

P. Kardol, A. van der Wal, T.M. Bezemer, W. de Boer & W.H. van der Putten

Ontgronden en bodembeestjes: geen gelukkige combinatie

De overgang van verstoorde en bemeste landbouwgronden naar meer natuurlijk functionerende ecosystemen, zoals soortenrijke graslanden en heiden, is een ingewikkeld en langdurig proces. Het verwijderen van de top laag kan een oplossing zijn om landbouwgrond snel te verschrallen en zo de gewenste plantensoorten een kans te geven. Met het ontgronden ten behoeve van natuurontwikkeling worden echter ook bodemorganismen verwijderd die een belangrijke rol spelen in bodemprocessen en in de sturing van de vegetatiesamenstelling. Zijn er wellicht oplossingen om de vegetatie te herstellen en tegelijkertijd het bodemleven te behouden?



Foto 1. Veldproef Assel. Een deel van het veld werd afgegraven tot op de minerale ondergrond. Op de voorgrond Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*). Deze pioniersoort domineerde het voormalige landbouwveld twee jaar na uit-productiename. Daarna nam de abundantie van Canadese fijnstraal snel af. De foto werd genomen drie maanden na inzet van de proef (foto: P. Kardol).

In het natuurbeheer is de rol van het bodemleven tot op heden relatief onderbelicht gebleven. Eén van de manieren waarop het bodemleven de plantengemeenschap kan beïnvloeden, is door een effect op de voedingsstoffenkringloop. Organisch materiaal wordt afgebroken en omgezet door bacteriën en schimmels, die op hun beurt worden opgegeten door o.a. nematoden, springstaarten en mijten. De voedingsstoffen die hierbij vrijkomen, kunnen worden opgenomen door planten. Echter, bacteriën en schimmels concurreren met planten om gemakkelijk opneembare (minerale) stikstof, zoals ammonium en nitraat. Wanneer bacteriën en schimmels gestimuleerd worden om te groeien, zullen zij minerale stikstof opnemen en inbouwen in hun cellen. Hierdoor is minder minerale stikstof beschikbaar voor planten, met als gevolg dat de competitie in de plantengemeenschap in het voordeel van de 'doelsoorten' kan uitvallen. De groei van bacteriën en schimmels kan worden bevorderd door het inbrengen van koolstofsubstraten, zoals hout en stro (van der Wal et al., 2006). Het hoge fosfaatgehalte in verlaten landbouwgronden vormt waarschijnlijk geen probleem voor de vestiging van 'doelsoorten' (van der Wal & de Boer, 2008). Echter, snelgroeiende grassen en kruiden zullen vlak na het verlaten van de akker de vegetatie domi-

neren, en de vestiging van langzaamgroeiende planten (waartoe doelsoorten vaak behoren) verhinderen. Het moment van kolonisatie van planten, en daaruit volgend de concurrentiepositie ten opzichte van andere planten, lijkt een zeer bepalende factor te zijn voor de verdere ontwikkeling van de vegetatie (van der Wal & de Boer, 2008).

Vastleggen of afvoeren?

In een veldproef op een uit productie genomen landbouwveld in Assel (gemeente Apeldoorn) onderzochten we het effect van 1) inbrengen van stro en hout (vastleggen van voedingsstoffen in de biomassa van microorganismen) en 2) het afgraven van de top laag (afvoeren van voedingsstoffen) op de vegetatie en het bodemecosysteem (Kardol et al., 2008). Beide behandelingen werden al dan niet gecombineerd met het inzaaien van een mengsel van plantensoorten karakteristiek voor latere successiestadia (een voor sprong geven voor vestiging van gewenste soorten ten opzichte van 'ongewenste' snelgroeiende grassen en kruiden). Het mengsel bestond uit zaden van Gewoon struisgras (*Agrostis capillaris*), Genaald schapegras (*Fes-*

tuca ovina), Bevertjes (*Briza media*), Gewoon reukgras (*Anthoxanthum odoratum*), Gewoon duizendblad (*Achillea millefolium*), Smalle weegbree (*Plantago lanceolata*), Gewoon biggenkruid (*Hypochaeris radicata*) en Schapezuuring (*Rumex acetosella*). In het voorjaar van 2004, één jaar na uit productie-name, werd van een deel van het veld machinaal ca 40 cm afgegraven tot op de minerale ondergrond (foto 1). In een ander deel werd versnipperd berkenhout of stro in de bovenlaag van de bouwvoor ingewerkt met een schijveneg. Zaden werden handmatig uitgestrooid. De proef bestond uit proefveldjes van 4 x 4 m² en er waren 4 herhalingen per behandeling. Vervolgens werden na 0, 1 en 2 jaar bacteriën, schimmels en nematoden (aaltjes) geanalyseerd als indicatoren voor veranderingen in het bodemecosysteem (De Deyn et al., 2004). Nematoden behoren tot de meest talrijke groep van bodemdieren in landbouw- en graslandgronden en bekleden verschillende posities in het bodemvoedselweb. Er zijn verschillende typen planten-etende nematoden, maar er zijn ook nematoden die bacteriën en schimmels eten. Tevens zijn er omnivore en carnivore nematoden.

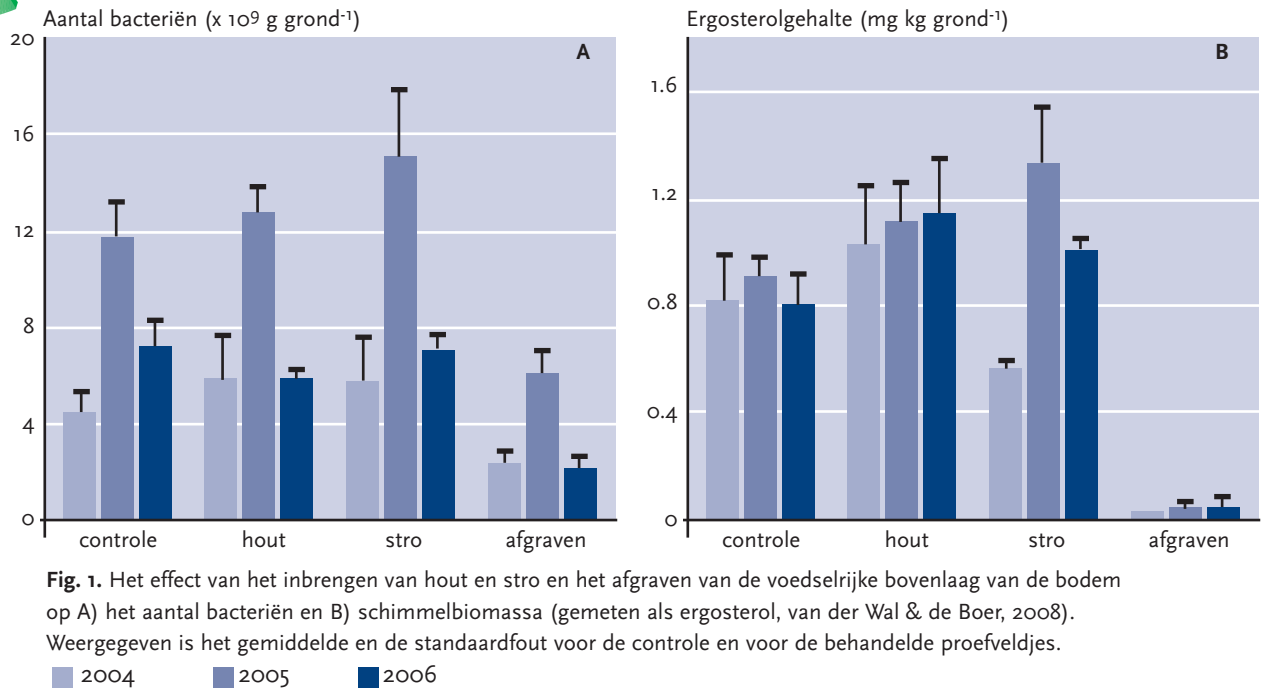


Foto 2. Vegetatie van de veldproef Assel anderhalf jaar nadat de behandelingen werden toegediend. **A** = Niet afgraven (controle). **B** = Niet afgraven + inzaaien. **C** = Afgraven. **D** = Afgraven + inzaaien (foto's: P. Kardol).



Effect op vegetatie en bodemleven

Ontgronden had een sterke afname van het bodemleven tot gevolg. Het totale aantal en de verschillende typen nematoden, maar ook het aantal bacteriën (fig. 1A) en de biomassa van schimmels (gemeten als ergosterol, een component dat in schimmelmembranen voorkomt) (fig. 1B) was vele malen lager in de bovenlaag van het afgegraven deel van het onderzoeksterrein dan in de bovenlaag van het terrein waar de toplaag niet was afgegraven. Het inbrengen van hout en stro had weinig effect op de aantallen nematoden en bacteriën, maar de schimmelbiomassa werd wel enigszins gestimuleerd (ANOVA, $F_{1,24} = 4.23$, $P = 0,051$; fig. 1B). In het veld konden we niet aantonen dat minerale stikstof afnam door het inbrengen van hout en stro in de bodem, terwijl kasproeven suggereerden dat hout en stro wel degelijk voor een tijdelijke vermindering van de stikstofbeschikbaarheid zorgen (Kardol et al., 2008a). Het inbrengen van hout en stro had geen meetbaar effect op de gehalten van totaal en oplosbaar fosfaat. Stikstof- en fosfaatgehalten in de afgegraven proefveldjes waren relatief laag ten opzichte van de niet afgegraven veldjes (totaal stikstofgehalte: 325 versus 960 mg.kg⁻¹; totaal fosfaatgehalte: 139 versus 719 mg.kg⁻¹). Tot meer dan twee jaar na het afgraven van de bovenlaag was de vegetatiebedekking op de ontgronde veldjes laag; waarschijnlijk hadden planten moeite zich te vestigen op de droge minerale grond, welke een woestijnachtige aanblik bood. Zaaïen verhoogde de plantenbedekking slechts in beperkte mate (foto 2). Het zaaïen van plantensoorten had wel een groot effect op de ontwikkeling van de plantengemeenschap op niet-afgegraven grond.

Twee jaar na de start van de proef bestond de vegetatie in de ingezaaide proefveldjes, onafhankelijk van hout- en strobehandelingen, nagenoeg volledig uit de ingezaaide soorten (tabel 1). De niet-ingezaaide proefveldjes werden gedomineerd door Canadese fijnstraal (*Conyza canadensis*), Kweekgras (*Elytrigia repens*) en Grote windhalm (*Apera spica-venti*). Uit deze veldproef blijkt dat op een voormalige akker het inzaaien van plantensoorten belangrijker is voor de ontwikkeling van een gewenste plantengemeenschap dan maatregelen die de bodemvruchtbaarheid verminderen. Deze bevinding suggereert dat de vegetatie-ontwikkeling in belangrijke mate geremd kan worden door de afwezigheid van een geschikte zaadbank op het moment van uit-productiename van landbouwgronden. Het combineren van inzaaien met het afgraven van de bouwvoor bevorderde het natuurherstel niet. Volledig afgraven van de organische top laag tot op de droge, minerale zandgrond resulteerde in een 'extreme' omgeving, met een zeer geringe veldcapaciteit (het vermogen van een bodem om water vast te houden). Op droge gronden is het wellicht aan te raden om de organische top laag slechts gedeeltelijk af te graven. In Limburgse hellinggraslanden is het afgraven van de bovenste 10 cm gecombineerd met het aanbrengen van hooi afkomstig uit goed ontwikkeld heischraal grasland een succesvolle herstelmaatregel gebleken (Smits et al., 2008). Het afgraven tot op de minerale ondergrond zorgde tevens voor een drastische afname van het aantal bodemorganismen. De vraag is in hoeverre dit een negatief effect heeft op omzettingprocessen van voedingsstoffen in de bodem.

Ontwikkeling sturen

Naast effecten op de kringloop van voedingsstoffen, kunnen bodemorganismen de ontwikkeling van de plantengemeenschap in een gewenste richting sturen door selectief te grazen op wortels van planten van de vroege successiestadia (de pioniersoorten/dominante grassen) en daardoor hun groei te remmen. Hierdoor worden gewenste soorten uit een later successiestadium bevoordeeld (De Deyn et al., 2003). Ook associaties met symbiotische schimmels en bodemziekten kunnen bepalend zijn voor het verloop van de vegetatie-ontwikkeling (van der Putten et al., 1993; van der Heijden et al., 1998; van der Wal & de Boer, 2008). Kasproeven hebben aangetoond dat plantensoorten uit latere successiestadia over het algemeen beter groeien in aanwezigheid van bodemorganismen uit grond van de latere successiestadia

(Kardol et al., 2006). Dergelijke resultaten suggereren dat na uit-productiename van landbouwgrond de vegetatie-ontwikkeling gestuurd kan worden door het toedienen van de juiste bodemorganismen. De vraag is hoe de resultaten van deze kasproeven kunnen worden opgeschaald naar veldomstandigheden.

In een tweede veldproef hebben we onderzocht of gelijktijdige introductie van planten en bodemorganismen afkomstig uit een blauwgrasland, de ontwikkeling van de plantengemeenschap richting de doelvegetatie bevordert (Kardol et al., 2009). Deze veldproef werd uitgevoerd op een voormalig landbouwveld in Lievelede (gemeente Oost Gelre), waarvan na uit-productiename de voedselrijke bovenlaag werd verwijderd. Bodemorganismen werden geïntroduceerd door het uitstrooien van grond en door het ingraven van plaggen (foto 3). Daarnaast werd ook maaisel uitgestrooid om plantenzaden te introduceren. Maaisel, grond en plaggen waren afkomstig

van een nabijgelegen soortenrijk blauwgrasland (*Cirsio-Molinietum*) dat fungeerde als 'doelsysteem'. We veronderstelden dat de plaggen zouden kunnen dienen als koloniatiebron voor de verspreiding van zowel de bodemorganismen als de planten. De proef bestond uit proefveldjes van 5 x 5 m² en er waren 5 herhalingen per behandeling. De geïntroduceerde bodemorganismen uit het blauwgrasland bleken niet goed aan te slaan in de minerale grond van het afgegraven perceel. De samenstelling van de nematodengemeenschap in proefveldjes met plaggen verschilde niet van die zonder plaggen (fig. 2). De nematodengemeenschap in de plaggen zelf was, twee jaar na het ingraven, duidelijk anders dan die in het blauwgrasland waar de plaggen uit afkomstig waren. De nematodengemeenschap in de plaggen begon meer te lijken op die in het omliggende veld (fig. 2). Dit was dus precies tegenovergesteld aan onze verwachtingen, waarbij we er vanuit gingen dat de plaggen een bron van kolonisatie



Foto 3. Veldproef Lievelede. Plaggen afkomstig uit een blauwgrasland (*Cirsio-Molinietum*) werden ingegraven in een afgegraven landbouwveld (foto: W. van der Putten).

	2004		2005		2006	
Controle	4.8	(90.1)	98.3	(77.9)	99.9	(106)
Hout	4.6	(79.2)	94.7	(87.0)	99.8	(124)
Stro	6.9	(76.6)	94.0	(108)	99.8	(115)
Afgraven	89.9	(6.9)	99.5	(18.2)	100.0	(21.5)

Tabel 1. Aandeel van de ingezaaide soorten in de veldproef in Assel. Per behandeling is de gemiddelde bedekkingsgraad (%) van de ingezaaide soorten als een aandeel van de totale bedekking (%), tussen haakjes) van een proefveldje weergegeven per jaar. In 2006 vestigden de ingezaaide soorten zich ook in de niet-ingezaaide proefveldjes (<10% van de totale bedekkingsgraad). Deze 'spontane kolonisatie' was waarschijnlijk het gevolg van verspreiding vanuit de ingezaaide proefveldjes. De totale bedekkingsgraad kan hoger zijn dan 100% wanneer plantensoorten elkaar overlappen.

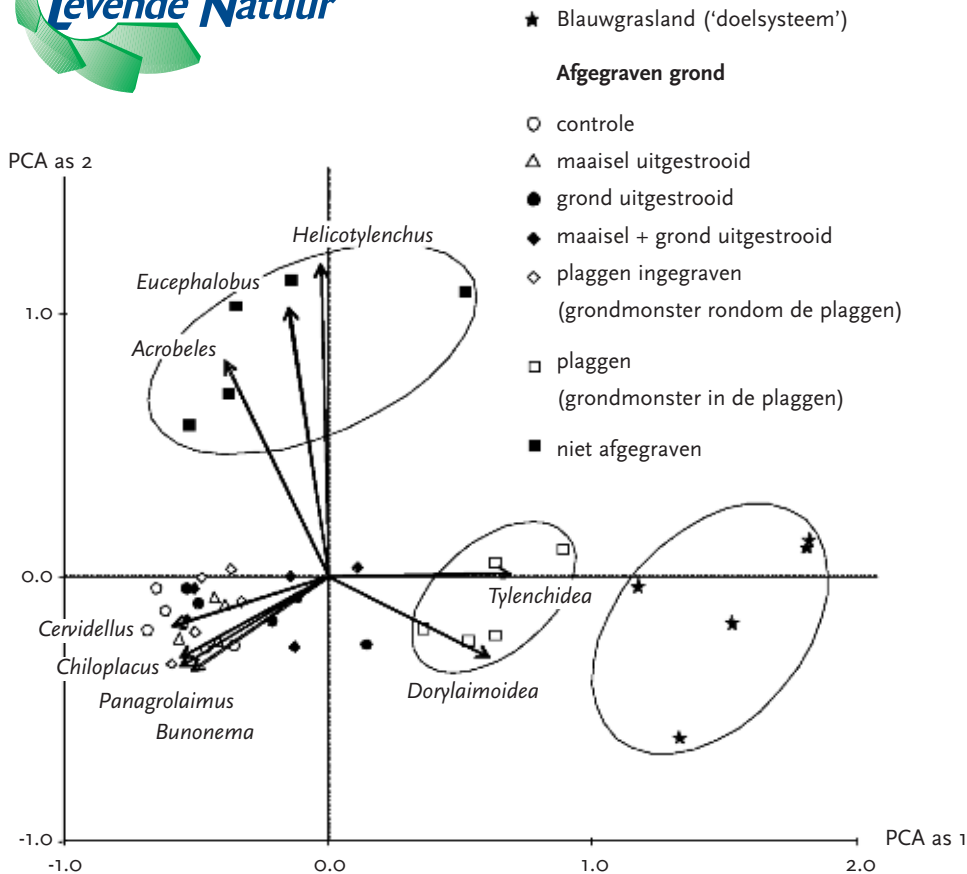


Fig. 2. De nematodengemeenschap twee jaar na inzet van de veldproef in Lielvelde. Principale componenten analyse (PCA) maakt het mogelijk om patronen te ontdekken in de samenstelling van de nematodengemeenschap door het effect van de behandelingen voor een groot aantal nematoden taxa (geslacht of familie) in een twee-dimensionaal diagram weer te geven. Ieder punt in het diagram vertegenwoordigt een proefveldje. Symbolen komen overeen met de behandelingen van de proefvelden. De cirkels benadrukken clusters van proefvelden met dezelfde behandeling. De ingegraven plaggen (□) en de grond rondom de ingegraven plaggen (◇) werden afzonderlijk bemonsterd. Punten die dicht bij elkaar liggen vertonen grote overeenkomst in de nematodensamenstelling. De pijlen geven aan welke taxa corresponderen met de verschillende behandelingen. Alleen de taxa die het meest bepalend waren voor de PCA analyse zijn weergegeven: *Helicotylenchus* (worsteleeters), *Tylenchidae* (wortelhaareters), *Eucephalobus*, *Acrobeles*, *Cervidellus*, *Chiloplacus*, *Panagrolaimus*, *Bunonema* (bacterie-etters) en *Dorylaimoidea* (omnivoren).

naar de omringende grond zouden vormen. Ook het uitstrooien van grond bleek de samenstelling van de nematodengemeenschap niet te beïnvloeden. Waarschijnlijk hebben de bodemomstandigheden (laag gehalte aan organische stof en een sterk fluctuerende waterstand) in het afgegraven landbouwveld de overleving van bodemorganismen in de plaggen beperkt en succesvolle vestiging van de bodemorganismen verhinderd. Het uitstrooien van maaisel zorgde voor een hogere abundantie van soorten als Gewoon reukgras en Blauwe zegge (*Carex panicea*). Dit zorgde ervoor dat de vegetatie overeenkomsten ging vertonen met het blauwgrasland. Net als in de eerste veldproef bleek het toedienen van zaden dus een positief effect te hebben op het herstel van de vegetatie. Aanwezigheid van de juiste zaden op het juiste moment blijkt essentieel. Dit 'prioriteitseffect'

werd eerder al beschreven voor de vestiging van Struikheide (*Calluna vulgaris*) op voormalige landbouwgronden (Van der Wal & De Boer, 2008). Het ingraven van plaggen en het uitstrooien van grond (al dan niet in combinatie met het uitstrooien van maaisel) had geen effect op de vegetatie-ontwikkeling in onze veldproef. Het aanbrengen van bodemorganismen in afgegraven landbouwgrond is een onderwerp dat nadere studie verdient. Onze veldresultaten laten zien dat zelfs de via plaggen ingebrachte bodemorganismen moeilijk overleven in de afgegraven grond.

Rol van bodemleven

Eerdere kasproeven (De Deyn et al., 2004; Kardol et al., 2006) hebben aangetoond dat na uit-productie van landbouwgrond de vegetatie-ontwikkeling gebaat kan zijn bij de aanwezigheid van (de juiste) bodemorganismen.

De veldexperimenten in dit artikel hebben laten zien dat ontgronden een sterk negatief effect heeft op het bodemleven. De (her)introdactie van bodemorganismen is echter niet eenvoudig. De abiotische bodemomstandigheden in de afgegraven gronden lijken ongunstig te zijn voor de bodemorganismen die in graslandbodem voorkomen. Vervolgonderzoek is nodig om de vereiste omstandigheden voor de introductie en vestiging van bodemorganismen in de nieuwe, veelal sterk afwijkende, omgeving te bevorderen. Momenteel wordt door Natuurmonumenten samen met het NIOO-KNAW een praktijkproef uitgevoerd op Reijerscamp (Gemeente Renkum). Daarnaast zijn het NIOO-KNAW en ALTERNATIEF bezig met een grootschalig verkennend onderzoek naar de rol van het bodemleven in het natuurherstel. Hierbij worden tevens andere factoren meegenomen, zoals de fysisch-chemische bodemomstandigheden en de vochtthuishouding; de resultaten van onze veldproeven suggereren dat de aan- of afwezigheid van (de juiste) bodemorganismen niet allesbepalend is. Het is derhalve zaak om bij natuurherstel de schaal en de hiërarchie van de bepalende factoren te ontrafelen en vervolgens na te gaan hoe deze omstandigheden door gericht beheer kunnen worden gestuurd.

Literatuur

Deyn, G.B. De, C.E. Raaijmakers, H.R. Zoomer, M.P. Berg, P.C. de Ruiter, H.A. Verhoef, T.M. Bezemer & W.H. van der Putten, 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. *Nature* 422: 711-713.

Deyn, G.B. De, C.E. Raaijmakers & W.H. van der Putten, 2004. Bodemfauna bevordert herstel van soortenrijke graslanden. *De Levende Natuur* 105 (1): 10-12.

Heijden, M.G.A. van der, J.N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglou, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken & I.R. Sanders, 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.

Kardol, P., T.M. Bezemer & W.H. van der Putten, 2006. Temporal variation in plant-soil feedback controls succession. *Ecology Letters* 9: 1080-1088.

Kardol, P., A. van der Wal, T.M. Bezemer, W. de Boer, H. Duyts, R. Holtkamp & W.H. van der Putten, 2008. Restoration of species-rich grasslands on ex-arable land: seed addition outweighs soil fertility reduction. *Biological Conservation* 141: 2208-2217.

Kardol, P., T.M. Bezemer & W.H. van der Putten, 2009. Soil organism and plant introductions in restoration of species-rich grassland communities. *Restoration Ecology* [in druk].

Putten, W.H. van der, C. van Dijk & A.M. Peters, 1993. Plant-specific soil-borne diseases contribute to succession in foredune vegetation. *Nature* 362: 53-56.

Smits, N.A.C., H.P.J. Huiskes, J.H. Willems & R. Bobbink, 2008. Heischraal grasland op Zuid-Limburgse hellingen: mogelijkheden voor versnelde ontwikkeling? *De Levende Natuur* 109 (4): 169-175.

Wal, A. van der, J.A. van Veen, A.S. Pijl, R.C. Summerbell, & W. de Boer, 2006. Constraints on development of fungal biomass and decomposition processes during restoration of arable sandy soils. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2890-2902.

Wal, A. van der & W. de Boer, 2008. Snel herstel van heide op voormalige landbouwgronden mogelijk? *De Levende Natuur* 109 (4): 150-152.

Summary

Top soil removal and soil organisms: not a good combination

Transition from agricultural land towards more natural ecosystems is a slow and often problematic process. Soil fertility can be reduced by top soil removal; however, it may have adverse effects on soil organisms. From earlier greenhouse studies we know that soil organisms are important

for nutrient cycling and can affect rate and direction of plant community development. In the present paper, we describe the results of two field experiments in which we studied effects of different management strategies on vegetation development and soil organisms on ex-arable land. The first experiment involved top soil removal, carbon addition (to immobilize nutrients) and sowing mid-successional plant species. In the second experiment, which was carried out on top soil-removed land, we tested effects of spreading hay (for seeds), spreading soil (for soil organisms), and transplanting monoliths. Material was collected from a nearby site with 'target' vegetation. We found that introducing plants (by hay, or by seeds) was the primary driver of vegetation development and establishment of introduced plants was not negatively influenced by high concentrations of N and P. We also found that top soil removal drastically reduced the amount of soil organisms. Re-introduction of soil organisms turned out to be challenging. Future studies should attempt to enhance establishment and survival conditions of soil organisms on ex-arable land in order to make use of their contribution to grassland restoration.

Dankwoord

Deze studie werd gefinancierd door TRIAS (SKB, Delfts Cluster, NWO). We bedanken Dienst Landelijk Gebied en Staatsbosbeheer voor de samenwerking en het beschikbaar stellen van hun terreinen.

Dr. P. Kardol
Environmental Sciences Division
Oak Ridge National Laboratory
Oak Ridge, TN 37831-6422
USA
e-mail: kardolp@ornl.gov

Dr.ir. A. van der Wal
RIVM
Postbus 1
Antonie van Leeuwenhoeklaan 9
3720 BA Bilthoven

Dr.ir. T.M. Bezemer, Dr. W. de Boer &
Prof.dr.ir. W.H. van der Putten
Nederlands Instituut voor Ecologie (NIOO-KNAW)
Postbus 40
6666 ZG Heteren



Thuis in natuurbeheer



www.altwym.nl

A&W heeft de expertise om ecologisch onderzoek uit te voeren en ecologische kennis te vertalen in objectieve adviezen, toegesneden op de vragen van opdrachtgevers. Onze dienstverlening omvat alle facetten van ecologisch onderzoek en advisering, van effectanalyses tot ontwikkelingsvisies. Wij werken in het hele land en zijn vertrouwd met alle landchapstypen en ecosystemen.

Ons bureau bestaat uit een team van ongeveer vijftig mensen met:

- **Een brede visie.** Ieder is in staat over de schutting van het eigen specialisme te kijken en de vakkennis in een breder perspectief te plaatsen.
- **Een praktische insteek.** Onze ecologische kennis en ervaring verbinden we met de praktijk van inrichting en beheer.
- **Ervaring in veldonderzoek.** Al ons werk, ook als het geheel achter het bureau tot stand komt, is doortrokken van veldkennis. Alle medewerkers gaan geregeld het veld in. Dat houdt ons scherp en het komt de kwaliteit van de adviezen ten goede.

Altenburg & Wymenga



ECOLOGISCH ONDERZOEK

Zuiderweg 2 - 9269 TZ Veenwouden - Tel: 0511-474764 - info@altwym.nl