

SV-511

Natuurontwikkeling op voormalige
landbouwgronden in relatie tot de
beschikbaarheid van fosfaat

Eindrapport

F.P. Sival en W.J. Chardon (Alterra)

april 2002

Gouda, SKB

Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem

Auteursrechten

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze opgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van SKB.

Het is toegestaan overeenkomstig artikel 15a Auteurswet 1912 gegevens uit deze uitgave te citeren in artikelen, scripties en boeken mits de bron op duidelijke wijze wordt vermeld, alsmede de aanduiding van de maker, indien deze in de bron voorkomt, "©"Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat", april 2002, SKB, Gouda."

Aansprakelijkheid

SKB en degenen die aan deze publicatie hebben meegewerkt, hebben een zo groot mogelijke zorgvuldigheid betracht bij het samenstellen van deze uitgave. Nochtans moet de mogelijkheid niet worden uitgesloten dat er toch fouten en onvolledigheden in deze uitgave voorkomen. Ieder gebruik van deze uitgave en gegevens daaruit is geheel voor eigen risico van de gebruiker en SKB sluit, mede ten behoeve van al degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt, iedere aansprakelijkheid uit voor schade die mocht voortvloeien uit het gebruik van deze uitgave en de daarin opgenomen gegevens, tenzij de schade mocht voortvloeien uit opzet of grove schuld zijdens SKB en/of degenen die aan deze uitgave hebben meegewerkt.

Copyrights

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording and/or otherwise, without the prior written permission of SKB.

It is allowed, in accordance with article 15a Netherlands Copyright Act 1912, to quote data from this publication in order to be used in articles, essays and books, unless the source of the quotation, and, insofar as this has been published, the name of the author, are clearly mentioned, "©" Nature development on former agricultural land in relation to the availability of phosphate", April 2002, SKB, Gouda, The Netherlands."

Liability

SKB and all contributors to this publication have taken every possible care by the preparation of this publication. However, it can not be guaranteed that this publication is complete and/or free of faults. The use of this publication and data from this publication is entirely for the user's own risk and SKB hereby excludes any and all liability for any and all damage which may result from the use of this publication or data from this publication, except insofar as this damage is a result of intentional fault or gross negligence of SKB and/or the contributors.

Titel rapport

Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden
in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat
Eindrapport

SKB rapportnummer

SV-511

Project rapportnummer

SV-511

Auteur(s)

F.P. Sival
W.J. Chardon

Aantal bladzijden

Rapport: 36
Bijlagen: 38

Uitvoerende organisatie(s) (Consortium)

Alterra (F.P.Sival tel nr. 0317-474323 en W.J.Chardon tel. nr. 0317-474602)
Dienst Landelijk Gebied (DLG) afdeling Innovatie en Kennismanagement (C.J.Roghair) en
Afdeling Zuid (M.F.Clercx en H.R.G. de Rooter).

Uitgever

SKB, Gouda

Samenvatting

Het onderzoek beoogt ten eerste het vaststellen van de problematiek met betrekking tot de rol van fosfaat in de mogelijkheden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Ten tweede wordt een overzicht gegeven van de bestaande kennis en de kennislücken. Tot slot worden het effect en eventuele knelpunten met betrekking tot de te nemen inrichtings- en beheersmaatregelen geïnventariseerd en beschreven. Het onderzoek werd uitgevoerd door middel van enquêtes, een workshop en aanvullend literatuuronderzoek.

Een hoge beschikbaarheid van P in de bodem wordt door vrijwel alle geraadpleegde deskundigen als een probleem gezien voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name voor het creëren van natuurdoeltypen die gekoppeld zijn aan voedselarme omstandigheden. In meerdere studies is beschreven dat de beschikbaarheid van P in de bodem een sleutelfactor is voor de soortendiversiteit en drogestof-productie van graslanden. De verscheidenheid aan gebruikte analysemethoden leidt tot het probleem dat het moeilijk is om resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken.

Verschraling van de bodem is te bereiken door toepassing van verschillende maatregelen. De tijd die nodig is voor het verschralen hangt sterk af van de uitgangssituatie m.b.t. het voormalige landgebruik en de bemestingsgeschiedenis, de grondsoort (zand, klei of veen) en het vochtgehalte van de bodem. Welke maatregel het meest effectief is ten aanzien van het verlagen van de P-beschikbaarheid, binnen een redelijke tijd te realiseren is en binnen het budget van een natuurbeheerder past, is nog niet duidelijk.

Trefwoorden**Gecontroleerde termen:**

biodiversiteit, fosfaat, fosfor, landbouwgrond,
natuurontwikkeling, verschralen,

Vrije trefwoorden:

Titel project

Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden
in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat

Projectleiding

Alterra
(F.P. Sival en W.J. Chardon,
0317-474323 en 0317-474602)

Dit rapport is verkrijgbaar bij:

SKB, Postbus 420, 2800 AK Gouda

Report title

Nature development on former agricultural land
in relation to the availability of phosphate
Final report

SKB report number

SV-511

Project report number

SV-511

Author(s)

F.P. Sival
W.J. Chardon

Number of pages

Report: 36
Appendices: 38

Executive organisation(s) (Consortium)

Alterra (F.P.Sival tel nr. 0317-474323 en W.J.Chardon tel. nr. 0317-474602)
Dienst Landelijk Gebied (DLG) afdeling Innovatie en Kennismanagement (C.J.Roghair) en
Afdeling Zuid (M.F.Clercx en H.R.G. de Ruiter).

Publisher

SKB, Gouda

Abstract

In the first instance, the research was intended to ascertain the problems relating to the role of phosphate in the possibilities for nature development on former agricultural land. Secondly, an overview is provided of the existing knowledge and knowledge gaps. Finally, the effects and problems relating to the organisation and management measures to be implemented are listed and described. The research was carried out by means of questionnaires, a workshop and additional literature research.

Almost all the experts consulted regard the high level of P availability in the soil as a problem for nature development. This is particularly the case when creating natural areas associated with nutrient-poor conditions. Several studies have revealed that the availability of P in the soil is a key factor in the diversity of species and the dry matter production of grasslands. The wide range of analytical methods used implicates that it is difficult to compare the results of different studies.

Nutrients can be removed from the soil by implementing various measures. The time required for this process is highly dependent on the starting situation with regard to the previous use of the land, the fertilisation history, the soil type (sand, clay or peat) and the moisture content of the soil. It is not yet clear which measure is the most effective in relation to the reduction of P availability which can be implemented in a reasonable period of time, and fits within the budget available to nature conservation agencies.

Keywords**Controlled terms:**

agricultural land, biodiversity, nature development,
nutrient removal, phosphate, phosphorous

Uncontrolled terms**Project title**

Nature development on former agricultural land
in relation to the availability of phosphate

Projectmanagement

Alterra
(F.P. Sival en W.J. Chardon,
0317-474323 en 0317-474602)

This report can be obtained by: SKB, PO Box 420, 2800 AK Gouda, The Netherlands
Netherlands Centre for Soil Quality Management and Knowledge Transfer (SKB)

VOORWOORD

In het kader van de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur en van de Reconstructie van gebieden met intensieve veehouderij, worden grote oppervlakten aan landbouwgebieden omgevormd tot natuurterrein. In het verleden werd bij deze omvorming vrijwel uitsluitend rekening gehouden met een mogelijk nadelige invloed van de aanwezigheid van een overmaat aan stikstof vanuit de landbouw voor natuurontwikkeling. In het recente verleden werd duidelijk dat fosfaat, dat zich sterk heeft ophoopt in landbouwgronden, hierbij mogelijk ook een nadelige invloed heeft. De Dienst Landelijk Gebied (DLG), die advies uitbrengt bij het ontwikkelen van natuurterreinen, legde aan het onderzoeksinstituut Alterra de vraag voor of een hoge beschikbaarheid van fosfaat in de bodem een negatieve invloed heeft op de mogelijkheden voor het ontwikkelen van (met name) schrale natuur op voormalige landbouwgronden. In dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van een studie waarin getracht wordt deze vraag te beantwoorden. Hiervoor werd een groot aantal deskundigen op het gebied van natuurontwikkeling en -beheer geraadpleegd uit binnen- en buitenland en daarnaast werd literatuuronderzoek uitgevoerd.

De uitvoering van het project is gestart in april 2001. Het project is gefinancierd door de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB), de Dienst Landelijk Gebied (DLG) afdeling Innovatie en Kennismanagement en afdeling Zuid, en door de Directie Wetenschap en Kennisoverdracht (DWK) van het Ministerie van LNV.

april 2002

INHOUD

		SAMENVATTING	VII
		SUMMARY	XI
Hoofdstuk	1	INLEIDING	1
Hoofdstuk	2	AANPAK EN BESCHRIJVING WERKZAAMHEDEN OP HOOFDLIJNEN	3
Hoofdstuk	3	SAMENVATTING ENQUÊTES EN LITERATUURONDERZOEK	5
	3.1	Achtergrond en betrokkenheid bij P-onderzoek van de geïnterviewden	5
	3.2	Is P een knelpunt bij de realisering van natuurontwikkeling op landbouwgronden?	5
	3.3	P-huishouding in de bodem	7
	3.3.1	P-vormen in de bodem	7
	3.3.2	Analysemethoden voor P-karakterisering	8
	3.4	Vegetatie en P-beschikbaarheid	10
	3.4.1	Vegetatietypen en P-gehalte	10
	3.4.2	Soortenrijkdom en P-gehalte	11
	3.4.3	Vegetatie en P-limitatie	14
	3.4.4	Vegetatie en nutriëntenverhouding in de biomassa	16
	3.5	Effect van inrichtings- en beheersmaatregelen op de P-beschikbaarheid	16
	3.5.1	Afgraven/plaggen/ontgronden	17
	3.5.2	Grondbewerking	18
	3.5.3	Braakleggen	18
	3.5.4	Uitmijnen	19
	3.5.5	Maaien met afvoeren	20
	3.5.6	Begrazen	21
	3.5.7	Peilverhogen	22
	3.5.8	Combinatie van maatregelen	23
	3.5.9	Andere maatregelen	24
	3.6	Invloed natuurontwikkelingsmaatregelen op belasting oppervlaktewater	25
Hoofdstuk	4	CONCLUSIES	27
	4.1	Beschikbaarheid van de informatie	27
	4.2	P-beschikbaarheid in de bodem	27
	4.3	Vegetatie en P-beschikbaarheid	28
	4.4	Effect van maatregelen op natuurontwikkeling	28
Hoofdstuk	5	AANBEVELINGEN VERVOLGONDERZOEK	31
		LITERATUUR	33

Bijlage	A	REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER ONDERZOEKERS UIT NEDERLAND
Bijlage	B	REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER NATUURBEHEERDERS (STAATSBOSBEHEER, DE LANDSCHAPPEN EN NATUURMONUMENTEN) EN MEDEWERKERS DIENST LANDELIJK GEBIED
Bijlage	C	REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER ONDERZOEKERS UIT HET BUITENLAND

SAMENVATTING

Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in relatie tot de beschikbaarheid van fosfaat

Samenvatting met resultaten in vuistregels

In het kader van de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur, en van de Reconstructie van gebieden met intensieve veehouderij worden landbouwgronden op grote schaal aangewend voor het realiseren van natuur. De beleidsdoelen voor natuurontwikkeling zijn in de Nota Ecosysteemvisies geformuleerd aan de hand van natuurdoeltypen. De aanwezigheid van hoge gehalten aan nutriënten in bodem, grond- en oppervlaktewater van landbouwgebieden doen vermoeden dat doelstellingen ten aanzien van schrale natuur in het landelijk gebied niet zonder problemen zijn te halen. Indien niet een beter inzicht wordt verkregen in de noodzaak en effectiviteit van maatregelen, met name ter reductie van de hoge beschikbaarheid van fosfaat in om te zetten landbouwgronden, blijft de kans van slagen van een groot aantal natuurontwikkelingsprojecten onzeker.

Het onderzoek beoogt ten eerste het vaststellen van de problematiek met betrekking tot de rol van fosfaat in de mogelijkheden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Ten tweede wordt een overzicht gegeven van de bestaande kennis en de kennishiaten. Tot slot worden het effect en eventuele knelpunten met betrekking tot de te nemen inrichtings- en beheersmaatregelen geïnventariseerd en beschreven.

Het onderzoek werd uitgevoerd door middel van enquêtes, een workshop en aanvullend literatuuronderzoek. Voor de enquête werden een aantal Nederlandse en buitenlandse onderzoekers, beheerders van natuurterreinen en ecologen van de Dienst Landelijk Gebied (DLG) benaderd. In een workshop werden de reacties op de vragen besproken met een aantal onderzoekers, medewerkers van DLG en een medewerker van de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB).

De resultaten van de enquêtes, de workshop en het literatuuronderzoek vormen de basis van het voorliggende rapport.

In deze samenvatting zijn een aantal vuistregels opgenomen, die zijn gebaseerd op de informatie uit de enquête en de literatuur.

Groeiomstandigheden waarbij fosfaat een knelpunt is voor het te realiseren vegetatiedoel

- Wanneer de groeicondities zo zijn dat het beschikbaar P-gehalte te hoog is voor de beoogde vegetatie. Dit geldt vooral voor de vegetatie van schrale en voedselarme omstandigheden. Een te hoge beschikbaarheid van P resulteert in ruigtesoorten waaronder pitrus, struisgras, liesgras en brandnetel (zie 3.4.1 en 3.4.2).

Kennishiaten:

a Welke analysemethode moet worden gebruikt voor het bepalen van beschikbaar P?

b Wat is de relatie tussen het gehalte aan beschikbaar P en verschillende vegetatietypen?

- Bij groeicondities waarbij de beschikbaarheid van P zo is dat P niet limiterend is voor de groei van de doelvegetatie. Dit geldt met name voor vegetatietypen die normaliter groeien bij door P-gelimiteerde condities (zie 3.4.3).

Kennishiaat:

Bij welke mate van P-beschikbaarheid zijn welke vegetatietypen P-gelimiteerd?

- Bij verhoging van de grondwaterstand (door vernatting met inlaat van gebiedsvreemd water), vooral met sulfaat en bicarbonaatrijk water. Bij vernatting neemt de oplosbaarheid van aan Fe gebonden P toe; ook sulfaat stimuleert het vrijkomen van aan Fe gebonden P. Bicarbonaat stimuleert de beschikbaarheid van P die gebonden is aan organische stof, door verhoogde

mineralisatie. Het vrijkomen van P kan leiden tot uitspoeling naar het oppervlaktewater, en daar eutrofiëring veroorzaken (zie 3.5.7).

Kennishiaten:

- a *Bij welk vochtgehalte of grondwaterstand wordt de P-beschikbaarheid verhoogd (relatie vochtgehalte en P-beschikbaarheid)?*
- b *Bij welke sulfaat- en bicarbonaatgehalten wordt de P-beschikbaarheid verhoogd?*

In een aantal vuistregels over de te nemen maatregelen zijn de conclusies van het onderzoek samengevat. Naast de mogelijkheden komen de knelpunten van, en kanttekeningen bij de maatregelen aan bod.

Vuistregels bij het toepassen van inrichtings- of beheersmaatregelen

Afgraven/plaggen/ontgronden (zie 3.5.1)

- Bij de diepte van de af te graven bodemlaag en bouwvoor zijn voorafgaande bodemanalyses van het bodemprofiel aan te bevelen. Voorkomen moet worden dat na afgraven de nieuwe toplaag nog steeds te fosfaatrijk is, en het doel van schrale natuur niet bereikt wordt. Bij verwijderen van de bouwvoor kan het voorkomen dat stikstof (N) wel wordt verwijderd maar dat P aanwezig blijft in de minerale ondergrond. Door aanvoer van N via atmosferische depositie, of door biologische vastlegging van N, kan een voedselrijke bodem met zowel veel N als veel P ontstaan .
- Na afgraven is de kans op het nog aanwezig zijn van een zaadbank gering en een 'snel' resultaat is dan alleen te verwachten met een intacte vegetatie in de onmiddellijke nabijheid of door inbreng van zaden van elders.
- De grootste variatie in soorten is te verwachten wanneer de belangrijkste voedingsstoffen (N, P en K) op een relatief laag, maar niet te laag niveau aanwezig zijn in de bodem.
- Bij het afgraven van veengronden moet de karakteristieke vegetatie zo min mogelijk worden aangetast. Wanneer er zich een veraarde laag heeft gevormd moet deze worden verwijderd, omdat het waarschijnlijk is dat zich hierin nutriënten hebben opgehoopt na bemesting of door mineralisatie.
- Afgraven moet vermeden worden bij zandgronden wanneer is vastgesteld dat de grond cultuurhistorische waarde heeft.

Grondbewerking (o.a. diepploegen, zie 3.5.2)

- Door het diepploegen wordt de ondergrond naar boven gebracht. Alleen wanneer de ondergrond lage P-beschikbaarheid heeft is de maatregel geslaagd. In situaties waarbij de bodem locatie cultuurhistorische waarde heeft is diepploegen niet toegestaan.

Braakleggen (zie 3.5.3)

- Bij deze optie worden geen nutriënten afgevoerd, waardoor de P-beschikbaarheid niet zal worden verlaagd. Door versnelde mineralisatie na braakleggen kan de beschikbaarheid van nutriënten zelfs toenemen.

Uitmijnen (zie 3.5.4)

- Door het verbouwen van een gewas worden P en N opgenomen en afgevoerd via de oogst. Als N niet wordt toegevoegd neemt de productie af, en wordt de beschikbaarheid van P beperkt verlaagd. Toedienen van N zorgt voor meer afvoer van P, en daardoor tot een verdere verlaging van beschikbaar P in de bodem.
- De teelt van gras met meerdere sneden per jaar leidt waarschijnlijk het snelst tot resultaat. Door grondonderzoek moet worden vastgesteld hoe groot de te verwijderen hoeveelheid P is. Is deze beperkt dan kan uitmijnen worden overwogen.

Maaien met afvoeren (zie 3.5.5)

- Maaien in combinatie met het afvoeren van de bovengrondse biomassa is een effectieve maatregel voor het verwijderen van N en P, mits de afvoer groter is dan de aanvoer via atmosferische depositie.
- Maaien en afvoeren leidt tot een verlaging van de gehalten aan nutriënten in de bodem, maar door de geleidelijke teruggang in productie van drogestof verloopt dit geleidelijk steeds trager. Eenzijdig bij bemesten met N en K houdt de productie in stand en leidt tot het versneld bereiken van een laag P-gehalte van de bodem.
- Maaien zonder afvoeren: door maaien wordt de bovengrondse biomassa afgesneden. Als het maaisel niet wordt afgevoerd blijven de nutriënten in het systeem. Om het P-gehalte te verlagen moet het maaisel worden afgevoerd.

Begrazen (zie 3.5.6)

- Begrazen verlaagt de P-beschikbaarheid weinig effectief. Na consumptie van de bovengrondse delen van het gewas of vegetatie worden de nutriënten vaak geconcentreerd op een beperkt deel van een terrein uitgescheiden. Dit leidt voor N tot verliezen via vervluchtiging en denitrificatie en voor N en K tot verlies via uitspoeling.
- De P-beschikbaarheid kan door begrazen lokaal afnemen als de grazers elders hun uitwerpselen deponeren.
- Begrazen heeft invloed op de soortensamenstelling door het selectieve eetgedrag van de dieren en door het creëren van plekken met meer lichtinval.

Peilverhogen (zie 3.5.7)

- Deze maatregel vergroot de kans op een hoge beschikbaarheid van P, en daardoor op verruiging of een grotere uitspoeling naar grond- of oppervlaktewater. Dit is met name het geval wanneer bij het vernatten sulfaat-, bicarbonaat- of voedselrijk water wordt gebruikt.

Combinatie van maatregelen (zie 3.5.8)

- Een combinatie van maatregelen kan meer succes geven dan een afzonderlijke maatregel. De duurzaamheid wordt er ook door vergroot.

Andere maatregelen (zie 3.5.9)

- Het toevoegen van ijzer of kalk kan de P-beschikbaarheid verlagen. Het toevoegen van alleen ijzer kan de pH echter zodanig verlagen dat er geen vegetatie meer kan groeien.

Huidige kennishiaten

Afgraven/plaggen/ontgronden (zie 3.5.1)

- Tot welke diepte in de bodem is de P-beschikbaarheid te hoog voor de doelvegetatie? Per locatie moet het P-profiel worden vastgesteld omdat de P-gehalten een gevolg zijn van de lokale bemesting in het verleden en door de bodemeigenschappen.

Grondbewerking (o.a. diepploegen, zie 3.5.2)

- Wat is het lange termijn effect van diepploegen met betrekking tot uitspoeling van P en N naar het grond en oppervlaktewater?

Braakleggen (zie 3.5.3)

- Hoeveel P komt er beschikbaar na braakleggen?

Uitmijnen (zie 3.5.4)

- Hoeveel jaren duurt het uitmijnen voor een specifiek gewas/soort?
- Hoe effectief zijn verschillende gewassen of soorten in het verlagen van de P-beschikbaarheid?
- Tot welk P-gehalte kan er worden uitgemijnd (per gewas/soort)?

Maaien met afvoeren (zie 3.5.5)

- Hoeveel P wordt er afgevoerd in het maaisel per vegetatietype?
- In welk deel van het jaar kan de grootste afvoer van P worden verwacht?
- Hoeveel jaar duurt het voordat de gewenste beschikbaarheid van P bereikt is?

Begrazen (zie 3.5.6)

- Wat is de effectiviteit van verschillende grazers voor de afname van de P-beschikbaarheid?

Peilverhogen (zie 3.5.7)

- Bij welk peil neemt de P-beschikbaarheid toe en bij welk peil neemt deze af? Wat is het "ideale" peil voor de "ideale" P-beschikbaarheid per vegetatiedoel?

Combinatie van maatregelen (zie 3.5.8)

- Heeft een combinatie van maatregelen altijd meer succes dan één maatregel?
- Welke combinatie van maatregelen verlaagt de P-beschikbaarheid in de kortste tijd en is het meest duurzaam?

Andere maatregelen (zie 3.5.9)

- Kan de P-beschikbaarheid worden verlaagd door het toevoegen van ijzer of kalk? Wat is het effect en wat zijn eventuele neveneffecten hiervan?

SUMMARY

Nature development on former agricultural land in relation to the availability of phosphate

Summary with results translated into rules of thumb

Agricultural land is being used on a large scale to create natural areas in the framework of the creation of the Main Ecological Structure and Reconstruction of areas in which intensive livestock farming takes place. The policy aims for the development of natural areas were formulated in the Nota Ecosysteemvisies (Ecosystem concept memorandum) on the basis of various types of aims relating to nature. The presence of large quantities of nutrients in the soil, groundwater and surface water in agricultural areas may make aims relating to sparse vegetation in natural areas difficult to achieve. The chances of success of a great number of nature development projects will remain uncertain until better insight is gained into the necessity for and effectiveness of measures specifically intended to reduce the high level of availability of phosphate in the agricultural land to be converted.

In the first instance, the research was intended to determine the problems relating to the role of phosphate in the opportunities for nature development on former agricultural land. Secondly, an overview of existing knowledge and knowledge gaps is provided. In conclusion, the effects and any problems in relation to construction and management measures will be listed and described.

The research was carried out by means of surveys, a workshop and additional literature research. A number of Dutch and foreign researchers, nature area managers and ecologists from the Dienst Landelijk Gebied (DLG) were approached to carry out the survey.

The responses to the questions were discussed in a workshop by a number of researchers, DLG staff and a member of the Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB) staff.

The results of the surveys, the workshop and the literature research form the basis of this report.

This summary contains a number of rules of thumb that are based on the data from the survey and the literature.

Growth conditions in which phosphate obstructs the growth of the intended vegetation

- When growth conditions are such that the level of phosphate available is too high for the intended vegetation. This applies especially to vegetation accustomed to sparse and nutrient-poor conditions. An excessive availability of P results in rough growth that includes species of soft rushes, tough grass, reeds and nettles (see 3.4.1 and 3.4.2).

Knowledge gaps:

a Which method of analysis must be used to determine the quantity of P available?

b What is the relationship between the level of P available and the various types of vegetation?

- Under growth conditions in which the availability of P does not inhibit the growth of the intended vegetation. This applies particularly to species that normally grow under P-limited conditions (see 3.4.3).

Knowledge gap:

At what level of P availability are different types of vegetation P-limited?

- When the groundwater level is increased (by introducing water that is not natural to the area), especially with sulphate and bicarbonate rich water. When water is added, the solubility of Fe bound P increases. Sulphate also stimulates the release of Fe bound P. Bicarbonate stimulates the availability of P bound to organic matter by means of increased mineralisation. The P that is released may leach and cause eutrophication (see 3.5.7).

Knowledge gap:

- a *At which moisture or groundwater level is the P availability increased (relationship between moisture level and P availability)?*
- b *At which sulphate and bicarbonate levels is the P availability increased?*

The conclusions of the research are summarised in a number of rules of thumb relating to the measures to be taken. The possibilities, problems, and additional relevant comments are all discussed.

Rules of thumb when applying construction or management measures

Removing the plough layer or sod cutting (see 3.5.1)

- We recommend carrying out a number of soil profile analyses at the depth of the soil layer to be removed prior to the start of the work. The intention is to prevent the new top layer from containing excessive levels of phosphate after removal, as this would prevent the creation of an area of sparse vegetation. When removing soil, it may occur that nitrogen (N) is removed while P remains present in the mineral subsoil. Atmospheric deposition of N or biological processes that bind N may create nutrient-rich soil that contains high quantities of both N and P.
- After removing the plough layer, it is very unlikely that a seed bank will still be present and a 'quick' result can only be expected from intact vegetation in the immediate vicinity or achieved by introducing seeds from elsewhere.
- The greatest variation in species is to be expected when the most important nutrients (N, P and K) are present in the soil at a low level (but not too low).
- The typifying vegetation must be damaged as little as possible when handling fens. Any humified peat that has formed must be removed because it is likely that nutrients will have accumulated here after fertilisation or through mineralisation.
- Removing a soil layer must be avoided if it is known that the site has cultural/historical value.

Soil tillage (including deep ploughing, see 3.5.2)

- Deep ploughing brings the subsoil to the surface. The measure will only be successful if the subsoil has a low P availability. Deep ploughing is not permitted in situations where the soil site has cultural/historic value.

Fallowing (see 3.5.3)

- This option does not remove any nutrients, and this will not decrease the level of available P. Accelerated mineralisation after land has been left fallow may even increase the availability of nutrients.

Mining (see 3.5.4)

- Crop cultivation absorbs P, K and N, which are removed after the harvest. If N and K are not added, production decreases and the availability of P is reduced to a limited degree. Application of N and K further reduces P, leading to a lower level of available P in the soil. This process is called 'mining' of P.
- The cultivation of grass with several cuttings per year will probably yield the fastest result. Inspection of the soil should indicate the quantity of P to be removed. If it is fairly small, mining may be considered.

Mowing and removal (see 3.5.5)

- Mowing and removal of the above-ground biomass is an effective measure for the removal of N and P on condition that the quantity removed is greater than what is supplied by atmospheric deposition.
- Mowing and removal leads to a reduction of the levels of nutrients in the soil, but the gradual decrease in the production of dry matter means that this process will gradually slow down.

Only fertilisation with N and K will maintain production and result in the accelerated achievement of a low P level in the soil.

- Mowing without removal – mowing cuts off the above-ground biomass. If the cuttings are not removed, the nutrients remain in the system. The cuttings must be removed to reduce the P level.

Grazing (see 3.5.6)

- Grazing has little effect on the availability of P. After consumption of the above ground parts of the crop or vegetation, the nutrients are frequently excreted on a specific area of the site, which concentrates them. This results in losses of N due to volatilization and denitrification, and to losses of N and K through leaching.
- Grazing may cause P availability to decrease locally if the grazing animals excrete their waste elsewhere.
- Grazing has an influence on the composition of species due to the selective eating patterns of the animals and the creation of areas with more daylight entering the vegetation.

Increase the water level (see 3.5.7)

- This measure increases the chance of a high availability of P and therefore developing a eutrophic vegetation, or increased leaching to groundwater or surface water. This is especially the case when water rich in sulphate, bicarbonate or nutrients is added.

Combination of measures (see 3.5.8)

- A combination of measures can yield more success than the application of an individual measure. This also increases durability.

Other measures (see 3.5.9)

- The addition of iron or calcium can reduce the level of P availability. However, adding only iron will lower the pH to such a degree that it will be impossible for any vegetation to grow.

Current knowledge gaps

Removing the plough layer or sod cutting (see 3.5.1)

- To what depth in the soil is the P availability too high for the intended vegetation? The P profile must be determined for each individual location because the P levels are a consequence of local fertilisation in the past and the properties of the soil.

Soil tillage (including deep ploughing, see 3.5.2)

- What is the long-term effect of deep ploughing in relation to the leaching of P and N to the groundwater and surface water?

Fallowing (see 3.5.3)

- How much P is available after allowing soil to lie fallow?

Mining (see 3.5.4)

- How many years will the mining last for a specific crop/species?
- How effective are various crops or species in reducing the P availability?
- What P level can be reached by mining (per crop/species)?

Mowing and removal (see 3.5.5)

- How much P is removed in the cuttings of each type of vegetation?
- In what part of the year can the greatest removal of P be expected?
- How many years does it take before the desired level of P availability has been achieved?

Grazing (see 3.5.6)

- What is the effectiveness of various grazers in relation to the reduction of P availability?

Increasing the water level (see 3.5.7)

- At what water level does the P availability increase, and at what level will it decrease? What is the "ideal" water level for the "ideal" P availability per type of intended vegetation?

Combination of measures (see 3.5.8)

- Will a combination of measures always yield more success than an individual measure?
- Which combination decreases the P availability in the shortest time and is the most long-lasting?

Other measures (see 3.5.9)

- Can the P availability be lowered by adding iron or calcium? What is the effect and what are the possible side-effects?

HOOFDSTUK 1

INLEIDING

In het huidige natuurbeleid worden landbouwgronden op grote schaal aangewend voor het realiseren van natuur. In de 'Ecologische Hoofdstructuur' van Nederland is 150.000 ha aangewezen als natuurontwikkelingsgebied. Op termijn zal daarvan ongeveer 50.000 ha, waaronder een groot deel landbouwgronden, worden verworven om te worden omgevormd tot natuurgebied [Ministerie van LNV; Natuurbeleidsplan, 1990]. In het kader van de Reconstructie Zandgebieden, maar ook in andere landinrichtingsprojecten, spelen vraagstukken rond natuurontwikkeling in relatie tot (voormalige) agrarische activiteiten een grote rol.

De beleidsdoelen voor natuurontwikkeling zijn in de Nota Ecosysteemvisies geformuleerd aan de hand van natuurdoeltypen. De aanwezigheid van hoge gehalten aan nutriënten in bodem, grond- en oppervlaktewater van landbouwgebieden doen vermoeden dat doelstellingen ten aanzien van schrale natuurdoeltypen in het landelijk gebied niet zonder problemen zijn te halen. Indien niet een beter inzicht wordt verkregen in de noodzaak en effectiviteit van maatregelen, met name ter reductie van de hoge beschikbaarheid van fosfaat in om te zetten landbouwgronden, blijft de kans dat het gewenste natuurdoeltype bereikt wordt voor een groot aantal natuurontwikkelingsprojecten onzeker.

Onderzoek naar de relatie tussen nutriënten en de vegetatie is tot nog toe vooral uitgevoerd in bestaande natuurterreinen, met de nadruk op de rol van stikstof en fosfaat als limiterende nutriënten [Kemmers, OBN projecten; 1999]. Wel is enige ervaring opgedaan met het plaggen van voormalige landbouwgronden voor natuurontwikkeling op minerale gronden [Klooker et al., 1999]. In landbouwgronden is onderzoek gedaan naar het chemisch gedrag van fosfaat [Chardon et al., 1996; Chardon & van Faassen, 1999; Beek & van Riemsdijk, 1979; Ponnampertuna, 1972]. Op beperkte schaal is ervaring opgedaan met het vernatten of onder water zetten van landbouwgronden, en het effect daarvan op de uitspoeling van fosfaat [Boland et al., 2000]. Op voormalige landbouwgronden die bestemd zijn voor natuurontwikkeling is echter weinig bekend over fosfaat en welke relatie er bestaat met de beschikbaarheid van stikstof. Ook is weinig bekend over het succes van maatregelen die genomen zijn om de P-beschikbaarheid in voormalige landbouwgronden te verlagen. Er zijn geen norm- of streefwaarden beschreven voor terrestrische systemen in relatie tot natuurontwikkeling.

Als grondgebruikers zijn vooral natuurterreinbeheerders (Staatsbosbeheer, Landschappen en Natuurmonumenten) van belang die te maken krijgen met vragen over hoe condities gecreëerd kunnen worden voor natuurontwikkeling in voormalige landbouwgronden en hoe verdere aanrijking met fosfaat via het grond- en oppervlaktewater kan worden tegengegaan.

In verband met het nemen van beleidsmaatregelen op het gebied van natuurontwikkeling en milieubeheer zijn ook de Provincies probleemhouder. De Dienst Landelijk Gebied (DLG) adviseert de Provincies en is tevens, als procesbegeleider van landinrichtingsvraagstukken, een belangrijke intermediair tussen natuurbeheerders, agrariërs en waterkwaliteitsbeheerders. Daarnaast heeft DLG een controlerende taak binnen de regeling Programma Beheer (Ministerie van LNV, 1999). In al deze hoedanigheden loopt DLG telkens aan tegen grote kennisleemten wat betreft de relatie tussen de beschikbaarheid van fosfaat en natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden.

Probleemstelling

Op dit moment is weinig kennis beschikbaar over de abiotische condities en de gevolgen van inrichtings- en beheersmaatregelen die nodig zijn voor de ontwikkeling van met name voedselarme natuur op landbouwgronden. Ten aanzien van natuurontwikkeling wordt de vraag gesteld wat het effect is van de grote hoeveelheden meststoffen die in (voormalige) landbouwgronden geaccumuleerd zijn, mede met het oog op andere mogelijk te nemen beheersmaatregelen in de sfeer van vershraling en/of vernatting [RIVM 2000b, Natuurbalans; RIVM 2000a, Milieuverkenning 5; Kemmers, 1999].

Zolang op voormalige landbouwgronden de respons van de vegetatie op fosfaat, en het effect van fosfaatbeschikbaarheid reducerende maatregelen onvoldoende bekend zijn, blijft het onzeker of het gewenste natuurdoeltype gerealiseerd wordt. Natuurterreinbeheerders kunnen beheersvergoedingen mislopen omdat het vooraf gestelde natuurdoel niet gehaald wordt (zie subsidieregeling Programma Beheer (Ministerie van LNV 1999).

De milieugevolgen kunnen tot uiting komen in uitspoeling van nutriënten naar het grond- en oppervlaktewater. De kans op uitspoeling wordt vergroot wanneer de gronden niet meer voor landbouw worden gebruikt. Nutriënten worden niet meer afgevoerd met oogstproducten en in onvoldoende mate door de vegetatie opgenomen doordat de productie laag is. Door gebrek aan kennis over de maatregelen die in een gebied kunnen worden genomen om de fosfaatbelasting tot aanvaardbare niveaus te verminderen is ook de ruimtelijke component van belang. Maatregelen die genomen zijn op percelen bovenstrooms kunnen invloed hebben op percelen of gebieden benedenstrooms wanneer daar schrale natuur wordt ontwikkeld.

Doelstelling onderzoek

Het onderzoek beoogt het vaststellen van de problematiek met betrekking tot de rol van fosfaat in de mogelijkheden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden. Tevens wordt een overzicht gegeven van de bestaande kennis en de kennishiaten. Tot slot worden effecten van, en knelpunten met betrekking tot de te nemen maatregelen geïnventariseerd en beschreven.

Opbouw rapport

Aan het slot van de samenvatting (voorafgaand aan deze inleiding) zijn een aantal vuistregels opgenomen die zijn ontleend aan de inhoud van het rapport. Hierin is getracht om de resultaten van de studie kernachtig samen te vatten, met name voor de doelgroep van dit rapport die bestaat uit beheerders van natuurterreinen en medewerkers van de DLG.

In hoofdstuk 2 wordt de aanpak van deze studie uiteengezet en worden de verrichte werkzaamheden kort beschreven.

In hoofdstuk 3 zijn de uitkomsten van de gehouden enquêtes en het verrichte literatuuronderzoek verwerkt.

In hoofdstuk 4 zijn een aantal conclusies geformuleerd en in hoofdstuk 5 worden aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

De referenties zijn opgenomen in de literatuurlijst en in bijlagen A, B en C staan de reacties op de enquêtes onder respectievelijk onderzoekers en beheerders in Nederland en onderzoekers in het buitenland.

HOOFDSTUK 2

AANPAK EN BESCHRIJVING WERKZAAMHEDEN OP HOOFDLIJNEN

Voor de realisering van het onderzoeksdoel: het vaststellen van de problematiek, het inventariseren van de bestaande kennis en de kennishiaten en het effect van maatregelen m.b.t. de rol van fosfaat voor de mogelijkheden van natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden is een enquête, een workshop en aanvullend literatuuronderzoek uitgevoerd.

Als eerste werd de enquête gehouden en daarna werd de workshop georganiseerd. De enquête had in eerste instantie tot doel om antwoorden te krijgen op de onderzoeksvragen. De workshop gaf de onderzoekers de gelegenheid met elkaar in discussie te gaan om zo tot het aanscherpen van de problematiek en de antwoorden op de vragen te komen.

Literatuuronderzoek was nodig om de betrokken onderzoekers te vinden en om gerichte vragen te formuleren voor de enquête. Tevens werd de literatuur bestudeerd en relevante informatie verzameld om meer inzicht te krijgen in de rol van P bij natuurontwikkeling op landbouwgronden.

De enquête

Een aantal onderzoekers in Nederland ontving een vragenlijst. De keuze van onderzoekers was gebaseerd op literatuuronderzoek en betrokkenheid bij onderzoek naar nutriënten in de landbouw en/of natuur. Getracht is om onderzoekers van zoveel mogelijk verschillende universiteiten en onderzoeksinstituten te selecteren. De onderzoekers zijn persoonlijk benaderd voor deelname aan de enquête. Uiteindelijk hebben 14 personen zich bereid getoond om deel te nemen. Naar aanleiding van de antwoorden op de enquête werden in een tweede ronde aanvullende vragen rondgestuurd, met als doel om reacties te krijgen op antwoorden van anderen uit de eerste ronde. In een derde ronde werd nog een aanvullende vraag gesteld. De geraadpleegde onderzoekers, de gestelde vragen en de antwoorden zijn te vinden in bijlage A.

De vragenlijst van de eerste ronde werd eveneens verstuurd naar een aantal Nederlandse beheerders van natuurterreinen en ecologen van de Dienst Landelijk Gebied (DLG). De beheerders van natuurterreinen waren werkzaam bij Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten en de provinciale Landschappen. Iedereen is persoonlijk benaderd voor deelname aan de enquête. Uiteindelijk hebben 11 personen deelgenomen, waarbij de personen gelijk verdeeld waren over de verschillende natuurbeheersorganisaties. De geraadpleegde personen, de gestelde vragen en de antwoorden zijn te vinden in bijlage B.

Dezelfde vragen, m.u.v. een aantal specifiek Nederlandse vragen, werden ook voorgelegd aan een aantal buitenlandse onderzoekers. Keuze van de buitenlandse onderzoekers is gebaseerd op, of verkregen via een Symposiumrapport over Restoration Ecology (1998 te Groningen) en via een Europees samenwerkingsverband (COST 832, Contribution of agriculture to eutrophication with phosphorus).

Uiteindelijk hebben 9 onderzoekers zich bereid getoond tot deelname. De onderzoekers komen uit Groot-Brittannië, België, Duitsland en de Verenigde Staten. Hun namen, de gestelde vragen en de antwoorden zijn te vinden in bijlage C.

Workshop

Er werd alleen een workshop georganiseerd waarbij Nederlandse onderzoekers, het consortium en een medewerker van de Stichting Kennisontwikkeling en Kennisoverdracht Bodem (SKB) aanwezig waren. De workshop met beheerders en medewerkers van DLG's heeft niet plaatsgevonden vanwege de drukke werkzaamheden rond de MKZ crisis in april 2001.

Met de aanwezigen werden de antwoorden van de eerste ronde van de enquête besproken. Tijdens de workshop werden door G.F. Koopmans (Alterra) onderzoeksresultaten gepresenteerd van een uitmijnxperiment met gras.

Aansluitend op de discussie en presentaties in de ochtend werd een bezoek gebracht aan veldexperimenten op het proefbedrijf 'De Veenkampen' in Wageningen, waar landbouwgrond ingericht is voor natuurontwikkeling. Tijdens het bezoek werden de bereikte resultaten getoond en knelpunten besproken.

SAMENVATTING ENQUÊTES EN LITERATUURONDERZOEK

In dit hoofdstuk wordt een samenvatting gegeven van het uitgevoerde literatuuronderzoek en van de enquêtes onder onderzoekers, natuurbeheerders en procesbegeleiders bij de Dienst Landelijk Gebied. De volledige tekst van de enquêtes en de reacties daarop staan in bijlagen A, B en C. In twee inleidende vragen werd vastgesteld wat de betrokkenheid was van de geïnterviewden bij de fosfaatproblematiek in natuurgebieden en naar de algemene opinie over de vraag of fosfaat een probleem vormt bij natuurontwikkeling.

3.1 **Achtergrond en betrokkenheid bij P onderzoek van de geïnterviewden** (zie bijlage A, B, C: vraag 2)

Van de geïnterviewde personen zijn de meeste tot in het afgelopen jaar betrokken geweest bij projecten waarbij de effecten van P een rol spelen voor natuurontwikkeling. Dat geeft aan dat de problematiek zeer actueel is. De geïnterviewden waren betrokken bij projecten op voormalige landbouwgronden die gebruikt waren als akkers, weiland of als grasland. Een aantal geïnterviewden was niet betrokken bij projecten op voormalige landbouwgronden maar in aquatische of terrestrische natuurgebieden waarin inhoudelijke kennis werd verkregen.

3.2 **Is P een knelpunt bij de realisering van natuurontwikkeling op landbouwgronden?** (zie bijlage A, B, C: vraag 5)

Door de geïnterviewden wordt gesteld dat fosfaat in veel gevallen een probleem is. Ter toelichting werden uiteenlopende redenen genoemd, die hieronder worden weergegeven.

- Met name in combinatie met vernatting (vooral met sulfaatrijk oppervlaktewater in veengebieden) is P een probleem omdat dan verhoogde concentraties aan P gaan optreden door fosfaatmobilisatie. Tevens kan onder nattere omstandigheden, met name bij hogere pH, de biologische stikstofbinding toenemen. Kortom, vernatting kan dan leiden tot zowel een hogere beschikbaarheid van P als van N. Bij natuurontwikkeling in semi-terrestrische milieus waarbij vernatting nodig is, leidt de mobilisatie van fosfaat uit deze toplaag (o.a. door daling redoxpotentiaal) onvermijdelijk tot (sterke) eutrofiëring met P. Als voorbeeld werd een project genoemd waarbij het doel was om het grondwater weer ondiep uit de bodem te laten uittreden en het oppervlaktewater oppervlakkig te laten afspoelen. Het blijkt nu dat zich benedenstrooms van de voormalige landbouwgronden een eutrofe vegetatie heeft gevestigd.
- Als indicatie voor het feit dat het voormalige landgebruik langdurige invloed kan hebben werd het voorbeeld genoemd van het gebied De Bruuk, waar een perceel rond 1953 enkele jaren bemest is in een poging er aardappelen te telen. Dit is nog steeds te zien aan een veel hogere productie en andere soortensamenstelling (minder soorten). Gesteld werd dat het in zijn algemeenheid te verwachten is dat de variatie in de biomassa-productie steeds meer bepaald wordt door een variatie in het P-aanbod, omdat N door depositie geleidelijk minder belangrijk wordt als limiterende factor.
- De vraag of P een probleem vormt is afhankelijk van het natuurdoel. Het belemmert de mogelijkheden voor ontwikkeling van bepaalde (kwetsbare of prioritaire) natuurdoeltypen zoals nat schraal grasland. Verder kunnen hoge fosfaatgehalten leiden tot verruiging van vegetaties. Het is dan van belang vast te stellen welk P-niveau, -gehalte of -beschikbaarheid bij welk natuurdoel hoort. Als dat overzicht er nog niet is, zou het de moeite waard zijn om dit in een vervolgonderzoek te maken. Dus, in globale zin condities scheppen (niet te hoge P-beschikbaarheid bijvoorbeeld), en dan zien wat ervan komt.

- Fosfaat is een probleem omdat door de vegetatie bepaalde voorwaarden worden gesteld met betrekking tot P. Het (co-)limiteert de primaire productie in veel systemen, en accumuleert sterk in de toplaag (enkele decimeters) doordat het nauwelijks mobiel is (zeker in venige bodems). In zowel terrestrische als semi-terrestrische milieus leidt de extreem hoge P-beschikbaarheid tot massale ontwikkeling van pitrus, struisgras, liesgras, brandnetel, etc., afhankelijk van het milieu, ten koste van andere soorten en leidt daardoor tot een sterke daling van de biodiversiteit. Met name de ontwikkeling van lastige kruiden zoals pitrus kan toe te schrijven zijn aan fosfaat in het systeem. Bij een hoge beschikbaarheid van P komen sommige soorten daardoor niet terug na natuurontwikkeling. Het belemmert de mogelijkheden voor ontwikkeling van bepaalde (kwetsbare of prioritaire) natuurdoeltypen zoals nat schraal grasland. Overmatige biomassa-productie beïnvloedt in sterke mate de concurrentieverhouding tussen plantensoorten en heeft grote invloed op het al of niet (en de mate waarin) voorkomen van de gewenste soorten zoals doelsoorten en rode lijst-soorten. Daarnaast is fosfaat in de bodem ook rechtstreeks van belang als standplaatsfactor voor de uit het oogpunt van natuurbehoud belangwekkende soorten en levensgemeenschappen. Vele soorten verlangen lage concentraties aan P. Bij de ontwikkeling en het beheer van landbouwgronden tot natuurgebieden is het sturen op de beschikbaarheid van P dus een belangrijke conditionerende factor.
- De fauna heeft een diversiteit aan habitats nodig. In aquatische systemen is P meestal limiterend voor de productie, behalve bij uitzonderlijk lage N-concentraties en bij hoge P-concentraties waarbij P niet meer sturend is. Of P een probleem vormt bij natuurontwikkeling is afhankelijk van de vraag of N beperkend is (of wordt omdat via afvoer van organisch toplaag de voorraad aan N wordt verwijderd) In droge systemen zal N waarschijnlijk eerder beperkend worden dan P, in natte systemen zou ook P de eerste limiterende factor kunnen worden, dit hangt echter mede af van de pH en de aanvoer van ijzer. Kortom: de vraag is niet algemeen te beantwoorden door gebrek aan kennis. Naast stikstof blijkt dat bij meer dan de helft van de standplaatsen fosfor, kalium en vochtbeperkend kunnen zijn. In systemen die onafhankelijk zijn van het grondwater blijkt de productie voornamelijk door de beschikbaarheid van vocht te worden bepaald, en in mindere mate door stikstof en fosfor. In de grondwaterafhankelijke systemen kan de productie grotendeels worden verklaard uit de fosforvoorraden in de bodem.
- Door N-aanvoer via atmosferisch depositie naar bodems met veel P is de groei niet meer gelimiteerd door N of P waardoor ruige vegetatietypen in het voordeel zijn. Zolang we de N in overmaat uit de neerslag krijgen, blijft P de sleutel, wat blijkt uit de wet van Liebig. Alleen in de uiterwaarden waar we een overmaat aan P in de bodem hebben krijg je een duidelijke respons op een N-gift; dit blijkt uit onderzoek in Amerongen. Het gehalte aan P is daarom een cruciale factor voor de realisatie van het natuurdoel. Verder zullen vlinderbloemigen in P-rijke gronden sterk uitbreiden omdat zij het vermogen hebben om N uit de lucht te binden.
- Fosfaat is zowel in zandgronden als in veengronden een probleem; in veengronden omdat door mineralisatie veel P beschikbaar kan komen. Juist vegetatietypen voor voedselarme gronden kunnen dan niet gerealiseerd worden. Zonder het toepassen van een maatregel om de beschikbaarheid van P te verlagen duurt het zeer lang voordat d.m.v. beheer vegetaties verschijnen die een beetje de moeite waard zijn. Ook na afplaggen duurt herstel soms veel langer dan je zou verwachten, fosfaat zou hier zeker de oorzaak van kunnen zijn.
- Of een hoog fosfaatgehalte een probleem vormt is niet de goede vraag: het hangt ervan af welk fosfaatgehalte verhoogd is. Als de labiele pool verhoogd is (zie 3.3.1), dan is het een probleem voor bepaalde natuurdoeltypen. Het is dus sterk bodem- en fosfaatfractie afhankelijk. De vegetatie die zich ontwikkelt kan ook een indicatie geven of een hoge beschikbaarheid van P probleem is. In een aantal projecten wordt geen onderscheid gemaakt tussen N en P maar is voedselrijkdom een maat die wordt afgelezen uit de vegetatie.

Samenvatting

Een hoge beschikbaarheid van P in de bodem wordt door vrijwel alle geraadpleegde deskundigen als een probleem gezien voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name voor het creëren van natuurdoeltypen die gekoppeld zijn aan voedselarme omstandigheden. Door de hoge depositie van N in ons land en door stikstofbinding vanuit de lucht is een duurzame limitatie van de productie door N niet waarschijnlijk. Hierdoor zijn voedselarme omstandigheden dikwijls alleen mogelijk bij een lage beschikbaarheid van P.

3.3 P-huishouding in de bodem

In deze paragraaf wordt een kort overzicht gegeven van de processen in de bodem waarbij P is betrokken op basis van de literatuur. De manier waarop de beschikbaarheid van P in de bodem wordt bepaald, op basis van de enquête en de literatuur.

3.3.1 P-vormen in de bodem

Fosfaat komt in de bodem in verschillende vormen voor. De meest eenvoudige tweedeling is het onderscheiden van anorganisch en organisch gebonden fosfaat. In nutriëntenarme systemen, zoals natuurlijke graslanden, is tot 70% van het totaal aan P organisch gebonden [Anderson 1980]. Het door de vegetatie opgenomen P heeft de neiging om te circuleren in de organische stofcyclus van de bodem: na afbraak van plantenresten wordt het snel weer opgenomen door de vegetatie. Doordat binnen de landbouw de meeste P in anorganische vorm wordt toegediend (alle P in kunstmest en het grootste deel van P in dierlijke mest) en in een hoeveelheid die de afvoer via oogstproducten vrijwel altijd te boven gaat, hoopt P zich hier op in anorganische vorm. De verschillende pools waarin P in de bodem voorkomt zijn schematisch weergegeven in figuur 1.

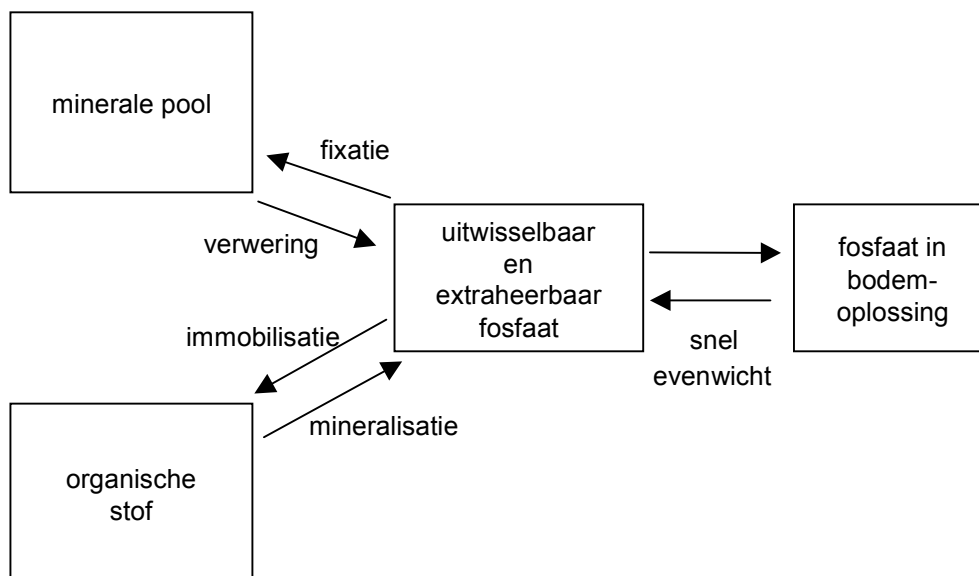


Fig. 1. Een overzicht van de belangrijkste omzettingsreacties van nutriënten in de bodem (naar: [Marrs 1993]).

Fosfaat in de bodemoplossing is direct beschikbaar voor planten; deze pool is in snel evenwicht met de uitwisselbare ('geadsorbeerde') en extraheerbare pool, die op zijn beurt weer kan overgaan door fixatie naar de minerale pool, of door immobilisatie in organische stof. Door verwerking kan P uit de minerale pool weer overgaan naar de uitwisselbare pool, door mineralisatie gebeurt dit vanuit de organische stof. De uitwisselbare fractie wordt ook wel 'labiel' P genoemd, en de combinatie van de minerale pool en P in organische stof 'stabiel' P. De overgang tussen de bo-

demoplossing en 'labiel' P verloopt snel (uren tot dagen), die tussen de 'labiele' en 'stabiele' pool verloopt langzaam (weken tot jaren).

In zure of neutrale gronden is anorganisch P in de minerale pool vooral gebonden aan amorfe vormen van ijzer- en aluminium(hydr)oxiden. Hierdoor kan P worden vastgelegd in situaties waar bij ijzerrijk grondwater uittreedt zoals in beekdalgraslanden [Patrick & Khalid, 1974; Kemmers, 1999; Boeye et al., 1997; van Duren & Pegtel, 2000; Wassen et al., 1995]. In kalkhoudende gronden zijn calciumfosfaten de belangrijkste vorm waarin anorganisch P wordt gebonden. Een lage beschikbaarheid is waargenomen in systemen waarin de bodem veel kalk bevat, zoals in kalkgraslanden [Chambers et al., 1999], natte duinvalleien [Lammerts, 1999] en kalkrijke veengronden [Boyer en Wheeler, 1989]. Een eigenschap van anorganisch P is dat, na toediening aan de bodem, de beschikbaarheid voor het gewas afneemt in de tijd: in het begin snel, later langzamer. De meest gebruikelijke verklaring hiervoor is het binnendringen van P vanuit de uitwisselbare fractie ('labiel P') in bodemaggregaten, waardoor het zich van de bodemoplossing verwijdt. Wanneer P vanuit de bodemoplossing wordt opgenomen door de plant wordt dit normaliter aangevuld vanuit de vaste fase van de bodem. Dit gaat sneller wanneer P zich aan de buitenkant van bodemaggregaten bevindt ('labiel P') dan wanneer het zich binnen de aggregaten bevindt ('stabiel P'). Onder reducerende omstandigheden kunnen ijzerhydroxiden in oplossing gaan, en komt ook het aan Fe gebonden P beschikbaar [Patrick & Khalid, 1974; Olde Venterink, 2000].

Organisch gebonden P in plantenresten komt onder normale omstandigheden vrij snel weer voor het grootste deel beschikbaar via mineralisatie. Een uitzondering vormt de situatie waarin bijvoorbeeld door een hoge grondwaterstand de afbraak door mineralisatie wordt geremd en veenvorming optreedt. Komt echter door een verlaging van de grondwaterstand of door aanvoer van sulfaatrijk (grond)water zuurstof beschikbaar voor afbraak van het opgehoopte organische materiaal dan kan in korte tijd veel P in oplossing gaan en beschikbaar komen voor de vegetatie.

Bij bodemanalyses moet een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen totaalgehalten en het gehalte aan P dat voor een gewas of de vegetatie beschikbaar is. Een bodem kan een hoog totaalgehalte aan P bezitten zonder dat dit beschikbaar is; een voorbeeld hiervan is een veengrond onder de grondwaterspiegel. Kort na het toedienen van (kunst)mest nemen zowel het totaalgehalte als het beschikbare gehalte toe; zoals gezegd neemt de laatste fractie meestal snel af terwijl het totaalgehalte gelijk blijft. Door het binnendringen van ijzerrijke kwel, of door een daling van de pH, neemt beschikbaar P wel, maar totaal P niet af. Het is dan ook veel zinniger om bij het beoordelen van de geschiktheid van een bodem voor natuurontwikkeling te kijken naar het beschikbare gehalte dan naar het totale gehalte aan P.

3.3.2 *Analysemethoden voor P-karakterisering (zie bijlage A,B,C, vraag 4)*

Door Nederlandse onderzoekers wordt aangegeven dat een grote verscheidenheid aan methoden wordt gebruikt voor het karakteriseren van de bodem met betrekking tot verschillende fosfaatfracties.

Meermalen genoemde methoden zijn:

- totaal P na destructie;
- P anorganisch en organisch (zure extractie zonder of met oxidatie);
- P-AI (extractie met ammoniumlactaat-azijnzuur bij pH 3.75);
- Pw (waterextractie bij schudverhouding 1:60 v:v).

Binnen de landbouw wordt de P-AI methode standaard gebruikt voor bemestingsadviezen voor grasland, de Pw methode wordt voor dit doel binnen de akkerbouw toegepast.

Eenmalig genoemd zijn:

- Sequentiële extractie van P-fracties: Fe+Al-gebonden, Ca-gebonden, organisch P en rest-P;
- Analyse van bodemvocht, verkregen via afzuigcups;
- Extractie met ammoniumoxalaat-oxaalzuur bij pH 3,0 (bepaalt totaal anorganisch P);
- Extractie in aanwezigheid van met FeO geïmpregneerd papier, meet desorptie van P;
- P-Olsen (extractie met NaHCO_3 bij pH 8,5);
- P-Bray (extractie met NH_4F en HCl) met totaal-P;
- NaOH extractie; NTA-extractie;

Door beheerders worden geen concrete methoden genoemd. De analyse wordt vaak uitbesteed aan commerciële laboratoria, zodat waarschijnlijk in Nederland gangbare methoden (P-totaal, P_w en P-Al) zullen zijn gebruikt. Een beheerder merkte op dat bodemanalyses niet nodig zijn, omdat de vegetatie voldoende aanwijzingen geeft voor de beschikbaarheid van P.

In Duitsland worden de P-CAL en PDL- methoden gebruikt, die beide vergelijkbaar zijn met de Nederlandse P-Al-methode. In België, Finland en Zwitserland wordt, onder meer voor vergelijking van soortenrijke graslanden de ammonium acetaat EDTA-methode gebruikt. In Engeland wordt de P-Olsen methode veel toegepast; deze werd oorspronkelijk ontwikkeld voor kalkhoudende gronden. Andere methoden maken veelal gebruik van een zuur extractiemiddel waarmee Ca-P wordt opgelost dat in kalkhoudende gronden niet voor de plant beschikbaar is. Uit een vergelijkend onderzoek bleek dat de Olsen-methode zowel op aangezuurde als op basische gronden het beste gecorreleerd was met de opname van P door plantensoorten die voorkomen in soortenrijk grasland [Gilbert, 2000]. In ecologisch onderzoek wordt in Engeland ook de Truog extractie toegepast (0.001 M H_2SO_4 bij pH 3), door onder meer Marrs et al., [1998] en McCrea et al., [2001a,b].

Voor anaëroobe milieus is de gebruikelijke methode van bodemanalyse (extractie van een gedroogd grondmonster) echter niet geschikt. Het in de bodem opgeloste ijzer wordt bij het drogen geoxideerd waarbij de pH daalt en fosfaat gebonden wordt, waardoor de beschikbaarheid van P in het veld sterk kan worden onderschat (Lamers, pers.med.). Een alternatief voor dergelijke omstandigheden is het bemonsteren van het bodemvocht met behulp van afzuigcups of zogenaamde Rhizons, (langwerpig filter). Deze worden in de bodem gebracht en na equilibreren anaëroob bemonsterd.

Behalve bodemanalyses worden ook gewasanalyses uitgevoerd, zoals P-gehalte van het gewas, de verhouding tussen N en P in het gewas, de opname van ^{32}P etc.

De grote verscheidenheid aan gebruikte analysemethoden leidt tot het probleem dat het moeilijk is om resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken, en de interpretatie bemoeilijkt van uitspraken zoals: een vegetatietype komt alleen voor bij een P-Olsen gehalte < 10. Een mogelijke oplossing is om analyseresultaten te vertalen in voor de landbouw gedefinieerde klassen van beschikbaarheid: zeer laag, laag, medium/optimaal, hoog en zeer hoog. In onderstaande tabel is deze classificatie gegeven voor een aantal methoden, waarbij de klassen hoog en zeer hoog zijn weggelaten omdat ze voor deze studie minder relevant zijn.

Tabel 1. Landbouwkundige waardering van uitkomsten bodemanalyses voor uiteenlopende methoden.

Methode	eenheid	zeer laag	laag	optimaal	referentie *
P-Olsen	mg P / L	< 10	10 - 15	16 - 25	1
NH ₄ Ac-EDTA	mg P / kg	< 25	25 - 50	50 - 90	1
P-Al	mg P / kg **	< 80	80 - 130	130 - 170	2
Pw	mg P / kg **	< 4	4 - 7	7 - 10	2
P-Al	mg P ₂ O ₅ / 100 g	< 18	18 - 29	30 - 39	2
Pw	mg P ₂ O ₅ / L grond	< 11	11 - 20	21 - 30	2

* referentie: (1) [Tunney et al., 1997]; (2) [Van Dijk, 1999].

** berekend uit gegevens uitgedrukt in P₂O₅; Pw berekend voor bodemdichtheid 1.3 kg L⁻¹.

3.4 Vegetatie en P-beschikbaarheid

In het huidige natuurbeleid worden landbouwgronden (graslanden en bouwlanden) op grote schaal aangewend voor het realiseren van natuur. De beleidsdoelen voor natuurontwikkeling zijn in de Nota Ecosysteemvisies geformuleerd aan de hand van natuurdoeltypen. De aanwezigheid van hoge gehalten aan nutriënten in de bodem door het voormalige landgebruik doen vermoeden dat doelstellingen ten aanzien van schrale natuur in het landelijk gebied niet zonder problemen zijn te halen. Om een inschatting te kunnen maken of de vegetatiedoelen te realiseren zijn wordt in deze paragraaf een overzicht gegeven van de relatie tussen enerzijds de vegetatie en anderzijds nutriëntengehalten van de bodem en door nutriënten veroorzaakte groeilimitatie.

3.4.1 Vegetatietypen en P-gehalte

Aan de geïnterviewden werd een selectie voorgelegd van vegetatietypen die alleen in voedselarme tot matig voedselrijke terrestrische milieus kunnen voorkomen. De vraag werd gesteld of men kon aangeven welke vegetatietypen alleen voorkomen in een fosfaatarm tot zeer fosfaatarm milieu. Een beperkt aantal van de geïnterviewden heeft dit gedaan; volgens hen is de meerderheid van de genoemde vegetatietypen gerelateerd aan fosfaatarme omstandigheden (zie bijlage A en B, vraag 7). Niet alle beheerders en onderzoekers zijn het echter eens met de selectie op basis van door Ellenberg opgestelde indeling van plantensoorten en nutriëntengehalten het zogenaamde Ellenberg getal [Ellenberg, 1979]. Enige opmerkingen die gemaakt zijn:

- Het is goed om te realiseren dat het Ellenberg-getal voor voedselrijkdom niet specifiek aan een nutriënt gekoppeld is;
- De ordening is op basis van geschatte of gemeten productiviteit, in hoeverre productiviteit wordt beperkt door fosfaat dan wel door stikstof is echter niet aan te geven;
- Het vervelende is dat iedereen in Nederland wat anders verstaat onder P-arm en P-rijk. Zonder goede definitie is een antwoord eigenlijk onmogelijk. P-concentraties in voormalige landbouwgebieden zijn EXTREEM hoog, en niet te vergelijken met natuurlijke waarden. De onderzoeker houdt voor de aquatische vegetaties in ieder geval een gemiddelde concentratie van 4 mmol/L of meer aan voor 'fosfaatrijk'. Voor veel vegetatietypen is dit niet vastgesteld, en wordt P- en N-rijk door elkaar gegooid. Ellenberg heeft het grootste deel van de 'stikstofgetallen' uit zijn duim gezogen. Met ecologische kennis, dat wel. Wat nog erger is, is dat veel mensen nog steeds(!) zuur gelijkstellen aan oligotroof en mineraalrijk (minerotroof) aan eutroof. Dat is klinkklare onzin. Verder is P-rijk erg onduidelijk: het gaat erom dat de BESCHIKBAARHEID laag is, niet de totale concentratie. Al met al een zeer moeizame tabel, die voor een groot deel niet ingevuld kan worden op basis van metingen. De onderzoeker verwacht dat de meeste mensen hier zullen gaan gokken, net als Ellenberg.

De beheerders gaven als reactie:

- Speciaal streven naar een natuurdoeltype werkt frustrerend. Probeer gewoon een haalbaar voedselarme situatie te herstellen en te behouden en wacht maar af wat er komt. Wat je vervolgens krijgt hangt sterk af van vervolfbeheer na de ingrepen.
- Eén beheerder heeft hier persoonlijk geen onderzoekservaring mee, maar volgens hem is er in de literatuur wel het een en ander over na te zoeken. Onderzoekers zullen vast steekhoudende meningen kunnen geven.
- Eén beheerder kent een aantal van deze vegetaties niet voldoende om er een uitspraak over te doen. Het ontbreken van commentaar duidt dus niet op het wél kunnen voorkomen onder fosfaatrijke omstandigheden. De beheerder is daarnaast uitgegaan van beschikbaar fosfaat als uitgangspunt voor 'fosfaatarm'.

3.4.2 Soortenrijkdom en P-gehalte

Soortenrijkdom is gerelateerd aan de fosfaatbeschikbaarheid in de bodem. De bepaling van het optimale nutriëntentraject is belangrijk voor het herstel van de soortendiversiteit omdat het de kansen aangeeft voor de realiseerbaarheid ervan [McCrea et al., 2001a; Gilbert, 2000]. Fosfaat wordt gezien als een sleutelfactor die bepalend is voor het residu aan bodemvruchtbaarheid in landbouwgronden [Marrs & Gough, 1989; Gough & Marrs, 1990 a,b]. In meerdere studies is beschreven dat het P-gehalte in de bodem een sleutelfactor is voor de soortendiversiteit en droge stof productie van graslanden [Williams et al., 1993; Kirkham et al., 1996; Oomes et al., 1996; Janssen et al., 1998; Van den Broek, 1998; Snow et al., 1997]. Door bemesting wordt van de toegevoegde nutriënten P het minst opgenomen, de lage oplosbaarheid, de sterke binding van P aan de bodem en de lage uitspoeling van P zijn de oorzaken van P accumulatie in de bodem [Marrs et al., 1991; Tallowin et al., 1998].

Chambers et al., [1999] beschreven van 578 graslandlocaties de bodem en de botanische samenstelling in Engeland en Wales. Het betrof uiteenlopende vegetatietypen: kalkrijk, mesotroof en zuur grasland, venen, heide, moeras en bossen. Over het algemeen was in matig voedselrijke graslanden de botanische rijkdom invers gerelateerd aan de beschikbaarheid van P, gemeten als P-Olsen; de grootste soortenrijkdom werd gevonden beneden 10 mg P L⁻¹ (figuur 2).

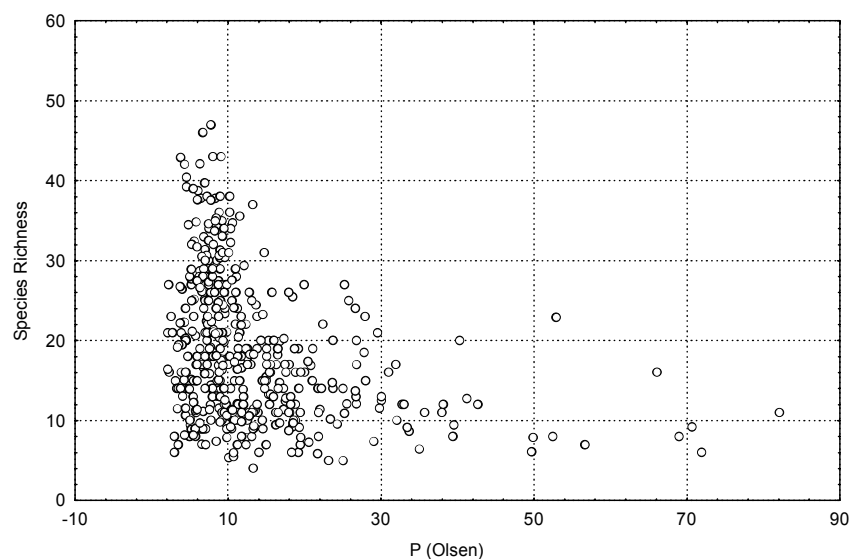
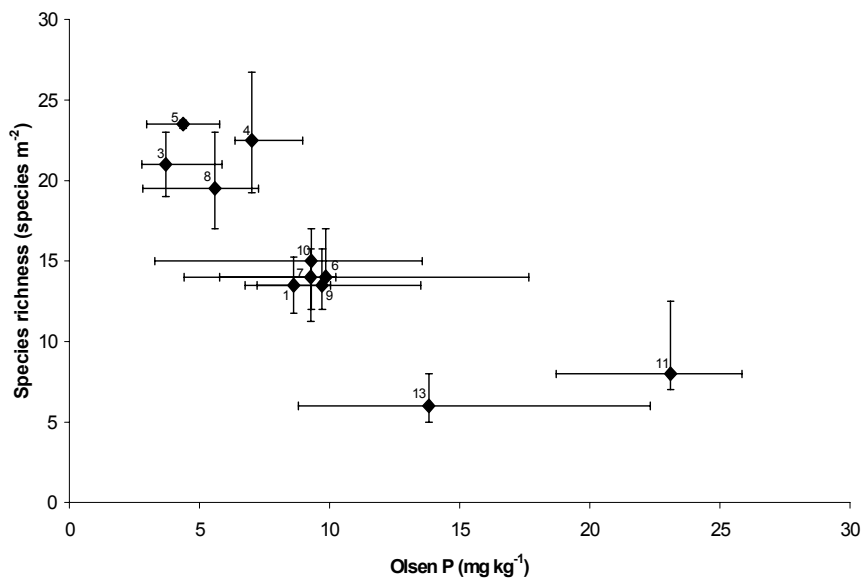


Fig. 2. Soortenrijkdom (y-as, m⁻²) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid P, gemeten als P-Olsen (x-as, mg P kg⁻¹); Uit: Chambers et al., [1999].

Stress tolerante soorten werden alleen bij lage waarden van P-Olsen gevonden (klasse zeer laag [<10] en laag [$10-15$]). Wanneer de beschikbaarheid van P hoog was en die van N laag dan werd een sterke dominantie van witte klaver (N-binder) gevonden; de omgekeerde situatie (P laag en N hoog) geeft dus meer kansen op botanische rijkdom. Uit de studie werd geconcludeerd dat wanneer de beschikbaarheid van zowel P als K laag is, de kans op een grote soortenrijkdom groter is dan wanneer alleen P of K weinig beschikbaar is.

Een studie die vergelijkbaar is met die van Chambers et al. werd uitgevoerd door Gilbert, [2000]. Op 11 matig voedselrijke graslanden in Engeland werden in totaal 157 monsters genomen en geanalyseerd op P-Olsen; daarnaast werd de soortenrijkdom van de locaties bepaald. In figuur 3 is voor de verschillende terreinen aangegeven wat de range is aan gemeten gehalten aan P-Olsen, en de range in soortenrijkdom. Uit de figuur blijkt dat beneden 10 mg kg^{-1} de meest soortenrijke plekken werden gevonden (nr. 3, Reukgras - Bosooievaarsbek; nr. 4, Grote vossenstaart - Grote pimpernel; nr. 5, Kamgras - Zwart knoepkruid; nr. 8, Kamgras - Dotterbloem). Voor zover bekend bestaan voor in Nederland voorkomende vegetaties geen gegevens waarmee een figuur zoals 3 geconstrueerd kan worden.



1	<i>Arrhenatherum elatius</i>	Frans raaigras
3	<i>Anthoxanthum odoratum</i>	Reukgras
3	<i>Geranium sylvaticum</i>	Bosooievaarsbek
4	<i>Alopecurus pratensis</i>	Grote vossenstaart
4	<i>Sanguisorba officinalis</i>	Grote pimpernel
5	<i>Centaurea nigra</i>	Zwart knoepkruid
5,6,8	<i>Cynosurus cristatus</i>	Kamgras
6,7	<i>Lolium perenne</i>	Engels raaigras
8	<i>Caltha palustris</i>	Dotterbloem
11	<i>Potentilla anserina</i>	Zilverschoon; vochtig weiland
11	<i>Festuca rubra</i>	Rood zwenkgras; vochtig weiland
11,13	<i>Agrostis stolonifera</i>	Fioringras; vochtig weiland
12	<i>Festuca arundinacea</i>	Rietzwenkgras; brak vochtig weiland
13	<i>Alopecurus geniculatus</i>	Geknikte vossenstaart; vochtig weiland

Fig. 3. Soortenrijkdom (y-as, soorten m^{-2}) in relatie tot de beschikbare hoeveelheid P, gemeten als P-Olsen (x-as, mg P kg^{-1}) voor 11 locaties. De op de locaties voorkomende soorten staan in het overzicht; naar: Gilbert, [2000].

In mesotrofe graslanden vonden McCrea et al., [2001a] dat de hoogste soortenrijkdom voorkwam bij lage P-gehalten van < 70 mg extraheerbaar P kg⁻¹ (Truog's extractie). Deze waarden komen goed overeen met wat Janssen et al., [1998] vonden. Zij gaven een overzicht van fosfaatgehalte en soortenrijkdom in graslanden van meerdere landen in Europa. Uit hun analyse concludeerden zij dat als de bodem een P-gehalte van 40 mg P kg⁻¹ (NH₄Ac-EDTA extractie) bezit, de hoogste diversiteit wordt gehaald. Volgens tabel 1 komt deze waarde van 40 overeen met ca. 13 mg Olsen P kg⁻¹. Tallowin & Jefferson, [1999] concludeerden uit dezelfde dataset dat de hoogste soortenrijkdom bij 30 mg P kg⁻¹ (NH₄Ac-EDTA extractie), overeenkomen met ca 11 mg Olsen P kg⁻¹. Hierbij moet echter worden opgemerkt dat de hoogste diversiteit gekoppeld was aan een specifieke locatie, op andere locaties werd de hoogste diversiteit bereikt bij lagere gehalten aan extraheerbaar P.

Geerts & Oomes, [2000] vermelden gehalten aan P-extraheerbaar volgens de P-AI methode in het Wageningse Binnenveld. De metingen werden uitgevoerd in de periode 1940-1960, toen blauwgraslanden daar veel voorkwamen. Het gehalte was destijds gemiddeld 10 (7--13) mg P₂O₅ per 100 g grond, wat als zeer laag wordt geclassificeerd. Percelen die in landbouwkundig gebruik waren geweest en vanaf 1977 werden verschaald gaven een afname te zien van 49 naar 19 mg, en waren dus na ruim 20 jaar nog niet op het oude niveau.

Door Roelofs et al., [1993] werden gedurende de periode 1990-1993 in heide en schraalgraslanden te Breklenkamp gehalten gemeten van onder meer NH₄⁺ en P in waterextracten van de bodem. In tabel 2 is voor een drietal vegetaties het gemiddelde gehalte van beide ionen opgenomen. Een hoog gehalte aan NH₄⁺ in een waterextract wijst op natte omstandigheden waar de omzetting naar nitraat is geremd, en de beschikbaarheid van P kan toenemen doordat ijzer gereduceerd wordt en het hieraan gebonden P in oplossing gaat. De gemeten gehalten aan waterextraheerbaar P zijn zeer laag, omgerekend variëren deze van 0.015 tot 0.6 mg kg⁻¹ grond. De gebruikte methode: 70 g veldvochtige grond 1 uur schudden met 200 ml dubbel gedistilleerd water gevolgd door afcentrifugeren bij 10.000 g (Roelofs, pers. med.), zal ertoe bijdragen dat veel lagere waarden gemeten werden voor waterextraheerbaar-P dan volgens de in de landbouw gebruikelijke Pw-methode. Bij deze methode wordt gewerkt met licht centrifugeren; deze drie factoren zorgen voor een hoger gemeten gehalte aan extraheerbaar P (zie ook tabel 1).

Tabel 2. Soortensamenstelling en waterextraheerbaar NH₄⁺ en P (μMol kg⁻¹ droge grond) in de bodem te Breklenkamp in 1990-1993 (naar: [Roelofs et al., 1993, fig. 4]).

Soorten	Vegetatie	NH ₄ ⁺	P
Pedicularis sylvatica (Heidekartebblad) Valeriana dioica (Kleine valeriaan) Succisa pratensis (Blauwe knoop) Dactylorhiza maculata (Gevlekte orchis)	Kleine zeggen en Biezenkoppen- pijpestrootje	50 - 90	5 - 7
Carex spp. (Gewone zegge)		190	14
Erica tetralix (Dopheide) Calluna vulgaris (Struikheide) Molinia caerulea (Pijpestrootje)	heide	150	20

Vergelijkbare metingen werden uitgevoerd in Punthuizen; ook hier werden verschillen gevonden in de soortensamenstelling en gehalten aan waterextraheerbaar NH₄⁺ en P (zie tabel 3), de hoogste gehalten aan P vielen ook hier samen met hoge gehalten aan NH₄⁺.

Tabel 3. Soortensamenstelling en waterextraheerbaar NH_4^+ en P ($\mu\text{Mol kg}^{-1}$ droge grond) in de bodem te Punthuizen in 1990-1993 (naar: [Roelofs et al., 1993, fig. 5]).

Soorten	Vegetatie	NH_4^+	P
Lysimachia vulgaris (Wederik)	schraalgrasland	89	2
Gentiana pneumonanthe (Klokjesgentiaan)	schraalgrasland	29	7
Cirsium dissectum (Spaanse ruiter)	schraalgrasland	25 - 37	2
Pedicularis sylvatica (Heidekartelblad)			
Gentiana pneumonanthe (Klokjesgentiaan)			
Parnassia palustris (Parnassia)			
Cirsium dissectum (Spaanse ruiter)	schraalgrasland	80	2
Gentiana pneumonanthe (Klokjesgentiaan)	natte heide	32	10
Gentiana pneumonanthe (Klokjesgentiaan)			
Calluna vulgaris (Struikheide)	natte heide	109	9
Calluna vulgaris (Struikheide)			
Molinia caerulea (Pijpestrootje)			
Erica tetralix (Dopheide)	natte heide	308	26
Erica tetralix (Dopheide)			
Calluna vulgaris (Struikheide)			
Molinia caerulea (Pijpestrootje)	droge heide	366	29
Erica tetralix (Dopheide)			

Omzetting van voor de landbouw geschikt gemaakte graslanden betekent dat sterk competitieve soorten als Engels raaigras (*Lolium perenne*) en Witte klaver (*Trifolium repens*) vervangen moeten worden door de doelsoorten [Chambers et al., 1999]. Engels raaigras komt voor bij hoge gehalten aan K, Witte klaver komt juist voor bij lagere N, en hoge P-gehalten zoals het geval is bij meer N-bindende soorten [Gilbert, 2000]. Andere studies van Gough & Marrs, [1990b]; Chambers, [1997]; McKenzie & Peel, [1997]; Pywell et al., [1999] bevestigen deze hypothese. Om de dominantie van stikstofbindende planten te reduceren is dus waarschijnlijk een verlaging van het P-gehalte of een verhoging van het N-gehalte van de bodem noodzakelijk.

3.4.3 Vegetatie en P-limitatie

Naast de relatie tussen lage P-gehalten en soortenrijkdom of het voorkomen van vegetatietypen is er ook een relatie gevonden tussen P-limitatie en vegetatietypen. Onder P-limitatie wordt verstaan dat de vegetatie door P beperkt wordt in de actuele groei. Toevoeging van P aan de bodem zal dan een toename in de biomassa van de vegetatie tot gevolg hebben. Soortenrijkdom is gerelateerd aan een lage biomassa-productie en een lage nutriëntenrijkdom. Een efficiënte methode om een lage biomassa-productie te bereiken is om het minst beschikbare nutriënt nog verder te verlagen zodat het limiterend wordt. Studie naar limitatie in relatie tot de vegetatie is daarbij noodzakelijk. P-gelimiteerde vegetaties zijn aangepast aan omstandigheden waarbij P in lage hoeveelheden beschikbaar komt. Limitatie door P is gecorreleerd aan een complex van factoren [Van Duren & Pegtel, 2000].

Het bestuderen van limitatie kan gebeuren in het veld of in het laboratorium. De groei van vegetatie wordt bestudeerd zonder toevoeging van N, P of K (controle), na toevoeging van NPK, NP, NK of PK. Een probleem van veldstudie kan zijn dat beheerders vaak niet toestaan om meststoffen toe te voegen in het veld [Van Duren & Pegtel, 2000]. In dat geval kunnen ook monsters van de zode in het laboratorium worden blootgesteld aan voedingsoplossingen volgens het bovengenoemde schema [Olf & Pegtel, 1994].

Een ander probleem bij veldstudies is dat het toevoegen van P aan een bodem niet noodzakelijk leidt tot een verhoogde beschikbaarheid van P. Wanneer een grond P sterk vastlegt, wat leidt tot een lage beschikbaarheid, dan wordt het toegediende P ook vastgelegd en de beschikbaarheid voor de vegetatie niet of nauwelijks verhoogd. De groei wordt hierdoor niet gestimuleerd, en er kan ten onrechte worden geconcludeerd dat P niet limiterend is [Olf & Pegtel, 1994]. Bij N en K, die veel minder sterk worden vastgelegd aan de bodem, treedt dit effect veel minder op zodat groeilimitatie door deze elementen gemakkelijker aantoonbaar is. Eerder werd opgemerkt dat een hoge beschikbaarheid van P de groei van N-bindende planten stimuleert en daardoor N-limitatie tegengaat. Omgekeerd geeft een lage beschikbaarheid van P dus een grotere kans op N-limitatie. Concluderend: het niet aantoonbaar zijn van P-limitatie wil niet zeggen dat deze niet bestaat, en N-limitatie kan het gevolg zijn van een lage beschikbaarheid van P voor stikstofbindende soorten.

In beekdalgraslanden van de Drentse Aa, waarbij gestopt is met bemesten en het maaien en afvoeren nog steeds plaatsvindt, zijn nutriënten limiterend voor de groei [Olf & Pegtel, 1994]. De limitatie hangt af van de tijdsduur dat de graslanden niet meer bemest zijn. Graslanden waarin het bemesten recentelijk (2 jaar geleden) gestopt is, zijn zowel N als P gelimiteerd. Na verloop van tijd worden meer plaatsen P-gelimiteerd (6 en 19 jaar). In grasland wat het langst niet meer wordt bemest, blijken zowel N, P als K limiterend (45 jaar).

Behalve uit bemestingsexperimenten kan ook door gewasanalyses een indruk worden verkregen van limiterende nutriënten. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat voor gewasmateriaal er een optimale verhouding bestaat van de verhouding tussen N, P en K. Pegtel et al., [1996] geven kritische waarden voor de K/P, N/P, en N/K ratio in gewasmateriaal waaruit kan worden herleid welke nutriënten limiterend zijn voor de productiviteit:

- K-limitatie: $N/K > 1,2$
 $K/P < 8,6$
- N-limitatie: $N/P < 14$
- P-limitatie: $N/P > 16$

In blauwgraslanden (*Cirsio dissecti* - *Molinietum*) in de Gagelpolder (Nederland) werd door Van den Broek, [1998] op verdroogde plekken een hogere biomassa, en een lagere N:P-ratio van de vegetatie gevonden dan op de niet verdroogde plaatsen (zie tabel 4). Deze ratio geeft aan dat op de verdroogde plekken de groei door N, en op het blauwgrasland de groei door P wordt gelimiteerd.

Tabel 4. Relatie tussen soortensamenstelling, biomassa en N:P-ratio van de vegetatie (uit: [Van den Broek, 1998]).

Soorten	Vegetatie	Biomassa (g m ⁻²)	N:P ratio vegetatie
Holcus lanatus (Gestreepte witbol) Plantago lanceolata (Smalle weegbree) Ranunculus acris (Scherpe boterbloem) Rumex acetosa (Veldzuring)	verdroogd grasland	289-371	10-13
Carex panicea (Blauwe zegge) Juncus conglomeratus (Biezenknoppen) Succisa pratensis (Blauwe knoop)	blauwgrasland	136-212	16-20

3.4.4 Vegetatie en nutriëntenverhouding in de biomassa

Kemmers et al., [2001] onderzochten in 39 locaties in schraalgraslanden de nutriëntengehalten en biomassaproductie. Op basis van nutriëntratio's in het gewas volgens Pegtel et al., [1996] en Koerselman en Meuleman, [1996] werden van deze dataset limiterende factoren bepaald. Figuren 4a en 4b geven een overzicht van gemeten N-, P- en K-gehalten in het gewas en de daaruit afgeleide beperkingen. Uit figuur 4b blijkt dat alle P-beperkte standplaatsen ($N/P > 16$) tevens K-beperkt zijn ($N/K > 1,2$). De standplaatsen met $14 < N/P < 16$ blijken allemaal K-beperkt te zijn ($N/K > 1,2$). De standplaatsen met N-beperking ($N/P < 14$) blijken voor een belangrijk deel tevens K-beperkt te zijn ($N/K > 1,2$). Slechts een gering aantal standplaatsen heeft uitsluitend een N-beperking. Het algemene beeld is dat er slechts in enkele gevallen sprake van is dat één nutriënt beperkend is. Er is meestal sprake van co-limitatie, waarbij een grote groep N+K en een grote groep P+K-gelimiteerde standplaatsen is te onderscheiden.

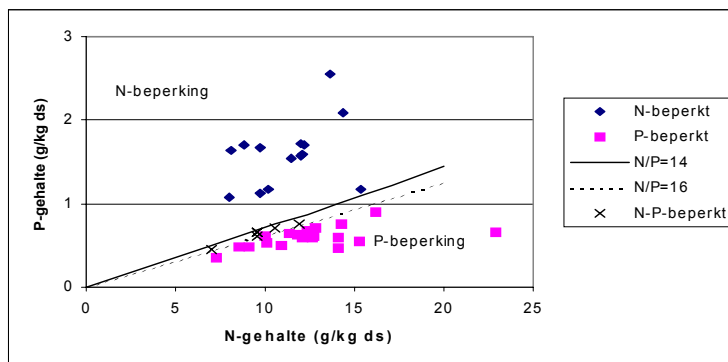


Fig. 4a. Nutriëntgehaltenes (N, P) en daaruit afgeleide limiterende factoren in graslandvegetaties (uit: [Kemmers et al., 2001]).

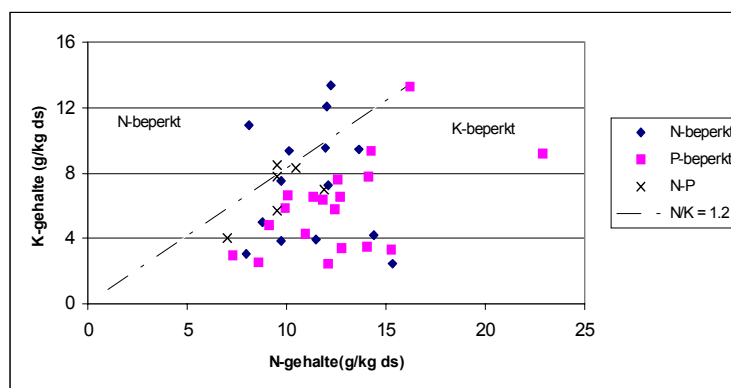


Fig. 4b. Nutriëntgehaltenes (N, K) en daaruit afgeleide limiterende factoren in graslandvegetaties (uit: [Kemmers et al., 2001]).

3.5 Effect van inrichtings- en beheersmaatregelen op de P-beschikbaarheid

Door bemesting in het verleden bevatten landbouwgronden grote hoeveelheden fosfaat. Van de toegevoegde meststoffen (N, P en K) accumuleert P het sterkst in de bodem: P wordt van de drie nutriënten het minst opgenomen, heeft een lage oplosbaarheid, wordt sterk gebonden aan bodemdeeltjes en spoelt nauwelijks uit naar het grondwater. Zoals eerder genoemd wordt in graslanden de hoogste soortendiversiteit en de laagste biomassa gevonden bij lage P-gehalten. De soortensamenstelling hangt echter af van het nutriënt dat beperkend is [Braakhekke & Hooftman

1999]. Naarmate meer bodemfactoren limiterend zijn zou de soortenrijkdom in het optimum hoger kunnen zijn. Voor het herstel van soortenrijkdom na het stopzetten van bemesting is het niet voldoende om alleen de biomassa te verlagen door verschrallend beheer maar moet er ook voor worden gezorgd dat de verhouding tussen de nutriënten wordt hersteld.

Herstel- en inrichtingsmaatregelen kunnen bijdragen aan een succesvolle natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden [Verhagen & van Diggelen 2001]. Dit geldt vooral voor maatregelen die kunnen resulteren in de groeiomstandigheden die vereist zijn voor de doelvegetatie. Naast inrichtingsmaatregelen worden ook beheersmaatregelen toegepast. Voorbeelden van inrichtingsmaatregelen zijn afgraven, plaggen, ontgronden en diepploegen. Voorbeelden van beheersmaatregelen zijn maaien met afvoeren en begrazen. De overeenkomst tussen beide soorten maatregelen is dat zij verschralling of nutriëntverlaging tot gevolg hebben. Het effect van de diverse maatregelen op het verlagen van de P-beschikbaarheid wordt hieronder beschreven.

3.5.1 Afgraven/plaggen/ontgronden (zie bijlage A, B, C: vraag 8)

Bij het omzetten van landbouwgrond voor natuurontwikkeling wordt voor het verwijderen van een nutriëntenrijke bodemlaag vaak gekozen voor het verwijderen van de gehele voormalige bouwvoor. Deze heeft veelal een dikte variërend van 20 tot 40 cm. Is er niet duidelijk sprake van een bouwvoor, zoals in veengebieden, dan zou eventueel kunnen worden volstaan met het verwijderen van 5 tot 10 cm bodem ("afplaggen", zoals voorheen bij heideterrein werd uitgevoerd). Aan de geraadpleegde deskundigen werd de vraag voorgelegd of men het ermee eens is dat "afgraven van de bouwvoor de beste methode is om fosfaat uit de bodem te verwijderen en dat in veengebieden afplaggen een goede maatregel is. Een overweging hierbij is dat uitmijnen (zie onder) niet op korte termijn tot een gewenst resultaat leidt".

Als reactie werden de volgende opmerkingen gemaakt:

- Het moet vooraf duidelijk zijn dat P na verwijderen het beperkende nutriënt zal zijn, anders wordt het zonder noodzaak verwijderd.
- Het moet bij afgraven vaststaan dat al het teveel aan fosfaat wordt verwijderd, dus de nieuwe toplaag moet voldoende arm zijn (erg lage beschikbaarheid van P) om te voorkomen dat zich ondanks de kostbare operatie van afgraven toch nog een ruige vegetatie ontwikkelt.
- Getwijfeld wordt aan de tijdwinst van afgraven ten opzichte van uitmijnen. Doordat zowel afgraven als plaggen de zaadbank aantast, verstoort dit de natuurlijke successie: deze wordt op 'nul' gezet. Het vraagt minstens een zo lange periode als uitmijnen voordat vanuit een afgegraven situatie een doeltype zich heeft hersteld.
- Afgraven kan ook leiden tot verlies van zaadbank en tot aantasting van de bodemstructuur.
- Het effect van het ontbreken van zaden in de bodem wordt onderschat.
- Het verlies van de zaadbank wordt door anderen gerelativeerd omdat in veel gevallen nauwelijks interessante zaden worden aangetroffen in de te verwijderen bouwvoor, maar vooral van ongewenste storingssoorten. Uiteraard moeten gewenste soorten van oorsprong aanwezig zijn geweest, een lange tijd in de bodem hebben kunnen overleven, en niet tussentijds hebben kunnen kiemen waardoor de voorraad uitgeput is geraakt.
- Gebrek aan financiële middelen die voor afgraven nodig zijn kan ook de keus bepalen voor een tragere maar kansrijke optie; dit opportunisme is niet verkeerd.
- Het ontwikkelen van een (eco)systeem kost tijd, die moet het ook krijgen.
- Omdat nalevering van P langdurig kan zijn is afgraven van de bouwvoor vaak nodig. Het is alleen de vraag of dit werkt voor veenbodems. In veenbodems zit veel P in diverse organische fracties gebonden, wat zal leiden tot lange nalevering waardoor afplaggen onvoldoende kan zijn. Dit is zeker het geval als het vernattingswater ongeschikt is: te hard of sulfaatrijk. Afgraven is in veengebieden echter meestal geen optie, omdat veel van de natuurwaarden juist in de karakteristieken van het veenpakket zitten.

- Afgraven kan niet altijd zomaar, als rekening wordt gehouden met andere abiotische omstandigheden, bijvoorbeeld de gewenste grondwaterstand; voor bepaalde natuurdoeltypen moet deze voldoende diep kunnen worden.
- Plaggen zou ook op minerale bodems functioneel kunnen zijn, bijvoorbeeld op (permanent) grasland waar P zich sterk kan ophopen in de bovenste 10 cm van de bodem.
- Er zijn vele factoren die het uiteindelijke succes bepalen, ondanks een verlaging van het P-gehalte: dispersie van zaden, N-gehalte, zuurgraad, sulfaatgehalte, I/R-ratio en ook een goed beheer als maaien en grazen en waterpeilbeheer. Mede hierdoor leidt het verwijderen van P niet automatisch tot succes.
- Zolang er geen gevaar bestaat voor uit/afspoeling naar het oppervlaktewater, zou je bijv. ook tevreden kunnen zijn met een minder veeleisend natuurdoeltype.

Samenvattend: Als belangrijkste bezwaar van afgraven wordt door sommigen gezien het grote risico op het verlies van de zaadbank. Anderen achten de kans echter zeer gering dat de bodem nog waardevol zaadmateriaal bevat. Wanneer de gewenste vegetatie op korte afstand van het terrein nog voorkomt dan kan van hieruit verspreiding optreden, maar anders zou inzaai of verspreiding van maaisel (zie par. 3.5.8) voor vestiging van de doelvegetatie moeten zorgen.

Op veengronden wordt afgraven unaniem afgewezen, doordat mineralisatie zal doorgaan en omdat veel van de natuurwaarden juist in de karakteristieken van het veenpakket zitten.

Bodemanalyse lijkt noodzakelijk bij afgraven, om te voorkomen dat te fosfaatrijke lagen achterblijven. Dit heeft echter pas zin wanneer overeenstemming bestaat over wat voor het betreffende natuurdoeltype als een 'gewenste beschikbaarheid' van P wordt gezien.

De kosten van afgraven zijn hoog; wanneer de benodigde financiële middelen ontbreken zal voor een andere oplossing moeten worden gekozen om P te verwijderen of te immobiliseren, of voor een ander natuurdoeltype. Een andere oplossing moet ook worden gezocht wanneer na afgraven bij de verkregen maaiveldhoogte niet het gewenste grondwaterstandregime kan worden ingesteld.

3.5.2 *Grondbewerking*

Het door diepploegen verplaatsen van P en andere nutriënten naar grotere diepte, met als doel deze voor de plant onbereikbaar te maken, is in het natuurbeheer waarschijnlijk nauwelijks toegepast. Door het Gelders Landschap is het toegepast op terrein Vuursteenbergh (71 ha) tussen Wezep en Hattem en in Mariënborn (755 ha) bij Arnhem. Het wordt gezien als een gangbare maatregel om de bodem te verarmen die ook wordt toegepast in de bollenstreek. Tot 1 m wordt de bodem gekeerd, en er zijn goede resultaten mee bereikt in Mariënborn waar de heide terugkwam. Bij toepassing wordt gewaarschuwd voor verstoring van het bodemarchief/bodemopbouw, dus zou alleen mogen plaatsvinden op zandgronden waarvan vaststaat dat er geen bewoning en/of historisch landgebruik is geweest. Als nevenvoordeel wordt genoemd dat zaden van ruigte-soorten niet meer tot ontwikkeling kunnen komen.

In Engeland wordt getwijfeld aan de duurzaamheid van diepploegen: dieper wortelende soorten kunnen het P toch nog bereiken en geleidelijk weer naar boven verplaatsen en dit zou ook kunnen gebeuren door menging van de bodem door macrofauna (citaat in Gilbert [2000], p. 4). Niet duidelijk is echter of in Engeland sprake was van dezelfde bewerkingsdiepte als in Gelderland.

Een lichte mate van grondbewerking, het verkruimelen en mengen van de bovenste 5 tot 10 cm van de grond door te frezen, wordt wel toegepast op vergraste heide [Britton et al., 2000]. Dit heeft echter meer tot doel de versturende graszode kapot te maken dan het verplaatsen van nutriënten, zoals P.

3.5.3 *Braakleggen*

Over het braakleggen van een grond als inrichtingsmaatregel is weinig bekend. Wanneer begroeiing afwezig is dan wordt de bodem aan de zon blootgesteld, wat de afbraak van organische stof bevordert en het gehalte aan extraheerbaar P zal doen toenemen. Het vrijkomende P zal worden vastgelegd, de vrijkomende N zal door uitspoeling verdwijnen [Meissner et al., 1999].

Doordat geen gewas of vegetatie wordt afgevoerd zal deze optie voor P waarschijnlijk niet interessant zijn.

3.5.4 *Uitmijnen (zie bijlage A,B,C: vraag 8)*

Onder uitmijnen van een grond wordt in deze studie verstaan: het verwijderen van een nutriënt uit de bodem door het oogsten en afvoeren van een gewas, waarbij er voor wordt gezorgd dat de overige nutriënten in voldoende mate beschikbaar zijn. Dit laatste zorgt voor een maximale opbrengst, waardoor het uitmijnen wordt geoptimaliseerd. Uitmijnen onderscheidt zich van de beheersmaatregel: maaien en afvoeren, waarbij meestal geen bemesting wordt toegepast. De drogestof opbrengst zal hierdoor geleidelijk aan teruglopen omdat met name de beschikbaarheid van N en K relatief snel zullen afnemen. Hierdoor zal de beschikbaarheid van P minder snel dalen dan wanneer de onttrokken hoeveelheden N en K worden aangevuld.

Bij het voorleggen aan onderzoekers en beheerders van de uitspraak: "uitmijnen leidt op korte termijn niet tot het gewenste resultaat" werd helaas geen toelichting gegeven op de betekenis van de term, wat de reacties kan hebben beïnvloed. Het aantal reacties op de uitspraak over uitmijnen is gering, vermoedelijk omdat er in de praktijk vrijwel geen ervaring mee is opgedaan. In Overijssel (bij Stroothuizen) zouden goede resultaten zijn bereikt door na beëindiging van het intensieve landbouwkundig gebruik nog een aantal jaren maïs te telen; details hierover zijn echter op dit moment niet bekend.

Door Marrs et al., [1998] werd gedurende 7 jaar 158 ha bouwland bemest met K en N en een vruchtwisseling toegepast van rogge, lijnzaad en gerst. Er vond geen bijbemesting plaats met P, waardoor P werd uitgemijnd. De gemeten gehalten aan P fluctueerden sterk gedurende de periode, en er waren geen aanwijzingen voor een afname. De gehalten lagen bij aanvang echter al in het traject dat wordt aangegeven als geschikt voor het handhaven van een half-natuurlijke vegetatie ($< 20 \text{ mg kg}^{-1}$ bij Truog-extractie). McCrea et al. [2001b] onderzochten 4 gewassen (gerst, aardappel, maïs en tabak) op hun capaciteit om extraheerbaar P te verlagen van een voormalig permanent grasland. Door de grondbewerking steeg extraheerbaar P (Truog-methode) van 20 naar 27 mg kg^{-1} . Dit kan waarschijnlijk worden toegeschreven aan het mineraliseren van grasresten. Gerst en maïs bleken van de 4 onderzochte gewassen het best in staat om het P-gehalte van de bodem te verlagen.

In het volgende rekenvoorbeeld wordt een schatting gemaakt van de voorraad aan P die, door versralen of uitmijnen, aan de bodem zou moeten worden onttrokken om tot een aanvaardbaar gehalte aan P te komen. Zie tabel 1 voor de begrippen 'optimaal' en 'zeer laag'.

- Een bouwvoor van 30 cm bevat per hectare ca. $3 \cdot 10^6 \text{ L} = 4 \cdot 10^6 \text{ kg}$ grond.
- Een gehalte aan P-AI van 150 mg kg^{-1} is landbouwkundig gezien 'optimaal', dit komt overeen met 600 kg P ha^{-1} .
- Als dit gehalte moet worden teruggebracht naar < 80 ('zeer laag'), wat overeenkomt met 320 kg ha^{-1} , dan moet dus worden afgevoerd: $600 - 320 = 280 \text{ kg P ha}^{-1}$.
- Bij een begin P-AI van 300 mg kg^{-1} moet worden afgevoerd: $1200 - 320 = 880 \text{ kg P ha}^{-1}$.

Via de teelt van gras kan met hooien ca. $40 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ worden afgevoerd (gegevens Proefstation Veehouderij te Lelystad); dit is gebaseerd op een opbrengst aan droge stof van $10 \text{ ton ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ met een P-gehalte van 0.4 %. Overige bouwplannen in de akkerbouw geven een netto afvoer van ca. $25 \text{ P ha}^{-1} \text{ jaar}^{-1}$ [Schröder & Corré, 2000, p. 121]. Volgens dit rekenvoorbeeld zou het herstel van een grond met een landbouwkundig gezien optimaal P-gehalte via een maaieregime van gras ca. 7 jaar duren, en bij een akkerbouwplan ca. 11 jaar. Bij deze berekening is echter geen rekening gehouden met een eventuele opbrengstdaling of met een daling van het P-gehalte van het gewas in de loop van de tijd. Ook is niet gerekend met nalevering van de P-AI voorraad vanuit de stabiele pool (waardoor uitmijnen langer duurt), of met het overgaan van P vanuit de

labiele pool naar de stabiele pool (waardoor het uitmijnen korter duurt). In hoeverre één van genoemde mechanismen optreedt zal afhangen van lokale omstandigheden, waarbij met name de bemestingsgeschiedenis een belangrijke rol zal spelen.

In een potexperiment werd in een kas gedurende 32 maanden een fosfaatrijke grond uitgemijnd door het telen en intensief oogsten van gras [Koopmans et al., 2000]. De beschikbaarheid van N, K en sporenelementen werd via bemesting op peil gehouden. Bij aanvang van het experiment was de Pw van de grond ca. 25 mg kg⁻¹, wat als hoog wordt gezien. Na 32 maanden was deze gedaald tot 3.8 wanneer het gras groeide op een laag van 5 cm van de P-rijke grond, en tot 6.9 bij een 10 cm dikke laag. De beschikbaarheid van P was hierdoor in ruim 2 jaar gedaald van de categorie ruim voldoende tot de categorie zeer laag (5 cm laag; 10 cm categorie laag), het gehalte dat kan worden gezien als noodzakelijk voor een soortenrijke vegetatie. De totale afvoer van P bedroeg ca. 500 mg P per pot van 2.5 dm², gedurende 32 maanden, wat overeenkomt met 75 kg P ha⁻¹ jaar⁻¹ voor de 5 cm laag; voor de 10 cm laag was de afvoer ca 110 kg ha⁻¹ jaar⁻¹. Hieruit volgt dat bij een intensieve teelt en een hoog gehalte aan beschikbaar P er een grote afvoer van P mogelijk is. Op dit moment wordt onderzocht of de beschikbaarheid van P in de bodem weer stijgt na het beëindigen van de potproef, door nalevering vanuit de stabiele pool van P.

In vergelijking met bovengenoemde waarden voor de afvoer van P is die vanuit niet bemeste terreinen gering: de drogestof opbrengst daalt tot ca. 3 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ of minder, en het P-gehalte tot minder dan 0.15 %, wat overeenkomt met een afvoer beneden de 4.5 kg ha⁻¹ jaar⁻¹ [Tallowin & Jefferson, 1999].

Van der Woude et al., [1994] deden onderzoek naar de productiviteit van een voormalige heide. Het heideveld werd in 1950 omgezet in grasland maar in 1972 werd weer gestopt met landbouwkundig gebruik. Een hooiland werd verschraald, een ander hooiland werd jaarlijks met 50 kg N bemest ter versnelling van het proces van verschrallen. Na 17 jaar was de meeropbrengst van het bemeste veld weer teniet gedaan en gelijk geworden aan die van het niet bemeste veld. Na die periode werden geen verschillen meer gevonden in de bodemchemische variabelen tussen het bemeste en het controleveld. Bemesting met N leidde tot een versnelde uitputting van K: waarschijnlijk is K-uitputting verantwoordelijk voor de limitatie van de productiviteit; in de onbemeste controle bleek vooral N limiterend te zijn.

Samenvattend: over de mogelijkheden van verlagen van de beschikbaarheid van P door uitmijnen is in de praktijk nog weinig bekend. De benodigde tijdsduur hangt sterk af van de begintoestand van de bodem en van het toegepaste gewas. Beide aspecten dienen nader te worden onderzocht.

3.5.5 *Maaien met afvoeren*

Door een beheer van maaien en afvoeren worden de nutriënten die aanwezig zijn in de bovengrondse biomassa verwijderd. Om verschraling te krijgen is het noodzakelijk dat de afgevoerde biomassa meer nutriënten bevat dan de jaarlijkse invoer van nutriënten door bijvoorbeeld atmosferische depositie. Zo kan maaien en afvoeren een maatregel zijn om de bodem te verschrallen.

Maaien en biomassaproductie

Na het uit productie nemen van een intensief bemest grasland op zandgrond, in combinatie met een beheer van twee maal per jaar maaien, vond Oomes, [1990] een afname van de biomassaproductie van 11-12 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ naar 4-5 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ binnen acht jaar. De afname op zandgronden van de biomassaproductie bleek duidelijk in een kortere tijd te bereiken dan op een voedselrijkere grond. Op een droge zware, venige kleigrond in gebruik als grasland nam na 10 jaar, bij jaarlijks tweemaal maaien, de biomassaproductie af tot 6.8 ton ha⁻¹ en vervolgens na in totaal 18 jaar tot 4 ton ha⁻¹ [Oomes et al., 1998]. Op een blauwgraslandreservaat in het Wage-

ningse Binnenveld, de Bennekomse Meent, werd gedurende lange tijd jaarlijks gemaaid en afgevoerd. Dit leidde tot een productie van ca. 3.2 ton ha⁻¹, met een P-gehalte van 0.07%, wat volgens Geerts en Oomes, [2000] te laag kan zijn voor het te handhaven blauwgrasland. Gegevens over de periode 1888-1941 geven aan dat in die periode een gehalte van 0.2% P werd gevonden in het blauwgrasland. Omdat ook het K-gehalte van het gras door het verschrallen veel lager ligt dan vroeger wordt door Geerts en Oomes, [2000] geconcludeerd dat langdurig verschrallen tot te lage gehalten van nutriënten kan leiden, en mogelijk zelfs bijmesting noodzakelijk kan maken. Oomes, [1990] geeft aan dat een biomassaproductie van 4-6 ton ha⁻¹ gezien kan worden als een streefwaarde bij het herstel van voormalig bemest grasland, omdat bij deze productie de hoogste soortendichtheid werd gevonden bij een inventariserend onderzoek.

Maaien en soortensamenstelling

Maaien en afvoeren heeft een duidelijk effect op de nutriëntenverhoudingen in de bodem en daarmee op de samenstelling van de vegetatie [Braakhekke & Hooftman, 1999]. Door maaien wordt de bovengrondse biomassa verwijderd, en worden nutriënten afgevoerd in hoeveelheden die mede bepaald worden door het transport naar bovengrondse delen. Uit graslandstudies is gebleken dat er relatief meer N en K dan P wordt vastgelegd in de bovengrondse biomassa [Olf en Pegtel, 1994]. Door maaien en afvoeren treedt hierdoor eerder N- en K-limitatie op dan P-limitatie. Pegtel et al., [1996] onderzochten hooilanden in Drenthe. N-limitatie werd gevonden op percelen die 3 jaar uit productie waren, K-limitatie trad op na 7 jaar, en P-limitatie pas nadat de percelen 25 jaar uit productie waren. Olf en Pegtel, [1994] onderzochten beekdalgraslanden van de Drentse Aa, waar gestopt is met bemesten en maaien en afvoeren nog steeds plaats vindt. Groeilimitatie bleek af te hangen van de tijdsduur dat de graslanden niet meer bemest worden. Graslanden waarin het bemesten recentelijk (2 jaar geleden) gestopt is zijn zowel N als P gelimiteerd; percelen die 6 of 19 jaar niet bemest waren bleken vooral P gelimiteerd, en het grasland dat het langst niet was bemest (45 jaar) was zowel door N, P als K gelimiteerd.

Wanneer de verhouding N:P:K in de bodem teveel gaat afwijken van de behoefte van de vegetatie dan is dit ongunstig voor de soortenrijkdom. Een te lage beschikbaarheid van K kan hierdoor leiden tot een lagere soortenrijkdom [McCrea et al., 2001a]. De hoogste biodiversiteit in graslanden wordt gevonden wanneer het aanbod van de verschillende nutriënten zoals kalium, fosfor en stikstof op een gemiddeld niveau ligt [Braakhekke & Hooftman, 1999].

3.5.6 *Begrazen*

In een aantal graslanden in Rusland is een effect gemeten van begrazingsdruk op de verdeling van bovengrondse en ondergrondse biomassa [Titlyanova et al., 1999]. Bij toename van de begrazing nam de bovengrondse biomassa af van 1,55 ton ha⁻¹ zonder begrazing tot 0.22 ton ha⁻¹ bij sterke begrazing. De verhouding ondergrondse biomassa ten opzichte van de bovengrondse biomassa nam toe bij toename van begrazingsdruk: 6,4 in de onbegrasde situatie en 23,5 in de sterk begrasde situatie. In hetzelfde onderzoek werd vastgesteld dat bij toename van de begrazing de soorten *Stipa krylovii* en *Carex pediformis*, *Carex duriuscula* en *Caragana pygmaea* sterk toenamen, *Festuca valesiaca* nam licht af en *Helictotrichon desertorum* verdween.

Over het algemeen is de afvoer van nutriënten door begrazing gering, zeker wanneer dit gebeurt door dieren die het grootste deel van jaar op hetzelfde terrein blijven. Een verplaatsing binnen het terrein vindt echter wel plaats doordat nutriënten geconcentreerd worden op de plaats van mest- of urineplekken. Het aandeel van het totaal dat via feces wordt uitgescheiden is voor N 20-55 %, voor P 95 % en voor K 10-30 % [Whitehead, 2000] Lokaal kan hierdoor sterke inspoeling van N en K optreden, wat tot verlies via uitspoeling kan leiden, en dus tot verschralling; ook vanuit mest- en urineplekken kan N verdwijnen, door vervluchtiging van NH₃ of door denitrificatie [Bokdam & Piek, 1998].

Begrazen kan echter ook tot een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten leiden, doordat de vertering van feces hoger kan zijn dan van de bij begrazen geconsumeerde plantenmateriaal [Marrs et al., citaat in Verhagen & Van Diggelen 2001].

3.5.7 Peilverhogen (zie bijlage A,B,C: vraag 9, 17)

Bij het in gebruik nemen van voormalig natuurterrein zoals veengronden was het gebruikelijk om ter wille van de toegankelijkheid een peilverlaging toe te passen. Ook de intensivering van de landbouw gaat dikwijls gepaard met peilverlaging, omdat steeds zwaardere landbouwmachines worden gebruikt en de agrariër steeds vroeger in het jaar werkzaamheden wil kunnen uitvoeren. Deze peilverlaging heeft vaak desastreuze gevolgen gehad voor nabijgelegen natuurgebieden, waar door verdroging veel waardevolle vegetaties verdwenen. Het is dan ook niet verwonderlijk dat in het geval van omzetting van landbouwgronden in natuurterrein gedacht wordt aan het verhogen van het grondwaterpeil. Aan de deskundigen werd de vraag voorgelegd of men van mening is dat peilverhoging tot een verhoogde beschikbaarheid van fosfaat leidt; voorafgaand literatuuronderzoek wees hierop. De verhoogde beschikbaarheid zou weer kunnen leiden tot rijkere vegetaties

De vraag leidde tot een groot aantal reacties:

- Als eerste werd opgemerkt dat het nieuw ingestelde peil moet komen tot de bewortelde zone, omdat anders een eventuele mobilisatie van P invloed zal hebben op de vegetatie.
- Als verklarend mechanisme wordt genoemd de reductie van Fe^{3+} naar Fe^{2+} . Fosfaat dat gebonden was aan het Fe^{3+} komt hierdoor in oplossing. Het vrijgekomen P kan weer neerslaan als vivianiet ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$), dat echter in vergelijking met aan Fe^{3+} vastgelegd P een vrij hoge oplosbaarheid heeft.
- Het is een misvatting dat kalkhoudend grondwater bij vernatting niet zou leiden tot het vrijkomen van P. Alleen in kalkmoerassen en kalkrijke natuurgebieden met een minerale bodem en een hoge pH kan CaCO_3 (en niet Ca) P binden.
- Het effect van peilverhoging is afhankelijk van de pH, wat de zaak compliceert.
- Een geleidelijke peilverhoging leidt tot minder "fosfaatexplosies" dan een snelle verhoging.
- Bij verdrogen van natte schraalgraslanden komt door mineralisatie veel P vrij, dat in ijzerrijke gebieden gebonden kan worden, maar in gebieden met weinig ijzer veel minder. Vernatting herstelt vroegere standplaatscondities, maar zou wel moeten gebeuren met de juiste waterkwaliteit (Fe rijk, Ca rijk).
- Peilverhoging gaat vaak gepaard met het inlaten van voedselrijk water.
- Vooral sulfaatrijk water heeft dit effect: dit veroorzaakt oxidatie van organisch materiaal, waarbij SO_4^{2-} wordt gereduceerd tot S^{2-} , dat zich bindt aan Fe en daarbij het aan Fe gebonden P vrijmaakt.
- Het effect treedt niet op wanneer het peil in de zomer weer kan zakken; een dergelijk regime is noodzakelijk voor een *Cirsio molinietum* gemeenschap (blauwgrasland). Het mechanisme is waarschijnlijk dat de binding van P aan Fe^{3+} dan weer kan worden hersteld.
- Bij veel landbouwgronden is de beschikbaarheid van P al zo hoog dat vernatting geen effect meer heeft.
- Peilverhoging leidt via denitrificatie dikwijls tot verlaging van de beschikbaarheid van N, wat een gunstige uitwerking kan hebben.
- Er is een zekere terugkoppeling mogelijk doordat peilverhoging de bewortelbare diepte en daarmee de bereikbaarheid van P vermindert, maar dit zal niet voldoende zijn voor bijv. herstel van blauwgrasland.

De laatste reactie, over de terugkoppeling, leidde tot een nieuwe vraag aan onderzoekers: bent u het eens met de stelling: "Peilverhoging kan ook de bewortelbare diepte en daarmee de beschikbaarheid van P verlagen". Dit leidde nauwelijks tot instemmende reacties. Opgemerkt werd dat bepaalde planten (zoals helofyten) geen enkel probleem hebben met wortelen in een natte zone.

Peilverhogen met als doel de beschikbaarheid van P te verlagen werd dan ook niet als een optie gezien.

Beekdalgraslanden met matig voedselrijke vegetatie die gevormd zijn bij en afhankelijk zijn van kwellend grondwater, zijn bij het verdwijnen hiervan mogelijk te herstellen door oppervlaktewater in te laten [Van Diggelen et al., 1994]. Als de toevoer van kwellend grondwater niet kan worden hersteld zou de keuze gemaakt kunnen worden om eutrofe moerassen aan te leggen door inlaat van oppervlaktewater.

Genoemd werd dat peilverhoging door de verhoogde mobiliteit van P het risico vergroot van belasting van het grond- en/of oppervlaktewater, en daarmee van eutrofiëring. Dit verschijnsel werd geconstateerd in een studie van Kalbitz et al., [1999], waarin het herstel van laagveen door vernatting werd beschreven. Op percelen waar de grondwaterstand recent werd verhoogd werden significant hogere P-gehalten in het grondwater gevonden. Door Tallowin (UK, p.m.) werd een afname van totaal P in de bodem geconstateerd na peilverhoging, wat mogelijk (deels) verklaard kan worden door verhoogde uitspoeling.

Samenvattend: Een toename van de beschikbaarheid van P door peilverhoging is waarschijnlijk. Het zal niet optreden bij ijzerrijke kwel, maar versterkt optreden als er voedselrijk water wordt ingelaten. Over een eventueel gunstig effect van een hoge alkaliniteit of een hoog calciumgehalte bestaat onduidelijkheid. Alleen peilverhoging tot nabij de wortelzone kan de vegetatiesamenstelling beïnvloeden. Een wisselend peilbeheer (hoog winter- en laag zomerpeil) kan verruiging tegengaan. Het risico van toename van uitspoeling van P naar grond- en /of oppervlaktewater is duidelijk aanwezig na peilverhoging.

3.5.8 *Combinatie van maatregelen*

Plaggen en maaien met afvoeren

Een combinatie van maatregelen kan een positief effect hebben op de verschraling. In graslanden op zware, venige klei grasland is geplagd tot twee diepten (5 en 10 cm) en zijn enkele graslanden vernat [Oomes et al., 1998] Deze combinatie van maatregelen versnelde de afname in de biomassa-productie. Als er alleen twee maal per jaar werd gemaaid met afvoeren duurde het 18 jaar voordat ongeveer 4 ton ha⁻¹ jaar⁻¹ biomassa-productie werd bereikt. Eenzelfde productie werd in 3 jaar bereikt wanneer gemaaid werd in combinatie met 5 of 10 cm plaggen; dit was niet afhankelijk van het vernattingseffect.

Bemesting, maaien met afvoeren en nabegrazing

Bij hoge giften aan N in graslanden neemt de soortendiversiteit af, en worden Engels raaigras (*Lolium perenne*) en gestreepte witbol (*Holcus Lanatus*) dominant [Mountford et al., 1993]. Door het maaien en begrazen te intensiveren werden de hoog opgroeiende soorten onderdrukt. Veldzuuring (*Rumex acetosa*) en paardebloemsoorten (*Taraxacum* species) namen ook toe na bemesting met N.

Tijdens een acht jaar durend experiment werden meerdere combinaties van bemesten met N, P en K, begrazen, maaien met afvoeren en zaadtoevoeging toegepast [Smith et al., 2000]. De sterkste toename in aantal soorten werd bereikt wanneer de combinatie van najaar en voorjaar begrazing met 21 juli maaien en afvoeren en toevoegen van zaden werd uitgevoerd. De totale biomassa-productie daalde het sterkst bij begrazing in najaar en voorjaar, 14 juni maaien en afvoeren en zonder bemesting.

3.5.9 Andere maatregelen (zie bijlage A,B,C: vraag 10, 18)

Toevoegen van ijzer of kalk

Behalve afgraven, verschralen en uitmijnen zijn er mogelijk andere opties om de beschikbaarheid van P te verlagen. Hiernaar is bij de deskundigen geïnformeerd, wat leidde tot reacties waarbij door sommige het toevoegen van ijzer of kalk aan de bodem is genoemd. In een aanvullende vraag zijn de geraadpleegde onderzoekers gevraagd om een oordeel over deze mogelijke opties of om andere opties te noemen.

De volgende reacties zijn gegeven:

- Beheer van de (grond)waterkwaliteit: niet alleen de (potentiële) P-voorraad is belangrijk, maar met name de mobilisatiesnelheid. De (grond)waterkwaliteit speelt een zeer grote rol bij de mobilisatie van P (zie ook eerder): alkalinisatie zorgt voor P-mobilisatie, evenals wegvallen van Fe-rijke kwel (kan niet met oppervlaktewater gecompenseerd worden).
- Het sturen van de kwaliteit van het bovenste grondwater door in kwelsituaties het regenwater oppervlakkig af te voeren.
- Bevorderen van kalkhoudende kwel in de wortelzone door ondiepe greppels in het gebied (afvoer van regenwater) en dempen van diepe sloten in de omgeving (voorkomen van lateraal wegzuigen van kwel).
- Optimalisatie van uitmijnen, door selectie van gewassen die veel P opnemen.
- Iets minder actief dan uitmijnen is maaibeheer, wat op de lange duur ook vruchten kan afwerpen.
- "Bekalk, dat doet een boer ook om de pH goed te houden". Bij terugkoppeling leverde deze optie echter sterk afwijzende reacties op, met als belangrijkste reden dat het toevoegen van kalk ongewenst is omdat dit kan leiden tot een versterkte afbraak van organisch materiaal en daarmee juist tot het vrijkomen van N en P. Daarnaast zijn er ook natuurdoeltypen die alleen op kalkarme bodem kunnen groeien.
- Maatregelen die gericht zijn op verminderen van oplosbaarheid van P, in plaats van afvoeren van P.
- Fosfaatbindend vermogen verhogen door inbrengen van ijzer of aluminium, metallisch of als zout of (hydr)oxide. Op deze optie werd bij terugkoppeling positief gereageerd, met als kanttekeningen:
 - a. Bij toedienen van Fe als zout kan sterke verzuring van de bodem optreden;
 - b. Fe dient niet als Fe^{2+} toegediend te worden, aangezien dit bij oxidatie leidt tot extreme verzuring;
 - c. Toevoeging van Fe in combinatie met waterpeilbeheer leidt tot afwisselend aërobe en anaërobe omstandigheden; hierbij wordt afwisselend P vastgelegd en komt het weer vrij onder anaërobe condities;
 - d. In de praktijk zou ik huiverig zijn om nog meer stoffen aan de bodem toe te voegen, en zou hier niet voor kiezen;
 - e. IJzeradditie, uitgevoerd in aquatische en semi-terrestrische systemen werkt goed, maar is bij hoge Fe-consumptie (m.n. bij hoge sulfaataanvoer en daardoor hoge sulfide-productie) te kortdurend en duur;
 - f. Effectiviteit en duurzaamheid van Fe-bemesting zijn mij niet bekend, maar kleinschalige experimenten hiermee lijken me zeer de moeite waard.

In Nederland is het toevoegen van Fe aan de bodem uitgebreid onderzocht [Schoumans & Köhler, 1995]; het doel hierbij was om uitspoeling van P vanuit fosfaatverzadigde gronden tegen te gaan. De combinatie van $Fe(NO_3)_3$ en $Ca(OH)_2$ kwam als beste uit het onderzoek tevoorschijn. Als nadeel van deze optie werd genoemd dat bij toedienen een 'zoutshock' optreedt

door het gevormde $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, wat dus tevens gepaard gaat met het toedienen van veel N aan de bodem. In de Verenigde Staten is de laatste jaren eveneens veel onderzoek gedaan naar het immobiliseren van P, eveneens om transport van P te verminderen. In dit onderzoek bleek dat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de beste werking heeft voor dit doel. Een daling van de bodem-pH werd echter niet onderzocht (of niet vermeld). Door Gilbert, [2000] werd $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ toegepast in een potproef met een viertal natuurlijke grassoorten. De gewasontwikkeling was echter sterk geremd, mogelijk door de pH-daling die optrad. In een samenwerkingsproject tussen Tallowin (Devon, UK) en Peeters (Leuven, België) wordt op dit moment het gebruik van ijzeroxide onderzocht.

Toevoegen van zaden

De afstand waarover zaden worden verspreid is over het algemeen gering, dit geldt ook voor zaden die door de wind worden verspreid. Verspreiding door overstroming van uiterwaarden is een manier die vroeger veel voorkwam, maar door (grond)waterstanddaling nu veel minder optreedt [Oomes et al., 1998]. De (her)introductie van zaden is iets waar op beperkte schaal mee is geëxperimenteerd, door het gericht verspreiden van zaad [Smith et al., 2000; Geerts & Oomes, 2000], of door het verspreiden van maaisel (Klooker et al. 1999). Of een terrein ook op de langere termijn een gunstige standplaats biedt voor geïntroduceerde soorten kan echter alleen blijken uit langdurig onderzoek [Klooker et al., 1999].

Samenvattend: het toedienen van kalk of herstel van kalkhoudende kwel werd enkele malen genoemd, maar bekalken werd door anderen sterk ontraden; op dit punt bestaat onduidelijkheid die weggenomen zou moeten worden. Herstel van ijzerrijke kwel kan zorgen voor een 'natuurlijke' binding van P, de suggestie om ijzer (of aluminium) aan de bodem toe te dienen leidt tot een aantal kritische kanttekeningen, maar ook tot het voorstel om hiermee experimenten uit te voeren.

3.6 Invloed natuurontwikkelingsmaatregelen op belasting oppervlaktewater

De verschillende maatregelen die in het kader van natuurontwikkeling worden genomen kunnen invloed hebben op de belasting van het oppervlaktewater met P of andere nutriënten.

Genoemd is reeds dat het braakleggen van grond de mineralisatie van organische stof bevordert. Doordat geen opname door gewassen meer optreedt kan dit tot een hogere belasting van het oppervlaktewater leiden, vooral met stikstof.

Ook is reeds genoemd dat peilverhoging tot anaërobie kan leiden, daardoor tot reductie van Fe^{3+} tot Fe^{2+} , en tot het vrijkomen van de aan Fe gebonden P. Ook het herstel van sulfaatrijke kwel zal kunnen leiden tot het vrijkomen van aan Fe gebonden P. Te verwachten is dat dit met name optreedt wanneer een peilverhoging binnen korte tijd wordt toegepast; hierdoor hebben aluminiumhydroxiden, die eveneens P kunnen binden, niet genoeg kans om de rol van Fe bij het vastleggen van P over te nemen. Peilverhoging kan leiden tot meer denitrificatie, waardoor minder N naar grond- en oppervlaktewater zal uitspoelen.

Het diepploegen om de bouwvoor naar een grotere diepte te verplaatsen is riskant, omdat dit vrijwel altijd leidt tot een kleinere afstand naar het (grond- en) oppervlaktewater. Voor N geldt dat, tenzij denitrificatie optreedt, dit uitspoeling bevordert. Voor P bestaat de mogelijkheid dat het wordt vastgelegd aan een ijzerrijke en fosfaatarme diepere bodemlaag.

Het verminderen van de hoeveelheid P in de bodem door het afgraven van de bouwvoor of het afplaggen van de bovenste laag zal in de meeste gevallen gunstig uitpakken, aangezien verwijderde nutriënten ter plaatse geen eutrofiëring meer kunnen veroorzaken. Voorwaarde is wel dat voldoende evenwicht bestaat tussen de achterblijvende nutriënten. Zijn deze niet in balans dan kan dit hergroei verhinderen waardoor achtergebleven nutriënten versneld kunnen uitspoelen.

Wanneer men er door verschillende maatregelen in is geslaagd om de beschikbaarheid van P voor de plant te verminderen dan heeft dit een gunstige uitwerking op het P-gehalte in de bodemoplossing en daarmee op de kans op uitspoeling van P. Chardon & van Faassen, [1999] berekenen een verband tussen het totaalgehalte van P in bodemvocht en het Pw-getal. Bij een Pw van 30, wat landbouwkundig gezien optimaal is, kan een gehalte aan P-totaal van ca. 0.7 mg L^{-1} worden verwacht; bij Pw 9, wat als zeer laag wordt gezien oftewel optimaal voor een soortenrijke vegetatie, is dit 0.15 mg L^{-1} . Hieruit blijkt dat de kans op uitspoeling sterk kan afnemen door een verlaging van de beschikbaarheid van P.

HOOFDSTUK 4

CONCLUSIES

4.1 Beschikbaarheid van de informatie

Tijdens de enquête konden specifieke vragen worden gesteld die over het algemeen uitgebreid zijn beantwoord. De antwoorden waren van veel waarde, mede omdat de meeste geïnterviewde personen in het afgelopen jaar betrokken geweest zijn bij projecten rond natuurontwikkeling waarbij de effecten van P een rol speelden. Dat geeft aan dat de problematiek zeer actueel is. De projecten waarbij de geïnterviewden betrokken waren betroffen voormalige landbouwgronden die gebruikt waren als akkers, als weiland of als grasland. Een aantal geïnterviewden was niet betrokken bij projecten op voormalige landbouwgronden maar in aquatische of terrestrische natuurgebieden, waarvan inhoudelijke kennis is verkregen.

De veel voorkomende maatregel is afgraven, plaggen en ontgronden. Informatie over de andere maatregelen is summier. De kennis was duidelijk aanwezig bij de Nederlandse en buitenlandse onderzoekers en in mindere mate bij de beheerders. De animo bij de beheerders was gering: 25% van de benaderden deed mee; dit had te maken met de toen heersende MKZ crisis en de drukke werkzaamheden in het voorjaar.

Informatie van de buitenlandse onderzoekers was relevant, met name omdat in het buitenland veel meer langjarig onderzoek is gedaan naar het omzetten van landbouwgrond dan in Nederland. Ook zijn in het buitenland grootschalige inventarisaties uitgevoerd naar de relatie tussen vegetatie en beschikbaarheid van P.

De literatuur was voornamelijk relevant voor informatie over P-beschikbaarheid in de bodem in relatie tot de vegetatie. Recente literatuur beschrijft ook langlopende verschralingsexperimenten waarbij afgraven, plaggen en ontgronden, maaien met afvoeren en peilverhogen zijn toegepast.

4.2 P-beschikbaarheid in de bodem

Een hoge beschikbaarheid van P in de bodem wordt door vrijwel alle geraadpleegde deskundigen als een probleem gezien voor natuurontwikkeling. Dit geldt met name voor het creëren van natuurdoeltypen die gekoppeld zijn aan voedselarme omstandigheden. Door de hoge depositie van N in ons land en door stikstofbinding vanuit de lucht is een duurzame limitatie van de productie door N niet waarschijnlijk. Hierdoor zijn voedselarme omstandigheden dikwijls alleen mogelijk bij een lage beschikbaarheid van P.

Bij bodemanalyses moet een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen totaalgehalten en het gehalte aan P dat voor een gewas of de vegetatie beschikbaar is. In meerdere studies is beschreven dat de beschikbaarheid van P in de bodem een sleutelfactor is voor de soortendiversiteit en drogestof-productie van graslanden. Door bemesting wordt van de toegevoegde nutriënten P het minst opgenomen, de lage oplosbaarheid, de sterke binding van P aan bodemdeeltjes en de geringe uitspoeling van P zijn de oorzaken waardoor P accumuleert in de bodem.

Door Nederlandse onderzoekers wordt aangegeven dat een grote verscheidenheid aan methoden wordt gebruikt voor het karakteriseren van de bodem m.b.t. verschillende fosfaatfracties. Deze verscheidenheid aan gebruikte analysemethoden leidt tot het probleem dat het moeilijk is om resultaten van verschillende studies met elkaar te vergelijken, en de interpretatie bemoeilijkt van uitspraken zoals: een vegetatietype komt alleen voor bij een P-Olsen gehalte < 10.

4.3 Vegetatie en P-beschikbaarheid

Omzetting van voor de landbouw geschikt gemaakte graslanden betekent dat sterk competitieve soorten als Engels raaigras en Witte klaver (*Lolium perenne* en *Trifolium repens*) vervangen moeten worden door de doelsoorten. Om de dominantie van N-binders te reduceren is waarschijnlijk een verlaging van het P-gehalte en een verhoging van het N-gehalte van de bodem nodig.

In zowel terrestrische als semi-terrestrische milieus leidt de extreem hoge P-beschikbaarheid tot massale ontwikkeling van pitrus, struisgras, liesgras, brandnetel, etc., afhankelijk van het milieu, ten koste van andere soorten, en leidt daardoor tot een sterke daling van de biodiversiteit. Met name de ontwikkeling van lastige kruiden zoals pitrus kan toe te schrijven zijn aan fosfaat.

De hoogste soortenrijkdom in graslanden komt voor bij een matige voedselrijkdom en bij lage P-gehalten. Uit Engels onderzoek blijkt dat het optimum gevonden wordt bij ca. 5 mg P kg⁻¹ grond, gemeten volgens de Olsen-methode. Dit komt vermoedelijk overeen (zie tabel 1) met ca. 5 mg P₂O₅ per liter grond (Pw-methode) of ca. 10 mg P₂O₅ per 100 g grond (P-Al-methode). De genoemde Pw- en P-Al waarden moeten echter nog getoetst worden onder Nederlandse omstandigheden.

De soortensamenstelling hangt echter af van welk nutriënt beperkend is. Naarmate meer bodemfactoren co-limiterend zijn zou de soortenrijkdom in het optimum hoger kunnen zijn. Voor het herstel van de soortenrijkdom na vermessing is het niet voldoende om alleen de biomassa te verlagen door verschrallend beheer maar moet er ook voor worden gezorgd dat de optimale verhouding tussen de nutriënten wordt hersteld.

4.4 Effect van maatregelen op natuurontwikkeling

Verschralling van de bodem is te bereiken door toepassing van verschillende maatregelen. De tijd die nodig is voor het verschrallen hangt sterk af van de uitgangssituatie m.b.t. het voormalige landgebruik en de bemestingsgeschiedenis, de grondsoort (zand, klei of veen), en het vochtgehalte van de bodem. De verschralling heeft succes als het aanbod van de verschillende nutriënten zoals kalium, fosfor en stikstof op een gemiddeld niveau ligt, omdat in graslanden dan de hoogste biodiversiteit kan worden bereikt. Welke maatregel het meest effectief is ten aanzien van het verlagen van de P-beschikbaarheid, binnen een redelijke tijd te realiseren is, en binnen het budget van een natuurbeheerder past, is nog niet duidelijk.

Bij afgraven, plaggen en ontgronden wordt een nutriëntenrijke bodemlaag verwijderd, wat vaak neerkomt op het verwijderen van de gehele voormalige bouwvoor. Afhankelijk van de diepte tot waar verwijderd wordt, worden verschillende termen gebruikt; met toenemende diepte: plaggen, afgraven en ontgronden.

Bij het afgraven wordt het grootste deel van N en de organische stof verwijderd. Zonder bodemanalyses om de dikte van de fosfaatrijke laag te bepalen kan teveel fosfaat in de bodem achterblijven.

Als belangrijkste bezwaar van afgraven wordt door sommige deskundigen gezien het grote risico op het verlies van de zaadbank en diasporen. Beheerders noemen als bezwaar ook de hoge kosten van afgraven en het vinden van een bestemming voor de afgegraven grond.

Op veengronden wordt afgraven unaniem afgewezen, omdat mineralisatie zal doorgaan en veel van de natuurwaarden juist in de karakteristieken van het veenpakket zitten.

Diepploegen reduceert de beschikbaarheid van P doordat de bodemlaag met P en andere nutriënten wordt verplaatst naar grotere diepte. Dit vergroot echter de kans op uitspoeling en bovendien kan een eventueel aanwezig historisch bodemarchief worden verstoord. Een lichte mate van

grondbewerking, het verkruiden en mengen van de bovenste 5 tot 10 cm van de grond door te frezen heeft meer tot doel om de versturende graszode kapot te maken dan om nutriënten zoals P te verplaatsen.

Over het braakleggen van een grond als beheersmaatregel is weinig bekend. Doordat geen gewas of vegetatie wordt afgevoerd zal deze optie voor P waarschijnlijk niet interessant zijn.

Bij uitmijnen worden nutriënten uit de bodem verwijderd door het oogsten en afvoeren van een gewas, waarbij ervoor wordt gezorgd dat de overige nutriënten in voldoende mate beschikbaar zijn. Over de mogelijkheden van het verlagen van de beschikbaarheid van P door uitmijnen (verschralen met toediening van N en K) is in de praktijk nog weinig bekend. De benodigde tijdsduur hangt sterk af van de begintoestand van de bodem, en van het toegepaste gewas. Beide aspecten dienen nader te worden onderzocht. Een tijdsduur van 5-10 jaar is vermoedelijk een minimale schatting van de benodigde tijd. Zonder toevoeging van N en K zal deze tijd sterk toenemen, doordat de productiviteit sterk afneemt in de tijd.

Door een beheer van maaien met afvoeren worden de nutriënten die aanwezig zijn in de bovengrondse biomassa verwijderd. Om verschraling te krijgen is het noodzakelijk dat de afgevoerde biomassa meer nutriënten bevat dan de jaarlijkse aanvoer van nutriënten door bijvoorbeeld atmosferische depositie. Zo kan maaien met afvoeren een maatregel zijn om de bodem te verschralen.

Maaien met afvoeren heeft een duidelijk effect op de nutriëntenverhoudingen in de bodem en daarmee op de samenstelling van de vegetatie. Uit graslandstudies is gebleken dat er door maaien relatief meer N en K dan P met de bovengrondse biomassa wordt afgevoerd, waardoor eerder N- en K-limitatie optreedt dan P-limitatie.

Over het algemeen is de afvoer van nutriënten door begrazing gering, zeker wanneer dit gebeurt door dieren die het grootste deel van het jaar op hetzelfde terrein blijven. Een verplaatsing binnen het terrein vindt echter wel plaats doordat nutriënten geconcentreerd worden op de plaats van mest- of urineplekken. Begrazen kan echter ook tot een verhoogde beschikbaarheid van nutriënten leiden, doordat de vertering van faeces sneller kan zijn dan van het bij begrazen geconsumeerde plantenmateriaal.

Een toename van de beschikbaarheid van P door peilverhoging is waarschijnlijk. Het zal niet optreden bij ijzerrijke kwel, maar in versterkte mate als er voedselrijk water wordt ingelaten. Over een eventueel gunstig effect van een hoge alkaliniteit/calciumgehalte bestaat onduidelijkheid. Als het peil verhoogd wordt tot nabij de wortelzone dan kan dit de vegetatiesamenstelling beïnvloeden. Een wisselend peilbeheer (hoog winter- en laag zomerpeil) kan verzuivering tegengaan. Het risico van toename van uitspoeling van P naar grond- en/of oppervlaktewater, en daarmee van eutrofiëring, is duidelijk aanwezig na peilverhoging.

Het toedienen van kalk of herstel van kalkhoudende kwel werd enkele malen genoemd, maar bekalen is door anderen sterk ontraden. Op dit punt bestaat onduidelijkheid die weggenomen zou moeten worden. Herstel van ijzerrijke kwel kan zorgen voor een 'natuurlijke' binding van P, de suggestie om ijzer (of aluminium) aan de bodem toe te dienen leidt tot een aantal kritische kanttekeningen maar ook tot de suggestie om hiermee experimenten uit te voeren.

AANBEVELINGEN VERVOLGONDERZOEK

De problematiek van te hoge beschikbaarheid van P is het grootst in situaties waarbij voormalige landbouwgronden ingericht moeten worden voor natuurontwikkeling. Op dit moment betreft dit de realisering van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) en de Reconstructiegebieden. Om te komen tot het gewenste natuurdoel worden enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek gegeven.

In het kader van de EHS en reconstructie zou vervolgonderzoek moeten plaatsvinden op die grondsoorten waar deze herinrichting plaatsvindt. Dat betreft dus vooral zand- of veenbodems, met een voormalig landgebruik van gras of maïs, en met als natuurdoel nat of droog schraalgrasland of natte of droge heide.

In volgorde van (afnemende) prioriteit:

1. Relatie tussen de P-beschikbaarheid en het vegetatiedoel. Het is van belang de relatie tussen de P-beschikbaarheid of nutriëntlimitatie en het vegetatiedoel vast te stellen. Tevens ook onderzoek naar de relatie tussen verschillende nutriënten: N/P, P/K.
2. Onderzoek naar de verschillende analysemethoden voor de bepaling van de P-beschikbaarheid in natuurterreinen.
3. Evaluatie naar de effectiviteit van maatregelen die in natuurontwikkelingsprojecten worden toegepast om de P-beschikbaarheid in de bodem te verlagen.
4. Onderzoek naar de effectiviteit van uitmijnen onder verschillende condities en met verschillende gewassen. Daarbij kan gedacht worden aan uitmijnen in combinatie met bij bemesten met N en K en/of bekalken.
5. Vergelijkend onderzoek naar een combinatie van verschillende maatregelen om de tijd te verkorten die nodig is om de beschikbaarheid van P te verlagen. Daarbij kan gedacht worden aan uitmijnen in combinatie met ontgronden of plaggen.
6. Onderzoek naar de effectiviteit van P binding aan Fe, Al of Ca, wanneer toegevoegd onder verschillende bodemvochtomstandigheden. Dus een processtudie naar mogelijkheden om de beschikbaarheid van P te verlagen.

LITERATUUR

- Anderson, G. 1980. Assessing organic phosphorus in soils. In: F.E. Khasawneh et al.(ed.), The role of phosphorus in agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison USA, p. 411-431.
- Beek, J. & W.H. van Riemsdijk, 1979. Interaction of orthophosphate ions with soil. In: G.H. Bolt (ed.) Soil chemistry. B. Physico-chemical models. Elsevier Amsterdam. p. 259-284
- Boeye, D., B. Verhagen, V. van Haesebroeck & R.F. Verheyen. 1997. Nutrient limitation in species-rich lowland fens. *Journal of Vegetation Science* 8: 415-424.
- Bokdam, J. & H. Piek. 1998. Begrazing als herstelmaatregel in natte graslanden. In: M.J.M. Oomes and H. Koorevaar (ed.) Herstel van soortenrijke graslanden. AB-DLO thema's 5, Wageningen, p. 75-92.
- Boland, D., J.A. Bleumink, Th. Vellinga & J.G. Kroes, 2000. Omgaan met vernatting. CLM rapport 451-2000. Utrecht.
- Boyer, M.L.H. & B.D. Wheeler. 1989. Vegetation patterns in spring-fed calcareous fens: calcite precipitation and constraints. *Journal of Ecology* 77: 597-609.
- Braakhekke, W.G. & D.A.P. Hooftman. 1999. The resource balance hypothesis of plant species diversity in grassland. *Journal of Vegetation Science* 10: 187-200.
- Britton, A.J., R.H. Marrs, P.D. Carey & R.J. Pakeman. 2000. Comparison of techniques to increase *Calluna vulgaris* cover on heathland invaded by grasses in Breckland, south east England. *Biological Conservation* 95: 227-232.
- Broek, T. van den. 1998. Verdroging en fosfor-beschikbaarheid. *Landschap* 15/3: 135-144.
- Chambers, B.J. 1997. Nutrient Cycling on Arable Reversion Grassland in the South Downs ESA. ADAS report project BD0327 to MAFF (UK).
- Chambers, B.J., C.N.R. Critchley, J.A. Fowbert, A. Bhogal & S.C. Rose. 1999. Soil nutrient status and botanical composition of grasslands in English environmentally sensitive areas. Report MAFF Project BD1429, ADAS Gleadthorpe & Newcastle, UK, 71 pp.
- Chardon, W.J., O.F. Oenema, P.C.M. Boers, B. Fraters & Y.C.W.M. Geelen. 1996. Verkenning van de mogelijkheden voor beheer en herstel van fosfaatlekkende landbouwgronden. Rapporten programma geïntegreerd bodemonderzoek deel 8. Grafisch service centrum van Gils, Wageningen. 84 pp.
- Chardon, W.J., & H.G. van Faassen. 1999. Soil indicators for critical source areas of phosphorus leaching. Rapporten programma geïntegreerd bodemonderzoek deel 22. Grafisch service centrum van Gils B.V., Wageningen. 38 pp.
- Diggelen, R. van, A.P. Grootjans & R. Burkunk 1994. Assessing restoration perspectives of disturbed brook valleys: the Gorecht Area, The Netherlands. *Restoration Ecology* 2: 87-96.
- Dijk, W. van (red.) 1999. Adviesbasis voor de bemesting van akkerbouw- en vollegrondsgroentengewassen. PAV, Lelystad, publ. nr. 95.
- Duren, I.C. van & D.M. Pegtel. 2000. Nutrient limitation in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results. *Plant and Soil* 220: 35-47.
- Ellenberg, H. 1979. Zeigerwerte der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. *Scripta Geobotanica IX*, Göttingen, 2e Auflage.
- Geerts, R.H.E.M. & M.J.M. Oomes. 2000. Kan de Spaanse ruiter het Wageningse Binnenveld heroveren? *De Levende Natuur* 101: 71-75.
- Gilbert, J.C. 2000. High soil phosphorus availability and the restoration of species rich grassland. PhD Thesis Cranfield Univ., Silsoe UK, Inst. Water & Environment.
- Gough, M.W. & Marrs, R.H. 1990a. A comparison of soil fertility between semi-natural and agricultural plant communities: implications for the creation of species-rich grassland on abandoned agricultural land. *Biological Conservation* 51: 83-96.

- Gough, M.W. & Marrs, R.H. 1990b. Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex, England. *Biological Conservation* 52:135-146.
- Janssen, F., A. Peeters, J.R.B. Tallwin, J.P. Bakker, R.M. Bekker, F. Fillat & M.J.M. Oomes. 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202: 69-78.
- Kalbitz, K., H. Rupp, R. Meissner & F. Braumann. 1999. Folgewirkungen der Renaturierung eines Niedermoeres auf die Stickstoff-, Phosphor- und Kohlenstoffgehalte im Boden- und Grundwasser. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung* 40: 22-28.
- Kemmers, R.H., 1999. Fosfor- en kaliumhuishouding in kwelafhankelijke schraalgraslanden. Rapport 699. Alterra, Wageningen.
- Kemmers, R.H., S.P.J. van Delft & P.C. Jansen. 2001. Productiviteit van korte vegetaties en beperkende factoren in relatie tot voedselrijkdom en vochttoestand van natuurterreinen. *Alterra-rapport 257*, Alterra, Wageningen. 117 p.
- Kirkham, F.W., J.O. Mountford & R.J. Wilkins. 1996. The effects of nitrogen, potassium and phosphorus addition on the vegetation of a Somerset peat moor under cutting management. *Journal of Applied Ecology* 33: 1013-1029.
- Klooker, J., R. van Diggelen & J.P. Bakker. 1999. Natuurontwikkeling op minerale gronden. Rijksuniversiteit Groningen. Van Denderen BV, Groningen.
- Koerselman, W. & A. Meuleman. 1996. N:P ratio's en nutriëntenbeperking. *Landschap* 96: 273-283.
- Koopmans, G.F., R.A. Suurs, W.J. Chardon, P.A.I. Ehlert & O. Oenema. 2000. Depletion of soil phosphorus in a pot experiment. *Annual Meeting Abstracts ASA, CSSA, SSSA, Wisconsin USA*. p. 393.
- Lammerts, E.J. 1999. Basiphilous pioneer vegetation in dune slacks on the Dutch Wadden Sea islands. Thesis. Groningen University, Groningen.
- Marrs, R.H. 1993. Soil fertility and nature conservation in Europe: Theoretical considerations and practical management solutions. *Adv. Ecol. Res.* 24: 241-284.
- Marrs, R.H. & M.W. Gough. 1989. Soil fertility: a potential problem for habitat restoration. In: *Biological Habitat Restoration*, G.P. Buckley (ed.), pp. 29-44. Bellhaven Press, London.
- Marrs, R.H., M.W. Gough & M. Griffiths. 1991. Soil chemistry and leaching losses of nutrients from semi-grassland and arable soils on three contrasting parent materials. *Biological Conservation* 57: 257-271.
- Marrs, R.H., C.S.R. Snow, K.M. Owen & C.E. Evans. 1998. Heathland and acid grassland creation on arable soils at Minsmere: identification of potential problems and a test of cropping to impoverish soils. *Biological Conservation* 85: 69-82.
- McCrea, A.R., I.C. Trueman, M.A. Fullen, M.D. Atkinson & L. Besenyei. 2001a. Relationship between soil characteristics and species richness in two botanically heterogeneous created meadows in the urban English West Midlands. *Biological Conservation* 97: 171-180.
- McCrea, A.R., I.C. Trueman & M.A. Fullen. 2001b. A comparison of the effects of four arable crops on the fertility depletion of a sandy silt loam destined for grassland habitat creation. *Biological Conservation* 97: 181-187.
- McKenzie, S.E. & S. Peel. 1997. Re-creation of chalk downland from arable land. In: Sheldrick, R.D (ed.). *Grassland Management in the Environmentally Sensitive Areas*, Occasional Symposium of the British Grassland Society, No. 32, pp. 267-268.
- Meissner, R., J. Seeger, H. Rupp & H. Balla. 1999. Assessing the impact of agricultural land use changes on water quality. *Water Science and Technology* 40: 1-10.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1990. Natuurbeleidsplan. Regeringsbeslissing. Tweede Kamer, Vergaderjaar 1989-1990, 21149, nrs. 2-3. 's-Gravenhage.
- Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 1999. Objectivering Doelpakketten. Subsidie-regeling Natuurbeheer 2000 en Agrarisch Natuurbeheer. Den Haag

- Mountford, J.O., K.H. Lakhani & F.W. Kirkham. 1993. Experimental assessment of the effects of nitrogen addition under hay-cutting and aftermath grazing on the vegetation of meadows on a Somerset peat moor. *Journal of Applied Ecology* 30: 321-332.
- Olde Venterink, H.G.M. 2000. Nitrogen, phosphorus and potassium flows controlling plant productivity and species richness. Thesis University of Utrecht, Utrecht.
- Olf, H. & D.M. Pegtel. 1994. Characterisation of the type and extent of nutrient limitation in grassland vegetation using a bioassay with intact sods. *Plant and Soil* 163: 217-224.
- Oomes, M.J.M. 1990. Changes in dry matter and nutrient yields during the restoration of species-rich grasslands. *Journal of Vegetation Science* 1: 333-338.
- Oomes, M.J.M., H. Olf & H.J. Altena. 1996. Effects of vegetation management and raising the water table on nutrient dynamics and vegetation change in a wet grassland. *Journal of Applied Ecology* 33: 576-588.
- Oomes, M.J.M., R.H.E.M. Geerts & H.J. Altena. 1998. Vernatten en verschralen. *Landschap* 15/2: 99-110.
- Patrick, W.H. Jr. & R.A. Khalid. 1974. Phosphate release and sorption by soils and sediments: effect of aerobic and anaerobic conditions. *Science* 186: 53-55.
- Pegtel, D.M., J.P. Bakker, G.L. Verwey & L.F.M. Fresco. 1996. N, K and P deficiency in chronosequential cut summer-dry grasslands on gley podzol after the cessation of fertilizer application. *Plant and Soil*, 178: 121-131.
- Ponnamperuna, F.N., 1972. The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96.
- Pywell, R., J. Bullock, K. Walker, D. Myhill, L. Warman, D. Barratt, T. Sparks, A. Hopkins, M. Burke, Peel & S. 1999. Multi-site experiments on the restoration of species-rich grassland on ex-arable land in the ESAs. ITE/ADAS/IGER report to MAFF (UK).
- RIVM, 2000a. Milieuverkenning 5. Samsom H.D. Tjeenk Willink. Alphen aan den Rijn.
- RIVM, 2000b. Natuurbalans 2000. Samsom H.D. Tjeenk Willink. Alphen aan den Rijn.
- Roelofs, J.G.M., M.C.C. de Graaf, P.J.M. Verbeek & M.J.R. Cals. 1993. Methodieken voor herstel van verzuurde en geëutrofiëerde heiden en schraalgraslanden. In: Effectgerichte maatregelen tegen verzuring en eutrofiëring in natuurterreinen. M.Cals, M. de Graaf & J. Roelofs (Eds.). KUN, Nijmegen. p. 127-146
- Schoumans, O.F. & H. Köhler. 1995. Onderzoek naar maatregelen ter vermindering van de fosfaatuitspoeling uit landbouwgronden. Mogelijkheden van toediening van aluminium en ijzerverbindingen aan de bodem. Staring Centrum Wageningen, Rapport no. 374.2.
- Schröder, J.J. & W.J. Corré. 2000. Actualisering stikstof en fosfaat-desk-studies. Rapport 22, Plant Research International Wageningen, 182 pp. + bijl.
- Smith, R.S., R.S. Shiel, D. Millward & P. Corkhill. 2000. The interactive effects of management on the productivity and plant community structure of an upland meadow: an 8-year trial. *Journal of Applied Ecology* 37: 1029-1043.
- Snow, C.S.R., R.H. Marrs, & L. Merrick, 1997. Trends in soil chemistry and floristics associated with the establishment of a low-input meadow system on an arable clay soil in Essex. *Biological Conservation* 79: 35-41.
- Tallowin, J.R.B. & R.G. Jefferson. 1999. Hay production from lowland semi-natural grasslands: a review of implications for ruminant livestock systems. *Grass and Forage Science* 54: 99-115.
- Tallowin, J.R.B., F.W. Kirkham, R.E.N. Smith & J.O. Mountford. 1998. Residual effects of phosphorus fertilization on the restoration of floristic diversity to wet hay meadows. In: European lowland wet grasslands: biodiversity, management and restoration. (ed. C.B. Joyce and P.M. Wade), John Wiley and Sons Ltd. 249-263.
- Titlyanova, A.A., I.P. Romanova, N.P. Kosykh & N.P. Mironycheva-Tokareva. 1999. Pattern and process in above-ground and below-ground components of grassland ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 10: 307-320.

- Tunney, H., A. Breeuwsma, P.J.A. Withers & P.A.I. Ehlert. 1997. Phosphorus fertilizer strategies: present and future. In: H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes and A.E. Johnston (eds). Phosphorus loss from soil to water. CAB International 1997, pp. 177-203.
- Verhagen, R. & R. van Diggelen. 2001. Natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in Pleistoceen Nederland: Herstel van de nutriëntenlimitatie. Rapport Rijksuniv. Groningen, Lab. voor Plantenoecologie, 56 pp.
- Wassen, M.J., H.G.M. Olde Venterink & E.O.A.M. de Swart. 1995. Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. *Journal of Vegetation Science* 6: 5-16.
- Whitehead, D.C. 2000. Nutrient elements in grassland. Soil-plant-animal relationships. CABI Publishing Oxford, UK. XV + 369 pp.
- Willems, J.H., R.K. Peet & L. Bik. 1993. Changes in chalk grassland structure and species richness resulting from selective nutrient additions. *Journal of Vegetation Science* 4: 203-212.
- Woude, van der B.J., D.M. Pegtel & J.P. Bakker. 1994. Nutrient limitation after long-term nitrogen fertilizer application in cut grasslands. *Journal of Applied Ecology* 31: 405-412.

BIJLAGE A

REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER ONDERZOEKERS UIT NEDERLAND

Toelichting:

In het kader van een afstudeeronderzoek werd door E. Wolvekamp een aantal vragen geformuleerd, in overleg met de auteurs van dit rapport. De vragen werden per e-mail voorgelegd aan een aantal deskundigen, allen onderzoeker aan een universiteit of een DLO-instituut, of deskundige bij de Dienst Landelijk Gebied (zie onderstaand overzicht). Naar aanleiding van reacties op de vragen 1 t/m 13 en van aanvullend literatuuronderzoek werden in een tweede ronde aanvullende vragen (14 t/m 19) voorgelegd en in een derde ronde een laatste vraag (20). In eerste instantie was voor de personen onderling niet bekend wie meewerkten aan het onderzoek; ook was men niet bekend met elkaars reactie. De geraadpleegden hebben na afloop toestemming gegeven om de namen bekend te maken.

Reacties werden ontvangen van:

code	naam	instelling	afdeling
A	Kros, J.	Alterra	Water en Milieu
B	Runhaar, J.	Alterra	Bodem en Landgebruik
C	Lamers, L.P.M.	Universiteit van Nijmegen	Aquatische ecologie en milieubiologie
D	Verhagen, H.M.C.	Universiteit van Groningen	Plantenecologie
E	Beltman, B.	Universiteit van Utrecht	Faculteit Biologie
F	Van Diggelen, R.V.	Universiteit van Groningen	Plantenecologie
G	Kemmers, R.H.	Alterra	Bodem en Landgebruik
H	Bodegom, D.M.	Vrije Universiteit Amsterdam	Faculteit Biologie
I	Pegtel, D.M.	Universiteit van Groningen	Plantenecologie
J	Oomes, M.J.M.L.	Plant Research International	
K	Braakhekke, W.	Wageningen Universiteit	Natuurbeheer en plantenecologie
L	Grootjans, A.P.	Universiteit van Groningen	Plantenecologie
M	Clercx, M.F.	Dienst Landelijk Gebied	projecten
N	de Ridder, R.P.	Dienst Landelijk Gebied	projecten

EERSTE RONDE

Reacties vooraf:

- F Als antwoord op je enquête het volgende. Wij hebben zojuist een rapport over nutriënten-limitatie in natuurontwikkelingsprojecten op voormalige landbouwgronden geschreven. Ik zal ervoor zorgen dat jij op de verzendlijst komt. (Antwoordenlijst niet ingevuld)
- I Ik heb geen ervaring met P in voormalige landbouwgronden; wel met half-natuurlijk grasland dat in het verleden als hooi- en graasland is gebruikt (bijv. grasland op broekveengrond). Vandaar dat ik uw vragen niet kan beantwoorden [de vragen 14-20 zijn wel beantwoord].
- N Hierbij mijn reactie, ik heb het te druk gehad om mee te kunnen doen, sorry daarvoor. (Heeft eerste ronde niet meegedaan, de 2^e en 3^e wel)

I ALGEMENE VRAGEN

Vraag 1

Heeft u al eens eerder meegedaan aan een enquête waarbij de DELPHI-methode werd gebruikt?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

Ja: geen

Nee: A B C D E G H J K L M

Vraag 2

Wanneer bent u voor het laatst betrokken geweest bij onderzoek naar effecten van fosfaat in aquatische en/of terrestrische systemen?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

Afgelopen jaar C D E G H K L M

1 – 2 jaar geleden

2 – 5 jaar geleden J

5 – 10 jaar geleden

meer dan 10 jaar geleden A

nooit

onbekend B

Vraag 3

Vond het onderzoek m.b.t. tot fosfaat ook plaats in voormalige landbouwgronden?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

Ja: C D J K

Zo ja wat was het historisch landgebruik:

- C Weiland/hooiland (bemest).
- D Landbouwgronden op zandgronden, zowel akkers als graslanden. Na aankoop is ontgrond.
- J Het betreft de Veenkampen, een blauwgrasland gebied dat eind 40er jaren is verkaveld en ontwaterd. Sindsdien bemest, sinds 1978 bemesting gestopt.
- K Aardappelteelt (in de Bruuk) en intensief grasland (Drentse Aa gebied).

Nee: A B G L

Zo nee, in welk systeem wel:

- A Aquatisch
- B In voor natuurontwikkeling bestemde landbouwgebieden
- G Terrestrische en semi-terrestrische schraalgraslanden.
- L Reservaten.

Of anders in beide systemen: C E H

Graag ook noemen welke:

- C Laagveenmoerassen/laagveenwateren/hogveenrestanten.
- E Legakkers op veen, daarvoor gebruikt als hooiland, rietland of weiland en enkele semi-terrestrische typen als trilvenen, elzenbroekbos en blauwgrasland.
- H Rijstvelden, duinvegetatie.

Overige:

- M Onderzoek staat in de startblokken

Vraag 4

Welke analysemethode heeft u gebruikt voor fosfaat (bijvoorbeeld P-totaal)?

Geen antwoord: F I M N

Antwoord:

- A Totaal, particulier, organisch en reactief P
- B P-Al
- C
 - a) ortho-fosfaat in (onderwater)bodemvocht (extractie met vacuumcups)
 - b) ortho-fosfaat in oppervlaktewater
 - c) azijnzuur-lactaatextract ('biologisch beschikbaar P')
 - d) sequentiële extractie P-fracties: Fe+Al-gebonden fractie, Ca-gebonden fractie, organisch P, rest-P
 - e) totaal-P

N.B. Methode van bemonstering is erg belangrijk; voor natte en vochtige bodems is de veelgebruikte uitschudmethode (van droge bodem) TOTAAL ongeschikt, en leidt tot TOTAAL verkeerde conclusies: P wordt gebonden en de pH daalt sterk (door Fe-oxidatie).

- D P-totaal + P-water + P zonder oxidatie.
- E Aëroob en Anaëroob !! P-water, P-ammonium-lactaat, P-totaal-zure destructie. Anaëroob mbv Rhizons.
- G Vaste fase: P-totaal, P-anorganisch (via P met en zonder oxidatie, na HCl extractie), P-organisch berekend uit het verschil, oxalaat extraheerbaar P.
Vloeibare fase: P-concentratie
- H Diverse methodes, Pw, P-lactaat, P-Olsen, P-Bray, P-totaal, P-NaOH.
- J Standaard technieken van Oosterbeek (ik stuur je een copie van het artikel).

- K Diverse grondanalysemethoden zijn vergeleken met de bioassay (o.a. P-totaal, P-Al, P-NTA, P-ijzerpapier). Ook is d.m.v. parallelle fractionering getracht de verschillende P fracties te kwantificeren ten behoeve van een P-kringloopmodel. Dit deel is nog niet geslaagd/afgesloten. Verder zijn de NKP gehalten in de bovengrondse biomassa van het hele gewas en afzonderlijke soorten bepaald.
- L Pw, P-Al, Pt.

II PROBLEMATIEK

Vraag 5

Uit onderzoek is bekend dat verhoogde fosfaatconcentraties in aquatische milieus tot eutrofiëring kunnen leiden. Dit onderzoek richt zich voornamelijk op fosfaat in terrestrische systemen. Is fosfaat in terrestrische systemen bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden volgens u een probleem?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

Ja: A C D E G K L (geen motivatie aangegeven) M

A Met name in combinatie van vernatting. Dientengevolge neemt de oplosbaarheid van P toe. Verder kan onder nattere omstandigheden, met name bij hogere pH, de biologische N-binding toenemen. Kortom vernatting kan dan leiden tot zowel hogere P als N-beschikbaarheid.

C P (co-)limiteert de primaire productie in veel systemen. P accumuleert sterk in de toplaag (enkele decimeters) doordat fosfaat nauwelijks mobiel is (zeker in venige bodems). Bij natuurontwikkeling waarbij vernatting (semi-terrestrische milieus) nodig is, leidt de mobilisatie van fosfaat uit deze toplaag (o.a. door redoxdaling) onvermijdelijk tot (sterke) eutrofiëring met P.

In zowel terrestrische als semi-terrestrische milieus leidt de extreem hoge P-beschikbaarheid tot massale ontwikkeling van Pitrus, Struisgras, Liesgras, Brandnetel, etc. (afhankelijk van milieu) ten koste van andere soorten en daarmee tot een sterke daling van de biodiversiteit. Daarbij inbegrepen de fauna die diversiteit aan habitats nodig heeft. In aquatische systemen is P meestal limiterend voor de productie (behalve bij uitzonderlijk lage N-concentraties en bij hoge P-concentraties waarbij P niet limiterend is).

Overige:

B Afhankelijk van de vraag of N beperkend is (of wordt omdat via afvoer van de organische toplaag de voorraad aan N wordt verwijderd); in droge systemen zal waarschijnlijk N eerder beperkend worden dan P, in natte systemen zou ook P de eerste limiterende factor kunnen worden, hangt echter mede af van pH en aanvoer ijzer. Kortom: niet algemeen te beantwoorden bij gebrek aan kennis.

H Hangt zeer sterk van de situatie af; in welke fracties zit de fosfaat? Hoe hoog is de totale biologische activiteit in de bodem? Welke natuur dient ontwikkeld te worden? Wat is de concentratie van de andere nutriënten in het systeem? Soms dus ja, soms dus nee.

J Hangt sterk af van het doel. Een tweede probleem is dat P niet de enige factor is die het resultaat van herstelbeheer bepaalt.

Als we er toch maar eens vanuit gaan dat de beschikbaarheid van P bepalend is, is duidelijk dat in veel situaties waar herstelbeheer gewenst is teveel P aanwezig is. Het is dan van belang vast te stellen welk niveau van P bij het doelsysteem hoort. Uit gegevens van een aantal doelsystemen kan het P niveau afgeleid worden wat daar ongeveer bij hoort. De lijst in vraag 7 duidt al op die gegevens. Voor zover ik weet zijn dat alleen systemen

die een lage P beschikbaarheid nodig hebben. Een onderverdeling in een paar klassen tussen laag en zeer laag geeft dan aan of de herstelmaatregel nog op extra P-verlaging gericht moet zijn. Als dat overzicht er nog niet is, zou het de moeite waard zijn om dit te maken (vervolgonderzoek?).

De algemene vraag is dus nog niet beantwoord, een specifieke voor een bepaald type vaak ook niet.

Dat brengt mij tot de stelling dat alleen in bijzondere situaties dure maatregelen geoorloofd zijn om P extreem laag te maken. Uitgaande van de wetenschap dat de P voorziening NIET HOOG moet zijn, kan men dan volstaan met de piek eraf te halen en verder maar aan het systeem over te laten hoe het zich ontwikkelt. Dus; in globale zin condities scheppen (niet te hoge P bijvoorbeeld) en dan zien wat ervan komt.

Vanuit die optiek is P dus alleen een echt probleem als er andere redenen zijn om te veronderstellen dat een extreem natuurdoel gerealiseerd kan worden.

Vraag 6

In dit onderzoek wordt ervan uitgegaan dat verhoogde fosfaatgehalten een probleem zijn bij het bereiken van bepaalde natuurdoeltypen. Is dit volgens u juist?

Geen antwoord: B (wel motivatie) F H (wel motivatie) I J (wel motivatie) N

Antwoord:

Ja: A C D E G K L M

A In globale zin denk ik van wel (bijv. de nattere natuurdoeltypen). Maar het is mijn inziens niet mogelijk om per natuurdoeltype aan te geven of een verhoogd P-gehalte wel of geen probleem oplevert, laat staan op het niveau van vegetatietype.

C Zie vraag 5. Wanneer het doeltype een ruigte is, kan het uiteraard minder kwaad. Naarmate een schraler type gewenst is, dat door P gelimiteerd wordt, zijn de problemen groter. Als een vegetatietype alleen door N gelimiteerd wordt en/of er geen soorten aanwezig zijn die gaan domineren bij P-verhoging (in Nederland niet zo waarschijnlijk door de N-depositiewaarden) zal er theoretisch geen probleem zijn.

N.B. Gehalte is een technisch onjuiste term hier, aangezien dit de totale hoeveelheid aangeeft. Een voormalig landbouwgebied van 30 ha heeft een P-gehalte dat het dubbele is van een van 15 ha met dezelfde P-concentratie in de bodem. Concentratie is wel correct; dit houdt rekening met de massa of het volume bodem dat je bekijkt (bij een vaste diepte wordt ook wel per oppervlakte uitgedrukt). Bij vergelijking van locaties maakt het erg veel uit of per massa of per volume bekeken wordt: een m³ venige bodem is lichter dan een m³ zandbodem; dezelfde hoeveelheid P (beschikbaar voor de plantenwortels in die m³) geeft dan ongewild een hogere P-concentratie in de venige bodem.

D Zie vraag 5.

E Zolang we de N in overmaat uit de neerslag krijgen, blijft P de sleutel. Wet Liebig! Alleen in de uiterwaarden waar we een overmaat aan P in de bodem hebben krijg je een duidelijke N-gift respons. Dit blijkt uit onderzoek in Amerongen. Bij vraag 7 is dan ook een beetje typisch dat je Ellenberg gebruikt (gebaseerd op veldervaringen met N) om voor P gevoelige typen te onderscheiden.

G Voor diverse vegetatietypen is de productiviteit P-bepert.

K Zie hierboven. Veel interessante gegevens zijn gelimiteerd door P. Deze kan je niet realiseren op de P-verrijkte gronden.

L Ja, maar minder in sterke kwelgebieden.

M Zie vraag 5.

Overige:

- B Zie boven; vormt nader te onderzoeken hypothese.
- H Vraag is onjuist geformuleerd. Het hangt af van welk fosfaatgehalte verhoogd is. Als de labiele pool verhoogd is, dan is het een probleem voor bepaalde natuurdoeltypen. Het is dus sterk bodem- en fosfaatfractie afhankelijk.
- J Het verschil met de vorige vraag is me niet duidelijk, misschien is bovenstaande voldoende.

Vraag 7

Door mij is een voorselectie gemaakt van vegetatietypen die alleen in voedselarme tot matig voedselrijke terrestrische milieus kunnen voorkomen. Welke vegetatietypen kunnen volgens u zeker alleen voorkomen in een fosfaatarm tot zeer fosfaatarm milieu (aangeven x) en welke waarschijnlijk niet (aangeven met n). Wanneer u een vegetatietype mist wilt u die dan toevoegen. De lijst is gebaseerd op een bestaande database, waarbij ik op basis van Ellenberg-getallen voor planten vegetatietype heb verwijderd.

Aantal reacties vooraf:

- A Geen idee, zie ook antwoord op vraag 6. Verder is het goed om te realiseren dat het Ellenberg-getal voor voedselrijkdom niet specifiek aan een nutriënt gekoppeld is.
- B NB: onderstaande ordening is op basis van geschatte/gemeten productiviteit, in hoeverre productiviteit wordt beperkt door fosfaat dan wel door stikstof is echter niet aan te geven.
- C Het vervelende is dat iedereen in Nederland wat anders verstaat onder P-arm en P-rijk. Zonder definitie is een antwoord eigenlijk onmogelijk. P-concentratie in voormalige landbouwgebieden zijn EXTREEM, EXTREEM hoog, en niet te vergelijken met natuurlijke waarden. Ik houd voor de aquatische vegetaties in ieder geval een gemiddelde concentratie van 4 micromol/L of meer aan voor 'fosfaatrijk'. Voor veel vegetatietypen is dit niet vastgesteld, en wordt P- en N-rijk door elkaar gegooid. Ellenberg heeft het grootste deel van de 'stikstofgetallen' uit zijn duim gezogen. Met ecologische kennis, dat wel. Wat nog erger is, is dat veel mensen nog steeds(!) zuur gelijkstellen aan oligotroof en mineraalrijk (minerotroof) aan eutroof. Dat is klinklare onzin. Verder is P-rijk erg onduidelijk: het gaat erom dat de BESCHIKBAARHEID laag is, niet de totale concentratie. Al met al een zeer moeizame tabel, die voor een groot deel niet ingevuld kan worden op basis van metingen. Ik verwacht dat de meeste mensen hier zullen gaan gokken, net als Ellenberg.
- E Zie vraag 6.
- H Dit is niet mijn expertise, dus lijkt het me niet zinvol dit te proberen te beantwoorden.
- J Deze gedetailleerde onderscheiding is niet zinvol. Ik heb niet de kennis om grove klassen aan te geven.
- K Vraag 7 heb ik niet beantwoord, omdat ik de gegevens niet bij de hand heb. Op basis van de onderzoeksverslagen, zou ik later voor enkele graslanden (Junco-Molinion P25Ac, Varicion davallianae P27Ba) de biomassa P-getallen en de N/P-verhoudingen in gewas en gehalten in de bodem kunnen leveren.
- L Antwoorden op bovenstaande lijst zijn betrekkelijk nietszeggend, omdat bij de meeste plantengemeenschappen zowel N als P limiterend kunnen zijn en dit kan in het seizoen nog verschillen.
- M Ik heb geen idee.

Geen antwoord: A B D E F H I J K M N

Antwoord: C G L

			X	n	?
2 –Aa1	Ruppium maritima	ass. van Snavelruppie		C	G
2 –Aa2	Ruppium cirrhosae	ass. van Spiraalruppie		C	G
5 –Bb2	Utricularium vulgare	ass. van Groot blaasjeskruid		C	G
7 –Aa2	Pellio epiphyllae- Chrysosplenium oppositifolium	ass. van Paarbladig goudveil	CG		
7 –Aa3	Pellio-Conocephalum	Kegelmos-ass.	G		
8 –Ab2	Sagittario-Sparganium	ass. van Egelskop en Pijlkruid		C	G
8 –Bb1	Scirpium lacustris typicum	Mattenbies-ass.		C	G
8 –Bb1	Scirpium lacustris rumicetosum	Mattenbies-ass.		C	G
8 –Bb2	Scirpium tabernaemontani	ass. van Ruwe bies		C	G
9 –Aa1	Caricetum trinervi-nigrae	ass. van Drienvrige zegge en Zwarte zegge	CG	L	
9 –Aa2	Pallavicinium-Sphagnum	Veenmosrietland	CG		
9 –Aa3	Carici curtae-Agrostium caninae	ass. van Moerasstruisgras en Zompzegge	CGL		
9 –Ba2	Campylo-Caricetum dioicae	ass. van Vetblad en Vlozegge	CGL		
9 –Ba3	Parnassio-Juncetum atricapilli	ass. van Duinrus en Parnassia	CGL		
9 –Ba4	Juncus baltici-Schoenetum nigricantis	Knopbies-ass.	CGL		
9 –Ba5	Equisetum variegatum-Salicetum repentis	ass. van Bonte paardestaart en Moeraswespenorchis	CGL		
10 -Aa2	Sphagno-Rhynchosporium	ass. van Veenmos en Snavelbies	CGL		
10 -Aa3	Caricetum limosae	Veenbloembies-ass.	CGL		
11 -Aa1	Lycopodium-Rhynchosporium	ass. van Moeraswolfsklauw en Snavelbies	CGL		
11 -Aa2	Ericetum tetralicis	ass. van Gewone dophei	CGL		
11 -Aa3	Empetro-Ericetum	ass. van Kraaihei en Gewone dophei	CGL		
11 -Ba1	Erico-Sphagnum magellanicum	ass. van Gewone dophei en Veenmos	CG		
11 -Ba2	Sphagno palustris-Ericetum	Moerasheide	CGL		
12 -Aa2	Coronopodo-Matricarium typicum	ass. van Varkenskers en Schijfkamille	C		G
12 -Aa2	Coronopodo-Matricarium myosuroides	ass. van Varkenskers en Schijfkamille	C		G
12 -Ba2	Triglochin-Agrostium stoloniferae nasturtiosum	ass. van Moeraszoutgras en Fioringras	C		G
13 -Aa1	Cerastium pumili	ass. van Tengere veldmuur	C		G
14 -Aa1	Spergulo-Corynephorum	ass. van Buntgras en Heidespurrie	CL		G
14 -Aa2	Viola-Corynephorum	Duin-Buntgras-ass.	CGL		
14 -Ba1	Ornithopodo-Corynephorum	Vogelpootjes-ass.	CGL		
14 -Bb1	Festuco-Thymetum serpylli jasionetosum	ass. van Schapegras en Tijn	CG		
14 -Bb2	Festuco-Galium veri	Duin-Struisgras-ass.	CG		
14 -Bc1	Sedo-Thymetum pulegioides	ass. van Vetkruid en Tijn	CG		
14 -Bc2	Medicagini-Avenetum pubescentis	ass. van Sikkelklaver en Zachte haver	C		G

			X	n	?
14 -Ca1	Phleo-Tortuletum ruraliformis typicum	Duinsterretjes-ass.	C		G
14 -Ca2	Sileno-Tortuletum ruraliformis	Kegelsilene-ass.	C		G
14 -Ca3	Tortello-Bryoerythrophyllum	ass. van Oranjesteeltje en Langkapselsterretje	CL		G
14 -Cb1b	Taraxaco-Galietum veri typicum	Duin-Paardebloem-ass. (typische subass.)	CL		G
14 -Cb2	Anthyllido-Silenetum	ass. van Wondklaver en Nachtsilene	CL		G
15 -Aa1	Gentiano-Koelerietum	Kalkgrasland	CGL		
16 -Aa1	Cirsio dissecti-Molinietum peucedanetosum	Blauwgrasland	CGL		
16 -Ab2	Rhinantho-Orchietum morionis	ass. van Harlekijn en Ratelaar	CGL		
16 -Ab3	Hypericetum tetrapteri orchietosum morionis	ass. van Echte koekoeksbloem en Gevleugeld hertshooi	CGL		
16 -Ab5	Scirpetum sylvatici	Bosbies-ass.	CG		
16 -Ba2	Sanguisorbo-Silaetum	ass. van Grote pimpernel en Weidekervel	CG		
16 -Bc2	Galio-Trifolietum	ass. van Ruige weegbree en Aarddistel	C		G
17 -Aa2	Polygonato-Lithospermetum	ass. van Parelzaad en Salomonszegel		C	G
18 -Aa1	Hyperico pulchri-Melampyretum pratensis	ass. van Hengel en Witbol		C	G
18 -Aa2	Hieracio-Holcetum mollis	ass. van Boshavikskruid en Gladde witbol		C	G
19 -Aa1	Galio hercynici-Festucetum ovinae	ass. van Liggend walstro en Schapegras	CGL		
19 -Aa2	Gentiano pneumonanthes-Nardetum	ass. van Klokjesgentiaan en Borstelgras	CGL		
19 -Aa3	Botrychio-Polygaletum	ass. van Maanvaren en Vleugeltjesbloem	CL		G
19 -Aa4	Betonico-Brachypodietum	ass. van Betonie en Gevinde kortsteel	CL		G
20 -Aa1	Genisto anglicae-Callunetum	ass. van Struikhei en Stekelbrem	CGL		
20 -Aa2	Vaccinio-Callunetum	ass. van Struikhei en Bosbes	CG		
20 -Ab1	Carici arenariae-Empetretum	ass. van Zandzegge en Kraaihei	CG		
20 -Ab2	Polypodio-Empetretum	ass. van Eikvaren en Kraaihei	CG		
20 -Ab3	Salici repentis-Empetretum	ass. van Kruiwilg en Kraaihei	G	C	
20 -Ab4	Pyrolo-Salicetum	ass. van Wintergroen en Kruiwilg	CGL		
23 -Ab1	Elymo-Ammophiletum	Helm-ass.	C*		G
26 -Ac2	Armerio-Festucetum litoralis	ass. van Engels gras en Rood zwenkgras		C	G
26 -Ac4	Blysmetum rufi	ass. van Rode bies			CG
27 -Aa2	Centaurio-Saginetum epilobietosum	ass. van Strandduizendguldenkruid en Krielparnassia	CL		G
28 -Aa1	Cicendietum filiformis	Draadgentiaan-ass.	GL	C	
28 -Aa2	Isolepido-Stellarietum uliginosi	ass. van Borstelbies en Moerasmuur	G	C	

			X	n	?
28 -Aa3	Centunculo-Anthocerotetum punctati	ass. van Dwergbloem en Hauwmos	G		C
28 -Aa4	Digitario-Illecebretum	Grondster-ass.	C		G
30 -Aa1	Kickxietum spuriae lathyretosum tuberosi	Stoppelleeuwebekjes-ass.			G
30 -Aa2	Papaveri-Melandrietum noctiflori	Nachtkoekoeksbloem-ass.		C	G
30 -Ba1	Sclerantho annui-Arnoseridetum	Korensla-ass.		C	G
30 -Ba2	Papaveretum argemones	ass. van Ruige klaproos		C	G
30 -Bb1	Sergulo arvensis-Chrysanthemetum	ass. van Gele ganzebloem		C	G
31 -Aa1	Bromo-Corispermetum	Vlieszaad-ass.		C	G
31 -Aa2	Erigeronto-Lactucetum	ass. van Raketten en Kompassla		C	G
31 -Ba1	Echio-Verbascetum typicum	Slangekruid-ass.		C	G
31 -Ca2	Bromo inermis-Eryngietum campestris	Kweekdravik-ass.		C	G
31 -Ca3	Tanaceto-Artemisietum	Wormkruid-ass.		C	G
32 -Aa1	Valeriano-Filipenduletum	ass. van Moerasspirea en Valeriaan		C G	G
32 -Ba1	Valeriano-Senecionetum fluviatilis	Rivierkruid-ass.		C G	
33 -Aa1	Claytonio-Anthriscetum caucalidis	ass. van Fijne kervel en Winterpostelein		C	G
36 -Aa2	Salicetum cinereae calamagrostietosum canescentis	ass. van Grauwe wilg		C	G
37 -Aa1	Pruno-Rubetum vestiti	ass. van Fluweelbraam en Sleedoorn		C	G
37 -Aa2	Pruno-Rubetum elegantispinosi	ass. van Sleedoorn en Slankstekelige braam		C	G
37 -Ab1	Pruno-Crataegetum clematidetosum	ass. van Sleedoorn en Eenstijlige meidoorn		C	G
37 -Ab2	Roso-Juniperetum	ass. van Hondсроos en Jeneverbes	C		G
37 -Ac1	Hippophao-Sambucetum	ass. van Duindoorn en Vlier		C	G
37 -Ac2	Hippophao-Ligustretum	ass. van Duindoorn en Liguster		C	G
37 -Ac3	Rhamno-Crataegetum	ass. van Wegedoorn en Eenstijlige meidoorn		C	G
37 -Ac5	Orchio-Cornetum	ass. van Hazelaar en Purperorchis	C		G
38 -Aa3	Cardamino amarae-Salicetum albae	Veldkers-ooibos		C	G
39 -Aa2	Carici elongatae-Alnetum rubetosum idaei	Elzenzegge-Elzenbroek	G	C	
40 -Aa1	Erico-Betuletum pubescentis	Dophei-Berkenbroek	CG		
40 -Aa2	Carici curtae-Betuletum pubescentis	Zompzegge-Berkenbroek	G	C	
41 -Aa1	Dicrano-Juniperetum	Gaffeltandmos-Jeneverbesstruweel	C		G
41 -Aa2	Cladonio-Pinetum sylvestris	Korstmossen-Dennenbos	C		G
41 -Aa3	Leucobryo-Pinetum	Kussentjesmos-Dennenbos	C		G
42 -Aa1	Betulo-Quercetum roboris	Berken-Eikenbos		C	G
42 -Aa2	Fago-Quercetum pteridietosum	Beuken-Eikenbos		C	G
42 -Aa3	Deschampsio-Fagetum	Bochtige smele-Beukenbos		C	G

			X	n	?
42 -Ab1	Luzulo luzuloides-Fagetum	Veldbies-Beukenbos		C	G
43 -Aa3	Crataego-Betuletum pubescentis	Meidoorn-Berkenbos		C	G
43 -Aa4	Carici remotae-Fraxinetum	Goudveil-Essenbos		C	G
43 -Ab1	Stellario-Carpinetum orchietosum	Eiken-Haagbeukenbos		C	G

Vraag 8

Uit mijn literatuuronderzoek heb ik geconcludeerd dat **afgraven** van de bouwvoor de beste methode is om fosfaat uit de bodem te verwijderen. In veengebieden is **afplaggen** een goede maatregel, **uitmijnen** leidt op korte termijn niet tot het gewenste resultaat. Dit betekent dat afgraven de duurste maar de beste methode is.

Bent u het eens met deze conclusie?

Geen Antwoord: F I M (wel motivatie) N

Antwoord:

Ja: B D (ook nee) G (ook nee) H J (ook nee) K L (ook nee)

B Op zich wel, maar de vraag is natuurlijk of fosfaat wel beperkend is en of het dus zinvol is om P te verwijderen.

D Ja, maar sterk afhankelijk van ontgrondingsdiepte en of alles afgevoerd wordt.

G Met afgraven wordt ook dieper gefixeerde voorraad P verwijderd. Zowel afgraven als in mindere mate afplaggen leidt tot aantasting van de zaadbank.

Als uitmijnen op korte termijn niet tot succes leidt, dan doet afgraven dat zeker ook niet. Met afgraven ben je wellicht de overmaat aan P kwijt, maar ook wordt de successie helemaal teruggezet op nul. Voordat vanuit een afgegraven situatie zich een doeltypen zich heeft hersteld, vraagt minstens een zolang periode als uitmijnen.

H In de meeste gevallen is de nalevering van fosfaat langdurig en zal de bouwvoor afgegraven moeten worden. Het is alleen de vraag of dit werkt voor veenbodems. In veenbodems zit veel P in diverse organische fracties gebonden. Dit zal leiden tot lange nalevering. Afplaggen kan onvoldoende zijn. Afgraven is daar echter meestal geen optie, omdat veel van de natuurwaarden juist in de karakteristieken van het veenpakket zitten. Zelf zou ik in die situaties eerder voor uitmijnen kiezen.

J Het hangt van je doel af, en ook van de mogelijkheden. Je stelt eerst een doel of meerdere. Maar als je bijv. een bepaalde maatregel met weinig kosten kunt realiseren mag dat ook best een reden zijn om een maatregel te nemen, mits die kansrijk is. Enig opportunisme is helemaal niet verkeerd!

Uitmijnen gaat zeker erg langzaam, maar de vraag is of dat erg is. Afplaggen of afgraven hebben ook gevaren (verlies van bodemstructuur, zaadvoorraad). Een systeem heeft ook tijd nodig om zich te ontwikkelen, die tijd moet het krijgen.

K Ik denk dat verhoging van de grondwaterspiegel met kalkrijk grondwater tegelijkertijd de bereikbaarheid (worteldiepte) en beschikbaarheid van P kan verlagen, maar denk niet dat dit voldoende effectief is om verrijkte grond geschikt te maken voor bijv. blauwgraslanden.

L Afgraven en uitmijnen.

Nee: A C D E G J L

A Zolang er geen gevaar bestaat voor uit/afspoeling naar het oppervlaktewater, zou je bijv. ook tevreden kunnen zijn met een minder veeleisend natuurdoeltypen.

C Wat wordt met afplaggen bedoeld? In heiden op zandgronden is dit namelijk ook de beste methode om P af te voeren. In veengebieden kan ook na plaggen nog steeds veel P vrijkomen, als vernattingswater ongeschikt is (te hard en/of sulfaatrijk).

D Weinig bekend van effecten van uitmijnen op langere termijn. Misschien is dit een goed alternatief voor relatief P-arme landbouwgronden.

- E Dit is zo afhankelijk van de diepte van het P-front en het vegetatietype dat je wilt, bewortelingsdiepte etc. En dan spit je 30 – 40 cm diep weg, dan ben je in ieder geval ook al je zaden/diasporen kwijt en bereik je niets. Ook dit is te veel versimpeld om nog correct te zijn.
- L Afplaggen.

Overige:

- M Ik weet het niet. Afgraven kan ook niet altijd zomaar, als rekening wordt gehouden met andere abiotische omstandigheden (bijv. gewenste grondwaterstand)

Vraag 9

Uit mijn literatuuronderzoek concludeer ik ook dat peilverhoging tot een verhoogde beschikbaarheid van fosfaat leidt. Bent u het eens met deze conclusie?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

Ja A B C E G H L (ook nee) M

- A Reductie van Fe(III) tot Fe(II) → hogere oplosbaarheid van Fe-P-precipitaten.
- B Theoretisch te verwachten door reductie van Fe, klopt ook met waarneming dat bij te verdoorgesloten vernatting, waarbij waterstand hele jaar ondiep is, vaak verruiging optreedt.
- C Hierover is zeer veel (ook oudere) literatuur voorhanden. Vernatting met kalkrijk water leidt, in tegenstelling tot wat nogal eens beweerd wordt, in Nederlandse veengebieden nooit tot P-binding, maar altijd tot P-mobilisatie. Alleen in kalkmoerassen en kalkrijke natuurgebieden met een minerale bodem en een hoge pH kan CaCO_3 (en niet Ca) P binden.
- E Zie eerder.
- G Dit gaat alleen op als de grondwaterstand tot aan het maaiveld kan worden opgezet. Door reductie lossen alleen de Fe-P verbindingen enigszins op, waardoor P in oplossing komt.
- H Meestal wel, er is wel een pH-afhankelijkheid die de zaak kan compliceren.
- L In de meeste gevallen.
- M Uit peilverhogingen in voormalige maasmeanders en bij de Peel, blijkt dat peilverhogingen leiden tot fosfaatexplosies waarbij bestaande natuurgebieden binnen een groeiseizoen naar de knoppen gaan. Dit effect kan worden bestreden door peilverhogingen geleidelijk door te voeren (info Leon Lamers KUN).

Nee: D K L

- D Je schrijft hierover twee stukjes, namelijk in nat schraalland dat verdroogt neemt de P beschikbaarheid toe. In het laatste stukje schrijf je dat door vernatting P vrijkomt van het ijzercomplex door anaërobe omstandigheden. Mijn inziens is door verdroging dus veel extra P vrijgekomen bij de mineralisatie, dat in Fe-rijke gebieden nog gebonden kan worden. In gebieden zonder Fe is P dan al flink toegenomen. Door vernatting herstel je de vroegere standplaatscondities. Vernatting zou moeten gebeuren met de juiste waterkwaliteit (Fe rijk, Ca rijk).
- K Dat hangt af van de omstandigheden (ijzergehalte van de bodem, kalkgehalte van het water, etc.). Peilverhoging kan ook de worteldiepte en de bereikbaarheid van P verminderen.
- L Bij zeer sterke ijzerrijke kwel.

Overige:

J In zijn algemeenheid zal je dit nooit kunnen zeggen. Watertype en kwaliteit zullen daarbij erg bepalend zijn.

Vraag 10

Zijn er volgens u maatregelen die ik over het hoofd heb gezien?

Geen antwoord: F G (wel motivatie) I N

Antwoord:

Ja: A C E H J K L M

A Toevoegen van Fe (metallisch of als zout of (hydr)oxide).

C 1) Beheer van de (grond)waterkwaliteit: niet alleen de (potentiële) P-voorraad is belangrijk, maar met name de mobilisatiesnelheid. (Grond)waterkwaliteit speelt een zeer grote rol bij de mobilisatie van P (zie ook eerder): alkalinisatie zorgt voor P-mobilisatie, evenals wegvallen van Fe-rijke kwel (kan niet met oppervlaktewater gecompenseerd worden).

2) IJzeradditie, uitgevoerd in aquatische en semi-terrestrische systemen. Dit werkt goed, maar is bij hoge Fe-consumptie (met name bij hoge sulfaataanvoer en daardoor hoge sulfide-productie) te kortdurend en duur.

3) Peilbeheer in semi-terrestrische en aquatische systemen. Te hoog zomerpeil (vernating) leidt tot (hoge) P-mobilisatie, meer natuurlijk peilbeheer (lager in zomer) gaat P-eutrofiëring tegen.

E Bekalk, dat doet een boer o.a. ook om de pH goed te houden.

H Nog iets minder actief dan uitmaaien (uitmijnen?) is maaibeheer, wat op de lange duur ook vruchten kan afwerpen.

J Het sturen van de waterkwaliteit is ook in terrestrische systemen erg belangrijk, daarbij denk ik aan maatregelen om in kwelsituaties het regenwater oppervlakkig af te voeren.

K Bevorderen van kalkhoudende kwel in de wortelzone door ondiepe greppels in het gebied (afvoer van regenwater) en dempen van diepe sloten in de omgeving (voorkomen van lateraal wegzuigen van kwel).

L Ongetwijfeld.

M Fosfaat bindend vermogen verhogen door:

1. injectie van ijzer / aluminium schermen;
2. kunstmatige plaatselijke diepe drainage toe te passen.

Nee: B D (geen motivatie aangegeven)

B Theoretisch kun je ook nog denken aan toevoegen van ijzer om fosfaat te immobiliseren, maar dat zal in de praktijk alleen indirect gebeuren door zodanige veranderingen in de hydrologie dat ijzerrijke kwel het wortelprofiel kan bereiken.

Overige:

G Dat is mij niet bekend.

Vraag 11

Waar zou volgens u de aandacht van vervolgonderzoek op moeten komen te liggen?

Geen antwoord: F I N

Antwoord:

- A Onder welke omstandigheden er sprake is van P-limitatie.
- B Vraag in welke situatie N- dan wel P-beperking te verwachten is, indien mogelijk door vertaling naar de praktijk (in welke situaties kan P een probleem opleveren voor natuurontwikkeling).
- C
 - 1) Op mogelijkheden tot ontwikkeling van mesotrafente systemen op voormalige landbouwgebieden, mogelijk in combinatie met waterberging.
 - 2) meer aandacht op de factoren die de P-mobilisatie beïnvloeden (ook decompositie), niet alleen op potentiële P-voorraad.
- D Hoe is de biomassa-productie laag te houden, ondanks veel P in de bodem. Limitatie door N en K.
- E Experimenten en zaai-/plantproeven.
- G De betekenis van P in relatie tot andere nutriënten (N, K).
- H Er wordt zeer lichtvoetig gedaan over het fosfaatgehalte, alsof alleen een totaal er toe doet. De complexiteit en de oplossingen voor het probleem zitten echter juist in het definiëren van de juiste fractie en het beïnvloeden van die labiele fractie. Via die richting kan ook een oplossing gevonden worden.
- J Het rangschikken van de beschikbare gegevens ten aanzien van P-beschikbaarheid in natuurlijke systemen. Daaruit moeten globale klassen komen van beschikbaarheid die bij de verschillende doelen horen.
- K Modelleren van de P-kringloop, mogelijkheden voor sturing van de N/P aanbodverhouding door manipuleren van de waterhuishouding, kwalitatief en kwantitatief.
- L Echt onderzoek doen.
- M Alle door jou genoemde maatregelen onder 8. Hierbij moet je uitmijnen niet te snel aan de kant schuiven. Uit theoretische berekeningen blijkt mij dat perioden van 80 jaar reëel lijken als tijdsduur. Het planten van maïs zonder bemesting geeft schijnbaar een beter resultaat. Te denken valt ook aan combinaties van maatregelen (zoals genoemd onder vraag 8). De nadruk bij vervolgonderzoek moet naar mijn idee de volgende 3 punten bevatten:
 1. Quick scan methoden verbeteren (hoe maak ik snel een overzichtskaart van bijv. reconstructie gebied Noord- en Midden Limburg, waarop aangegeven staat waar de probleemgebieden liggen. Hiertoe heb ik een poging gedaan door koppeling met de bodemkaart.
 2. Inzicht in de mate van realiseerbaarheid van alle natuurdoeltypen in relatie tot fosfaatgehalten.
 3. Eenvoudig overzicht van de mogelijke maatregelen op uitvoeringsniveau (geen ingewikkeld onderzoek nodig, ik denk aan vuistregels).

Vraag 12

Heeft u nog kanttekeningen bij mijn literatuuronderzoek?

Geen antwoord: D F I M N

Antwoord:

- A Bedenk dat het Ellenberg indicatie getal voor voedselrijkdom zich in wezen richt op alle nutriënten. Dus wees voorzichtig om dit aan P toe te dichten (zie ook eerdere opmerkingen).
- B In je stuk over 'effect van fosfaat op de vegetatie' citeer je onderzoek (bijv. Hoek) waaruit zou blijken dat onder natte omstandigheden fosfaatbeschikbaarheid beperkt is en onder

droge omstandigheden toeneemt, het geen in tegenspraak is met je latere opmerking dat onder natte omstandigheden de mobiliteit van fosfor toeneemt. In hoeverre gaat het hier om harde gegevens (experimenteel getoetst of om interpretaties van de onderzoekers?). In het verleden zijn de nodige mythes ontstaan over fosfaatvastlegging omdat nauwelijks werd gekeken naar de rol van ijzer en alle aandacht naar Ca ging! Graag een discussie met je eigen interpretatie en mogelijke oorzaken van discrepanties in resultaten onderzoek.

- C Ja. Dit is zeer beknopt, meer literatuur is absoluut vereist. Slechts 1 artikel uit de internationale literatuur, voor de rest alleen (meestal niet gerefereerde) Nederlandse literatuur. Er is veel meer beschikbaar.
- E Ik wil t.z.t. gaarne een versie van het rapport ontvangen.
- G Geen.
- H Behalve bovenstaande wordt er te eenvoudig over de interacterende factoren voor plantopname zoals N en licht gedacht. Afhankelijk van die factoren wordt een drempelwaarde ingesteld. Die drempelwaarde is dus geen constante.
- J De 2 laatste vind ik moeilijk om te beantwoorden, omdat dit afhangt van de tijd die je beschikbaar hebt en het niveau dat gezien je opleiding is vereist. Ik krijg de indruk dat wat je hebt gedaan een goede aanzet is.
- K Nee.
- L Ik heb niets tegen een literatuuronderzoek, wel heb ik grote reserves bij deze wijze van deskundigen raadplegen.

Vraag 13

Heeft u nog aanbevelingen wat betreft de literatuur?

Geen antwoord: F I L M N

Antwoord:

- A Proefschrift van Olde Ventering (UU).
- B Nee, hiervoor verwijst ik naar Francisca.
- C Ja, aanvulling over P-voorraad en P-beschikbaarheid. Uitbreiding over interactie met andere factoren, zoals de N-beschikbaarheid (N/P-limitatie) en over decompositie en P-mineralisatie. Bespreking van de methoden van bemonstering en meting van P. (Totaal P zegt meestal niets, natte en vochtige bodems mogen NIET gedroogd worden, etc.)
- D Mijn rapport; ik zal het opsturen zodra het van de drukker terug is.
- E Zie eerder.
- G Geen.
- H Hedley et al., 1982 in Soil Sci. Soc. Am. J.
- J Ter info stuur ik je 2 stukken toe.
- K Diverse (ongeveer 10) doctoraalverslagen zijn op verzoek beschikbaar.

TWEEDE RONDE

Vraag 14

De P-gehalten in voormalige landbouwgronden zijn extreem hoog, in vergelijking met natuurlijke waarden. Toch wordt gesteld dat het effect voor de vegetatie afhankelijk is van de doelvegetatie. Maakt het voor de vegetatietypen niet uit dat P in extreme hoeveelheid voorkomt in het systeem, zolang N maar weinig voorkomt? Zo ja, hoe wordt dit beïnvloed door de in Nederland gebruikelijke N-depositie?

Antwoord

Ja: A E G (ook nee) H M N

- A Ik denk dat dit onder droge omstandigheden misschien niet zo'n slechte aanname is. Onder andere omstandigheden, daarentegen denk ik dat je voorzichtig moet zijn vanwege de (i) kans op verhoogde N-fixatie (ii) kans op verhoogd risico op P-belasting naar het oppervlakte water.
- E Ik kan me geen proeven met extremen herinneren gelezen te hebben. Ik weet wel, dat een bemestingsproef uitgevoerd door S. Guesewel met N/P ratio in mestgift van 5/200 eigenlijk maar heel weinig respons gaven in biomassaverschillen. Als je dit wilt gebruiken, moet je eerst even haar toestemming vragen.
- G Als deze situatie voorkomt op droge (kalkloze zand)gronden zal inderdaad de geringe beschikbaarheid van N de doorslag geven; doorgaans zijn namelijk op droge zandgronden N-beperkte vegetatietypen te verwachten. N-depositie kan dus deze beperking opheffen. Op natte gronden (kwel) zal de royale P-beschikbaarheid doorslaggevend zijn. Deze systemen zijn namelijk meestal P-beperkt, omdat er een royale beschikbaarheid is van N via hoge bodemactiviteit en mineralisatie. N-depositie kan hier geen kwaad.
- H Het maakt wel uit dat P in overvloed aanwezig is, maar het hangt sterk af van de vegetatie en met name ook van de competitieve vegetatie die de doelvegetatie kan verdringen of dat een probleem is. nl. hoe zijn beide type vegetaties aangepast aan N-limitaties.
- M Zolang N maar weinig voorkomt. De invloed van de N-depositie is mij niet bekend. Ook P-depositie komt voor.
- N Het maakt wel degelijk uit of P in hoge mate voorkomt. Of het opgenomen kan worden ligt aan vele omstandigheden, o.a. limitatie. Dus je hebt situaties waarin je wel bij hoge P-gehalten een leuke vegetatie kan krijgen, maar een verschalingsmotor is onontbeerlijk. Het gaat om het proces.

Nee: B D I K

- B In theorie niet, volgens zelfde theorie zouden op fosfaatrijke gronden nergens zeer laag-productieve vegetaties kunnen voorkomen omdat N-depositie vrijwel overal te hoog is
- D Door veel P en weinig N kunnen Leguminosae zich beter ontwikkelen, waardoor de hoeveelheid N snel toe kan nemen. Hierdoor verandert de biomassa productie en de soortensamenstelling. Sterke groei van Leguminosae is op zichzelf vaak ook al een verandering van de soortensamenstelling. N-depositie kan leiden tot een verhoging van de N-beschikbaarheid (kan worden tegengegaan door beheersmaatregelen zoals maaien en afvoeren) en beïnvloedt waarschijnlijk ook de gehele N-cyclus.
- I N is de sturende factor. Je hebt gelijk dat bij toename N-aanbod er verruiging zal optreden. Dat betekent dat het in mijn ogen onzinnig is om onder de huidige omstandigheden te proberen het verleden te kopiëren in de vorm van doel-vegetaties.
- K Het maakt kennelijk wel uit. Ik denk dat de beschikbaarheid van N op de lange duur mede wordt bepaald door de beschikbaarheid van P.

Zo ja ,voor welke vegetatietypen geldt dat P geen of weinig invloed heeft?

- A Geen idee.
- B Geldt voor alle vegetatietypen.
- C In Nederlandse gebieden is de beschikbaarheid van N vrijwel altijd hoog (met name door de hoge atmosferische N-depositie). Toch blijken verschillende vegetatietypen nog op extra N te reageren, m.a.w. door N (co-)gelimiteerd te zijn. Bij excessief veel P (zoals in voormalige landbouwgebieden) blijkt dat enkele soorten (bijv. Pitrus in vochtige gebieden, eendekroos/algen in natte gebieden, allerlei grassen in droge gebieden) erg snel dominant worden, doordat P hoog is en N voldoende hoog. Eigenlijk moet ik het zo zeggen: N is vrijwel altijd hoog genoeg om een effect op P te krijgen.
Als het doeltypen ruigte is (hypertrafente soorten), is de P-beschikbaarheid prima. Dit kan voor fauna-doelstellingen zeer wenselijk zijn, zonder dat het floristisch veel interessants oplevert. Naarmate het vegetatietype (of beter: de soorten) gelimiteerd worden bij lagere P-waarden, zal het moeilijker zijn om dat type na te streven zonder dat er verrijking optreedt.
- G Voor alle grondwater-onafhankelijke vegetatietypen op zandgrond.
- H Het gaat niet om de afwezigheid van invloed, maar om de ratio met andere limitaties. Dat bepaalt de uitkomst van de competitie en er is zo op voorhand niet veel van te zeggen. Over het algemeen zou je kunnen zeggen dat doelvegetaties met stikstofbindende capaciteiten in het voordeel zijn.
- K Geen idee.
- M ?

Vraag 15

Op dit moment is de praktijk dat in een groot deel van de natuurontwikkelingsgebieden waarbij landbouwgrond wordt omgezet in natuurterreinen de bouwvoor wordt afgevoerd. Uit uw reacties lees ik dat deze maatregel niet beter hoeft te zijn dan uitmijnen en dat het risico groot is dat door het weghalen van de zaadbank het effect zelfs negatief kan zijn. Wat is uw reactie hierop?

Antwoord:

- A Hier kan ik me iets bij voorstellen.
- B In de meeste landbouwgronden komen alleen nog zaden van ongewenste storingssoorten voor, dus met uitzondering van enkele zeldzame situaties (nooit gescheurde graslanden) is verwijdering van de zaadbank juist een voordeel.
- C Dan heeft u mijn reactie verkeerd gelezen. Ik ben juist erg voor het weghalen van de bouwvoor; sterker nog, ik weet zeker dat de natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden anders niets anders oplevert dan ruigten en troebel water. Als de bouwvoor niet weggehaald wordt, zullen de (weinig?) interessante zaden het toch niet halen als plant vanwege de moordende concurrentie. Ik vraag me sterk af of er zoveel interessants zit in die bouwvoor. Wat is uitmijnen?
- D In de door mij onderzochte voormalige landbouwgronden die ontgrond zijn is uit onderzoek naar de zaadbank gebleken dat hierin nagenoeg geen interessante soorten gevonden zijn. De gevonden soorten zijn behoorlijke algemene soorten. Uit veel onderzoeken naar zaadbanken onder zowel goed ontwikkelde vegetatietypen, als in meer of mindere mate gedegenerende plekken blijkt dat veel soorten niet in de zaadbank voorkomen. Slechts van een beperkt aantal soorten is bekend dat ze zich na restauratieprojecten hebben weten te vestigen vanuit de zaadbank, bijv. oeverkruid. Dit betreft dan plekken waar de omstandigheden lange tijd niet geschikt zijn geweest voor kieming. In landbouwgronden (met name akkers) is door ploegen etc. de eventuele zaadbank uitgeput. Na ontgronden moet een terrein opnieuw gekoloniseerd worden vanuit de zaadbank of de omgeving. Het verdwijnen van een zaadbank van algemene soorten door ontgronden kun je

- uitleggen als een positief effect omdat deze zaden niet zullen gaan concurreren met de beoogde plantensoorten. Naar mijn idee is het zaadaanbod van algemene soorten vanuit de omgeving in het algemeen veel groter dan van de gewenste soorten. Hierdoor groeit een terrein al snel dicht met minder gewenste soorten, waardoor de beoogde doelsoorten hiermee moeten gaan concurreren, wat een extra belemmering is voor hun vestiging.
- E Correct.
- G Uitmijnen heeft mijn voorkeur, omdat verwijderen van bouwvoor zoiets is als het kind met het badwater weggooiën. Uitmijnen duurt ontegenzeggelijk veel langer, maar past beter bij het tempo van natuurlijke processen, die nu eenmaal bij natuur-/bodem-/ecosysteemontwikkeling horen.
- H De negatieve effecten op de zaadbank hangen sterk af van zowel de periode dat het gebied al landbouwgrond is en met de doelvegetatie: hoe lang blijven de zaden van die specifieke vegetatie levensvatbaar.
- I Zoals ik eerder gezegd heb is het heel lastig een bepaald P-gehalte te relateren aan een beschikbaarheid. Het hangt zeer sterk af van ten eerste het extractiemiddel (wat in deze vraag niet wordt genoemd, wat voor mij alleen daarom al een reden zou zijn om het af te keuren) en ten tweede van de bodemsoort. Afhankelijk van de bodemsoort geeft een bepaald extractant goede informatie over de beschikbaarheid. Geen enkel extractant is voor elk bodemtype geschikt. De N/P verhouding van een vegetatie (en niet van een bodem, ook dat wordt hierboven niet duidelijk) geeft wel aan welk element relatief(!) beperkend is. Het zegt echter inderdaad niets over de beschikbaarheid. Hoe zo'n N/P ratio geïnterpreteerd moet worden is inderdaad afhankelijk van de plantensoorten. Bij vlinderbloemigen, die een lage N behoefte hebben zal P eerder limiterend zijn dan in andere vegetaties. Alleen door een combinatie van beide bepalingen (maar dan moet wel het juiste extractant gebruikt worden) is een goed idee voor de P-beschikbaarheid en limitaties te halen.
- K Uitmijnen kan vele decennia tot een eeuw duren (afhankelijk van de mate van P-accumulatie). Afgraven en aanvullen van de zaadbank door middel van donorhooi levert sneller resultaat.
- M Mee eens.
- N Hier ben ik het over het algemeen niet mee eens. Het geldt volgens mij wel voor zandgronden met een niet te hoog humus gehalte (organische stof). Het geldt niet voor veengronden. Voor kleigronden is het een kwestie van goed bekijken hoe het in elkaar steekt. Zaadbank verwijdering is wel een risico, echter in veenbodems blijken na plaggen nog wel soorten uit de zaadbank tot ontwikkeling te komen.

Vraag 16

Als voorbeeld wil ik het volgende project melden. Het gebied heet Koolmansdijk en ligt in de Achterhoek vlakbij Lichtenvoorde. Op dit moment wordt een natuurontwikkelingsgebied van circa 40 hectare ingericht. Daarbij is gekozen om over een zo groot mogelijk oppervlakte (ca. 10 ha) de bouwvoor (voormalige weiland/maïsland) af te graven. Daarbij wordt getracht de zaadbank die vlak boven de ondergrond ligt met rust te laten. Hierbij moet worden opgemerkt dat het afgraven van de bouwvoor wordt uitgevoerd op de percelen naast een reeds bestaand orchideeënrijk schraalland. Een vlakbij gelegen grondwaterwinning is gestopt, zodat het bicarbonaatrijke grondwater weer tot aan het maaiveld kan komen. Het doel is om een *Cirsio dissecti* Molinietum *par-nassietosum* terug te krijgen met daaromheen *Ericion tetralicis*. Er heeft echter geen onderzoek plaatsgevonden naar het P-gehalte van de bodem ter plaatse. Ik begrijp dat het beter is dit vooraf te onderzoeken voordat de inrichtingsmaatregelen worden gekozen.

Had men er beter voor kunnen kiezen om andere maatregelen te nemen: bijvoorbeeld de voedselrijke toplaag (5-10 cm) door afplaggen te verwijderen in het gehele gebied (dus in plaats van de 10 hectare alle 40 hectare). Wat is uw reactie?

Antwoord:

- A Geen mening. Wel erg specifiek. Om hier iets zinnigs over te geven, is denk ik nog meer gebiedsspecifieke info nodig. Denk ook dat het kostenaspect er dan bij betrokken moet worden.
- B De onderzoeksvraag is juist om te bepalen in welke situaties fosfaatgehalten relevant zijn voor natuurontwikkeling; op grond van de huidige kennis kun je niet zeggen dat het overall nodig is om het fosfaatgehalte te kennen, zeker niet als je vervolgens niet kunt aangeven wat de consequenties zijn van bepaalde gemeten waarden. Vraag is niet duidelijk. Waarom zou alleen de eerste 5-10 cm voedselrijk zijn? Als je al gaat afgraven is het beter om de hele organische toplaag weg te halen omdat je anders alleen maar de afbraak van organisch materiaal en daarmee verruiging stimuleert. Door heel precies te graven, en daarmee de overgang van minerale ondergrond naar organische toplaag te bewaren, kun je proberen om nog iets van de zaadvoorraad te bewaren, maar of dat in de praktijk ook zo uitwerkt is natuurlijk de vraag.
- C Hoe is bepaald dat de voedselrijke toplaag 5-10 cm is? Het is belangrijk om voldoende te verwijderen, omdat anders onvermijdelijk verruiging optreedt. Een aanliggend soortenrijk perceel is zeer gunstig, aangezien het overgrote deel van de terugkeer van de soorten (met hun mycorrhizae) van dit schraalland via dispersie zal moeten geschieden (tenzij men kiest voor herintroductie, maar ook dat is dispersie). In aquatische systemen is de zaadbank o.h.a. veel persistenter en minder afhankelijk van dispersie. Waarschijnlijk is de overgebleven zaadbank weinig interessant, en zeker niet de moeite waard om concessies te doen aan de verwijdering van de overdosis nutriënten.
- D Daarbij wordt getracht de zaadbank die vlak boven de ondergrond ligt met rust te laten. Hiermee bedoel je dat de zaadbank vlak boven het nieuwe maaiveld hoogte ligt? Als dit zo is heb je dus op die plekken waar een klein deel van de oude bouwvoor overblijft, dus een voedselrijke laag. Deze zou voor een verruiging kunnen zorgen op die plekken, waardoor gewenste soorten uit de zaadbank het moeilijk kunnen krijgen. Op de 30 ha waar niet ontgrond wordt krijg je vermoedelijk een redelijk productief grasland. In mijn terreinen heb ik geen aanwijzingen gevonden dat vanuit hoger gelegen rijke plekken uitspoeling van nutriënten naar lageregelegen delen optreedt. Ik kan zo niet beoordelen of met plaggen een gelijk effect wordt bereikt als met ontgronden. Dit hangt af van de verdeling van organisch materiaal in de bodem. Ik verwacht niet dat je met ontgronden al je P kwijtraakt, terwijl je via plaggen de hoeveelheid P in de bodem nauwelijks beïnvloedt.
- E Dit is toch geheel afhankelijk van de P-verdeling over de diepte?? En als er geen P analyses zijn, is het een onoplosbare vraag.
- G Van Koolmansdijk is het nodige bekend (Both en van Wirdum, 1981). Het orchideeënrijke grasland is gelegen in een voormalige plaatselijk venige ontwikkelde kwelzone (beek-eerdgronden), die sinds de 50-er jaren aan het verdrogen is. P gehalten van de bodem varieerden er tussen 0,02 en 0,03 g P/100g. Aangrenzend is een voormalig nat heideveld in het reservaat waar eveneens verdroging (pijpestrootje) is opgetreden. Voor het af te plaggen deel is het belangrijk wat de bodemkundige karakteristiek is; bekeerd of podzolgrond. Afplaggen van de podzolen kan geen kwaad; hydrologisch is en blijft sprake van infiltratie, wat betekent dat het systeem zich in dezelfde richting zal ontwikkelen als waar het ooit vandaan is gekomen (kwestie van tijd); als men beoogt een orchideeënrijk blauwgrasland te kunnen realiseren door af te plaggen dan is dat al zeker een illusie als dit op de infiltratiegronden (podzolen) is gelegen; als het op een (voormalige) kwelzone is gelegen (bekeerden) dan is het zeer twijfelachtig of daar blauwgrasland is te herstellen als niet zeker is dat de hydrologie fundamenteel is hersteld naar kwel; dat betwijfel ik. De ontwikkelingen in Koolmansdijk geven aan dat er sinds de 50-er jaren het kwelsysteem is omgeslagen in een infiltratiesysteem; dit zal zich ook bodemkundig geuit hebben in de vorm van ontwikkeling van micropodzolen en ontijzering. Plaggen heeft hier geen enkele

- zin als het een infiltratiesysteem blijft; hooguit is er een kortdurend succes met enkele pioniersoorten te verwachten die na enkele jaren weer zullen zijn verdwenen.
- H Dat durf ik niet zo te zeggen. Voor mijn gevoel hangt het ervan af hoe de onderliggende gebieden met elkaar verbonden zijn. Hoe kunnen nieuwe (zowel bedoelde als onbedoelde) soorten het afgegraven gebied binnen komen en van hoe ver moeten ze komen. Dat zal voor een groot deel de uitgangssituatie bepalen en daarmee hoe lang het systeem stabiel kan blijven.
- I Ik heb mijn reactie al gegeven. Wellicht helpt het werk van Frank Berendse je verder. Die heeft N en P bemestingproeven uitgevoerd en daarover gerapporteerd. Ons werk in Wyldlannen (Friesland) wijst niet op eenvoudig herstelvermogen; ook niet na herintroductie van kiemplanten.
- K Niet op grote schaal afgraven. Ik ben in principe voor kleinschalige maatregelen. Desnoods in combinatie met kunstmatige zaadaanvoer ("donorhooi").
- M Het is niet onderzocht, dus hier is geen reactie op te geven.
- N 1. Kijken naar de geschiedenis (is bijv. een toemaakdek opgebracht waaronder de zaadbank nog aanwezig is?) van het terrein en naar het systeem.
2. Bepalen van de bemestingsinvloed in de diepte, zodat je kunt bepalen hoe diep je moet plaggen/graven.

Vraag 17

Uit uw reacties blijkt dat een bepaalde mate van peilverhoging niet nadelig hoeft te zijn: Peilverhoging kan ook de bewortelbare diepte en daarmee de beschikbaarheid van P verlagen.

Wat is uw reactie?

Antwoord:

- A Een beetje vergezocht. Men moet echter wel bedenken dat vernatting (zie ook hierboven) ook tot gevolg kan hebben dat de (i) de mobiliteit van P toeneemt en daarmee de beschikbaarheid en het risico op uitspoeling naar oppervlaktewater en (ii) toename N-fixatie.
- B Wel of niet peilverhogen dient primair afhankelijk te zijn van het natuurdoel (natte of droge natuur); in hoeverre peilverhoging om natte natuur te creëren vervolgens weer leidt tot fosfaatproblemen hangt af van onder meer de hydrologie (in infiltratiegebieden kan peilverhoging via ijzerreductie leiden tot fosfaatmobilisatie, terwijl in kwelgebieden de aanvoer van ijzer via het grondwater de fosfaat-vastlegging juist kan bevorderen). Peilverhogen met als doel de fosfaatbeschikbaarheid te verminderen lijkt me geen goede optie ('om de situatie qua voedselrijkdom geschikt te maken voor de gewenste droge heide-vegetatie moesten we de zaak onder water zetten; helaas blijkt struikheide niet te kunnen groeien vanwege de natte omstandigheden').
- C Toename van de P-beschikbaarheid heeft alleen effect als het in de wortelzone optreedt. Als de vernatting niet tot in de rhizosfeer reikt, zal het geen effect hebben. Ik begrijp de redenering niet helemaal; bij een vochtig/nat schraalland zijn er juist veel soorten die in het vochtige/natte deel wortelen.
- D Peilbeheer moet zodanig zijn dat het geschikt is voor een *Cirsio molinietum* gemeenschap dus tot maaiveld in de winter en in de zomer wegzakkend tot wel 1 meter.
- E Nee, in zijn algemeenheid zal hoger water anaërobie veroorzaken met als gevolg een vergrote beschikbaarheid van P is met meer mobiele Fe (2+)PO₄ zie Bodemkunde Scheffer & Schachtschabel.
- G Dat betwijfel ik sterk; ik vermoed dat peilverhoging eerder zal leiden tot indirecte eutrofiëring.
- H Het effect van bewortelbare diepte valt voor mijn gevoel in het niets bij de effecten op verandering in P-beschikbaarheid. De interacties tussen peilverhoging van P-beschikbaarheid zijn echter niet eenduidig en hangen af van in welke fracties P nu in de bodem

aanwezig is en van de waterkwaliteit, bijv. is het ijzerrijke kwel of bicarbonaatrijke kwel of infiltratiewater.

- I Reductie van Fe(III) naar Fe(II) leidt van zelf tot grotere beschikbaarheid van P. Wat is bepaalde peilverhoging? Kan alleen empirisch worden benaderd.
- K Mee eens
- M Pas altijd op met peilverhogingen en doe dit geleidelijk!
- N Twee verschillende zaken moet je verschillend behandelen. Peilverhoging heeft invloed op de P-beschikbaarheid en op de bewortelingsdiepte. Daarnaast kunnen helofyten P beschikbaar maken; het principe speelt in een grote zegge vegetatie en in de rietgemeenschappen.

Vraag 18

In een aantal reacties wordt als maatregel geopperd om Fe of kalk aan de bodem toe te voegen. Graag zou ik willen weten of dit een goede en duurzame methode is om de negatieve effecten van een overmaat aan beschikbaar P in de bodem tegen te gaan?

Antwoord:

- A Levert mijn inziens weinig op richting de vegetatie. Wel is het zo dat hierdoor de uit- en afspoeling naar oppervlaktewater beïnvloed kan worden. De successen op dit gebied lopen echter behoorlijk uiteen.
- B Toevoegen van kalk is ongewenst omdat het kan leiden tot een versterkte afbraak van organisch materiaal en daarmee juist tot het vrijkomen van N en P. Bovendien zijn er ook natuurdoeltypen die alleen op kalkarme bodem kunnen groeien (zie boven bij peilverhoging; waterpeil en zuurgraad primair afstemmen op natuurdoel). Toevoegen van Fe zou mogelijk kunnen helpen, maar of deze maatregel goedkoper is dan afgraven of uitmijnen betwijfel ik. Bovendien: hoe voeg je ijzer toe? Als je dat in de vorm van een makkelijk oplosbaar zout doet zit je weer met een verziltingsprobleem. Door vernatting in combinatie met herstel van kwel kun je indirect wel weer Fe toevoeren en daarmee de fosfaatbeschikbaarheid verminderen.
- C Additie van kalk stimuleert de decompositie (door buffering van geproduceerde zuren), zoals boeren al heel lang weten. Zeker in bodems die veel afbreekbaar organisch stof bevatten (dus met name in veen, maar ook in bodems met een dunnere humuslaag of maar weinig organisch stof) is deze stimulering van de decompositie, en daarmee mineralisatie van P, veel belangrijker dan dat beetje P dat gebonden wordt. Alleen in (zeer) kalkrijke systemen (kalkmoerassen e.d.), waarin de afbraak niet meer geremd wordt door een lagere pH, is de P-binding aan CaCO_3 en CaOH (niet als $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) netto belangrijker. M.a.w. bekalking als maatregel tegen te hoog P is een waardeloze maatregel die in vrijwel alle gevallen niet zal werken, wat zeg ik, tot P-eutrofiëring zal leiden (zoals de boeren ook deden voordat ze uitgekocht werden). Als de consumptie van ijzer in de bodem laag is (dus weinig aanvoer van fosfaat en sulfaat), kan beijzering goede resultaten leveren. Dit is met name bekend voor aquatische systemen. Hierbij dient het niet als Fe^{2+} toegediend te worden, aangezien dit bij oxidatie leidt tot extreme verzuring, en liefst geïnjecteerd te worden.
- D Toevoeging van Fe in combinatie met een waterpeilbeheer leidt tot afwisselend aërobe en anaërobe omstandigheden. Hierbij wordt afwisselend P vastgelegd en komt het weer vrij onder anaërobe condities. Daarom denk ik niet dat dit een duurzame methode is, tenzij je Fe rijk water in kunt laten (kwel).
- E Boeren maatregel? Maar antwoord is geheel afhankelijk van de pH in de uitgangssituatie. Kom je uit het zure gebied $< 4,5$ dan zal extra kalk een pH-verhogend effect hebben en daarmee een extra beschikbaarheid. Als je uit het neutrale basische gebied komt, maakt het niet uit, dan zal P nog wel aan Ca en Mg binden.

- G Zeker geen kalk, vanwege het effect van verhoogde alkaliniteit en de daardoor gestimuleerde N-mineralisatie. Fe-toevoeging is problematisch; de vorm waarin dat gebeurt, is belangrijk; zo leidt toevoeging van ijzeroxiden of ijzerchloride tot een sterke verzuring. Er schijnen hier wel alternatieven voor te bestaan.
- H Het effect van bewortelbare diepte valt voor mijn gevoel in het niet bij de effecten op verandering in P-beschikbaarheid. De interacties tussen peilverhoging en P-beschikbaarheid zijn echter niet eenduidig en hangen af van in welke fracties P nu in de bodem aanwezig is en van de waterkwaliteit, bijv. is het ijzerrijke kwel of bicarbonaatrijke kwel of infiltratiewater.
- K Effectiviteit en duurzaamheid van Fe-bemesting en –bekalking zijn mij niet bekend, maar kleinschalige experimenten hiermee lijken me zeer de moeite waard.
- M Theoretisch werkt deze maatregel natuurlijk. In de praktijk zou ik huiverig zijn om nog meer stoffen aan de bodem toe te voegen. Ik zou hier niet voor kiezen.
- N Het blijkt bij eenmalige toediening geen duurzame methode; zie ervaringen in de landbouw (bekalking), bossen. Bekalken en waterbodems injecteren. Constante vorm van beheer, die je moet willen. Heeft tuinier-aspecten.

Geen antwoord: F I L

Vraag 19

Uit de reacties is af te leiden dat P (co)limiterend is in veel systemen/situaties, maar het is blijkbaar moeilijk aan te geven welke vegetatietypen alleen voorkomen in een fosfaatarm tot zeer fosfaatarm milieu, en dus verdwijnen als P niet (co)limiterend is. Toch wil ik u vragen om voor de vegetatietypen waarover u kennis heeft uw mening te geven.

Antwoord:

- A Geen idee.
- B Ik ken geen vegetaties die alleen op P reageren, ik kan dus ook geen specifieke vegetaties aangeven die alleen in fosfaatarm milieu kunnen groeien. Wel is in het algemeen aan te geven welke vegetaties alleen kunnen groeien op standplaatsen met een geringe productiviteit door beperking van N, P of K. Dat soort gegevens kun je bijvoorbeeld vinden in de NOV-rapporten over de gewenste grondwatersituatie en in de KIWA-SBB indicatorboekjes. Verder kan ik alleen iets specifiek zeggen over fosfaat- en kaliumrijke milieus, zoals bijvoorbeeld rivierkleien. Hier zie je in wat minder productieve vegetaties relatief veel Vlinderbloemigen, die in staat zijn tot stikstofbinding en daardoor in staat zijn te profiteren van de relatief hoge fosfaatgehalten (voor hen geldt geen N-beperking). Het gaat dan om vegetaties uit het Arrhenateretum en Lolio-Cynosuretum. Maar dat is waarschijnlijk niet wat je wilde weten.
- C Door de hoge N-achtergrond in Nederland zal vrijwel altijd in alle vegetatietypen (extreme) P-verrijking leiden tot ongewenste ontwikkelingen. Uitzonderingen: locaties met erg lage N-beschikbaarheid (zeer zeldzaam in NL) en vegetaties waarbij de beschikbaarheid van P al heel hoog is (beide alleen N-gelimiteerd). Voor gemaaide vegetaties geldt dat hoe langer het beheer al loopt, hoe meer P relatief beperkend wordt. Vergrassing in heiden, verruiging (Pitrus, Liesgras, etc.) van veel wetlands (inclusief blauwgraslanden) worden sterk gestimuleerd door hoge P-beschikbaarheid. Alle aquatische systemen (behalve bij extreem laag N) veranderen door hoog P in groene soep. Hoog-P wateren veranderen niet, maar worden al gedomineerd door cyanobacteriën en/of Kroosvaren. Hoogveenvegetaties in hoog-N landen (NL) zijn vooral P gelimiteerd. Bossen op zandgronden in NL reageren ook op P. Zover ik weet, lijken alleen jonge gemaaide trilvenen in NL en kalkgraslanden niet of nauwelijks te reageren op extra P. In kalkgraslanden reageert de vergrasser, Gevinde kort-

steel, althans niet op P-additie. Ik vind het echter onvoldoende om te stellen dat een enorme P-dosis geen effect zou kunnen hebben in deze systemen. Voor de jonge trilvenen is niet bekend wat het effect na een aantal jaar is; ik verwacht verzuuring door P. Geen effect verder natuurlijk in systemen die ingesteld zijn op hoog P: ruigten, P-rijke (meestal troebele) wateren, etc.

- E Dat is dus precies het probleem. Waarom is een kleine Carex vegetatie N gelimiteerd in Nederland, terwijl diezelfde in Ierland P-gelimiteerd is!!! Eigen bemestingsproeven??? Het blijft gewoon lastig, er is niet een standaard protocol.
Regulerend: herstel van Fe-rijke kwel; dit bindt deel P (dit komt niet door Ca of HCO_3^-).
- G Alle vegetatietypen die min of meer grondwatergebonden zijn en (periodiek) gevoed worden met kwelwater. In vrijwel al deze typen is P de belangrijkste verklarende variabele voor de productiviteit van de vegetatie.
- H Zie hiervoor de OBN-rapporten van de verschillende deskundigenteams.
- I Wellicht is bekalen het beste, omdat Ca slechts met een waardigheid voorkomt. Maak er maar Apatieten van. Zou dat lukken? Daar komt bij dat CaCO_3 zich als $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ redelijk in de grond kan verspreiden: neemt wel wat tijd. Mij is niet bekend wat dat betekent voor Spaanse ruiter enz.
- K Ik heb geen ervaring met specifieke plantengemeenschappen. Volgens mijn "Resource Balance Hypothese" is co-limitatie in het algemeen gunstig voor de soortenrijkdom van plantengemeenschappen. Daarom is co-limitatie te prefereren met het oog op de biodiversiteit.
Doordat de nutriënten die het sterkst limiterend zijn voor de vegetatie het beste worden "geconserveerd" door de vegetatie, staan zij minder bloot aan verliezen uit het ecosysteem. Dit principe van "selectieve conservering" leidt op den duur tot co-limitatie.
Met het oog op het behoud van unieke vegetaties kan het echter zinvol zijn om ecosystemen met eenzijdige N-of P-limitatie te behouden.
- M Geen idee.
- N Weet ik te weinig van.

Geen antwoord: D

DERDE RONDE

Vraag 20

Er zijn op dit moment bij mij twee manieren bekend om te zien of P limiterend is voor het ontwikkelen van schrale soortenrijke vegetatie, namelijk N:P-verhouding en 5 mg P /100 gr grond. Mijn mening is: P/N verhouding zegt iets in schrale omstandigheden over de aansturing van het beheer. Het zegt niets over beschikbaarheid van P. In de situatie van voormalige landbouwgronden is de beschikbaarheid van P extreem hoog. Uit mijn literatuuronderzoek is bijvoorbeeld gebleken dat in de omstandigheden van heel veel P met een limitatie door N vlinderbloemigen schrale en bijzondere vegetatie op zich weg concurreren maar bovendien door N-vastlegging in de grond ook de bodem verrijken waardoor andere vegetaties, die van voedselrijkere omstandigheden houden ook meer kansen krijgen ten nadele van de gewenste vegetatie. Ik stel dan ook voor om bij landbouwgronden uit te gaan van het gegeven dat de grond niet meer dan 5 mg P/100 gr grond mag hebben voor het realiseren van een schrale voedselrijke vegetatie.

Bent u het daarmee eens?

Antwoord:

Ja: A D (ook nee) E K

- A Denk op zich dat een absoluut gehalte soms wel kan werken, maar denk dat het beter is dit in samenhang met de factoren vocht of GLG, Al en Fe-gehalte, OM en N-belasting moet worden gezien.
- D Ik ben met je eens dat een N/P ratio niet zo veel zegt over de absolute hoeveelheid of beschikbaarheid van beide in de bodem.
- E Maar de N/P ratio is volgens Verhoeven, Koerselman et. al. ook eigenlijk een plant-parameter. Door de reactie van de plant op de beschikbaarheid van N en P, zie je welk ion limiterend is. Een gehalte voor de bodem geeft meer aan boven welk getal geen goede of gewone groei meer mogelijk is.
- K De redenering klopt, maar het juiste P-gehalte kan ik niet beoordelen. De N/P verhouding in de biomassa zegt meer dan een absoluut N of P gehalte in de grond, maar alleen wat op schrale gronden. Een absoluut gehalte in de grond is i.h.a. een slechte maat voor de P-beschikbaarheid, omdat de beschikbaarheid van de aanwezige P sterk afhangt van vele factoren. Welk P-gehalte bedoel je trouwens? Er zijn vele methoden om P te meten.

Nee: C D (ook Ja) G H I N

- C Totaal P-analyse zegt niets over de beschikbaarheid van P, en daarmee niets over de ecologische implicaties. Deze methode is ongeschikt.
- D De 5 mg/100gram zegt ook weinig over de beschikbaarheid van P. Lokale omstandigheden zijn hierop van invloed.; deze 5 mg/100 gram kan misschien een indicatie geven, maar mijns inziens moet deze grens wel met enige voorzichtigheid gebruikt worden.
- G Ik weet niet waar deze 5 mgP/100g grond vandaan komt. Maar het lijkt me niet reëel.
- H Zoals ik eerder gezegd heb, is het heel lastig een bepaald P-gehalte te relateren aan een beschikbaarheid. Het hangt zeer sterk af van, ten eerste het extractiemiddel (wat in deze vraag niet wordt genoemd, wat voor mij alleen daarom al een reden zou zijn om het af te keuren) en ten tweede van de bodemsoort. Afhankelijk van de bodemsoort geeft een bepaald extractant goede informatie over de beschikbaarheid. Geen enkel extractant is voor elk bodemtype geschikt. De N/P verhouding van een vegetatie (en niet van een bodem, ook dat wordt hierboven niet duidelijk) geeft wel aan welk element relatief(!) beperkend is. Het zegt echter inderdaad niets over de beschikbaarheid. Hoe zo'n N/P ratio geïnterpreteerd moet worden is inderdaad afhankelijk van de plantensoorten. Bij vlinderbloemigen, die een lage N behoefte hebben zal P eerder limiterend zijn dan in andere vegetaties. Al-

leen door een combinatie van beide bepalingen (maar dan moet wel het juiste extractant gebruikt worden) is het een goed idee voor de P-beschikbaarheid en limitaties te halen.

I Je geeft zelf al het antwoord in het begin van dit stukje. Totaal P zegt niets.

N Ook 2 mg / 100 g heeft zijn nadelen; dit moet je dan weer uitsplitsen naar type grond en omstandigheden wil je een relatie met biologische beschikbaarheid leggen. Uitgaan van één limiterend nutriënt is natuurlijk een sterke vereenvoudiging van het systeem. Je kijkt naar meer aspecten. Anderzijds is het uitgaan van zeer lage hoeveelheden beschikbaar P wel een koninklijke weg om uit de problemen te raken; echter de meeste gronden voldoen hier niet aan. Er is hier dus sprake van een schijnbare tegenstelling; uitgaande van N-limitatie is de vestiging van vlinderbloemigen een logisch risico, maar door voortgaand beheer kan er iets aardigs ontstaan. Uitgangspunt moet zijn dat, indien je streeft naar een schrale vegetatie vanuit een rijke uitgangssituatie, er een motor voor de verschraling moet zijn. Zo niet, dan moet je je doelen bijstellen. Met andere woorden het gaat hier niet om normstelling maar om procesbeschrijving; je wilt van de ene naar de andere situatie.

BIJLAGE B

**REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER NATUURBEHEERDERS
(STAATSBOSBEHEER, DE LANDSCHAPPEN EN NATUURMONUMENTEN)
EN MEDEWERKERS DIENST LANDELIJK GEBIED**

Reacties werden ontvangen van:

code	naam	instelling	afdeling
I	Henk de Vries	It Fryske Gea	
II	Loekie van Tweel	Landschap Overijssel	
III	Hester Heinemeijer	Drents Landschap	
IV	Jan E. Meijer	Dienst Landelijk Gebied	Friesland/regio Noord
V	Ron Fijn	Dienst Landelijk Gebied & Ron Fijn	Groningen Regio Groningen/Drenthe
VI	Cees Buddingh	Dienst Landelijk Gebied	Gelderland/Regio oost
VII	Marion Bilius	Staatsbosbeheer	Regio Zuid-Holland/Utrecht
VIII	Geert Kooijman	Staatsbosbeheer	Regio Flevoland-Overijssel
IX	Han Sluiter	Staatsbosbeheer	Regio West-Brabant/Deltagebied
X	Hans Wondergem	Staatsbosbeheer	
XI	Harm Piek	Natuurmonumenten	Regio Noord-Holland

Algemene opmerkingen vooraf:

- III De vragen zijn vanuit het beheer niet erg praktisch.
- VII Hierbij mijn antwoord op de vragen. Ik ben zelf geen onderzoeker. Heeft u deze vragen ook voorgelegd aan Piet Schipper (Staatsbosbeheer Driebergen)? Hij is misschien in staat (als hij daar tijd voor heeft) om antwoord te geven op de vragen over de vegetatietypen.

I Algemeen

Vraag 1

Heeft u al eens eerder meegedaan aan een enquête waarbij de DELPHI-methode werd gebruikt?

Antwoord:

Ja: XI

Nee: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X

Vraag 2

Wanneer bent u voor het laatst betrokken geweest bij projecten naar effecten van fosfaat in aquatische en/of terrestrische systemen?

Antwoord:

- | | |
|---------------------|---|
| Afgelopen jaar | III, IV, VI, IX |
| 1 - 2 jaar geleden | III, V, VIII, IX (1999 In het Grote Gat is een verdrogingsbestrijdingsproject uitgevoerd waarin ook gebaggerd is om de nalevering van fosfaat te verminderen), XI |
| 2 - 5 jaar geleden | III |
| 5 - 10 jaar geleden | II, X (8 jaar geleden of zoiets, bij de herinrichting van een akkerbouwperceel direct naast Stroothuizen in Twente) |

meer dan 10 jaar geleden III
nooit I (wel kennis genomen van extern onderzoek in onze terreinen (RUG, KUN)), II, VII (niet zelf een project gedaan, wel kennis genomen van onderzoeksresultaten bijv. in het blauwgrasland reservaat van Staatsbosbeheer De Meije. We hebben ook projecten langs de binnenduinrand bij Wassenaar)

Vraag 3

Vonden de projecten m.b.t. tot fosfaat ook plaats in voormalige landbouwgronden?

Antwoord:

Ja: I, III, IV, V, VI, VII, VIII, XI

Zo ja, wat was het historisch landgebruik:

- I Normaal tot vrij extensief agrarisch gebruik.
- III Intensief grasland, maïsakkers, overige akkers.
- IV Landbouw.
- V Noemt geen voorbeelden.
- VI Bouwland en grasland.
- VII Grasland (Meije), bollenteelt (binnenduinrand).
- VIII Noemt het bij de naam.
- XI Meestal akker, maar ook grasland en soms tuinbouw, slibdepots, sedimentatiegebieden in uiterwaarden.

Nee: VIII, IX

Zo nee, in welk milieu wel:

Of anders in beide milieus. Graag ook noemen welke:

- VIII Hoogveen.
- IX Afgesloten voormalige kreek.

Geen projecten

- II Geen projecten met effecten van fosfaat uitgevoerd bij Overijssels Landschap.

Vraag 4

Welke analysemethoden heeft u gebruikt bij de bepaling van fosfaat (bijvoorbeeld P-totaal)?

- I Weet ik zo niet; een onderzoek is van J. Roelofs (Schaopedobbe) en het andere van Rudi van Diggelen (Dellebuurster heide).
- V Laten uitvoeren, methodiek niet bekend.
- VIII PO_4^{3-} met een autoanalyzer en totaal-P met een ICP, het onderzoek op voormalige landbouwgronden heb ik niet zelf uitgevoerd dus dat zou ik na moeten vragen.
- IX Niet bekend, is uitgevoerd door het Zuiveringsschap.
- X Waterkwaliteitsanalyses.
- XI Alle analyses worden uitbesteed aan externe onderzoeksbureaus waaronder Oosterbeek, waterschapslaboratoria en universitaire instellingen, RIZA etc. Diverse methoden zijn in het geding.

Geen: II, III, IV, VI, VII

Motivatie:

- III Je kunt de hoge voedselrijkdom zo al wel zien aan de vegetatie in de eerste jaren.
- VII N.v.t.

II PROBLEMATIEK

Vraag 5

Uit onderzoek is bekend dat verhoogde fosfaatconcentraties in aquatische milieus tot eutrofiëring kunnen leiden. Ons onderzoek richt zich voornamelijk op fosfaat in terrestrische milieus. Is fosfaat in terrestrische milieus bij natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden volgens u een probleem?

Antwoord:

Ja: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI

Motivatie:

- I Met name de ontwikkeling van lastige kruiden (bijv. pitrus) kan toe te schrijven zijn aan fosfaat in het systeem.
- II Herstel na afplaggen duurt soms veel langer dan je zou verwachten, fosfaat zou hier zeker de oorzaak van kunnen zijn.
- III Het duurt zeer lang voor er d.m.v. beheer vegetaties verschijnen die een beetje de moeite waard zijn.
- VI Omdat N geen beperkende factor is vanwege achtergrondsdepositie is fosfaatgehalte cruciale factor bij verschraling.
- VII Het belemmert de mogelijkheden voor ontwikkeling van bepaalde (kwetsbare of prioritaire) natuurdoeltypen zoals nat schraalgrasland.
- VIII Eén van de doelen van ons project was het grondwater weer ondiep uit de bodem te laten uittreden en het oppervlaktewater oppervlakkig te laten afspoelen. Het blijkt nu dat benedenstrooms van de voormalige landbouwgronden een eutrofe vegetatie gevestigd is. De gewenste mesotrofe vegetaties zijn niet gekomen. De consequentie is dat er een maaibeheer noodzakelijk is en dat de gewenste vegetaties pas later kunnen verschijnen.
- IX Wanneer vernatting onderdeel uitmaakt van het natuurontwikkelingsproject treden verhoogde concentraties fosfaat op door fosfaatmobilisatie.
- X Hoge fosfaatgehalten kunnen leiden tot verruiging van vegetaties.

Vraag 6.

In ons onderzoek wordt ervan uitgegaan dat een verhoogd fosfaatgehalte een probleem is bij het bereiken van bepaalde natuurdoel(typen). Is dit volgens u juist?

Antwoord:

Ja: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI

Motivatie:

- I Deze aanname klopt met onze ideeën, die gebaseerd zijn op ervaringen bij natuurontwikkelingsprojecten.
- II Sommige soorten komen daardoor gewoon niet terug.
- III Scheiding tussen fosfaat of nitraat niet gemeten. Het is voedselrijk. Vervolgens stug doorbeheren, maaien en afvoeren of begrazen of afgraven of afplaggen.
- IV Doorgaans geen meetgegevens nodig. Je ziet zowel dat het te voedselrijk is. Het hangt af van oorspronkelijke vegetatie, periode agrarisch beheer/gebruik. Mate van omwoelen, diepploegen – aangrenzende terreinen en het moedermateriaal.
- V Explosies van rietgras, liesgras en pitrus; ook invloed van sulfaatrijk oppervlaktewater kan probleem worden (veengebied).
- VI Zie ook vraag 5, omdat N geen beperkende factor is vanwege achtergrondsdepositie is fosfaatgehalte cruciale factor bij verschraling.
- VII Zie vraag 5, het belemmert de mogelijkheden voor ontwikkeling van bepaalde (kwetsbare of prioritaire) natuurdoeltypen zoals nat schraal grasland.

- VIII Ja, hoewel je ook zou kunnen zeggen dat een langduriger verschraving noodzakelijk is dus dat het eigenlijk alleen een kwestie van tijd en geld is.
- IX Het streefbeeld bij natuurontwikkeling is vaak gericht op minder robuuste, eutrofe vegetaties zoals kunnen optreden bij natuurontwikkelingsprojecten met veel fosfaat in de bodem.
- X Indien verzuivering ongewenst is met soorten die profiteren van de hoge fosfaatgehalten
- XI Zie bij vraag 5; fosfaat is een van de belangrijkste operationele standplaatsfactoren die de primaire plantaardige productie bepaalt. Overmatige productie beïnvloedt in sterke mate de onderlinge concurrentieverhoudingen tussen plantenpopulaties die bepalend kan zijn voor de botanische samenstelling en daarmee ook van grote invloed is op het al of niet (en mate waarin) voorkomen van de gewenste soorten zoals doelsoorten, rode lijstsoorten en andere uit oogpunt van natuurbehoud belangwekkende soorten. Daarnaast is fosfaat in de bodem ook rechtstreeks van belang als standplaatsfactor voor de uit oogpunt van natuurbehoud belangwekkende soorten en levensgemeenschappen. Vele soorten verlangen lage concentraties aan P. Bij ontwikkeling en beheer van landbouwgronden tot natuurgebieden is het sturen op beschikbaarheid van P een belangrijke conditionerende factor.

Vraag 7.

Door ons is een voorselectie gemaakt van vegetatietypen die alleen in voedselarme tot matig voedselrijke terrestrische milieus kunnen voorkomen. Welke vegetatietypen kunnen volgens u zeker alleen voorkomen in een fosfaatarm tot zeer fosfaatarm milieu (aangeven met x) en welke waarschijnlijk niet (aangeven met n). Wanneer u een vegetatietype mist wilt u die toevoegen. De lijst is gebaseerd op een bestaande database, waarbij ik op basis van Ellenberg-getallen voor planten vegetatietypen heb verwijderd.

Antwoord:

- I Hiervoor schiet mijn kennis echt te kort!!!
- III Speciaal streven naar een natuurdoeltype werkt frustrerend. Probeer gewoon een haalbaar voedselarme situatie te herstellen en te behouden en wacht maar af wat er komt. Wat je vervolgens krijgt hangt sterk af van vervolfbeheer na de ingrepen.
- IV Heb hier persoonlijk geen onderzoekservaring mee, maar er is in de literatuur wel het een en ander over na te zoeken. Onderzoekers zullen vast steekhoudende meningen kunnen geven.
- V Bijna alle genoemde vegetatietypen.
- VI Weet ik onvoldoende van.
- VII Sorry, aan deze vraag begin ik even niet. Ik ben geen onderzoeker en kan hoogstens een deel van de antwoorden gokken. Overigens moet je met een literatuurstudie of door inhuren van deskundigen wel verder kunnen komen.
- VIII Een aantal van deze vegetaties ken ik niet voldoende om er een uitspraak over te doen. Het ontbreken van commentaar duidt dus niet op het wél kunnen voorkomen onder fosfaatrijke omstandigheden. Ik ben daarnaast uitgegaan van beschikbaar fosfaat als uitgangspunt voor fosfaatarm. Geeft aan sommige vegetatietypen welke wel en welke niet onder fosfaatarme omstandigheden kan groeien.
- IX Bijna alle genoemde vegetatietypen.
- X, XI Geeft duidelijk aan welk vegetatietype wel en welke niet onder P arme omstandigheden groeit

Vraag 8

In de literatuur lezen wij dat afgraven van de bouwvoor de beste methode is om fosfaat uit de bodem te verwijderen. Afplaggen is alleen in veengebieden een goede maatregel om alle fosfaat te verwijderen. Uitmijnen leidt op korte termijn niet tot het gewenste resultaat maar is gunstiger m.b.t. behoud van de zaadbank. Bent u het eens met deze conclusies?

Antwoord:**Ja:** I, IV, V, VIII, IX

Motivatie:

- IV Tenzij de zaadbank is begraven.
- V Fosfaat blijft lang gebonden; veraard veen levert echter ook weer meer P op.
- VIII Ik ben het hiermee eens. Het is wel afhankelijk van de specifieke omstandigheden van de locatie (kwaliteit zaadbank, nabijheid andere bronnen van diasporen) welke maatregel wenselijk is.
- IX Het effect van het ontbreken van zaden in de bodem wordt onderschat.

Nee: VI, X, XI

Motivatie:

- VI Ook op minerale bodems.
Beekeerdgronden in kwelmilieus zijn van nature mesotroof en kunnen grote hoeveelheden fosfaat binden. Ook hier is het verwijderen van de bouwvoor zeer effectief gebleken.
- X In Overijssel (Bij Stroothuizen) zijn goede resultaten bereikt door een aantal jaren na beëindiging van het intensieve landbouwkundig gebruik nog een aantal jaar maïs te telen. (Bedoelt U hiermee uitmijnen?)
- XI Als het doel is om in het P-gehalte te verlagen tot het niveau die het gewenste vegetatietype verlangt dan is plaggen en afgraven wel degelijk ook een goede methode op minerale gronden (zie onder RUG van Diggelen e.a.). Maar dat wil nog niet zeggen dat de gewenste soorten of plantengemeenschappen ook daadwerkelijk aanwezig zijn. Dit ondanks dat het P-gehalte voldoende laag is. Vele andere factoren spelen daarin een sleutelrol zoals dispersie, N-gehalte, zuurgraad, SO_4 -gehalte, IR-ratio en ook een goed beheer als maaien en grazen en waterpeilbeheer. Plaggen in veengebieden kan mogelijk wel de P-concentratie in de wortelzone verlagen, maar dit graafwerk leidt dikwijls tot sterke mineralisatie van het kale veen waarbij veel N vrijkomt en slechts zeer magere resultaten geeft (bijv. veel *Holcus lanatus*, of *Agrostis canina*).

Ja/Nee: III, VII

Motivatie:

- III Afhankelijk van het gebied, historisch gebruik, aangrenzende terreinen.
- VII Ja alle fosfaat verwijderen is vaak gunstig, zaadbank behouden is belangrijk.
Nee alle fosfaat verwijderen geeft niet automatisch succes (bijv. de Klip bij Wassenaar).

Vraag 9

Uit de literatuur concluderen wij ook dat peilverhoging tot een verhoogde beschikbaarheid van fosfaat leidt. Bent u het eens met deze conclusie?

Antwoord:**Ja:** I, IV, VII, IX

Motivatie:

- I Dat heb ik ook uit literatuur en gesprekken met onderzoekers (Roelofs, Grootjans, Kemmers, Lamers) begrepen. Klopt ook met bijv. uitblijvende ontwikkelingen in de verlanding in de Alde Feanen.
- IV Tenzij fosfaat door ijzer wordt vastgelegd.
- VII Er zijn diverse literatuurvoorbeelden die wijzen op verhoogd vrijkomen van nutriënten bij peilverhoging. Overigens gaat peilverhoging vaak meteen gepaard met inlaten van voedselrijker water.
- IX Verruiging is vaak waarneembaar aan de vegetatie.

Nee: V, XI

Motivatie:

- V Mits het peil in de zomer weer uit kan zakken. Vooral sulfatrijk water geeft extra interne nalevering van P.
- XI De beschikbaarheid van P in natte milieus wordt voor een belangrijk deel bepaald door de oplosbaarheid van P en die wordt in belangrijke mate geconditioneerd door Ca, Mg of bicarbonaat HCO_3^- . Het is dus niet mogelijk hierover een eenduidige uitspraak te doen.

Ja/Nee: III, VI, VIII, X

Motivatie:

- III Idem aan vraag 8. Afhankelijk van het gebied, historisch gebruik, aangrenzende terreinen. het zal tijdelijk (soms heel lang) soms dit effect hebben.
- VI De beschikbaarheid van fosfaat neemt weliswaar toe maar de vraag is of dit bij een verrijkte landbouwgrond effect heeft op de vegetatie. P is vaak, ook zonder vergrote beschikbaarheid, al geen limiterende factor.
- VIII Tijdelijk leidt peilverhoging tot een versneld beschikbaar komen van fosfaat. Het is echter sterk afhankelijk van het grondwaterregime en van de mate van stroming of dat effect blijvend is.
- X Afhankelijk van het watertype, onder basenrijke omstandigheden zal er buffering optreden van de hoeveelheid beschikbare fosfaat, onder basenarme omstandigheden zal de beschikbaarheid van fosfaat vermoedelijk toenemen.

Vraag 10

Zijn er volgens u effectieve maatregelen die ik over het hoofd heb gezien?

Antwoord:

Ja: III, V, XI

Motivatie:

- III Combinatie van maatregelen.
- V Bodemsamenstelling: ijzerrijke gronden zijn veel gevoeliger voor P.
- VIII Het herstellen van ijzerrijke grondwaterstromen kan een goede maatregel zijn, grondwaterpeilfluctuaties en stroming ook.
Ik denk dat bekalken ook helpt door het vastleggen van calciumfosfaat, maar heb daar geen ervaring mee, misschien is het effect te gering voor natuurontwikkeling
- XI Bekalken, herstel kwel, en andere maatregelen die gericht zijn op verminderen van oplosbaarheid van P in plaats van afvoeren van P.

Nee: I, X

Ja/Nee: VII

Motivatie:

- VII Maatregel waarvoor? Fosfaat kwijtraken is geen doel op zich maar een middel om een bepaald doel te bereiken. Welk doel is dat?

Vraag 11

Waar zou volgens u de aandacht van ons vervolgonderzoek op moeten komen te liggen?

Antwoord:

- I Proberen duidelijkheid te krijgen in de relatie met sulfaat en ijzer (onderzoek Roelofs en Lamers) en de manieren om tot een succesvolle natuurontwikkeling te komen, zowel in aquatische als terrestrische systemen.
- III Langdurig volgen van verschillende typen van ingrijpen, niet alleen fosfaat bekijken maar algehele voedselrijkdom. Meer aandacht voor vervolgbeheer. Duidelijk splitsen in diepte afgraven in relatie tot moedermateriaal en gestoorde/ongestoorde profielen.
- V Hoe lang inunderen. Hoogte van SO_4 concentraties. Invloed van Ca- en Fe-rijk (kwel)water.
- VI Goede methodes die de keuze afplaggen of verschralingbeheer beter onderbouwen.
- VII Welke natuurdoeltypen kunnen worden gerealiseerd, met behulp van welke maatregelen, op voormalige agrarische gronden.
- VIII Immobilisatie i.p.v. verwijdering, vanwege de hoge kosten.
- IX De verschillen tussen natuurontwikkelingsgebieden waar lokale kwel optreedt en natuurontwikkelingsgebieden waar vernatting optreedt door inlaat van water of vasthouden van neerslag.
- X Effect van uitmijnen.
- XI Een belangrijk aspect bij het onderzoek naar de kansen van natuurontwikkeling op P-verzadigde bodems is het aspect tijd en ontwikkelingsreeksen. Voor veel vegetatietypen weten we te weinig van tijdsduur van herstel bij verschillende inrichtings- en beheersmaatregelen. Een ander aspect waar veel meer onderzoek naar moet plaats vinden is de dispersie van soorten. Kunnen soorten bepaalde afstanden overbruggen en zo ja hoe groot en hoe vaak? Afzetmogelijkheden van afgegraven P-verzadigde bodems is eveneens van belang en zijn er mogelijkheden om dergelijke bodems te reinigen.

Vraag 13

Heeft u nog aanbevelingen wat betreft de literatuur en rapporten van studies?

- V Dissertatie van L. Lamers.
- VII Tijdschrift Landschap bevat vele interessante artikelen. De rapporten over de Klip en Lentevreugd bij Wassenaar kunnen interessant zijn. Over de schraallanden langs de Meije is veel geschreven, (onderzoeker A. Meuleman van KIWA).
- XI Kom eens langs in onze documentatiebibliotheek, waarin veel informatie aanwezig is.

BIJLAGE C

REACTIES OP DE ENQUÊTE ONDER ONDERZOEKERS UIT HET BUITENLAND

Reactions were received from:

name	institute	place, country
Kirkham, F.W.	ADAS Ecology R and D Group	Wolverhampton, UK
Tallowin, J.R.B.	IGER	North Wyke, UK
Peeters, A.	Univ. Catholique de Louvain	Leuven, Belgium
Paschke, M.W.	Dept of Rangeland Ecosystem Science Colorado State University	Fort Collins, USA
Meissner, R.	Centre for Environmental Research Leipzig - Halle Ltd., Lysimeterstation	Falkenberg, Germany
Drouillon, M.	Lab of Soil Fertility and Soil Biology Kath. Univ. Leuven	Heverlee, Belgium
Critchley, C.N.R.& Chambers, B.J.	ADAS Stocksfield	Stocksfield, Northumberland, UK
Wurbs, A.	Center Agric. Landscape & Land Use Res. Inst. Land Use Systems & Landscape Ecol.	Müncheberg, Germany
Grogan, P.	Cranfield University, Institute of Water and Environment	Silsoe, UK

NOTE: questions numbers correspond to another inquiry.

Question 2

When was the last time that you (or your research group) were involved with research on the effect of phosphorous on aquatic or terrestrial ecosystems?

- last year
- 1 to 2 years ago
- 2 to 5 years ago
- 5 to 10 years ago
- more than 10 years ago
- never

Kirkham: Ongoing, but not P in isolation.

Tallowin: Last year.

Peeters: Last year.

Paschke: We have an ongoing project looking at the effects of chronic P additions in semiarid western US sagebrush steppe. Plots have had annual (and ongoing) applications of P for nearly 20 years.

Meissner: Since 5 years: rewetting of fen soils; last 10 years: lysimeter studies regarding P leaching losses and protection of ground water.

Drouillon: Last year.

Critchley: Last year.

Wurbs: We have done research on abandoned fields of different ages ("old" abandoned fields 20-60 years old, "young" abandoned fields 5-10 years old). The first analysis are from 1993/94 and we have taken new samples last and this year.

Grogan: 1 to 2 years ago.

Question 3

Was the research done on phosphorous in soils (previously) used for agriculture? If so, what kind of land use?

Kirkham: a) Grassland - hay meadows, b) arable - cereals

Tallowin: Cut for silage, cut for hay, grazed by cattle, grazed by sheep

Peeters: Grassland and arable land

Paschke: No, native shrub community

Meissner: Pasture and arable land

Drouillon: We work on soils previously used for agricultural purposes and also on 'natural' ecosystems. Kinds of land use include former maize and former intensive grassland.

Critchley: Yes, agri-environment schemes

Wurbs: Most of the young abandoned were used for agriculture. For the "old" abandoned fields we do not know in detail for all.

Grogan: Mediterranean annual grassland, i.e. seasonal pasture

Question 4

Which methods were used for P analysis (e.g. total P, available P according to specific method)?

Kirkham: Available P, Olsen method.

Tallowin: Total P (hydroxide fusion); Olsen extractable P; phytoassay; ³²P uptake.

Peeters: EDTA-acetate - extraction.

Paschke: P not analysed on a regular basis.

Meissner: Agricultural standard methods of Germany - Available P: P-CAL and P-DL.

Drouillon: Several methods were used for P-analysis: Anion membrane extractable P; Olsen P; Extractions with H₂O and dilute salt solutions; Soil solution P: MRP and TDP; Hedley fractionation of soil P; E-values, isotopic exchange kinetics with ³²P; Total organic soil P; Total soil P; Microbial P.

Critchley: Olsen P; resin extractable P.

Wurbs: We have data of the total N, total C, P, K and pH. Soils were extruded using the double lactate extraction method, P was determined using the ascorbic acid method and K by emission spectroscopy. The total N and total C content were determined using elemental analysis (LECO, CNS 2000) by infrared detection after dry combustion according to DIN ISO 10494 (1994). Soil pH measured in a 0.1 n KCl buffer at a ratio of 1 : 2.5. Only for some fields we have data of total P.

Grogan: Total Kjeldahl P; Olsen P.

Question 5

Do you think that a high P content of a soil has a negative impact on possibilities for nature development or restoration on (former) agricultural soils?

Kirkham: Yes.

Tallowin: Absolutely!!!

Peeters: Yes especially in soils well provided in organic matter and thus in organic nitrogen.

Paschke: It's certainly possible, but we have not seen any adverse effects in our study.

Meissner: Yes.

Drouillon: Yes.

Critchley: Probably. Our work has shown relationships between vegetation and extractable P, but we have not investigated causal relationships.

Wurbs: Yes; here are some details. In our investigations the group of the old abandoned fields we could show the strongest interactions between soil parameters and species occurrence for the potassium and phosphorus concentrations in the soil. The occurrence and abundance of *Elymus repens* and *Cirsium arvense* best correlated with elevated concentrations of these nutrients. *Calamagrostis epigejos* as regionally typical ruderal species of the arid grasslands was correlated to high potassium and phosphorus concentrations of acid soils.

To a large extent, many of the aforementioned relationships were also found on the young abandoned fields. For the 81-plot data set was observed that the ruderal species like *Elymus repens*, *Rumex acetosa* and *Artemisia vulgaris* as well as some weed species like *Stellaria media* and *Apera spica-venti*, were positively related to a high level of potassium and phosphorus in soil even under acid conditions.

Potassium and phosphorus richness in soils with a low pH-value was most strongly correlated with the variation in species composition for young and old abandoned fields. Most of the dominating ruderal plants, such as *Elymus repens* (Quack Grass), *Taraxacum officinale* (Dandelion), and *Cirsium arvense* (Canada thistle) were positively correlated with elevated potassium or phosphorus levels in the soil and high pH-values. Species of the arid and semi-arid grasslands, such as *Festuca ovina* and *Helichrysum arenarium*, demonstrated a negative correlation in relation to the same factor combinations. On old abandoned fields the pH-value and the relations between the potassium and phosphorus concentrations appear to be well-correlated with the differentiation between the main vegetation types; the *Arrhenatherum elatius* and the *Festuca ovina* meadows.

Grogan: Yes, because it is relatively recalcitrant, difficult to remove by biological means.

Question 6

Reviewing the literature leads to the preliminary conclusion that (if too much P is a problem):

- (1) *removing the plough layer is the best way to remove P from a given location*
- (2) *removing the top soil (ca. 5 cm) is only useful in peat soils, and*
- (3) *'mining' P [cropping without P fertilization] will not lead to results on short term*

What is your opinion of this preliminary conclusion?

Kirkham: Agree with 1 and 3, but removing top 5 cm (2) can be useful in soils other than peat, I think (e.g. calcareous).

Tallowin: (1) We found that removing the plough layer was successful providing that the remaining soil had a very low P status i.e. was equivalent to the P status of soils of semi-natural grasslands.

(2) We have found that removing the top soil (ca. 5 cm) can be worthwhile on some alluvial soils.

(3) We have ongoing work on this - there may be ways.

Peeters: (1) OK; (2) no also in normal grassland soils (3) OK.

Paschke: No opinion.

Meissner: (1) Is a possibility but seems not to be realistic in practice.

(3) Mining is often recommended and is for me from the point of protection the environment the best way, but I have no experiences about the effectiveness of the measure.

Drouillon: It should first be recognised that the results obtained by removal of excess P will depend on former land use and that this in turn will constrain the degree of nature restoration possible.

Removal of the plough layer might be a theoretical solution. Most of the time, the excess P fertilisation only affects the top 30-cm. Serious drawbacks are that (1) costs are very high; (2) effectiveness is not guaranteed. It remains hard and maybe impossible to predict the outcome. Regenerating species may be unexpected or unwanted for the preconceived (desired) nature type; (3) the seedbank - if any - will be completely removed.

Removing top soil is useful in peat soils, but care must be taken to maintain the seedbank by not removing too much top soil. Even so, the vegetation structure after restoration will be different than before, assuming that the original situation is known. Removing the top soil accelerates the decline of biomass production by approximately 10 to 15 years in comparison with P mining. Best results are obtained with P mining after top soil removal to reduce biomass production in the case of peat soils. Mining alone is not effective in the short term, but one might wonder if short-term results are really necessary... We also do work in tropical, low fertility soils in a development context and have strong feelings against removing top soil.

Critchley: (1) True, but impractical.

(2) Yes for uncultivated grassland but soil P accumulates at deeper than 5 cm in cultivated peaty soils.

(3) Probably.

Wurbs: The vegetation on the young abandoned fields in our investigation is just at the transition to the "building phase", where evolutionary forces begin to predominate. Most of the investigated sites of the young abandoned fields are still dominated by ruderal species or species of cultivated meadows and pastures. The predomination of these species is, in nature management practice, often interpreted as an effect of site eutrophication, especially nitrogen enrichment, which may be linked to former agricultural uses, air emissions, or point source pollution. High potassium and phosphorus concentrations as well as high pH-values (as typical for arable land), appear to be advantageous for the predomination of ruderal species and species of the dry, false oat-grass meadows for both old and young abandoned fields. The occurrence of most of the predominate ruderal species, such as *Elymus repens*, *Cirsium arvense* or *Artemisia vulgaris*, should be regarded as an effect of the initial development of the abandoned fields. Together with highly efficient propagation techniques and a high competitive ability, these species could dominate the vegetation composition of abandoned fields for 10 to 20 years. For old vineyards, Erz (1996) assumes a 21 - to 42-year time period for the reduction of the elevated potassium and phosphorus contents to the level of typical, semi-arid calcareous grasslands.

By the abandonment of arable land, at first it seems in principle possible to compensate deficits in the occurrence of semi-natural biotopes. For the attainment of definite ecological aims it seems necessary the area choice and the management to line up to the aim of restoration. At this the estimation of the vegetation development of singles areas or the comparison of the restoration potential and the site conditions of the areas is of great importance. The area choice should be carried out more target-seeking. The effort listed above isn't financier cash for many areas in our opinion. At the most for some areas justified. Sometimes are ruderal species in a manner poor landscape a great benefit.

Grogan: (3) Is unlikely to be successful, (1,2) depend on soil type.

Question 10

If too much P is a problem on a given location, do you think that there are other options to reduce the P content/availability besides the options mentioned above (removing the plough layer or the top soil, or 'mining' of P)?

Kirkham: Locking up with iron compounds may be a possibility

Tallowin: Use of soil amendments has proved useful.

Peeters: We develop also a product fixing P (iron oxides).

Paschke: No opinion.

Meissner: I am sure but I don't have a solution; may be the selection of special plants which are able to take up the P.

Drouillon: No, adding substances like Fe-salts are not considered attractive solutions.

Critchley: Chemical amelioration could work but problems of reducing soil pH and other environmental effects may occur.

Wurbs: For a short time period, I think not.

Grogan: How about aluminum sulfate to sequester the P. I know that in some cases, this can lead to a subsequent acidity problem.

Question 9

We also conclude from the literature that increasing the water table leads to an increase in P availability for plants; do you agree with this conclusion?

Kirkham: Yes.

Tallowin: Yes, but it can also lead to a reduction in total soil P so that with time and providing the water is not P-rich raised water tables could lead to reduced P availability. I assume that the reduction in total P in response to raised water table conditions was due at least in part to increased leaching, but this is something that we need to look into (if we can get the funding).

Peeters: Yes but it decreases also nitrogen availability and that is good of course.

Paschke: Only on the very short term. Longer term results will be a shift in plant community composition.

Meissner: Yes, see our own results.

Drouillon: Increasing the water table is generally considered to enhance the reduction of ferric iron to ferrous iron, and hence to mobilise P. An exception might be the very particular case of restoring the calcium rich seepage in a calcium rich ecosystem. If the ecosystem is rather calcium poor, again restoring the seepage is not favourable.

Critchley: Maybe, but is this universal, and what mechanism is involved?

Wurbs: We have no experience with wet soils.

Grogan: Do not know.

Question 11

What are, in your opinion, the major research topics of present interest regarding to phosphorus and nature development or restoration?

Kirkham: (1) How to deplete, (2) targeting restoration on basis of soil P content (3) implication of high soil P for spread of legumes and consequent effects on plant species diversity.

Tallowin: Our knowledge of the soil processes and how low soil P availability influences the functioning of species-rich/semi-natural grasslands is far from complete.

Peeters: -

- Paschke: In our experience, the effects of P on N cycling have more of an influence on plant community composition than the direct effects of P.
- Meissner: (1) Reduction of P input into the surface water with surface runoff (erosion), (2) reduction of P leaching from soils with high enrichment of soil in the top layer, (3) rewetting of fen soils - development of strategies for sustainable restoration.
- Drouillon: Main research topics to be pursued are (1) characterisation of P pools in soil and speciation of P in soil solution; (2) defining the meaning of 'available' P pools and 'availability' of nutrients; (3) get a grip on P mineralisation and other P availability regulating processes; (4) obtain more insight in the mutual relationship between N, P and K cycles.
- Critchley: Whether restoration is in fact possible where soil P is high, and whether soil P per se is always the causal factor.
- Wurbs: High phosphorus and potassium levels appear to extend the period which ruderal species predominate or at least modify vegetation development for a medium term period. In modeling the vegetation development there should be included the phosphorus and potassium content. We should know more about the interactions between the phosphorus and potassium contents or nutrient contents in general and the vegetation development on abandoned fields and why the reduction of the high contents are under certain conditions slowly.
- Grogan: Can species that exude relatively high phosphatases solubilise sufficient P to significantly enhance its removal by plant harvesting?

Question 13

Can you recommend specific research articles or reports on this topic?

- Broll, G. & K.-F. Schreiber. 1993. Auswirkungen der Stilllegung von Grünland-Standorten auf die pflanzenverfügbaren Gehalte an Phosphat und Kalium. *Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft*, 72:73-76.
- Critchley, C.N.R., Chambers, B.J., Fowbert, J.A., Sanderson, R.A., Bhogal, A. & Rose, S.C. Association between lowland grassland plant communities and soil properties. *Biological Conservation*, in revision.
- Critchley, C.N.R., Chambers, B.J., Fowbert, J.A., Bhogal, A., Rose, S.C. & Sanderson, R.A. Plant species richness, functional type and soil properties of grasslands and allied vegetation in English Environmentally Sensitive Areas. *Grass & Forage Science*, in revision.
- Erz, S. 1996. Sukzession von Weinbergsbrachen- Einflüsse von Kalium und Phosphat sowie des Brachealters. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 28:19-25.
- Gilbert, J. 2000. High soil phosphorus availability and the restoration of species-rich grassland. Thesis (Ph.D), Cranfield University at Silsoe
- Glemnitz, M., Wurbs, A. & Diekmann, M. 1998. Bedeutung von Bodenreaktion und Nährstoffgehalt für das Vorkommen von Arten der Sandtrockenrasen auf Brachflächen. *Verh. Ges. f. Ökologie*, Band 28 (1998).
- Glemnitz, M., Wurbs, A. 1999. Zusammenhänge zwischen Nährstoffgehalten im Boden und der Vegetationsentwicklung auf alten und jungen Ackerbrachen. In: Büchs, W. [Bearb.]: Nicht bewirtschaftete Areale in der Agrarlandschaft - ihre Funktionen und ihre Interaktionen mit landnutzungsorientierten Ökosystemen; *Mitt. Biol. Bundesanstalt Land-Forstwirtsch.* Berlin Dahlem, 368: 117-126.
- Glemnitz M. & Wurbs, A. 2000. Vegetationszusammensetzung auf Ackerbrachen NO-Deutschlands in Bezug zu ihrem Alter und den Nährstoffgehalten. *Verhandlungen der GfÖ*, Band 30, „Ökosystemforschung und Ökosystem-Management“, Parey Buchverlag Berlin 2000, 158.

- Janssens, F., Peeters, A., Tallowin, J.R.B., Bakker, J.P., Bekker, R.M., Verweij, G.L., Fillat, F. & Oomes, M.J.M. 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil*, 202, pp68-78.
- Kirkham, F.W. Mountford, J.O. and Wilkins, R.J. 1996. The effects of nitrogen, potassium and phosphorus addition on the vegetation of a Somerset peat moor under cutting management. *Journal of Applied Ecology*, 33, 1013-1029.
- Kirkham, F.W. and Wilkins, R.J. 1994. The productivity and response to inorganic fertilizers of species-rich wetland hay meadows on the Somerset Moors: the effect of nitrogen, phosphorus and potassium on herbage production. *Grass and Forage Science*, 49, 163-175.
- McLendon, T., and Redente, E.F. 1991. Nitrogen and phosphorus effects on secondary succession dynamics on a semi-arid sagebrush site. *Ecology* 76:2016-2024.
- Prach, K. 1986. Succession of vegetation in abandoned fields in Finland. - *Annales Botanici Fennici* 22:307-314.
- Schreiber, K.-F. 1997. Grundzüge der Sukzession in 20-jährigen Grünland-Bracheversuchen in Baden-Württemberg. - *Forstwirtschaftliches Centralblatt* 116:243-258.
- Tallowin, J.R.B., Kirkham, F.W., Smith, R.E.N. and Mountford J.O. 1998. Residual effects of phosphorus fertilization on the restoration of floristic diversity to wet grassland. p. 249-263. In: C.B. Joyce and P.M. Wade (eds.) *European Lowland Wet Grasslands: Biodiversity, Management and Restoration*. Chichester: John Wiley and Sons Ltd.
- Tallowin, J.R.B. and Smith, R.E.N. 2001. Restoration of a *Cirsio-Molinietum* fen meadow on an agriculturally improved pasture. *Restoration Ecology* 9:167-178.
- Tilman, D. 1988. Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities. *Mono-graphs in population biology*. - Princetown University Press, Princetown/New Jersey.
- Vitousek, P.M., and Farrington, H. 1997. Nutrient limitation and soil development - experimental test of a biogeochemical theory. *Biogeochemistry* 37:63-75.
- Wurbs, A. & Glemnitz, M. 1997. Nährstoffgehalte alter Ackerbrachen auf Sandböden und ihre Bedeutung für die Vegetationsentwicklung. *Z. Ökologie u. Naturschutz*, 6(1997): 233-245.
- Wurbs, A. & Glemnitz, M. 2000. Variation der Nährstoffgehalte von Brachflächen in Abhängigkeit von ihren Standortbedingungen *Verhandlungen der GfÖ, Band 30, „Ökosystemforschung und Ökosystem-Management“*, Parey Buchverlag Berlin 2000,155.