

Navorsings- en oorsigartikels

Die gebruik van ordeningstegnieke vir die evaluering van rehabiliteringsukses op asdamme geassosieer met steenkoolgedreve kragstasies

T.L. Morgenthal, S.S. Cilliers* en K. Kellner

Skool vir Omgewingswetenskappe en -ontwikkeling, Afdeling Plantkunde, PU vir CHO, Potchefstroom, 2520

H. van Hamburg

Skool vir Omgewingswetenskappe en -ontwikkeling, Afdeling Dierkunde, PU vir CHO, Potchefstroom, 2520

M.D. Michael

ESKOM, TRI Technology Group, Cleveland, 2022

*Outeur aan wie korrespondensie gerig kan word

Ontvang 11 Junie 1999; aanvaar 6 September 1999

UITTREKSEL

Ekologiese monitering van hervestigde plantgemeenskappe kan 'n belangrike bydrae lewer om die bestuur van gerehabiliteerde gebiede te verbeter. Ordeningstegnieke is gebruik om die rehabiliteringsukses van asdamme by die Hendrina-kragstasie ekologies te evalueer. Die sukses van plantgroei-rehabilitering is getoets deur gerehabiliteerde gebiede met 'n natuurlike grasveld en twee saadmengsels wat tydens hervestiging gebruik is, te vergelyk. Rehabiliteringsukses is ook verder getoets deur persele van verskillende ouderdomme na rehabilitering te vergelyk. Die DCA-ordeningsmetode is gebruik om data te analyseer. Eiewaardes langs die eerste ordeningsas het aangetoon dat die gradiënte langs die as van betekenisvolle omvang was. Die saadmengsels wat in die nuut gerehabiliteerde gebiede ingesaaï is, het weinig tot die totale spesiesamestelling van ou gerehabiliteerde asdamme bygedra en die meeste van die spesies was afkomstig van ander bronne. Hierdie natuurlik gevëstigde spesies is ook nie deel van die spesiesamestelling van die aangrensende natuurlike grasveld nie. Alhoewel die saadmengsels suksesvol was om 'n meerjarige Eragrostis-Hyparrhenia-grasveld te vestig, word die sukses daarvan om hoe plantdiversiteit te vestig, bevraagteken.

ABSTRACT

The use of ordination techniques for the evaluation of rehabilitation success of ash dams associated with coal-driven power stations. Ecological monitoring of rehabilitated plant communities can be useful to improve the management of rehabilitated areas. Ordination techniques were used to evaluate rehabilitation success of ash dams at the Hendrina Power Station. Rehabilitation success was tested by means of comparing rehabilitated areas with a natural grassland and the two seed mixtures that were used during revegetation. Rehabilitation success was also tested by comparing sites of different ages of rehabilitation. The DCA ordination technique was used as a method to analyse data. Eigenvalues for the first ordination axis indicated that the gradients along this axis are of significant magnitude. Grass species of the seed mixtures contributed little to the success of establishing permanent populations and most of the species that did colonise were from other sources. Most of the naturally colonised species occurring on the ash dams did not originate from the adjacent natural grassland. The seed mixtures were, however, successful in establishing an Eragrostis-Hyparrhenia perennial grassland community. The rehabilitation effort to establish a plant community of high diversity must however be questioned.

INLEIDING

Suksesvolle rehabilitering van versteurde gebiede kan alleenlik bereik word as die ekologie van sulke ekostelsels volledig verstaan word. Die gebruik van plantspesies tydens rehabilitering is daarom 'n ekologiese probleem.¹ Die doel van sodanige rehabiliteringsprogramme moet daarom wees om 'n stabiele volhoubare ekostelsel te herskep, gebaseer op ekologiese beginsels.¹ Hierdie stelsels hoef nie noodwendig dieselfde eienskappe te besit as die oorspronklike nie, maar dit is belangrik dat die nuwe stelsels se ekonomiese waarde soortgelyk is aan die van die vernietigde ekostelsels om te voldoen aan die doel vir rehabilitering en volhoubaarheid.²

Die nuwe Handves van Menseregte vereis dat ekologies selfonderhoudende ontwikkeling moet geskied om 'n gesonde omgewing vir die mense van hierdie land te verseker.³ Dit is die

beleid van ESKOM om die impak van kragstasies op die omgewing te verminder, om moontlike eindgebruiken vir gerehabiliteerde gebiede te ondersoek en om die verkryging van toekomstige sluitingsertifikate te vergemaklik.⁴ Dit is daarom belangrik dat die volhoubaarheid van hierdie gebiede ekologies ondersoek moet word. Aanbevelings vir die verbetering van rehabiliteringspraktiese van versteurde omgewings kan uit ekologiese studies voortspruit. Min inligting bestaan egter oor die ekologiese prosesse wat tydens rehabilitering plaasvind.⁵ Die monitering van gerehabiliteerde asdamme is dus noodsaaklik om te verseker dat selfonderhoudende plantgemeenskappe so vinnig as moontlik vestig met so min finansiële insette as moontlik.

Verskeie aspekte van rehabilitering van steenkoolasdamme is al internasionaal gepubliseer. Seleksie van spesies en behandellings^{6,7} en die invloed op steenkoolas as medium vir plantproduksie^{8,9,10,11,12} is al in Europa, die Verenigde State, Australië en

Zimbabwe ondersoek. Die enigste ondersoek sover bekend wat in Suid-Afrika in verband met rehabilitering van steenkoolasdamme gedoen is, is deur Van Rensburg en medewerkers¹³ met die uitsluitlike doel om die invloed van verskillende kunsmistoedienings tydens rehabilitering te evalueer. Studies in Suid-Afrika op ander tipes uitskothope het hoofsaaklik gehandel oor die metodes en spesie-seleksie vir rehabilitering.^{14, 15, 16, 17} Min inligting is egter bekend oor die sukses van hierdie pogings, veral ten opsigte van ekologiese suksesse.

Monitering van 'n gerehabiliteerde gebied oor opeenvolgende jare kan 'n belangrike bydrae lewer in die selektering van behandelings om organiese verryking van die groeimedium en plantvestiging te bespoedig,¹⁸ asook om probleme te identifiseer en regstellings te doen om sodoende 'n volhoubare ekostelsel te verseker. In hierdie oopsig kan meerveranderlike data-analise-metodes 'n belangrike bydrae lewer om patronen en tendense van spesievestiging tydens monitering te identifiseer.¹⁹ Ordening, as 'n spesifieke meerveranderlike data-analise-tegniek kan ook gebruik word om gemeenskapstruktuur en verwantskappe tussen plantgemeenskappe uit te wys.²⁰ Om hierdie rede is besluit om ordening as dataverwerkingsmetode in hierdie ondersoek te gebruik.

Die studie is deel van 'n multidissiplinêre navorsingsprojek om die ekologiese prosesse wat die dinamika van floristiese en faunistiese gemeenskappe en hul impak op gerehabiliteerde asdamme by die Hendrina-kragstasie te ondersoek.

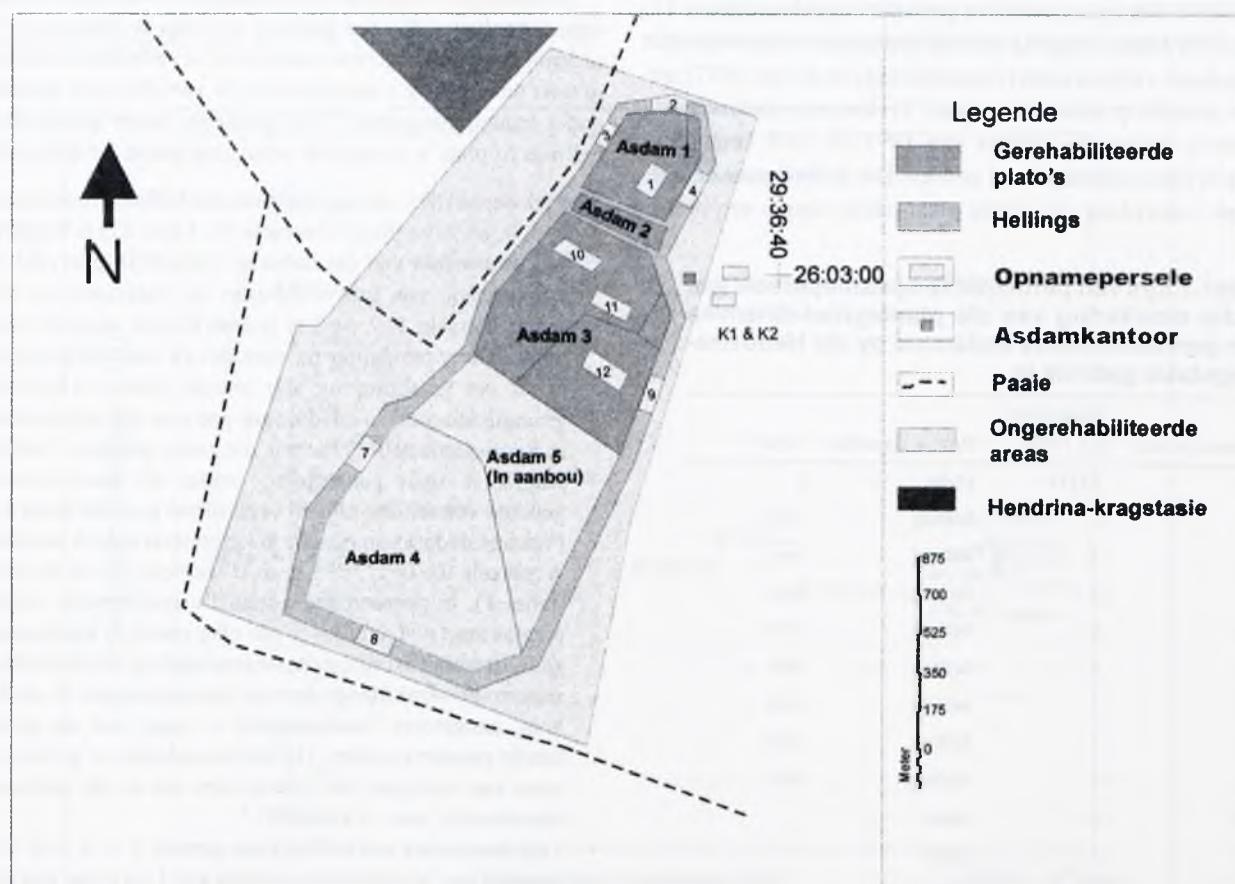
Tydens hierdie studie is die sukses van rehabilitering op steenkoolasdamme gemeet in terme van:

- die vermoë van plantspesies, soortgelyk aan die van 'n naburige natuurlike grasveld, om in die gerehabiliteerde gebied te koloniseer;
- die sukses van die grasspesies wat in die saadmengsels gebruik is, om te vestig en sodoende 'n permanente grasveldgemeenskap te skep;
- die mate van verandering in plantspesiesamestelling van gerehabiliteerde hellings oor verskillende tydperke van rehabilitering.

STUDIEGEBIED EN METODES

Die gebied is geleë in die Grasveldbioom²¹ en kan geklassifiseer word as deel van die Oostelike Bankenveld-veldtipe (no. 61).²² In die nuwe plantegroeikaart van Suid-Afrika word die gebied as deel van die Vogtige Sanderige Hoëveld-grasveld geklassifiseer.²³ Die streek het 'n gemiddelde daagliks maksimum en minimum temperatuur van onderskeidelik 23.9 °C en 7.1 °C en 'n gemiddelde jaarlikse reënval van 735 mm (data soos vir Middelburg vir die tydperk 1904–1950).²⁴

Die studiegebied bestaan uit 'n reeks van vier steenkoolasdamme (figuur 1). Die eerste pogings van rehabilitering het reeds in 1986 begin met die aanplanting van 'n *Cortaderia*-spesie (*Pampasgras*) en *Pennisetum clandestinum* (Kikoejoe). Verdere rehabilitering is gedoen in 1990–1992, 1994 en 1997. Die spesiesamestelling van die saadmengsels wat in 1990–1992 (saadmengsel A) en 1994 (saadmengsel B) gebruik is, word in tabel 1 verskaf. Tydens planthervestiging is 'n bolaag van 10 cm grond, afkomstig van 'n gebied waar asdam 5 huidig is (sien figuur 1), oor die as gegooi.



Figuur 1 Kaart van die asdamme by die Hendrina-kragstasie om die ligging asook die posisie van permanente opnamepersele (1–12) aan te dui.

Tabel 1 Spesiesamestelling van saadmengsels wat in rehabiliteringspogings in 1990–1992 en 1994 onderskeidelik gebruik is op die asdamme by die Hendrina-kragstasie

Behandeling A (1990-1992)		Behandeling B (1994)	
Spesie	% van mengsel	Spesie	% van mengsel
<i>Cenchrus ciliaris</i>	9.1	<i>Chloris gayana</i>	10.0
<i>Chloris gayana</i>	4.5	<i>Chloris virgata</i>	5.0
<i>Chloris virgata</i>	4.5	<i>Cynodon dactylon</i>	10.0
<i>Cynodon dactylon</i>	4.5	<i>Digitaria eriantha</i>	10.0
<i>Digitaria eriantha</i>	9.1	<i>Enneapogon cenchroides</i>	10.0
<i>Enneapogon cenchroides</i>	9.1	<i>Eragrostis chloromelas</i>	5.0
<i>Eragrostis chloromelas</i>	2.3	<i>Eragrostis curvula</i>	15.0
<i>Eragrostis curvula</i>	9.1	<i>Eragrostis echinochloidea</i>	5.0
<i>Eragrostis echinochloidea</i>	9.1	<i>Eragrostis lemanniana</i>	5.0
<i>Eragrostis lemanniana</i>	2.3	<i>Eragrostis tef</i>	15.0
<i>Eragrostis tef</i>	9.1	<i>Hyparrhenia hirta</i>	5.0
<i>Fingerhuthia africana</i>	9.1	<i>Themeda triandra</i>	5.0
<i>Heteropogon contortus</i>	2.3		
<i>Hyparrhenia hirta</i>	9.1		
<i>Panicum maximum</i>	4.5		
<i>Themeda triandra</i>	2.3		

Tien permanente opnamepersele (1–4; 7–12) is uitgeplaas op verskeie hellings en plato's van die asdamme (figuur 1) (tabel 2). Opnames op twee persele (5 en 6) is gedurende die studietydperk gestaak en is daarom nie aangetoon nie. Twee kontrolepersele (K1 en K2) is in 'n naburige natuurlike grasveld uitgeplaas (figuur 1). In tabel 2 word meer inligting van die opnamepersele ten opsigte van die tydperk verloop sedert rehabilitering (tot en met 1997), en aspek en posisie op asdamme verskaf. Frekwensie-opnames van die plante is tydens die somers van 1997 en 1998 langs drie transekte in elke opnameperseel gedoen. Die dalendepuntmetode is gebruik waartydens die naaste plantspesies tussen een meter

intervalle, binne 'n radius van 30 cm, op 'n transek aangeteken is. 'n Totaal van 120 punte is op elke transek aangeteken. Frekwensie-opnames is verder ook gebruik om die spesiesamestelling langs elke transek te bepaal.

'n Ontneigde Ooreenstemmingsanalise (Detrended Correspondence Analysis-DCA) is gebruik om data te analiseer. Hierdie ordeningstegniek is gebruik omdat dit 'n verbeterde tegniek is en minder onderhewig is aan die distorsie van asse soos aangetref by ander ordeningstegnieke.²⁰ Die gradiënte tussen gerehabiliteerde hellings of plato's is met drie verwysingspunte geïnterpreteer.

- Frekwensiedata van gerehabiliteerde hellings (opnamepersele 2, 3, 4, en 9) en plato's (persele 10, 11 en 12) is vergelyk met frekwensiedata van die naburige natuurlike grasveld om die kolonisering van grasveldspesies te ondersoek na rehabilitering. Persele 1, 7 en 8 is tydens hierdie analise weggelaat omdat ander rehabiliteringsmetodes en saadmengsels gebruik is vir die rehabilitering van hierdie plato's. Ordeningsdiagramme kan ook 'n aanduiding gee van die gelyksoortigheid in spesiesamestelling tussen die twee gebiede. Hellings en plato's is apart geanalyseer, omdat dit twee verskillende gebiede verteenwoordig en verskillend gerehabiliteer is.
- Frekwensiedata van persele waar onderskeidelik saadmengsel A (persele 9, 10, 11, en 12) en B (persele 2, 3 en 4) gebruik is (tabel 1), is georden saam met die grasspesies volgens die massas saad wat gebruik is van elke spesie in saadmengsels A en B. In tabel 1 word die spesiesamestelling en die verhoudings waarin die verskillende spesies in saadmengsel A en B voorval, aangetoon. Saadmengsels is saam met ou gerehabiliteerde persele georden. Hierdie benadering is gevolg om die mate van vestiging van grasspesies wat in die saadmengsels teenwoordig was, te evaluer.
- Frekwensiedata van hellings van persele 2, 3, 4, 7 en 8 is saam georden om 'n ouderdomsgradiënt van 1 tot 6 jaar van rehabilitering aan te dui.

Tabel 2 Lys van permanente opnamepersele wat in die monitering van die plantegroei-dinamika van gerehabiliteerde asdamme by die Hendrina-kragstasie gebruik is

Opnameperseel	Ouderdom (tot 1997)	Posisie op asdam	Aspek
1	2 (11)	plato	/
2	3	helling	noord
3	3	helling	wes
4	3	helling	oos
7.1	1	helling	wes
7.2	5	helling	wes
8.1	1	helling	suid
8.2	5	helling	suid
9	5	helling	oos
10	6	plato	–
11	5	plato	–
12	7	plato	–
Kontrole 1	–	–	oos
Kontrole 2	–	–	oos

Betekenisvolheid van ordeningsasse is deur die vergelyking van

Tabel 3 Tabel van eiewaardes vir elke ordeningsas asook die kumulatiewe persentasievariasie wat elke as verklaar tussen hakies, van die DCA-ordenings van plantegroei-data by Hendrina-kragstasie

Ordening	Eie waardes				Totaal
	As 1	As 2	As 3	As 4	
Gerehabiliteerde hellings in vergelyking met 'n natuurlike grasveld	0.92(41.9)	0.211 (51.5)	0.12 (57.2)	0.076 (60.6)	2.195
Gerehabiliteerde plato's in vergelyking met 'n natuurlike grasveld	0.966 (52.1)	0.195 (62.6)	0.114 (68.7)	0.047 (71.2)	1.855
Saadmengsel A	0.611 (53.2)	0.091 (61.2)	0.047 (65.3)	0.016 (66.7)	1.148
Saadmengsel B	0.563 (42)	0.119 (50.9)	0.041 (54)	0.019 (55.5)	1.341
Persele van verskeie ouderdomme	0.446 (24.8)	0.213 (36.6)	0.111 (42.8)	0.042 (45.1)	1.162

asse se eiewaardes en die persentasie wat deur elke as verduidelik word, bepaal. Ordeningsasse met 'n eiewaarde groter as 0.3 kan as 'n aanduiding van sterk gradiënte beskou word.²⁵

Alle spesiesname is volgens Arnold en De Wet.²⁶ Afkorting vir spesiesname soos gebruik in spesie-ordenings word in tabel 3 verklaar.

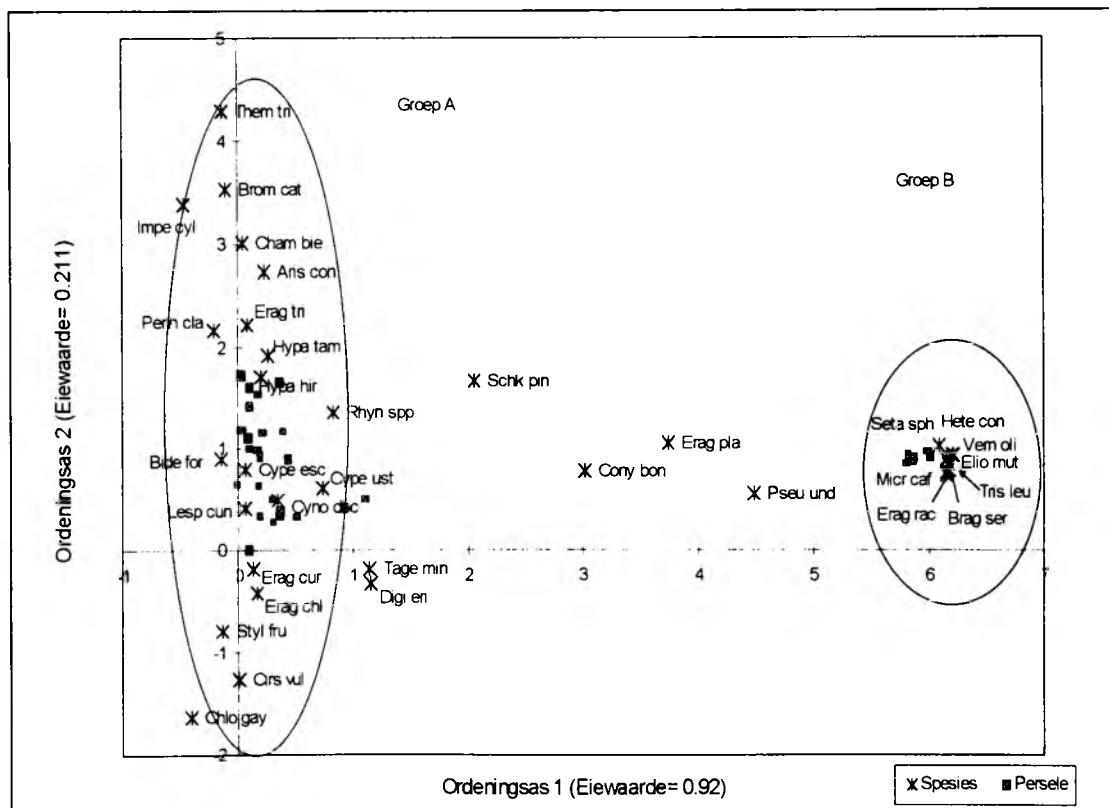
RESULTATE EN BESPREKING

Volgens die verstrooiingsdiagram van persele langs die eerste ordeningsas van figure 2 en 3 word die persele van die gerehabiliteerde en die natuurlike grasveld as twee aparte groepe aangedui. Gerehabiliteerde hellings (figuur 2) en plato's (figuur 3) (Groep A) kom in albei gevalle aan die linkerkant van die eerste ordeningsas voor, terwyl die natuurlike grasveld (Groep B) aan die regterkant voorkom.

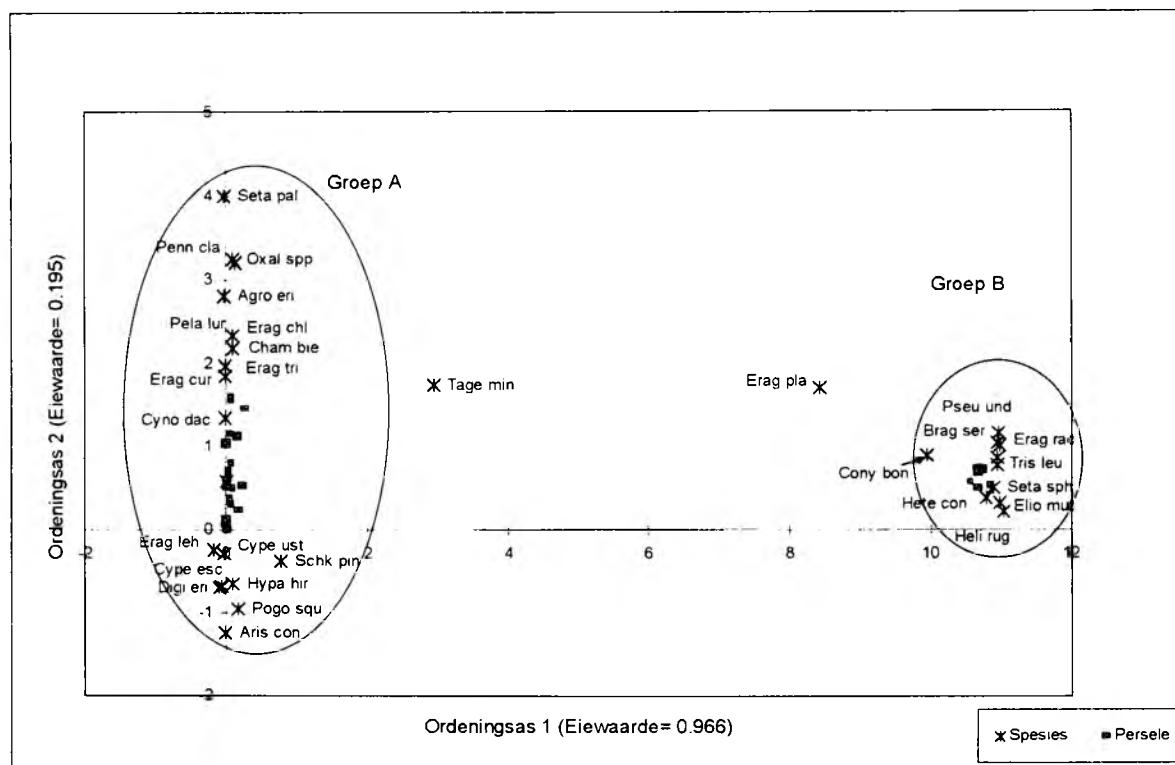
Gerehabiliteerde hellings in vergelyking met die natuurlike grasveld

Die verstrooiingsdiagram van die DCA-ordenning (figuur 2) dui

aan dat min ooreenkoms in spesiesamestelling tussen die gerehabiliteerde asdamhellings en die natuurlike grasveld bestaan, behalwe vir die eenjarige kruide *Conyza bonariensis* (Cony bon). *Pseudognaphalium undulatum* (Pseu und), *Schkuhria pinnata* (Schk pin) en die meerjarige gras *Eragrostis plana* (Erag pla). Die afleiding kan gemaak word deurdat geeneen van die laasgenoemde spesies met enige van die twee groepe geassosieer is nie en in die middel van die verstrooiingsdiagram geleë is. Asdamhellings word veral gekenmerk deur spesies soos die meerjarige grasse *Hyparrhenia hirta* (Hypa hir), *Eragrostis curvula* (Erag cur), *Eragrostis trichophora* (Erag tri), *Cynodon dactylon* (Cyno dac) en *Pennisetum clandestinum* (Penn cla) en die kruide *Cyperus esculentus* (Cype esc). *Lespedeza cuneata* (Lesp cun) en *Stylosanthes fruticosa* (Styl fru), terwyl die meerjarige grasse *Heteropogon contortus* (Hete con), *Setaria sphacelata* var. *torta* (Seta sph), *Elionurus muticus* (Elio mut), *Tristachya leucotricha* (Tris leu) en *Brachiaria serrata* (Brac ser) hoofsaaklik in die natuurlike grasveld aangetref word (alleenlik dominante spesies



Figuur 2 Verstrooiingsdiagram van die DCA-ordenning van gerehabiliteerde hellings op asdamme in vergelyking met die natuurlike grasveld by Hendrina-kragstasie.



Figuur 3 Verstrooiingsdiagram van die DCA-ordening van gerehabiliteerde plato's op asdamme in vergelyking met die natuurlike grasveld by Hlendrina-kragstasie.

van die natuurlike grasveld word in die ordening aangetoon). Die lengte van die eerste ordeningsas duï ook op 'n hoë beta-diversiteit volgens spesieverandering langs hierdie as. Die ongelyksoortighed van hierdie twee groepe se spesiesamestelling veroorsaak dat persele ook in twee groepe langs die eerste ordeningsas van figuur 2 geskei word.

Gerehabiliteerde plato's in vergelyking met die natuurlike grasveld

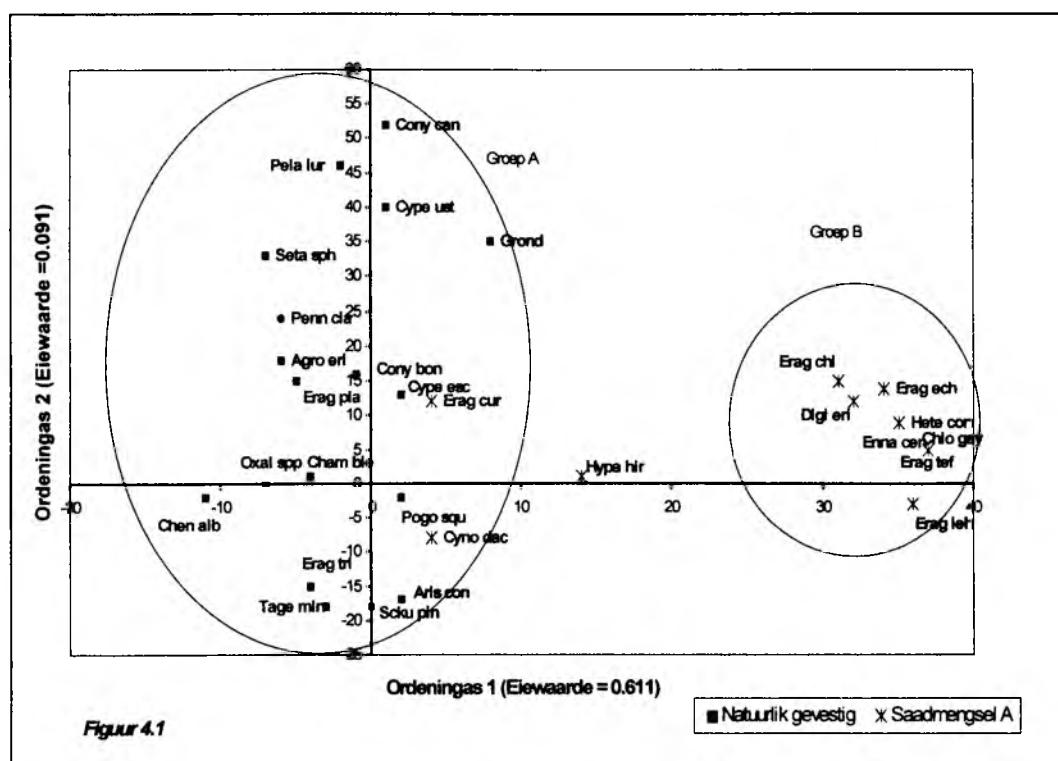
'n Soortgelyke tendens as tussen die gerehabiliteerde hellings en natuurlike grasveld is waarneembaar by die DCA-ordening van spesies en persele van gerehabiliteerde plato's en die natuurlike grasveld (figuur 3). Die enigste spesies wat in albei hierdie gebiede langs die eerste ordeningsas voorkom, is *Tagetes minuta* (Tage min) en *Eragrostis plana* (Eragr. pla) (figuur 3). Die eenjarige kruide *Conyza bonariensis* (Cony bon) is in hierdie geval meer geassosieer met die natuurlike grasveld as met gerehabiliteerde plato's (vergelyk figure 2 en 3). Beta-diversiteit tussen gerehabiliteerde persele op die plato's langs die tweede ordeningsas is egter ook kleiner as op persele geassosieer met hellings. Spesiesamestelling van gerehabiliteerde plato's is daarom meer homogeen as langs gerehabiliteerde hellings. Die plato's van die gerehabiliteerde damme word veral gekenmerk deur die grasspesies *Eragrostis curvula* (Eragr. curvula), *Cynodon dactylon* (Cyno dac), *Hyparrhenia hirta* (Hypa hirta) en die kruide *Chamaecrista biensis* (Cham bie) *Oxalis* sp. (Oxal spp), *Cyperus esculentus* (Cype esc) en *Cyperus usitatus* (Cype ust), terwyl die meerjarige grasse *Heteropogon contortus* (Hete con), *Setaria sphacelata* var. *torta* (Seta sph), *Elionurus muticus* (Elio mut), *Tristachya leucotrix* (Tris leu) en *Brachiaria serrata* (Brac ser) hoofsaaklik in die natuurlike grasveld aangetref word (alleenlik dominante spesies van die natuurlike grasveld word in die ordening aangetoon).

Vestiging van plantspesies uit die saadmengsels wat gebruik is

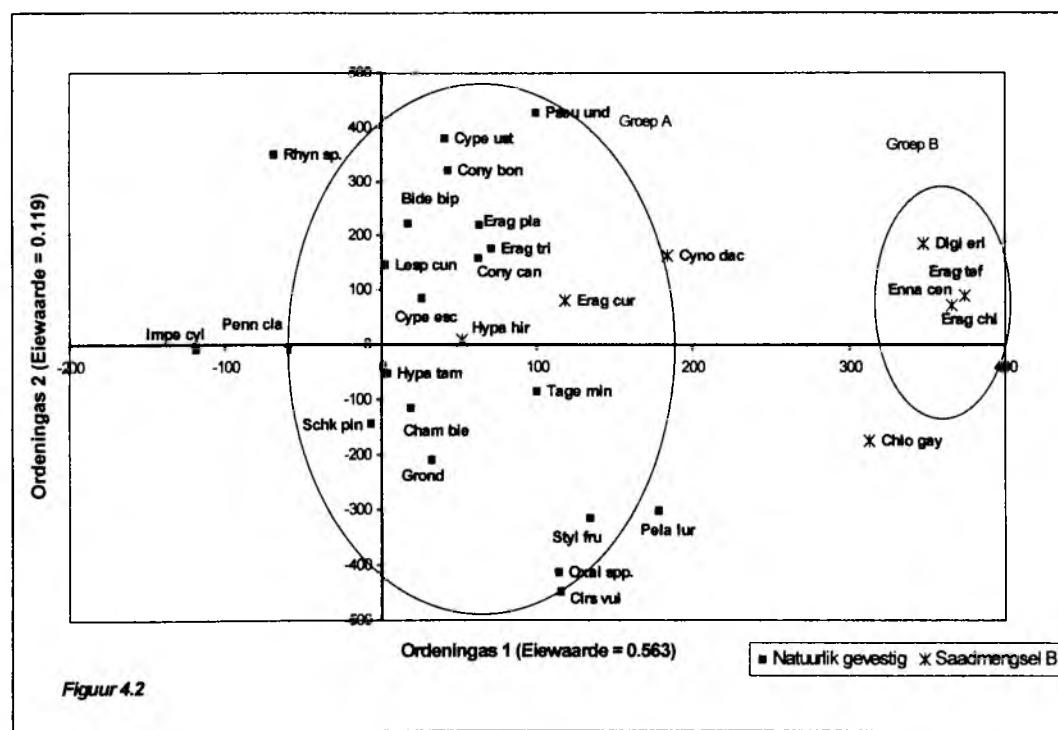
Figure 4.1 en 4.2 stel die spesie-ordenings van persele wat onderskeidelik gerehabiliteer is met saadmengsels A en B, saam met die verhoudings van die spesies in saadmengsels A en B, voor. Spesies in die saadmengsel wat langs die eerste ordeningsas naby spesies wat op die ou gerehabiliteerde persele voorkom (Groep A) kan as suksesvol gevestig beskou word. Volgens ordeningsas 1 (figuur 4.1 en 4.2) is daar 'n duidelike verskil tussen die spesies wat huidig voorkom (groep A) en wat ingesaai is (groep B). Slegs 3 spesies, *Eragrostis curvula* (Eragr. curvula), *Hyparrhenia hirta* (Hypa hirta) en *Cynodon dactylon* (Cyno dac) (Groep A) wat in die saadmengsel teenwoordig was, het suksesvol gevestig. Spesies wat addisioneel suksesvol gevestig het, wat nie in die saadmengsel was nie, op gebiede behandel met saadmengsel A (figuur 4.1), sluit onder meer die kruide *Cyperus esculentus* (Cype esc), *Chamaecrista biensis* (Cham bie), *Pelargonium luridum* (Pela lur) en die grasse *Eragrostis plana* (Eragr. pla) en *Polygonarthria squarrosa* (Pogo squ) in. Addisionele spesies soos die grasse *Eragrostis plana* (Eragr. pla), *Eragrostis trichophora* (Eragr. tri), *Hyparrhenia tambo* (Hypa tam), *Imperata cylindrica* (Impe cyl) en die kruide *Lespedeza cuneata* (Lesp cun), *Stylosanthes fruticosa* (Styl fru) en *Cyperus esculentus* (Cype esc), het saam met *Eragrostis curvula* (Eragr. curvula), *Hyparrhenia hirta* (Hypa hirta) en *Cynodon dactylon* (Cyno dac) van saadmengsel B gevestig (figuur 4.2). Die hoë voorkoms van ander spesies wat nie in die saadmengsel teenwoordig was nie, kan aan verskillende faktore toegeskryf word. Die grondbolaag wat tydens die rehabiliteringsproses gebruik is, kon 'n saadbank van ander spesies bevat het of die saadmengsel kon gekontamineer gewees het. Kolonisering van spesies vanaf omringende gerehabiliteerde gebiede kon ook plaasgevind het.

Vestiging van plantspesies oor verskillende ouderdomme van rehabilitering

Figuur 5.1 stel die verspreidingpatrone van spesies geassosieerd met verskillende ouderdomme van rehabilitering voor. In figuur



Figuur 4.1

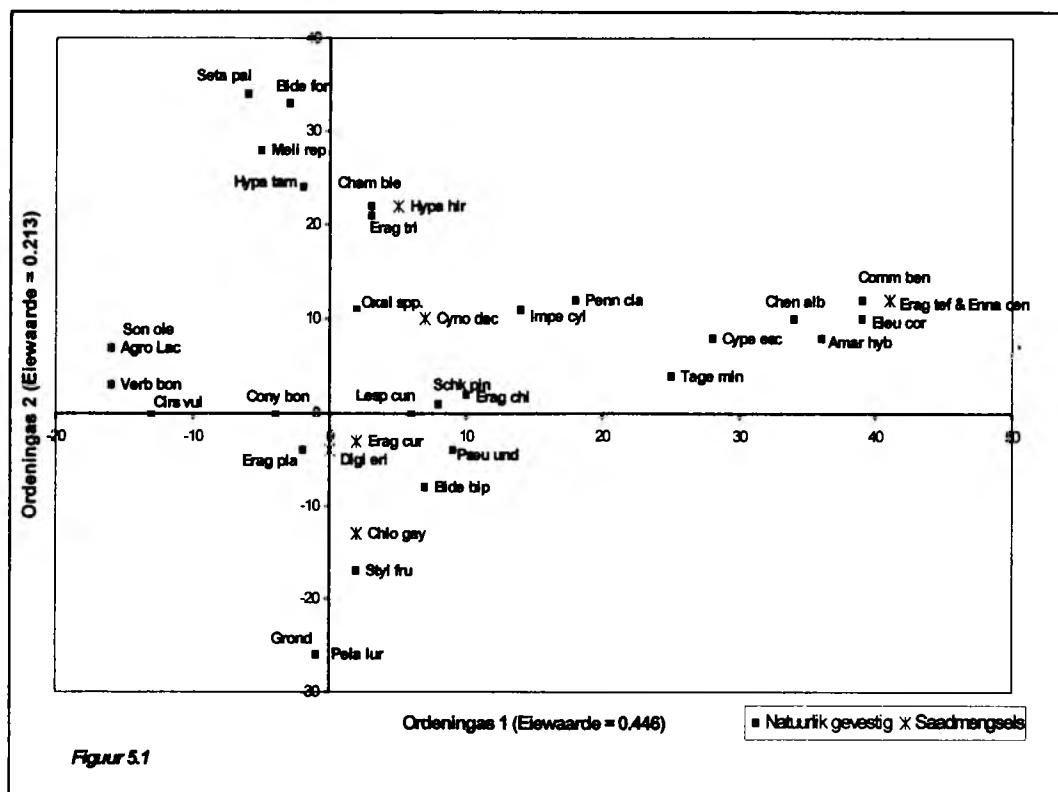


Figuur 4.2

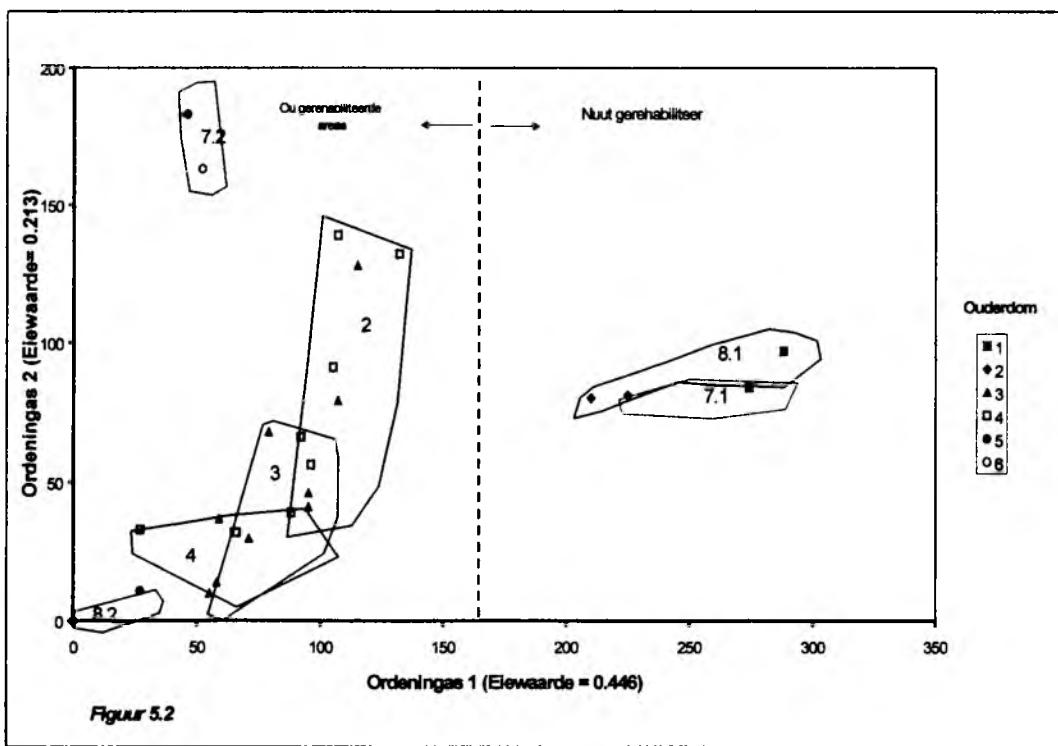
Figuur 4 Verstrooiingsdiagramme van die DCA-ordening van ou gerehabiliteerde gebiede en hulle onderskeidelike saadmengsels op gerehabiliteerde asdamme by Henderina-kragtasie. 4.1: Verstrooiingsdiagram van frekwensiedata saam met saadmengsel A; 4.2: verstrooiingsdiagram van frekwensiedata saam met saadmengsel B.

5.2 word die ordening van persele oor verskillende ouerdomme voorgestel. In albei verstrooiingsdiagramme (figuur 5.1 en 5.2) kom ou gerehabiliteerde hellings op die linkerkant van die eerste ordeningsas voor, terwyl die eerste jaar van rehabilitering aan die regterkant voorkom. Volgens figuur 5.1 bestaan daar na drie jaar, vanaf rehabilitering, min verskille tussen spesiesamestelling. Die invloed van ander omgewingsfaktore geassosieerd met die tweede

ordeningsas raak ook meer prominent in persele ouer as drie jaar (figuur 5.2). Die eerste ordeningsas in figuur 5.1 dui 'n duidelike gradiënt van spesiesverandering vanregs (nuut gerehabiliteer) tot links (3–6 jaar na rehabilitering) voor. Die eerste jaar nadat 'n saadmengsel ingesaai is, word gekenmerk deur eenjarige grasse van die saadmengsel (*Eragrostis tef* (*Erag tef*) en *Enneapogon cenchroides* (*Enna cen*) en eenjarige kruide *Amaranthus hybridus*



Figuur 5.1



Figuur 5.1 verstrooiingsdiagram van die DCA-ordinering van persele langs hellings oor 'n ouderdomsgradiënt van ses jaar op gerehabiliteerde asdamme by Hendrina-kragstasie. 5.2: Verstrooiingsdiagram van persele.

(Amar hyb) en *Commelina benghalensis* (Comm ben) (regterkant van die eerste ordeningsas, figuur 5.1). Die tweede jaar word nog steeds gekenmerk deur 'n komponent van eenjarige kruide soos *Tagetes minuta* (Tage min) en *Cyperus esculentus* (Cype esc) terwyl persele wat ouer as drie jaar is, gekenmerk word deur die dominante voorkoms van meerjarige grasse, soos *Hyparrhenia*

hirta (Hypa hir) en *Eragrostis curvula* (linkerkant van die eerste ordeningsas, figuur 5.1). Die tweede ordeningsas van die ordinering van spesies vorm van bo na onder 'n kontinuum van 'n *Hyparrhenia hirta*-gedomineerde tot 'n *Eragrostis curvula*-gedomineerde plantgemeenskap (figuur 5.1). Spesies wat geassosieer word met *Hyparrhenia hirta* is *Bidens formosa* (Bide

for), *Eragrostis trichophora* (Erag tri), *Hyparrhenia tamha* (Hyp tam) en *Chamaecrista biensis* (Cham bie). *Digitaria eriantha* (Digi eri), *Conyza bonariensis* (Cony bon), *Eragrostis plana* (Erag pla) en *Chloris gayana* (Chlo gay) kom saam met *Eragrostis curvula* voor. Eenjarige kruide kom nog steeds voor in persele drie jaar na rehabilitering, maar is nie van dieselfde spesies as wat in die eerste twee jaar voorgekom het nie. *Chamaecrista biensis* (Cham bie), *Conyza bonariensis* (Cony bon) en *Pseudognaphalium spp.* (Pseu spp.) is van die dominante eenjarige kruide wat op die linkerkant van die eerste ordeningsas (figuur 5.1) voorkom en geassosieerd is met ouer gerehabiliteerde gebiede (figuur 5.2). Die eerste ordeningsas van figuur 5.2 stel ook 'n duidelike gradiënt van rehabilitering oor 'n tydperk van ses jaar voor. Persele ouer as 3 jaar na rehabilitering (linkerkant van die eerste ordeningsas) en nuut gerehabiliteerde persele (regterkant van die eerste ordeningsas) is duidelik geskei in die verstrooiingsdiagram (figuur 5.2). Persele 7, 8 en 4 kom die verste van die nuut gerehabiliteerde gebiede voor op ordeningsas I, terwyl perseel 2 die naaste aan die nuut gerehabiliteerde gebiede georden is (figuur 5.2). Geen ouderdomgradiënt is egter duidelik tussen persele wat ouer as drie jaar gerehabiliteer is nie.

Analise van eiewaardes

Die eerste ordeningsas van al drie bespreekte vergelykings wat getoets is, het betekenisvolle gradiënte getoon as 'n eiewaarde groter as 0.3 gebruik word as aanduiding vir sterk gradiënte (tabel 3).²⁵ Indien die grootte van die eiewaardes as maatstaf kan dien

van die ongelyksoortigheid was die verskille in spesiesamestelling tussen persele op gerehabiliteerde gebiede en die persele in die natuurlike grasveld die grootste. Die hoë eiewaardes van ordenings tussen frekwensiadata saam met die saadmengsels bevestig dat min ooreenkoms bestaan tussen die saadmengsels en plantgemeenskappe waar hierdie saadmengsels gebruik is. Saadmengsel A (16 spesies, hoofsaaklik gebruik op plato's) het 'n groter eiewaarde gehad ten opsigte van die persele waar dit ingesaa is as saadmengsel B (12 spesies, hoofsaaklik gebruik op hellings). Hieruit kan afgelei word dat alhoewel meer spesies in saadmengsel A gebruik is, daar nie noodwendig meer spesies gevension het as in persele waar saadmengsel B gebruik is nie. Ordeningsresultate van frekwensiadata saam met data van die saadmengsels het die meeste variasie op die eerste ordeningsas verklaar. Ordeningsas I van die gerehabiliteerde hellings oor verskillende ouerdomme kon slegs 24% van die variasie verduidelik. Gauch²⁰ bevraagteken egter die sinvolheid vir die gebruik van hierdie persentasiewaarde as aanduidend om die kwaliteit van data te evalueer. Lae persentasies soos hierdie kan veral met groot en diverse datastelle geassosieer word aangesien dit 'n hoë mate van geraas (variasie) kan veroorsaak.²⁰ Die persentasievariasie wat deur 'n ordeningsas verduidelik word, moet daarom met omsigtigheid in ag geneem word.

GEVOLGTREKKING

Min ooreenkome bestaan tussen die spesiesamestelling van die natuurlike grasveld en die gerehabiliteerde gebiede. Die verskil

Tabel 4 Lys van spesies en die afkortings wat gebruik is in die verstrooiingsdiagramme (Uitheemse spesies word met # aangedui.)

<i>Agrostis eriantha</i> Hack. var <i>eriantha</i>	Agro eri	<i>Eragrostis racemosa</i> (Thunb.) Steud.	Erag ras
<i>Agrostis lachnantha</i> Nees var. <i>lachnantha</i>	Agro lac	<i>Eragrostis tef</i> (Zucc.) Trotter#	Erag tef
<i>Amaranthus hybridus</i> L. #	Amar hyb	<i>Eragrostis trichophora</i> Coss. & T. Durand	Erag tri
<i>Andropogon schirensis</i> A.Rich.	Andr sch	<i>Helichrysum rugulosum</i> Less.	Heli rug
<i>Aristida congesta</i> Roem. & Schult. subsp. <i>congesta</i>	Aris con	<i>Heteropogon contortus</i> (L.) Roem. & Schult.	Hete con
<i>Bidens bipinnata</i> L.#	Bide bip	<i>Hyparrhenia hirta</i> (L.) Stapf	Hypa hir
<i>Brachiaria serrata</i> (Thunb.) Stapf	Brac ser	<i>Hyparrhenia tamha</i> (Steud.) Stapf	Hypa tam
<i>Bromus catharticus</i> Vahl.#	Brom cat	<i>Imperata cylindrica</i> (L.) Raeusch	Impe cyl
<i>Chamaecrista biensis</i> (Steyaert) Lock	Cham bie	<i>Lespedeza cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don#	Lesp cun
<i>Chenopodium album</i> L.#	Chen alb	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka subsp. <i>repens</i>	Meli rep
<i>Chloris gayana</i> Kunth#	Chlo gay	<i>Microchloa caffra</i> Nees	Mier caf
<i>Cirsium vulgare</i> (Savi) Ten.#	Cirs vul	<i>Oxalis</i> spp. L #	Oxal spp
<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist#	Cony bon	<i>Pelargonium luridum</i> (Andr.) Sweet	Pela lur
<i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronquist#	Cony can	<i>Pennisetum clandestinum</i> Chiov.#	Penn cla
<i>Bidens formosa</i> Cav.#	Bide for	<i>Pogonarthria squarrosa</i> (Roem. & Schult.) Pilg.	Pogo squ
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Cyno dac	<i>Pseudognaphalium undulatum</i> (L.) Hilliard & B.L. Burtt	Pseu und
<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cype esc	<i>Rhynchosia</i> sp.	Rhyn sp.
<i>Cyperus usitatus</i> Burch. var. <i>usitatus</i>	Cype ust	<i>Schkuhria pinnata</i> (Lam.) Cabrera#	Schk pin
<i>Digitaria eriantha</i> Steud.	Digi eri	<i>Setaria pallide-fusca</i> (Schumach.) Stapf & C.E. Hubb.	Seta pal
<i>Eleusine coracana</i> (L.) Gaertn. subsp. <i>africana</i> (Kenn.- O' Byrne)	Eleu cor	<i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.) Moss var. <i>torta</i> (Stapf) Clayton	Seta sph
<i>Elionurus muticus</i> (Spreng.) Kunth	Elio mut	<i>Stylosanthes fruticosa</i> (Retz) Alston	Styl fru
<i>Eragrostis chloromelas</i> Steud.	Erag chl	<i>Tagetes minuta</i> L.#	Tage min
<i>Eragrostis curvula</i> (Schrad.) Nees	Erag cur	<i>Themeda triandra</i> Forssk.	Them tri
<i>Eragrostis echinochloidea</i> Stapf	Erag ech	<i>Tristachya leucothrix</i> Nees	Tris leu
<i>Eragrostis lehmanniana</i> Nees var. <i>lehmanniana</i>	Erag leh	<i>Verbena bonariensis</i> L.#	Verb bon
<i>Eragrostis plana</i> Nees	Erag pla	<i>Vernonia oligocephala</i> (DC.) Sch. Bip. ex Walp.	Vern oli

van die habitat van die grasveld en gerehabiliteerde gebiede kan as belangrike rede aangevoer word. Die gebiede verskil nie net ten opsigte van grondeienskappe en topografie nie, maar ook ten opsigte van versteurdheid. As in ag geneem word dat die oudste gerehabiliteerde perseel agt jaar oud is, moet aanvaar word dat kolonisering van asdamme met spesies vanaf naburige plantgemeenskappe, soortgelyk aan die voorbeeld in hierdie studie, baie stadig is. 'n Subklimaks-gemeenskap met soortgelyke grondeienskappe (slikryke grond met hoë pH, soos byvoorbeeld subklimaks-grasveld van valleivloere) kon dalk 'n meer sinvolle vergelyking gewees het as 'n verwysingspunt (kontrole) na 'n natuurlike veldtoestand.

Die vergelykende studie van die vestiging van spesies van die twee saadmengsels het ook baie verskille getoon. Min van die spesies het gevinstig en dus moet die sukses van die saadmengsels om 'n grasveldgemeenskap met 'n hoë spesiediversiteit te vestig, bevraagteken word. Meer koste-effektiewe saadmengsels kon gebruik geword het om gebiede mee te rehabiliteer. Uit die resultate blyk dat ander spesies eerder in die saadmengsel ingesluit moes word, byvoorbeeld daardie spesies wat natuurlik gevinstig het. In figure 4.1 en 4.2 sal dit tipies spesies insluit wat deel van groep A uitmaak, byvoorbeeld soos die grasse *Eragrostis plana*, *Aristida congesta*, *Pogonarthria squarrosa* en *Hyparrhenia tambo* en kruide soos *Chamaecrista biensis* en *Stylosanthes fruticosa*. Ontkiemingsproewe vooraf van spesies wat moontlik in saadmengsels gebruik gaan word, kan 'n belangrike bydrae lewer om die geslaagdheid van die saadmengsels en koste-effektiwiteit te verbeter. Drie van die meerjarige grasspesies, nl. *Eragrostis curvula*, *Hyparrhenia hirta* en *Cynodon dactylon* het egter só suksesvol gevinstig dat hulle as dominant beskou kan word. Die vestiging van 'n grasveld waarin meerjarige grasse teenwoordig is, was dus suksesvol. Alhoewel die grasveld in gerehabiliteerde gebiede 'n lae spesiediversiteit het, kan 'n mate van stabiliteit daaraan geheg word as gevolg van die voorkoms van meerjarige pol- en stolonvormende grasspesies. Die natuurlike vestiging van 'n aantal peulplante is ook 'n belangrike toevoeeling tot die gerehabiliteerde gebiede en moet as 'n belangrike komponent tydens die hervestiging van grasveld beskou word, omdat hierdie plante 'n groot bydra lewer tot die fiksering van stikstof in ekostelsels wat gekenmerk word deur tekorte aan stikstof.²⁷ Peulplante wat goed op die asdamme by Hendrina vestig, is byvoorbeeld *Chamaecrista biensis* (Cham bie), *Lespedeza cuneata* (Lesp cun) en *Stylosanthes fruticosa* (Styl fru). 'n Belangrike vraagstuk is egter of grasspesies wat natuurlik gevinstig het alleenlik van die saadmengsel afkomstig was en of die oorspronklike saabank van die grondbolaag ook 'n bydrae gelewer het?

'n Mate van suksessionele opeenvolging van spesies in die saadmengsel kon ook waargeneem word. Eenjarige grasspesies uit die saadmengsel het eerste gevinstig waarna meerjarige spesies toegeneem het. Die eenjarige spesies kon nie 'n blywende populasie vestig nie en het na die tweede jaar verdwyn en is oor die jare met meerjarige polgrasse vervang. Dit is soms 'n belangrike aspek wat met rehabilitering nagestreef word, naamlik om eers 'n hoëdigtheid-plantbedekking van eenjarige grasspesies te vestig om die vestiging van meerjarige grasse te faciliteer.²⁸ In hierdie verband kan die rehabiliteringspogings dus as geslaagd beskou word.

Ordening van persele oor verskillende ouerdomme het getoon dat 'n stabiele meerjarige grasveldgemeenskap na drie jaar kan vestig. Eksterne biotiese en abiotiese faktore kan egter 'n belangrike dryfkrag wees om rehabiliteringsukses te beïnvloed. Bogenoemde kan duidelik gesien word in die gradiënt op die tweede ordeningsas (eiewaarde= 0.213) van figuur 5.2. Die verklaring van

omgewingsgradiënte langs ordeningsasse verkry uit DCA-ordenings berus op subjektiewe en indirekte aannames.^{20, 29} Die gebruik van die CANOCO-program³⁰ maak dit egter nou moontlik om omgewingsgradiënte direk te bepaal omdat spesieveranderings in verband gebring word met spesifieke omgewingsfaktore. In opvolgstudies van die asdamme by Hendrina-kragstasie sal die CANOCO-program daarom gebruik word.

Die gebruik van verskeie verwysingspunte om gerehabiliteerde gebiede teen te meet, kan as 'n belangrike hulpmiddel beskou word om rehabiliteringsukses te bepaal. Die gebruik van ordeningsmetodes was ook suksesvol om verskille tussen spesiegroepe se samestelling en voorkoms te vergelyk en visueel voor te stel. As die verskillende verwysingspunte as doeleindes beskou word, het die rehabiliteringspoging alleenlik geslaag om 'n stabiele meerjarige grasveld te vestig omdat min ooreenkoms tussen die gerehabiliteerde grasveld op die asdamme, die naburige natuurlike grasveld en saadmengsels wat gebruik is, bestaan.

BEDANKINGS

ESKOM word bedank vir finansiële ondersteuning en die goedgunstige toestemming vir gebruik van data vir hierdie artikel.

SUMMARY

The use of plant species during rehabilitation is in essence an ecological problem.¹ The aim of vegetation rehabilitation programmes must, therefore, be to obtain a stable and sustainable ecosystem.¹ The characteristics of these ecosystems do not have to be similar to the original systems but must be of the same value to satisfy the aim of rehabilitation and sustainable development.² The South African Bill of Rights demands that development must be ecologically self-sustainable to ensure a healthy environment for the people of this country.³ The rehabilitation of ash dams at ESKOM power station sites is an important aspect of the strategy to minimise the impact of these power stations on the environment, to facilitate the wise utilisation of these rehabilitated areas and to acquire future closure certificates.⁴ Monitoring rehabilitated areas must be regarded as an important aspect of a rehabilitation programme because it is an important aid during the selection of treatments to improve the growth medium and therefore stimulate species establishment.¹⁸ Monitoring also serves to identify problems and to improve aftercare. During this study a multivariate technique was used as a monitoring tool to identify the pattern of species establishment. A Detrended Correspondence Analysis (DCA) ordination technique was employed to analyse frequency data from surveys being done during the summers of 1997 and 1998. The significance of the first ordination axis was derived from the length of the axis and its eigenvalue, which gives an indication of the amount of dissimilarity along the axis. An eigenvalue larger than 0.3 can be used as a rule of thumb for an indication of a significant gradient.²⁵ The success of the rehabilitation programme was tested against three possible benchmarks.

- Frequency data of rehabilitated slopes and surfaces were compared with frequency data of an adjacent natural grassland. The colonisation of species from this natural area was tested. Scatter diagrams of ordinations could also indicate the amount of dissimilarity between the two areas.
- Frequency data of grids where seed mixtures A and B were used were analysed together with the seed ratios of different grass species that were used in the seed mixtures. Seed mixtures were employed as extra sample plots.
- An ordination was also performed on frequency data of slopes to obtain an age-gradient of one to six years of rehabilitation.

Results showed that species composition of the rehabilitated areas had little in common with the natural grassland. It must, therefore, be accepted that colonisation from the natural grassland did not take place. The comparative study between species of the seed mixtures and the species composition of the old rehabilitated areas showed that few species from the seed mixture colonise successfully. Only three species, *Eragrostis curvula*, *Hyparrhenia hirta* and *Cynodon dactylon* colonised successfully and occur as dominant grass species in rehabilitated areas. It could, therefore, be asked where the other grasses and forbs occurring in abundance on old rehabilitated areas originated from? Possible sources include the topsoil layer that was used as an amelioration method, contamination of the seed mixtures and natural colonisation from bordering areas that also have a ruderal origin. Species from the seed mixtures also showed a successional relationship. Annual grass species from the seed mixtures first establish after revegetation. During the consecutive year perennial grasses increased in abundance with a sharp decrease in annual grass species of the seed mixture. The annual grass species of the seed mixture were not able to establish a regenerating population. Ordination of the plots of different ages showed that little change in species composition along the first ordination axis exists after three years of rehabilitation and that environmental conditions associated with the second ordination axis are of increasing importance. Although both recent and old rehabilitated areas were characterised by annual forbs, the species composition between the two areas was significantly different. If the different benchmarks were a measurement of rehabilitation success it must be concluded that the rehabilitation programme was successful in establishing a relative stable perennial grassland.

LITERATUURVERWYSINGS

1. Bradshaw, A.D. (1996). In *Restoration ecology: A synthetic approach to ecological research*, Jordan, W.R., Gilpin, M.E., Aber, J.D. eds. (University Press, Cambridge).
2. Barnard, C.E. (1995). The law and environmental rehabilitation, *S Afr. J. Sci.*, 91, 334–335.
3. South Africa. (1996). *Bill of Rights. Act 108* (Government Printer, Pretoria).
4. Michael, M. (1997). *Faunal and floral sustainability of rehabilitated sites at the Hendrina, Majuba and Lethabo power stations* (Unpublished report).
5. Van Wyk, S. (1991). 'n Strategie vir die rehabilitering van versteurde mynbougebiede in Suidelike Afrika (D.Sc., PU vir CHO).
6. Jusaitis, M., Pillman, A. (1997). Revegetation of waste fly ash lagoons. 1. Plant selection and surface amelioration, *Waste Manage. & Res.*, 15, 307–321.
7. Piha, M.I., Vallack, H.W., Michael, N., Reeler, B.M. (1995). A low input approach to vegetation establishment on mine and coal ash waste in semi-arid regions. 2. Lagooned pulverized fuel ash in Zimbabwe, *J. Appl. Ecol.*, 32, 382–390.
8. Bradshaw, A.D., Chadwick, M.J. (1980). *The restoration of land* (Blackwell Scientific Publications, Oxford).
9. Gillham, E.W.F., Morley Davis, W. (1972). Land restoration with pulverized fuel ash, *J. Brit. Grassld. Soc.*, 27, 13–15.
10. Hodgson, D.R., Holliday, R. (1966). The agronomic properties of pulverised fuel ash, *Chem. Ind.*, 785–790.
11. Page, A.L., Alsewei, A.A., Straughan, I.R. (1979). Physical and chemical properties of fly ash from coal-fired power plants with reference to environmental impacts, *Residue Rev.*, 71, 83–120.
12. Townsend, W.N., Gillham W.F. (1975). In *The ecology of resource degradation and renewal. The 15th symposium of the British Ecological Society*, Chadwick, M.J., Goodman, G.T. eds. (Blackwell Scientific Publications, Oxford).
13. Van Rensburg, L., De Sousa Correia, R.I., Booyens, J., Ginster, M. (1998). Revegetation on a coal fine ash disposal site in South Africa. *J. Environ. Qual.*, 27, 1479–1486.
14. Chenik, D. (1960). The promotion of a vegetation cover on mine slime dams and sand dumps, *J. S Afr. Inst. Min. Met.*, 60, 525–555.
15. Easton-Groves, J. (1978). Colliery spoil reclamation in South Africa, *S Afr. J. of Sci.*, 74, 266.
16. Groves, J.E. (1974). Reclamation of mining degraded land, *S Afr. J. Sci.*, 70, 296–299.
17. Phillips, J. (1937). Studies of vegetation on mine dumps, Johannesburg, *S Afr. J. of Sci.*, 33, 431–433.
18. Wali, M.K., Kollman, A.L. (1977). In *Reclamation and use of disturbed land in the southwest*, Thamess, J.L. ed (The University of Arizona Press, Tucson).
19. Mentis, M.T. (1984). *Monitoring in South African grassland: A report of the committee for Terrestrial Ecosystems. National Program for Environmental Sciences (FRI)*, Pretoria.
20. Gauch, H.G. (1982). *Multivariate analysis in community ecology* (University Press, Cambridge).
21. Rutherford, M.C., Westfall, R.H. (1986). Biomes of southern Africa – an objective categorization, *Mem. bot. Surv. S. Afr.* 54, 1–98.
22. Acocks, J.P.H. (1988). Veld types of South Africa, *Mem. bot. Surv. S. Afr.*, 57, 1–146.
23. Bredenkamp, G., Van Rooyen, N. (1996). In *Vegetation of South Africa. Lesotho and Swaziland*. Low, A.B., Rebelo, A.G. eds. (Department Environmental Affairs & Tourism, Pretoria).
24. Weerburo (1986). *Klimaat van Suid-Afrika. Klimaatstatistieke tot 1984* (Staatsdrukker, Pretoria).
25. Ter Braak, C.J.F., Verdonschot, F.M. (1994). Canonical correspondence analysis and related multivariate methods in aquatic ecology, *Aquat. Sci.*, 57, 153–289.
26. Arnold, T.H., De Wet, B.C. eds. (1993). Plants of Southern Africa: names and distribution, *Mem. bot. Surv. S. Afr.*, 62, 1–825.
27. Bradshaw, A.D. (1982). In *Urban Ecology*, Bornkamm, R., Lee, J.A., Seaward, M.R.D. eds. (Oxford, Blackwell).
28. Jones, J.N., Armiger, W.H., Bennet, O. L. (1975). A two step system for revegetation of surface mine spoils, *J. Environ. Qual.*, 4, 233–235.
29. Ter Braak, C.J.F. (1986). Canonical correspondence analysis: A new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, *Ecology*, 67, 1167–1179.
30. Ter Braak, C.J.F. (1987–1992). *CANOCO-a FORTRAN program for Canonical Community Ordination* (Microcomputer Power, Ithaca).