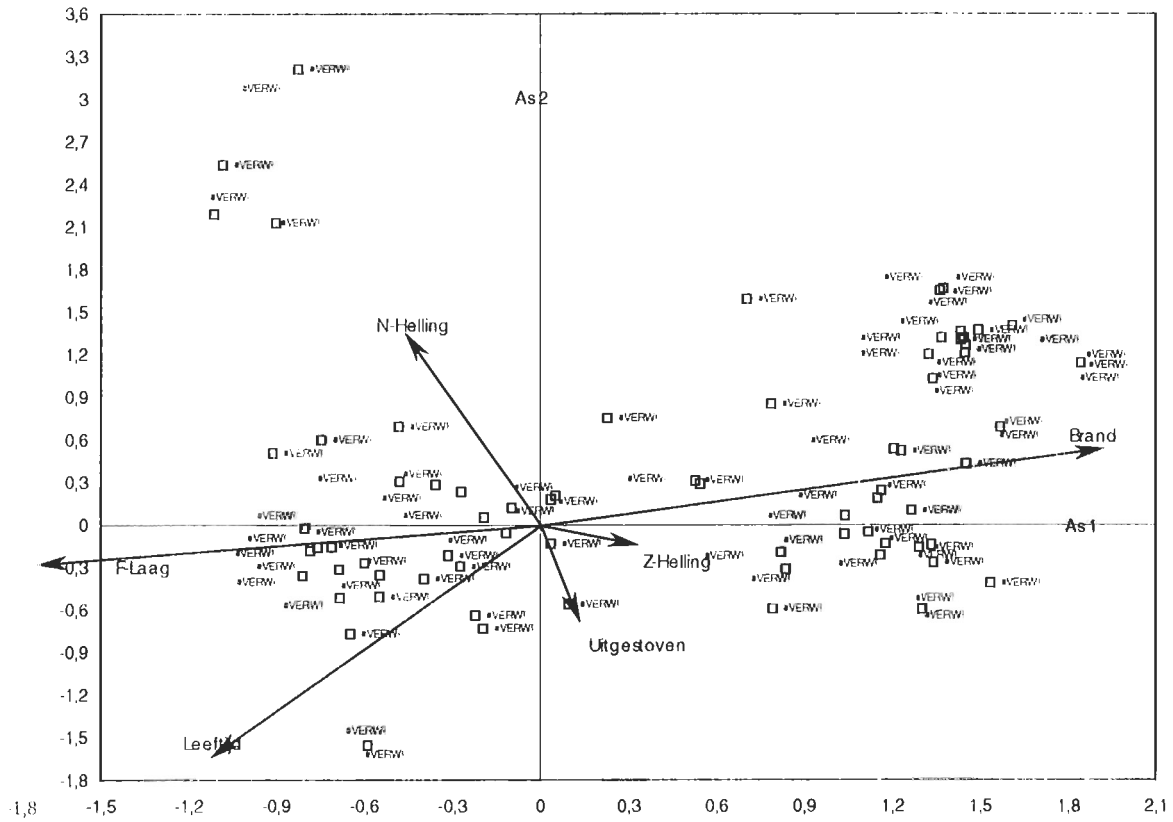
- ₅ = plot
- = grens van de brandvlakte



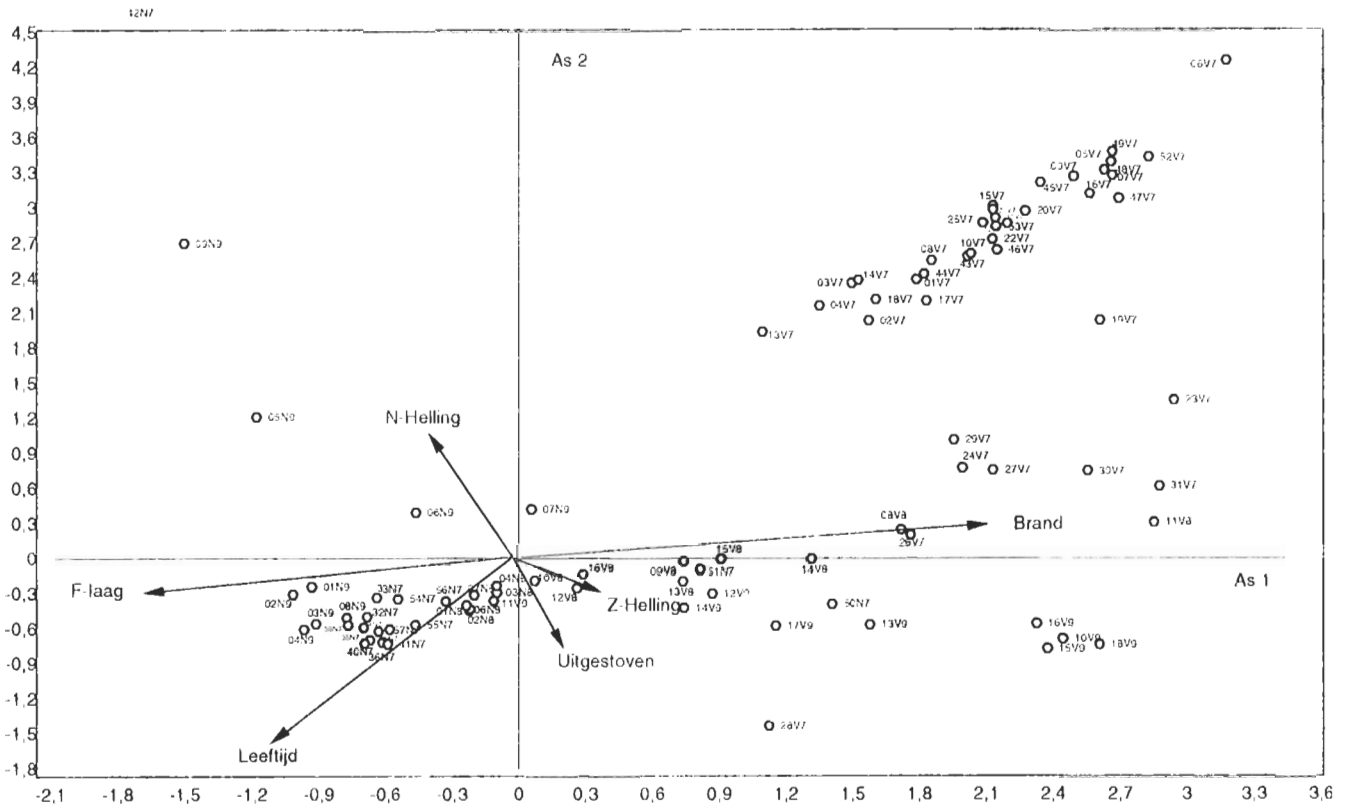
Ligging van de plots in Oldebroek (opgenomen in 1996).

● = plot

Aanhangsel IV



Aanhangsel V



Aanhangsel VI Betekenissen van de indicatiewaarden van Ellenberg (1992)

Indicatiewaarde van Ellenberg voor Stikstof (voedselrijkdom)

X	Indifferent
01	Kenmerkend voor zeer stikstofarme bodems
02	Tussenvorm van 01 en 03
03	Kenmerkend voor stikstofarme bodems
04	Tussenvorm van 03 en 05
05	Kenmerkend voor matig stikstofrijke bodems
06	Tussenvorm van 05 en 07
07	Kenmerkend voor stikstofrijke bodems
08	Tussenvorm van 07 en 09
09	Kenmerkend voor zeer uitgesproken stikstofrijke bodems

Indicatiewaarde van Ellenberg voor Zuurgraad

X	Indifferent
01	Kenmerkend voor sterk zure bodems
02	Tussenvorm van 01 en 03
03	Kenmerkend voor zure bodems
04	Tussenvorm van 03 en 05
05	Kenmerkend voor zwak zure bodems
06	Tussenvorm van 05 en 07
07	Kenmerkend voor zwak zure tot zwak basische bodems
08	Tussenvorm van 07 en 09
09	Kenmerkend voor sterk basische of kalkrijke bodems

Aanhangsel VII

Waargenomen fauna gedurende het veldbezoek

Insecten o.a.

Rode bosmier

Vuurkever

Boktor

Snuitkever

Reptielen

Hazelworm

Zandhagedis

Vogels o.a.

Zwarte specht

Grote bonte specht

Kleine bonte specht

Bonte vliegenvanger

Koolmees

Gekraagde roodstaart

Roodborsttapuit

Ransuil (met jongen)

