

# Onderzoek naar mogelijkheden voor natuurontwikkeling in de depressie van de Moervaart in relatie tot fosfor

Eindverslag (april 2013)

Auteurs: An De Schrijver, Stephanie Schelfhout & Kris Verheyen

Opdrachtgever:

Agentschap voor Natuur en Bos



## Inhoud

1.	Dankwoord.....	3
2.	Niet-technische samenvatting .....	4
3.	Probleemstelling .....	7
4.	Doelstelling .....	7
5.	Methodiek.....	7
5.1	Bemonsteringsprotocol.....	7
5.2	Chemische analyses.....	9
6.	Bodemtypes binnen het onderzoeksgebied .....	9
7.	Natuurontwikkeling in relatie tot fosfor .....	10
7.1	Doelstelling 1: creatie van helder open water .....	10
7.1.1	Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem .....	10
7.1.2	Streefwaarden voor de ontwikkeling van open water.....	11
7.2	Doelstelling 2: Ontwikkeling van soortenrijke graslanden .....	11
7.2.1	Bottlenecks.....	11
7.2.2	Abiotische karakteristieken van de te ontwikkelen vegetatietypes .....	12
7.2.3	Is P-limitatie na te streven in dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties? .....	18
7.2.4	Streefwaarden voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden .....	20
8.	Beschrijving van de huidige abiotiek.....	21
8.1	Bodemzuurtegraad.....	21
8.2	Percentage koolstof (C) in de bodem .....	25
8.3	Percentage stikstof (N) in de bodem.....	28
8.4	Concentratie totaal fosfor (P) in de bodem.....	31
8.5	Concentratie actief fosfor (P) in de bodem .....	34
8.6	Concentratie biobeschikbaar fosfor (P) in de bodem.....	38
8.7	Concentratie aan totaal ijzer (Fe) in de bodem.....	42
9.	Risico op nalevering van P door waterbodems.....	45
10.	Mogelijke maatregelen ter creatie van open water .....	56
11.	Kansen voor ontwikkeling van soortenrijke graslanden.....	60
12.	Mogelijke maatregelen ter ontwikkeling van soortenrijke graslanden .....	69
13.	Percelen te Moervaart-N met extreem hoge P concentraties .....	76
14.	Globale conclusie.....	76
15.	Referenties .....	79

## **1. Dankwoord**

Het was vlot en fijn samenwerken met Dries Desloover van het Agentschap voor Natuur en Bos en de leden van de stuurgroep Cecile Herr (INBO), Astrid Van Vosselen (MOW), Mark Alderweireldt (Provincie Oost-Vlaanderen), Marijke De Vreese (Havenbedrijf Gent), Veerle De Bock (Projectbureau Gentse Kanaalzone), Jean Yves De Clippel (Ruimtelijke Ordening, Woonbeleid en Onroerend Erfgoed), Verschelde Edwin (Groendienst Stad Gent) en Hannelore Van De Wiele (ANB). Tomohiro Nagata en Christophe Cousaert hielpen als stagairs bij de bodemstaalnames en bij de staalvoorbereiding. Ook Kris Ceunen hielp bij de bodemstaalnames. Dankzij de grote expertise en inzet van Luc Willems en Greet De Bruyn konden de chemische analyses binnen de afgesproken termijn afgerond worden. Robert Gruwez en Lotte Van Nevel gaven ondersteuning bij de aanmaak van kaartjes in GIS. Bedankt allemaal!

## 2. Niet-technische samenvatting

In het strategisch plan van de Gentse Kanaalzone (2005) is vastgelegd om het historisch passief en de huidige beleidsrelevante natuur te compenseren in de onmiddellijke nabijheid van het zeehavengebied. Hiervoor werden verschillende zoekzones aangeduid, o.a. in de Moervaartdepressie op grondgebied Gent en gedeeltelijk grondgebied Moerbeke. Om de schade aan de natuur ten gevolge van de uitbreiding van de Gentse haven te compenseren dient de volgende 'natte' natuur te worden ontwikkeld: 72 ha open water, waarvan 58 ha (80%) open water van minstens 50 cm diep en 14 ha (20%) open water van maximaal 50 cm diep, 13 ha rietland, 2 ha grote zeggenvegetatie, 90 ha permanent soortenrijk grasland, waarvan 60/70 ha soortenrijk grasland met kleine landschapselementen en 20/30 ha open nat grasland met brede sloten (aansluitend op het rietland), 16 ha zandig kaal terrein als schiereilanden, omringd door dieper water.

Gelet op het langdurig intensief agrarisch gebruik van de beoogde deelgebieden en gelet op de voorziene vernatting nodig voor de realisatie van de natuurdoelen, is het wenselijk inzicht te krijgen in de huidige concentraties aan biobeschikbaar fosfor (P) alsook in de hoeveelheid P dat in de toekomst ten gevolge van interne eutrofiëring biobeschikbaar kan komen. Kennis van de uitgangssituatie met betrekking tot P in de bodem zal bijdragen tot het bepalen van een meest optimaal voorstel van omvormingsbeheer en inrichtingsmaatregelen. Via specifieke maatregelen (verschralen door maaien en afvoeren, uitmijnen, ontgronden) kan eventueel de P stock verlaagd worden in functie van de beoogde natuurontwikkeling. Om te weten of en welke maatregelen best genomen worden dient eerst echter inzicht verkregen te worden in de uitgangssituatie.

De doelstellingen van natuurcompensatie kunnen worden opgesplitst in twee grote luiken: (I) de creatie van helder open water, waarbij de nalevering van fosfaten uit de waterbodem te voorkomen is, (II) de ontwikkeling van soortenrijke graslanden van het type dotterbloemgrasland, glanshavergrasland, kamgrasland, ... en de ontwikkeling van grote zeggenvegetaties en rietland, waarbij nagekeken moet worden of de huidige bodemcondities met betrekking tot P geschikt zijn.

Dit onderzoek brengt de huidige concentraties aan biobeschikbaar P, alsook de hoeveelheid P die door vernatting kan gemobiliseerd worden in kaart. Ook de bodemzuurtegraad en de zwavel- en ijzerconcentraties werden onderzocht omwille van hun invloed op P. De gegevens werden geïnterpreteerd in relatie tot de beschikbare grenswaarden voor het ontwikkelen van open water en de beoogde vegetatietypes, alsook in functie van het voorstellen van milderende maatregelen (maai-beheer, uitmijnen, ontgronden).

In totaal werden van 109 percelen (264 percelen volgens kadaster) grondstalen genomen (Fig. 1) waarvan de chemische bodemkarakteristieken bepaald werden. De bodembemonstering werd uitgevoerd per 10 cm tot een diepte van 50 cm.

### 1. Doelstelling creatie van helder open water

Om aan te geven of waterbodems P kunnen naleveren worden waterbodem geclassificeerd als eutroof versus niet-eutroof. Eutrofe bodems worden dan verondersteld om fosfaat na te leveren wanneer open water gecreëerd wordt. Om te bepalen of er sprake is van een eutrofe waterbodem werden het totale gehalte aan P, ijzer (Fe) en zwavel (S) in de waterbodem gemeten. De resultaten van de bodemanalyses werden getoetst aan de volgende criteria:

- Totaal P gehalte moet lager liggen dan 1360 mg P/kg
- De P/Fe-ratio moet lager liggen dan 0.055 (kg/kg)
- De (Fe-S)/P-verhouding (molaire basis) moet hoger zijn dan 10

Weinig percelen blijken momenteel geschikt te zijn voor de creatie van open water. Enkel in het NO van de zone Mendonk, in het W van de zone Moervaart-N en Moervaart-Zuid kunnen een aantal percelen zonder afgraving omgevormd worden tot open water. Pas vanaf een diepte van 30 cm komen gebiedsdekkend zones voor waar op grotere schaal open water kan aangelegd worden in de bovengenoemde gebieden. In de zone Moervaart-N bevinden zich enkele (met bagger?) opgehoogde percelen die tot op een diepte van 50 cm ongeschikt blijken voor eender welke deze doelstelling.

De snelste manier om open water te creëren is ontgronden. Door het afgraven van een 0 tot 30 cm dikke bodemlaag verwijderd men de met fosfor aangerijkte ploegvoor, waardoor de bovengelegen bodemlaag geschikt wordt als onderwaterbodem. Sommige percelen moeten dieper ontgrond worden om geschikt te worden. Indien er geen mogelijkheid tot ontgronden is, bijvoorbeeld omwille van de archeologie of omwille van het budget, kan overwogen worden om de bodems uit te mijnen. Daarvoor zal men vaak gedurende een zeer lange periode gewassen moeten telen, door selectieve bemesting met stikstof en kalium (om de biomassa-productie hoog te houden). Een combinatie van 10 cm ontgronden en uitmijnen vermindert de uitmijnduur, maar niet noemenswaardig. Wanneer 20 cm ontgrond wordt kunnen een groot aantal percelen al binnen de 10 jaar uitgemijnd worden.

## **2. Creatie van soortenrijke graslanden**

Het ontwikkelen van soortenrijke graslanden op zwaar bemeste landbouwpercelen levert doorgaans grote problemen op. Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurdoeltypen zijn matig tot voedselarme bodemcondities vereist. Om op landbouwgrond soortenrijke natuur te creëren is het vrijwel altijd noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid te verlagen. Op eutrofe bodems domineren immers snelgroeiende, competitieve soorten wat leidt tot homogene vegetaties met lage biodiversiteit. In laag-productieve plantengemeenschappen is de groei meestal gelimiteerd door de beschikbaarheid van stikstof (N), P en kalium (K), zowel als door co-limitatie van deze nutriënten. Limitatie van de plantengroei door minstens één essentieel voedingselement is dus cruciaal voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur. Volgens sommige auteurs zou het sturen op limitatie van fosfor cruciaal zijn omdat het sturen op stikstoflimitatie moeilijk is gezien de hoge aanvoer van stikstof via deposities. Natte graslandtypes als dotterbloem-graslanden en grote zeggenvegetaties blijken eerder stikstof- en kaliumgelimiteerd te zijn dan P-gelimiteerd.

Van dotterbloemgraslanden, grote zeggenvegetaties, rietland, glanshavergraslanden, kamgraslanden en graslanden van het zilverschoonverbond werd getracht abiotische referentiewaarden te vinden. Deze abiotische streefwaarden zijn noodzakelijk om een richtwaarde te hebben voor het verschrallingsbeheer. Rietland lijkt indifferent te zijn voor hoge concentraties aan stikstof, fosfor en kalium. Voor glanshavergraslanden lijken de streefwaarden vrij duidelijk. Voor zilverschoongraslanden en kamgraslanden zijn te weinig gegevens voorhanden en kunnen we geen streefwaarden bepalen. Voor dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wijzen studies uit dat ze eerder stikstof- en kaliumgelimiteerd zijn dan fosforgeslimiteerd. Goed ontwikkelde percelen van deze vegetatietypes vertonen ook een grote variabiliteit in de totale en actieve fosfor concentraties in de bodem. Beide parameters zeggen echter niet veel over de fosforconcentraties die werkelijk voor de vegetatie beschikbaar zijn. De biobeschikbare fosfor concentraties van goed ontwikkelde percelen lijken doorsnee wel lager te liggen dan  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Te weinig gegevens van deze biobeschikbare pool zijn echter voorhanden om conclusies te kunnen trekken over streefwaarden. Het is dus nog onduidelijk of het vernatten van voormalige landbouwbodems – en de daarmee gepaard gaande vrijstelling van P - een bottleneck vormt voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties.

Verder is het nog onduidelijk hoe groot het risico is op verpitruissing van de landbouwpercelen na vernatting. Vernatting van voormalige landbouwpercelen op zandbodem tonen vaak een dominante groei van pitrus. Lamers et al. (2009) wijzen naar de hoge biobeschikbare fosforconcentraties als oorzaak, in combinatie met verzuring van de bodem. Ook schommelende grondwaterstanden zouden verpitruissing in de hand werken. Momenteel bevinden alle bodems zich nog in het kationenuitwisselingsbufferbereik ( $\text{pH-H}_2\text{O} > 4.5$ ) of in het bufferbereik met calciumcarbonaat. Vooral de bodems die zich in het bufferbereik bevinden met calciumcarbonaat zijn goed gebufferd tegen verzuring. In het geval van vernatting tot het maaiveld zal ook de aanvoer van basenrijk grondwater bodemverzuring tegengaan. We kunnen concluderen dat in het geval van sterk wisselende grondwaterstanden, bijvoorbeeld nodig voor de ontwikkeling van zilverschoongraslanden, en in het geval het grondwater niet gedurende een significante periode tot het maaiveld komt, er kans is dat bodemverzuring langzaam optreedt en er dus risico bestaat tot 'verpitruissing'.

Voor dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties toetsten we de huidige biobeschikbare fosforconcentraties aan twee streefwaarden, die dus mogelijks veel te streng zijn. De meest strenge ( $P_{\text{Olsen}} < 30 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) is gebaseerd op metingen in goed ontwikkelde vegetaties, de tweede streefwaarde ( $P_{\text{Olsen}} < 50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) is eerder arbitrair gekozen, met in het achterhoofd dat het mogelijk niet nodig is om zeer lage biobeschikbare P concentraties na te streven (omwille van de stikstof- en kaliumlimitatie van deze graslandtypes). Uit onze analyse blijkt dat slechts weinig percelen momenteel deze beide streefwaarden halen en dat pas vanaf een diepte van 30 cm het merendeel van de onderzochte percelen geschikt blijken. Om snel geschikte bodems te creëren zal dus ofwel diep ontgrond moeten worden, ofwel lang uitgemijnd worden.

Het bereiken van stikstoflimitatie kan op vrij korte termijn gerealiseerd worden, doordat natte bodems (zeker in het geval veel organisch materiaal voorhanden is) het in de bodemoplossing aanwezige nitraat kunnen verwijderen door het denitrificatieproces. In natte bodems wordt ook het mineralisatieproces sterk vertraagd, waardoor weinig stikstof wordt vrijgesteld vanuit organisch materiaal. Ook kaliumlimitatie kan men blijkbaar vrij snel bereiken door een klassiek maaibeheer. Of dit op elk bodemtype kan is niet duidelijk. Wellicht is dit op zandbodem eerder haalbaar dan op kleibodem.

Voor de ontwikkeling van het drogere graslandtype glanshavergrasland stelt het probleem van verpitruissing zich niet. De streefwaarden zijn ook duidelijk: de biobeschikbare ( $P_{\text{Olsen}}$ ) concentraties liggen best lager dan  $15\text{-}18 \text{ mg.kg}^{-1}$ . De uitgangssituatie is momenteel vrij hopeloos, en er zal ofwel ontgrond ofwel lang uitgemijnd moeten worden om de doelstellingen te bereiken. Sommige percelen, die nu onder bos gelegen zijn, hebben wel potentie tot ontwikkeling van dit graslandtype.

### **3. Probleemstelling**

In het strategisch plan van de Gentse Kanaalzone (2005) is vastgelegd om het historisch passief en de huidige beleidsrelevante natuur te compenseren in de onmiddellijke nabijheid van het zeehavengebied. Hiervoor werden verschillende zoekzones aangeduid, o.a. in de Moervaartdepressie op grondgebied Gent en gedeeltelijk grondgebied Moerbeke. In najaar 2009 heeft het ANB een ecohydrologische studie opgestart (uitgevoerd door Soresma) met de bedoeling in de voorgestelde zoekgebieden na te gaan in hoeverre de vooropgestelde natuurtypes kunnen worden gerealiseerd. De studie resulteerde in een abiotische verkenning van de deelgebieden en een beste inrichtingsscenario inclusief noodzakelijke inrichtingsmaatregelen voor de realisatie van de natuurdoelen. Bovendien werd een archeologisch en cultuurhistorisch onderzoek uitgevoerd die verdere randvoorwaarden oplegt inzake inrichtingsmaatregelen, meerbepaald afgravingen.

Gelet op het langdurig intensief agrarisch gebruik van de beoogde deelgebieden en gelet op de voorziene vernatting nodig voor de realisatie van de natuurdoelen, is het wenselijk inzicht te krijgen in de huidige concentraties aan biobeschikbaar fosfor (P) alsook in de hoeveelheid P dat in de toekomst ten gevolge van interne eutrofiëring biobeschikbaar kan komen. Kennis van de Ausgangssituatie met betrekking tot fosfor in de bodem zal bijdragen tot het bepalen van een meest optimaal voorstel van omvormingsbeheer en inrichtingsmaatregelen. Via specifieke maatregelen (verschralen door maaien en afvoeren, uitmijnen, ontgronden) kan eventueel de P stock verlaagd worden in functie van de beoogde natuurontwikkeling. Om te weten of en welke maatregelen best genomen worden dient eerst echter inzicht verkregen te worden in de Ausgangssituatie.

### **4. Doelstelling**

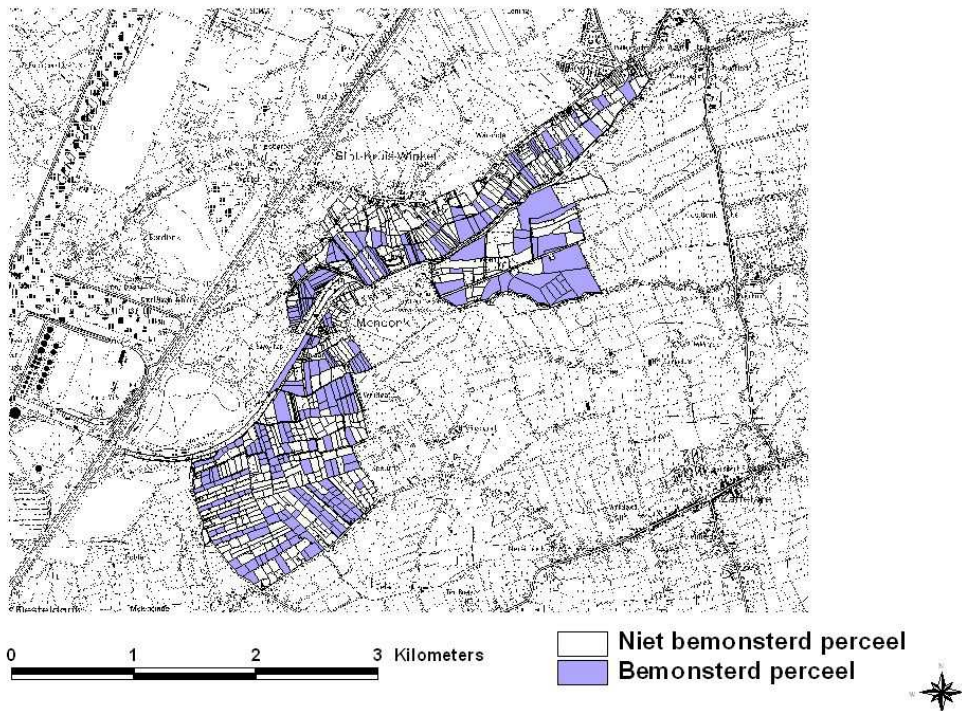
Dit onderzoek brengt de huidige concentraties aan biobeschikbaar fosfor (P), alsook de hoeveelheid P die door vernatting kan gemobiliseerd worden in kaart. Ook de bodemzuurtegraad en de zwavel- en ijzerconcentraties werden onderzocht omwille van hun invloed op P. De gegevens worden geïnterpreteerd in relatie tot de beschikbare grenswaarden voor het ontwikkelen van open water en de beoogde vegetatietypes, alsook in functie van het voorstellen van milderende maatregelen (maaibeheer, uitmijnen, ontgronden).

### **5. Methodiek**

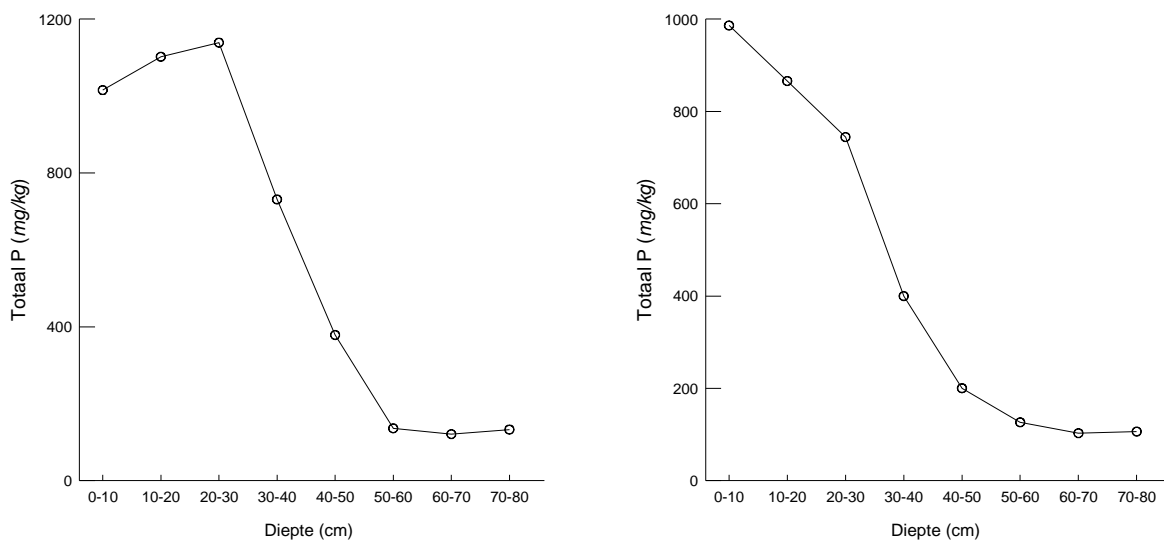
#### **5.1 Bemonsteringsprotocol**

Omdat bemonstering van het volledige gebied op perceelsniveau niet mogelijk was omwille van het grote aantal percelen (#=1548), werden percelen geselecteerd via een systematische grid bemonstering. Op de perceelskaart van het gebied (zie Fig. 1) werd een grid met raster 200x200m geplot. De percelen waarbinnen een gridpunt valt werden bemonsterd (zomer 2012). Indien we geen toelating bekwamen van de eigenaar om het perceel te betreden, of indien een stier op het perceel graasde, werd een aanpalend perceel bemonsterd. Via deze systematische benadering werd het volledige gebied gescreend door middel van een haalbaar aantal bemonsteringen (95 percelen volgens beheer 212 percelen volgens kadaster). Op vraag van de stuurgroep werden na de tussentijdse stuurgroepvergadering nog 14 extra percelen bemonsterd (december 2012). In totaal werden 109 percelen (264 percelen volgens kadaster) bestudeerd (Fig. 1).

Om het fosforverzadigingsfront vast te stellen werden in eerste instantie 31 percelen bemonsterd tot een diepte van 80 cm, met een onderverdeling van 10 cm, waarvan 18 percelen op zandige bodem, en 13 percelen op kleibodem met veen. Deze bodemstalen werden chemisch geanalyseerd op concentraties aan totaal P. Omdat de concentraties aan totaal P significant afnemen met de diepte (zie Fig. 2) werd beslist om de bemonstering over het volledige grid uit te voeren per 10 cm tot een diepte van 50 cm. Bijkomstig werd onderzocht of er een significant verschil bestaat tussen de totale P concentraties in grasland (N=16) en akkerland (N=15, vnl. mais). Via statistische analyse (independent t-test) werd per diepteklasse geen significante ( $p > 0.05$ ) verschillen gevonden. Daarom werd de systematische bemonstering niet aangepast in functie van het landgebruik.



Figuur 1: De onderzochte percelen in het studiegebied



Figuur 2: Twee voorbeelden van het verloop van de totale P concentratie met de diepte (links op kleibodem, rechts op zandbodem)



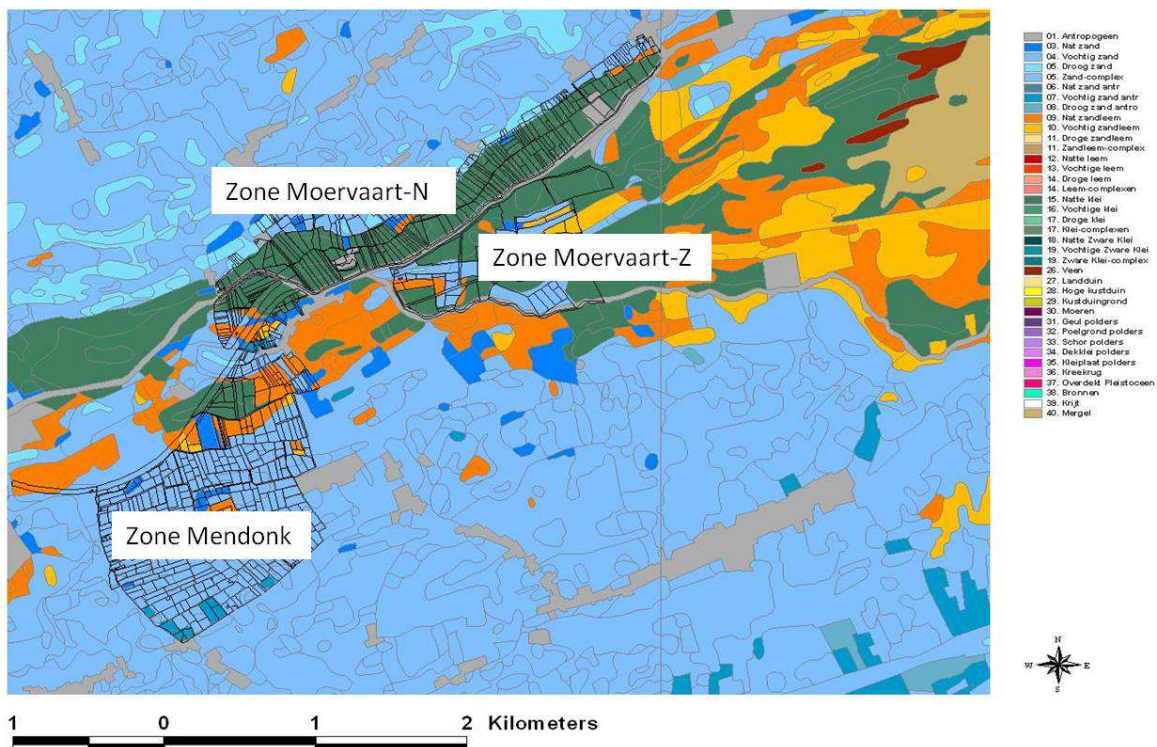
Per perceel werd een mengmonster genomen van minstens 4 bodemstalen voor de kleine percelen, en 6 bodemstalen voor de grotere percelen.

## 5.2 Chemische analyses

De stalen werden gedroogd onder geforceerde ventilatie bij 40°C, gehomogeniseerd, vermalen en gezeefd over een 1 mm zeef. Het totale gehalte aan P werd colorimetrisch (via malachietkleuring) bepaald na totale destructie van de bodem in  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  in teflonpotten bij 140°C (totaal P). Het binnen het groeiseizoen beschikbaar gehalte aan P werd eveneens colorimetrisch bepaald na extractie van de bodem in  $\text{NaHCO}_3$  ( $P_{\text{Olsen}}$ , methode van Olsen). Het 'actief' P, ijzer (Fe) en aluminium (Al) werd bepaald na extractie in een ammoniumoxalaat-oxaalzuuroplossing (oxalaat-P, oxalaat-Fe en oxalaat-Al). Uit deze gegevens kan de fosfaatverzadigingsgraad (PSI) berekend worden. De zuurtegraad van de bodem werd gemeten via bepaling van de  $\text{pH-H}_2\text{O}$ . Het totaal gehalte aan koolstof (als proxy voor het gehalte aan organisch materiaal), stikstof (N) en zwavel (S) werd bepaald via CNS element-analyse.

## 6. Bodemtypes binnen het onderzoeksgebied

Terwijl de zone Mendonk voor het grootste gedeelte uit vochtig (lichtblauwe zones op Fig. 3) tot nat (donkerblauwe zones) zand bestaat, komt in zone Moervaart-Noord voornamelijk natte klei (groene zones) met veen voor. In zone Moervaart-Zuid komt zowel vochtig tot nat zand, vochtig (lichtoranje) tot natte (donkeroranje) zandleem en natte klei voor.



*Figuur 3: Kaart met aanduiding van de perceelsstructuur, het bodemtype en de drie zones Mendonk, Moervaart-Noord en Moervaart-Zuidlede binnen de Moervaart-depressie*

## 7. Natuurontwikkeling in relatie tot fosfor

Om de schade aan de natuur ten gevolge van de uitbreiding van de Gentse haven te compenseren dient de volgende 'natte' natuur te worden ontwikkeld: 72 ha open water, waarvan 58 ha (80%) open water van minstens 50 cm diep en 14 ha (20%) open water van maximaal 50 cm diep, 13 ha rietland, 2 ha grote zeggenvegetatie, 90 ha permanent soortenrijk grasland, waarvan 60/70 ha soortenrijk grasland met kleine landschapselementen en 20/30 ha open nat grasland met brede sloten (aansluitend op het rietland), 16 ha zandig kaal terrein als schiereilanden, omringd door dieper water.

De doelstellingen kunnen dus worden opgesplitst in twee grote luiken: (I) de creatie van helder open water, waarbij de nalevering van fosfaten uit de waterbodem te voorkomen is, (II) de ontwikkeling van soortenrijke graslanden van het type dotterbloemgrasland, glanshavergrasland, kamgrasland, ... en de ontwikkeling van grote zeggenvegetaties en rietland, waarbij nagekeken moet worden of de huidige bodemcondities met betrekking tot P geschikt zijn.

### 7.1 Doelstelling 1: creatie van helder open water

#### 7.1.1 Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem

De waterbodem kan een belangrijke rol spelen in de waterhuishouding van open water. Ondiepe meren blijven vaak hoge fosforconcentraties houden als gevolg van fosfaalnalevering vanuit de met fosfor opgeladen waterbodem. Fosfor dat gebonden is in organisch materiaal of fosfor dat geadsorbeerd is aan redoxgevoelige ijzerverbindingen kan vrijkomen door biochemische processen in de waterbodem. Nadat fosfor door fysische, biotische of chemische nalevering in het waterbodemvocht terecht komt, kan het via diffusie of advectie naar de waterkolom getransporteerd worden (van Gerven et al. 2011).

Fysische nalevering kan plaatsvinden als een gevolg van stroming, wind, golven of bioturbatie. Vissen kunnen door het woelen in de waterbodem dus nalevering van fosfor veroorzaken als eerder gesedimenteed materiaal wordt opgewerveld en als gesuspendeerd materiaal terug in de waterkolom terecht komt (van Gerven et al; 2011). Biotische nalevering heeft betrekking tot de afbraak van organisch materiaal in de waterbodem waardoor fosfor vrijkomt in organische of anorganische vorm. Deze afbraak gebeurt door micro-organismen. Wanneer de temperatuur hoger is (voorjaar en zomerperiode) zijn de microorganismen actiever en wordt meer organisch materiaal afgebroken. Het afbreken van organisch materiaal is een oxidatie-reactie, waardoor electronen vrijkomen die moeten opgenomen door een reductiereactie. In de waterbodem zijn zuurstof ( $O_2$ ), nitraat ( $NO_3^-$ ), driewaardig ijzer ( $Fe^{3+}$ ) en sulfaat ( $SO_4^{2-}$ ) de belangrijkste electronenacceptoren (van Gerven et al. 2011). De reductie van ijzer en sulfaat kan de binding van fosfaat aan de waterbodem verstoren en stimuleert op deze manier de chemische nalevering van fosfor. Zo beïnvloedt de biotische nalevering dus de chemische nalevering. Chemische nalevering wordt veroorzaakt door verschillende processen. Bij een lage redoxpotential, dus in anaerobe omstandigheden bij gebrek aan zuurstof, reduceert  $Fe(III)$  tot  $Fe(II)$ . Hierdoor desorbeert fosfaat omdat  $Fe(II)$ -fosfaatverbindingen zwakker zijn dan  $Fe(III)$ -fosfaatverbindingen (van Gerven et al. 2011). De bovenste laag van de waterbodem kan zowel zuurstofrijk als zuurstofarm zijn, afhankelijk van de zuurstoftoestand in de bovenliggende waterkolom en de zuurstofvraag door de afbraak van organisch materiaal. Diepere bodemlagen zijn altijd anaeroob.

$SO_4^{2-}$  reduceert in anaerobe omstandigheden met organisch materiaal tot sulfide ( $S^{2-}$ ).  $S^{2-}$  kan met opgelost  $Fe(II)$ , gevormd door eerdere reductie van  $Fe$ , neerslaan als ijzersulfide ( $FeS$ ) of pyriet ( $FeS_2$ ). Hierdoor is er minder  $Fe(II)$  beschikbaar om aan fosfaat te binden (Lamers et al. 2005), waardoor meer fosfaat in oplossing blijft. Wanneer al het ijzer in de bodem is vastgelegd als ijzersulfide, kan bovendien het overige 'toxische' sulfide ophopen in de bodem (Smolders et al. 2006). De nalevering van fosfaat door

sulfaatreductie wordt ook wel interne eutrofiëring of sulfaatgeïnduceerde eutrofiëring genoemd (Lamers et al. 1998).

Ook de zuurtegraad (pH) en de temperatuur beïnvloeden de nalevering van fosfaat. Bij hoge pH verlaagt de bindingscapaciteit van fosfaat aan ijzer omdat hydroxylionen (OH<sup>-</sup>) met fosfaat concurreren voor de bindingsplaatsen aan ijzer (van Gerven et al. 2011). De binding van fosfaat aan ijzer zou optimaal zijn bij een pH tussen 6 en 7. Bij een pH hoger dan 7 kan in kalkhoudende waterbodems calciumcarbonaat in het waterbodenvocht neerslaan. Fosfaat kan hiermee neerslaan. Bij pH < 6.5 neemt de oplosbaarheid van aluminiumhydroxiden sterk af waardoor fosfaat gebonden aan amorfe aluminiumhydroxyden in oplossing komt (van Gerven et al. 2011).

Hogere watertemperaturen leiden tot meer afbraak van organisch materiaal en tot een daling van de redoxpotential (anaerobere condities), wat leidt tot fosfaatdesorptie. Warmer water kan minder zuurstof bevatten wat de redoxpotential beïnvloedt. Deze processen maken dat dikwijls in de zomerperiode hogere fosfaatconcentraties worden vastgesteld in open water.

### **7.1.2 Streefwaarden voor de ontwikkeling van open water**

Om aan te geven of waterbodems fosfaat kunnen naleveren worden waterbodems geclassificeerd als eutroof versus niet-eutroof. Eutrofe bodems worden dan verondersteld om fosfaat na te leveren (Tonkes 2006). Om te bepalen of er sprake is van een eutrofe waterbodems moeten het totaal P en het totaal Fe-gehalte in de waterbodems gemeten worden. Zolang de waterbodems ca. 15 tot 18 keer zoveel ijzer bevat dan fosfaat zal volgens Boers en Uunk (1990) geen nalevering van fosfaat plaatsvinden. Een waterbodems is dus eutroof als de P/Fe-verhouding minstens 0.055 kg/kg (gewichtsbasis) (Boers en Uunk 1990) of minstens 0.06 kg/kg (Geurts et al. 2008) is en als het totaal P-gehalte groter is dan 1360 mg/kg is (Boers en Uunk 1990). Volgens Geurts et al. (2008) leveren waterbodems P na bij Fe/P-verhouding (molaire basis) lager dan 10. Andere auteurs vonden vergelijkbare Fe/P-verhoudingen, variërend tussen 6 en 12 (Jensen et al. 1992). In beleidsregels die zijn opgesteld door waterschappen in Nederland wordt naast een totaal-fosfaatgehalte van 1360 mg P/kg de kritische P/Fe-verhouding van 0,055 van Boers en Uunk (1990) gehanteerd.

De Fe/P-verhouding kan gecorrigeerd worden voor de aanwezigheid van zwavel in de bodems. In gereduceerde bodems kan vorming van FeS of FeS<sub>2</sub> plaatsvinden, waardoor minder ijzer beschikbaar is om fosfaat te binden (Lamers et al. 2002). De Fe/P-ratio wordt gecorrigeerd voor zwavel door de hoeveelheid zwavel af te trekken van de hoeveelheid ijzer (molaire basis). Bij een (Fe-S)/P ratio > 10 is er voldoende ijzer aanwezig om het fosfor te binden (de P mobilisatie is gering). Bij een (Fe-S)/P ratio tussen de 0 en 10 zal het aanwezige ijzer het fosfor binden maar zal er ook een mate van P mobilisatie plaatsvinden. Bij een (Fe-S)/P ratio kleiner dan nul vindt een hoge mate van P mobilisatie plaats.

**Voor deze studie hebben we de volgende indicatoren getest:**

- 3. Totaal fosforgehalte moet lager liggen dan 1360 mg P/kg**
- 4. De P/Fe-ratio moet lager liggen dan 0.055 (kg/kg)**
- 5. De (Fe-S)/P-verhouding (molaire basis) moet hoger zijn dan 10**

## **7.2 Doelstelling 2: Ontwikkeling van soortenrijke graslanden**

### **7.2.1 Bottlenecks**

Het ontwikkelen van soortenrijke graslanden op zwaar bemeste landbouwpercelen levert doorgaans grote problemen op. Voor de ontwikkeling van soortenrijke natuurdoeltypen zijn matig tot voedselarme bodemcondities vereist. Om op landbouwgrond soortenrijke natuur te creëren is het vrijwel altijd

noodzakelijk om de bodemvruchtbaarheid te verlagen. Op eutrofe bodems domineren immers snelgroeïende, competitieve soorten wat leidt tot homogene vegetaties met lage biodiversiteit (Grime 2001; Janssens et al. 1998; Smolders et al. 2006). In laag-productieve plantengemeenschappen is de groei meestal gelimiteerd door de beschikbaarheid van stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K), zowel als door co-limitatie van deze nutriënten (Van Duren & Pegtel 2000). Limitatie van de plantengroei door minstens één essentieel voedingselement is dus cruciaal voor de ontwikkeling van soortenrijke natuur (Lucassen et al. 2008). Volgens sommige auteurs zou het sturen op limitatie van fosfor (P) cruciaal zijn (Fagan et al. 2008; Lucassen et al. 2008; Smolders et al. 2006; Wassen et al. 2005) omdat het sturen op stikstoflimitatie moeilijk is gezien de hoge aanvoer van stikstof via deposities. Natte graslandtypes als dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties blijken eerder stikstof- en kaliumgelimiteerd te zijn dan P-gelimiteerd (Van Duren & Pegtel 2000, zie ook §6.2.3).

Nadat landbouwactiviteiten worden stopgezet neemt de stikstofbeschikbaarheid sterk af. Stikstof verdwijnt vrij snel uit de bodem door nitraatuitspoeling en door denitrificatie. In omstandigheden waarbij de aanvoer van stikstof vanuit de atmosfeer beperkt is, is het sturen op stikstoflimitatie dus relatief gemakkelijk. Vernatting vertraagt de mineralisatieprocessen, waardoor stikstof slechts beperkt wordt vrijgesteld vanuit het organisch materiaal. Bovendien spelen onder anaerobe omstandigheden denitrificatieprocessen een belangrijke rol, waarbij het in de bodemoplossing aanwezige stikstof wordt omgezet naar stikstofgas. Fosfor, daarentegen, wordt zelfs honderden jaren na stopzetting van de bemesting nog teruggevonden in de bodem (Koerner et al. 1997, Dupouey et al. 2002). Fosfaat accumuleert in de bodem omdat het onder droge omstandigheden wordt vastgelegd aan bodemdeeltjes. De diepte waarover het fosfaat geaccumuleerd is hangt sterk samen met het bodemtype (zand versus kleibodem), de mate van historische bemesting, en het grondgebruik (al dan niet diepgeploegd) (Weijters & Bobbink 2010). In voormalige landbouwbodems zijn de fosfaatconcentraties vaak al veel te hoog voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden. Wanneer de bodems vernat worden, bestaat de kans op nog grotere eutrofiëringsverschijnselen, waarbij fosfaten die gebonden werden aan ijzer worden vrijgesteld. Het vrijstellen van fosfaten en het ophopen van sulfide bij vernatting wordt besproken onder §5.1.1. Volgens Lamers et al. (2005) zullen in deze omstandigheden snelgroeïende plantensoorten gaan domineren, althans in het geval de biomassa-productie niet gelimiteerd is door stikstof. Bij neutrale bodems zullen Riet (*Phragmites australis*) en liesgras (*Glyceria maxima*) profiteren, terwijl in zure bodems voornamelijk pitrus (*Juncus effusus*) zal domineren (Lamers et al. 2005). Voor de ontwikkeling van rietland zijn dus geen problemen te verwachten. De ontwikkeling van pitrus is wel problematisch en moet voorkomen worden (zie verder §6.2.3).

## 7.2.2 Abiotische karakteristieken van de te ontwikkelen vegetatietypes

### Dotterbloemgraslanden

Dotterbloemgraslanden zijn natte graslandvegetaties met soorten uit graslanden, broekbossen en moerassen. Ze worden in de regel één tot twee keer gemaaid en werden meestal licht bemest, hoewel dat in het huidige natuurbeheer meestal niet meer gebeurt. Ook nabegrazing komt voor, hoewel onder hooibeheer de zuiverste vormen worden aangetroffen. Deze graslanden zijn in de winter vaak overstroomd, maar in de zomer is een zekere doorluchting van de bodem nodig, meer dan bijvoorbeeld voor zeggenvegetaties, die vaak grenzen aan Dotterbloemgrasland. Kwel kan al dan niet aanwezig zijn. Het water en/of de bodem zijn voedselrijker dan voor graslandtypes als blauwgrasland of heischraal grasland. De textuur kan venig, kleiig, zandig, zandlemig of lemig zijn. Op zandbodems komt meestal een venige laag boven het zand vooraleer het Dotterverbond goed ontwikkelt. De pH van bodem en grondwater is doorgaans in het bereik matig zuur tot neutraal, alhoewel sterk zure pH's evenmin ongewoon zijn (overgenomen uit Zwaenepoel et al. 2002a, 2002b, Vandenbussche et al. 2002). In de Flawet-databank is de pH van 54 goed ontwikkelde dotterbloemgraslanden gemiddeld 6.2 (range van 4.7 voor 1 perceel op zandbodem en 7.9).

### *Grondwaterstanden*

Volgens de Nederlandse website Natuurkennis.nl reikt de grondwaterstand van dotterbloemgraslanden 's winters voor een periode van 10 tot 20 weken tot aan het maaiveld. Soms wordt de standplaats 's winters overstroomd, maar meestal niet langer dan een periode van 10 weken per jaar, vooral in de winter. Gedurende de rest van het jaar bevindt zich de grondwaterstand best ca. 10 tot 30 cm onder het niveau van het maaiveld. 's Zomers kan de grondwaterstand voor een korte periode in de grond wegzakken, naar 50 tot 80 cm diepte onder het maaiveld. In veengronden verdraagt de vegetatie diepste waterstanden van 50-60 cm, in klei- en leemgronden kan de waterstand in de zomer 70-80 cm onder het maaiveld in de grond wegzakken zonder nadelige gevolgen voor de vegetatie ([www.natuurkennis.nl](http://www.natuurkennis.nl)).

Het rapport van De Cock et al. (2008) bevestigt deze cijfers, en vermeldt voorjaarsgrondwaterstanden die zich best tussen 5 en 40 cm (-5) onder het maaiveld bevinden, gemiddelde hoogste grondwaterstanden die zich tussen -20 en 10 cm moeten bevinden en laagste grondwaterstanden die kunnen wegzakken tussen 20 en 70 cm (maximaal 100 cm).

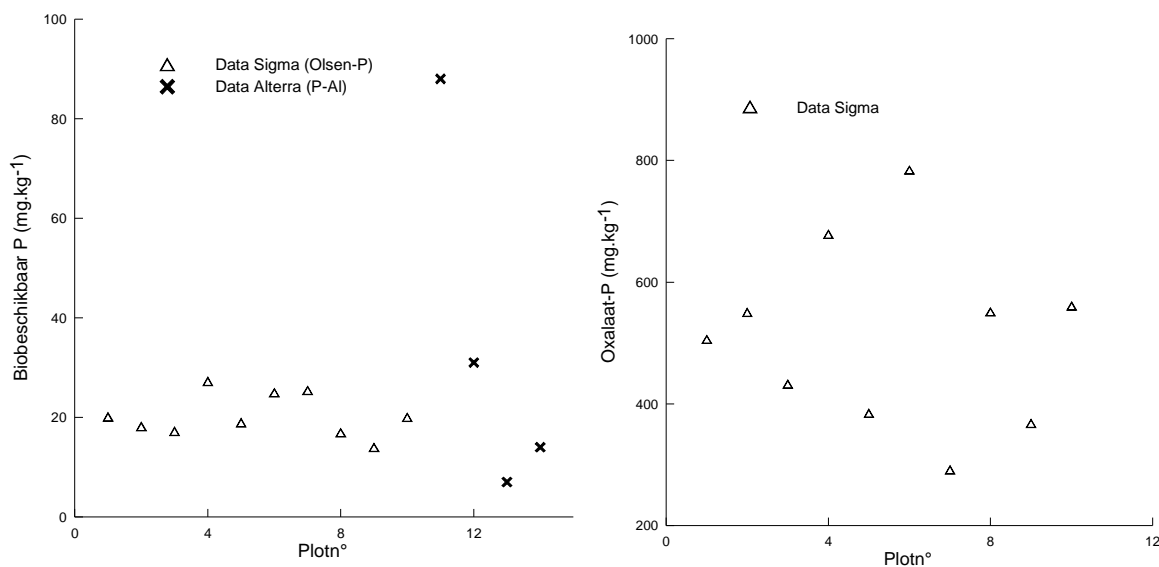
### *Grondwaterkwaliteit*

Naast het op peil houden van de vereiste waterstanden is ook het handhaven van de waterkwaliteit belangrijk. Volgens De Cock et al. (2008) kan de gewenste chemische samenstelling van het grondwater zowel basenarm als baserijk zijn. Volgens de Flawetdatabank variëren de concentraties bicarbonaat en calcium in het grondwater van goed ontwikkelde dotterbloemgraslanden tussen 19 en 707 mg/l (gemiddeld 270) en tussen 11 en 208 mg/l (gemiddeld 88 mg/l). In de studie van Vermeersch & Decler (2009) wordt vermeld dat het oppervlakte- en grondwater in de Moervaart- en Zuidlededepressie overwegend voedselrijk zijn en overwegend zeer basen- en kalkrijk is (vastgesteld door Herbos et al. 2008). Dit wordt bevestigd door de studie van Soresma waarbij calciumconcentraties van gemiddeld 235 mg/l in Mendonk, 178 mg/l in Moervaart-Noord en 243 mg/l in Moervaart-Zuid en  $\text{HCO}_3^-$ -concentraties van 456 mg/l in Mendonk, 404 mg/l in Moervaart-Noord en 503 mg/l in Moervaart-Zuid werden opgemeten. De aanvoer van neutraliserende en bufferende stoffen door het grondwater maken dat bodems van natte voedselarme graslanden nauwelijks of slechts heel langzaam zullen verzuren.

### *Referentiewaarden voor P in de bodem*

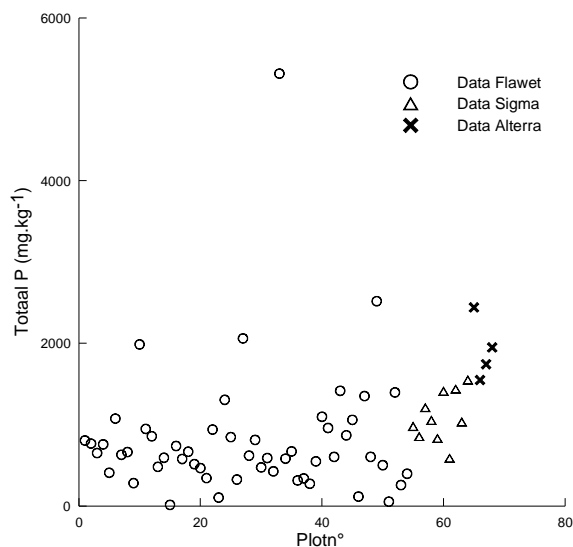
We screenen de literatuur naar referentiewaarden met betrekking tot P voor dotterbloemgraslanden. We verzamelden ruwe gegevens uit de FLAWET-databank (INBO), we bekwamen ruwe gegevens verzameld in het kader van het SIGMA-project in de Kalkense meersen (INBO, met dank aan Wim Mertens, nog niet gepubliceerd), en vonden ruwe data in het Alterra-rapport van Runhaar & Jansen (2004) (zie Fig. 4). Hieruit blijkt dat de biobeschikbare P concentraties vrij sterk kunnen variëren: uit de data van Wim Mertens (N=10) voor kleibodems blijkt dat de  $P_{\text{Olsen}}$  concentraties kunnen oplopen tot zo'n 30  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , terwijl één perceel uit de gegevens van Runhaar & Jansen (2004) (N=4) biobeschikbare P concentraties heeft tot 80  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  (geëxtraheerd in ammoniumlactaat, wat volgens Beltman et al. (2009) concentraties oplevert die ongeveer 1/3 lager liggen dan extracties in bicarbonaat ( $P_{\text{Olsen}}$ )). Weijters & Bobbink (2010) vermelden voor dotterbloem-graslanden een range voor de biobeschikbare fractie  $P_{\text{Olsen}}$  van 7 tot 20  $\text{mg}/\text{kg DS}$ . Het is niet duidelijk op welke gegevens (aantal herhalingen bv., bodemtype) deze range gebaseerd is.

De concentraties actief P ( $P_{ox}$ ) in dotterbloemgraslanden (N=10) van de Kalkense Meersen (Mertens Wim, niet gepubliceerde data) variëren tussen 300 en 800  $mg.kg^{-1}$ . De FLAWET-databank en het Alterra-rapport geven geen  $P_{ox}$ -concentraties. Giesen & Geurts (2006) geven een nog grotere variatie in  $P_{ox}$  concentraties van dotterbloemgraslanden: gemiddelde waarden  $\pm$  standaardafwijking van  $713 \pm 650$   $mg/kg$  (ook hier is het aantal herhalingen en het bodemtype onbekend). De waarden voor  $P_{ox}$  van Van Delft et al. (2006) variëren tussen 700-1000  $mg/kg$  (aantal herhalingen ook hier onbekend). Kemmers et al. (2007) vermelden een waarde voor  $P_{ox}$  van 1197 (N=5).



Figuur 4: Concentraties aan biobeschikbaar ( $P_{Olsen}$  of  $P_{Al}$ ) en actief ( $P_{ox}$ ) P ( $mg.kg^{-1}$ ) in referentiepercelen van dotterbloemhooilanden. Data zijn verzameld in het kader van het SIGMA-project (INBO, Wim Mertens, niet gepubliceerde data) en zijn afkomstig uit het Alterra rapport van Runhaar & Jansen (2004). Nota: het biobeschikbaar P van de plots uit Runhaar & Jansen (2004) werd volgens een andere (P in ammoniumlactaat) maar vrij vergelijkbare methode gemeten als  $P_{Olsen}$  (zie tekst)

Referentiepercelen van dotterbloemgraslanden blijken bovendien een heel brede waaier aan concentraties van totaal P te bevatten (zie Fig. 5). De Flawet-databank (Huybrechts et al. INBO, N=54) geeft een range voor  $P_{totaal}$  van 14 tot 2518  $mg.kg^{-1}$  (+ 1 outlier van > 5000  $mg.kg^{-1}$ ). De data uit de Kalkense Meersen (Wim Mertens, niet-gepubliceerde data, N=10) variëren tussen 600 en 1550  $mg.kg^{-1}$ . Weijters & Bobbink (2010) vermelden streefwaarden voor de totale stock van P ( $P_{totaal}$ ): 120 en 570  $mg.kg^{-1}$  DS (aantal herhalingen onbekend).



Figuur 5: Concentraties aan totaal P ( $\text{mg.kg}^{-1}$ ) in referentiepercelen van dotterbloemhooilanden. Data zijn afkomstig uit de FLAWET-databank (INBO), verzameld in het kader van het SIGMA-project (INBO, Wim Mertens, niet-gepubliceerde data) en uit het Alterra rapport van Runhaar & Jansen (2004).

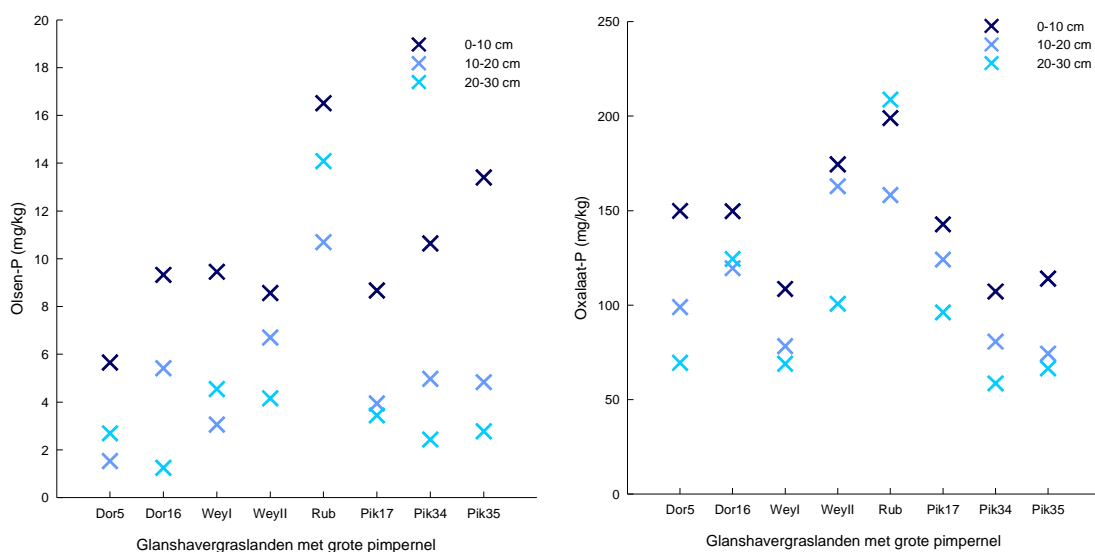
### Glanshavergraslanden

Goed ontwikkeld Glanshaververbond komt doorgaans op kalkhoudende zandleem, leem of klei voor. Op zandige bodems komen armere versies voor zonder de klassieke kensoorten. Het Glanshaververbond is niet grondwaterafhankelijk en overstroming komt zelden voor, met uitzondering van bewuste bevoeiing als bemestings-beheersvorm in de Kempense vloeiveiden van Lommel (Zwaenepoel et al. 2002a, 2002b, Vandenbussche et al. 2002). De Flawet databank (INBO) vermeldt voor 8 goed ontwikkelde glanshavergraslanden een gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand van -160 cm en -80 cm.

De meeste pH-metingen zijn afkomstig van wegbermen. De bodem-pH varieert van 5,1 tot 8,4. Minder dan een vierde van de pH's bevindt zich in het zwak zure bereik. De zuurdere pH's werden gemeten in de Kempen, op plaatsen met arduingrind op zand langs spoorwegen. Bijna drie vierde zijn neutrale pH's (6,5-7,5) (overgenomen uit Zwaenepoel et al. 2002a, 2002b, Vandenbussche et al. 2002). De Flawet databank (INBO) geeft voor 5 goed ontwikkelde glanshavergraslanden een gemiddelde pH van 5.9.

### Referentiewaarden voor P in de bodem

Voor glanshavergraslanden (al dan niet met grote pimpernel) is weinig informatie te vinden in relatie tot abiotische streefwaarden, in het bijzonder P. Volgens Gowing et al. (2002) wordt het graslandtype enkel gevonden op historisch onbemeste bodems. Ze zijn laag tot matig productief. De bodems van soortenrijke graslanden onderscheiden zich van hun soortenarmere varianten vooral door hun lagere beschikbare fosfaatgehalten (5-15  $\text{mg/kg}$  Olsen-P) (Critchley et al. 2002, Gowing et al., 2002). Momenteel werkt het INBO aan een databank om de abiotische streefwaarden voor dit graslandtype te karakteriseren. Eigen metingen in acht referentiepercelen van glanshavergrasland tonen zeer lage biobeschikbare P-concentraties ( $P_{\text{olsen}}$ ) tussen 6 en 17  $\text{mg.kg}^{-1}$  DS in de bovenste 0-10 cm van de bodem (zie Fig. 6). De  $P_{\text{ox}}$ -waarden voor deze percelen variëren tussen 60 en 200  $\text{mg.kg}^{-1}$  DS, terwijl de totaal P concentraties tussen 500 en 1050  $\text{mg.kg}^{-1}$  liggen. In de Flawet-databank (Huybrechts et al. INBO, N=5) varieert de totale P-concentratie van glanshavergraslanden tussen 520 en 1014  $\text{mg.kg}^{-1}$ .



Figuur 6: Concentraties aan biobeschikbaar ( $P_{olsen}$ ) en actief ( $P_{ox}$ ) P (in  $mg.kg^{-1}$ ) op drie dieptes (0-10, 10-20 en 20-30 cm) van referentiepercelen van glanshavergrasland met grote pimpernel

### Grote zeggenvegetaties

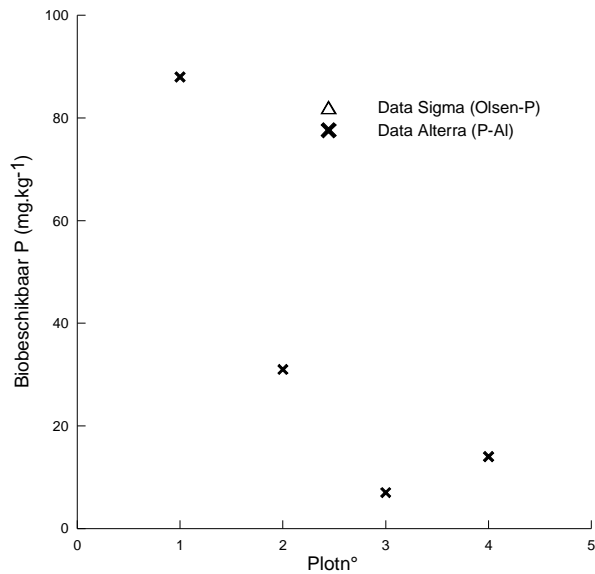
Grote zeggenvegetatie zijn veelal vrij gesloten tot gesloten gemeenschappen, met een hoge kruidlaag die tot meer dan 2 m hoog kan worden, maar soms ook niet hoger wordt dan enkele tientallen centimeters. Vaak is er een hoge en een lage kruidlaag: de lage wordt gevormd door de grote zeggen, de hoge door riet. Het zijn hoogproductieve gemeenschappen die vaak een dikke strooisellaag bezitten. De gemeenschappen vormen vaak smalle gordels langs rivieroeveren, maar langs oude rivierlopen en in beneden-stroomse delen van beekdalen kunnen ze veel breder zijn en tamelijk homogene velden van hoog opschietende zeggenplanten vormen.

De in stand houding van deze vegetaties hangt af van actief beheer; zonder gaan zij over in moerasstruweel of broekbos. De meest frequent optredende soorten in de gemeenschappen zijn scherpe zegge, moeraswalstro, riet, liesgras, rietgras, veenwortel, watermunt, oeverzegge, grote wederik, pinksterbloem, ruw beemdgras en gele lis. Op liesgras na zijn dit allemaal soorten van matig voedselarme tot matig voedselrijke standplaatsen. De grondwaterstanden kunnen sterk fluctueren, maar niet zeer diep onder het maaiveld wegzakken. Vaak staat het water lange tijd boven het maaiveld. De Flawet databank (INBO) geeft voor 16 grote zeggenvegetaties een gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand van -20 cm en 0 cm.

### Referentiewaarden voor grote zeggenvegetaties met betrekking tot P

Ook voor grote zeggenvegetaties screenden we de literatuur naar referentiewaarden. We verzamelden ruwe gegevens uit de FLAWET-databank (INBO) en vonden ruwe data in het Alterra-rapport van Runhaar & Jansen (2004) (zie Fig. 7). Voor biobeschikbaar P hebben we enkel gegevens van Runhaar & Jansen (2004). Hieruit blijkt dat ook voor goed ontwikkelde grote zeggenvegetaties de biobeschikbare P concentraties vrij sterk kunnen variëren: tussen  $< 10 mg.kg^{-1}$  en  $> 80 mg.kg^{-1}$  geëxtraheerd in ammoniumlactaat, wat volgens Beltman et al. (2009) concentraties oplevert die ongeveer 1/3 lager liggen dan extracties in bicarbonaat ( $P_{olsen}$ ). Het aantal percelen waarvoor gegevens beschikbaar zijn is evenwel zeer laag (N=4). Volgens Weijters & Bobbink (2010) varieert de biobeschikbare P-fractie best tussen 7 en 20 mg/kg DS (aantal herhalingen onbekend).

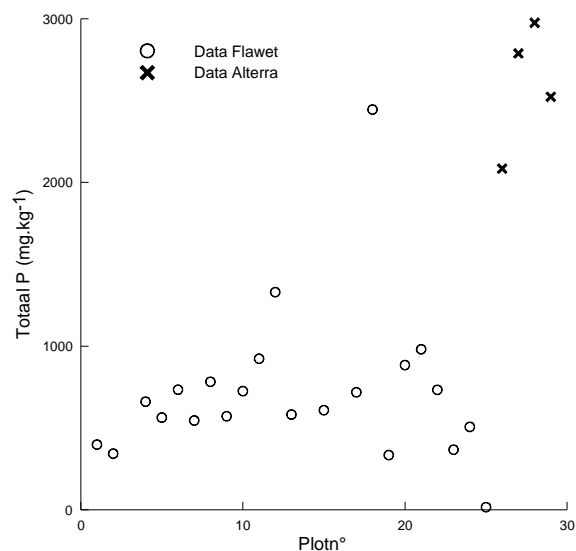




*Figuur 7: Concentraties aan biobeschikbaar P (mg.kg<sup>-1</sup>) in referentiepercelen van grote zeggenvegetaties. Data zijn afkomstig uit de het Alterra rapport van Runhaar & Jansen (2004).*

Voor actief P hebben we geen ruwe gegevens ter beschikking, maar volgens Van Delft et al. (2006) mag de P<sub>ox</sub>-fractie hoog liggen, tot 1000 mg/kg. Ook hier weten we niet op welke gegevens en op hoeveel herhalingen dit gebaseerd is.

De gegevens uit de FLAWET-databank (INBO) en het rapport van Runhaar & Jansen (2004) tonen ook zeer grote variatie aan totaal P concentraties in de bodem van grote zeggenvegetaties (zie Fig. 8). De concentraties aan totaal P variëren tussen minder dan 100 mg.kg<sup>-1</sup> en 3000 mg.kg<sup>-1</sup>. Voor totaal P geven Weijters & Bobbink (2010) de range 190-482 (tot 1190) mg/kg.



*Figuur 8: Concentraties aan totaal P (mg.kg<sup>-1</sup>) in referentiepercelen van grote zeggenvegetaties. Data zijn afkomstig uit de FLAWET-databank (INBO), verzameld in het kader van het SIGMA-project (INBO, Wim Mertens, niet-gepubliceerde data) en uit het Alterra rapport van Runhaar & Jansen (2004).*

## Zilverschoonverbond

Het zilverschoonverbond is een plantengemeenschap van standplaatsen die langdurig nat zijn, vaak gekoppeld aan sterke schommelingen in de waterstand. De Flawet databank (INBO) geeft voor 16 goed ontwikkelde zilverschoongraslanden een gemiddelde schommeling van de grondwaterstand tussen -50 cm als gemiddelde laagste grondwaterstand en 0 cm als gemiddelde hoogste grondwaterstand. Deze grondwaterschommeling maakt dit vegetatietype kwetsbaar voor 'verpitrussing'.

Ook de grondwaterkwaliteit kan sterk schommelen. De Flawet databank geeft voor dezelfde zilverschoongraslanden calcium en bicarbonaatwaarden die schommelen tussen 20 en 204 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 95 mg.l<sup>-1</sup>) en 49 en 925 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 302 mg.l<sup>-1</sup>). De ijzergehaltes variëren tussen 0.02 en 74.9 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 8 mg/l).

Qua bodemchemie is er weinig informatie te vinden over dit graslandtype. De Flawet-databank geeft voor de 16 zilverschoongraslanden een pH-range van 5.1 tot 7.0 (gemiddeld 6.2), terwijl de concentraties totaal P sterk variëren tussen 217 en 2944 mg.kg<sup>-1</sup> (gemiddeld 1305 mg.kg<sup>-1</sup>). Dit geeft ons weinig informatie over de biobeschikbare P concentraties. Omwille van de schaarse informatie hebben we voor dit graslandtype geen beheersscenario's uitgewerkt.

## Kamgraslanden

Kamgraslanden komen voor op allerlei grondsoorten, maar vooral op leem- en zandleemgronden. Ze kunnen gedijen op zowel droge als zeer natte gronden, die vaak in van nature overstroombare gebieden liggen ([www.inbo.be](http://www.inbo.be)). De trofiegraad zou matig voedselrijk zijn, en het optimaal beheer is begrazing. Volgens de Nederlandse website [natuurherstel.nl](http://natuurherstel.nl) zou afhankelijk van gebruik of beheer als hooiland of als weide soortenrijke glanshaverhooilanden of kamgrasweiden ontstaan. De Flawet databank (INBO) vermeldt voor 29 goed ontwikkelde kamgrasweiden een gemiddelde laagste en hoogste grondwaterstand van -90 cm en -20 cm. De grondwaterkwaliteit lijkt ook vrij variabel te zijn met concentraties aan calcium en bicarbonaat die variëren tussen respectievelijk 8 en 200 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 90.5 mg.l<sup>-1</sup>) en 24 en 528 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 273 mg.l<sup>-1</sup>). De ijzerconcentraties variëren tussen 0 en 34 mg.l<sup>-1</sup> (gemiddeld 9.8 mg.l<sup>-1</sup>).

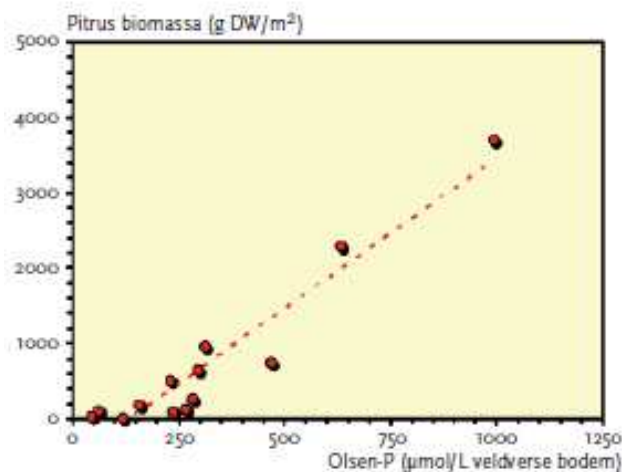
Ook qua bodemgegevens met betrekking tot P is er vrij weinig informatie te vinden. De Flawet databank geeft totale P concentraties die schommelen tussen 290 en 2560 mg.kg<sup>-1</sup> (gemiddeld 906 mg.kg<sup>-1</sup>), wat ons weinig informatie geeft over de biobeschikbare P concentraties. De pH-waarden die variëren tussen 5.1 en 7.4 (gemiddeld 5.9). Omwille van de schaarse informatie hebben we voor dit graslandtype geen beheersscenario's uitgewerkt.

### 7.2.3 Is P-limitatie na te streven in dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties?

Dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties blijken dus voor te kunnen komen binnen een zeer brede range van P concentraties. Dit lijkt te wijzen op het feit dat niet P, maar andere nutriënten de productiviteit en dus ook de biodiversiteit van deze natte vegetatietypes sturen. Van Duren & Pegtel (2000) screenden verschillende natte graslandgemeenschappen op welke nutriënten limiterend waren voor de groei. Volgens deze studie wordt de vegetatieontwikkeling van onverstoorde (geen drainage en geen bemesting) natte graslandgemeenschappen als dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op veenbodem gestuurd door N-limitatie en/of K-limitatie, en niet door P-limitatie. Dit wordt volgens Van Duren & Pegtel (2000) bevestigd door de studies van Koerselman & Verhoeven (1995) en van DeAngelis (1992). De studie van Wassen et al. (1995) toont aan dat o.a. grote zeggenvegetaties N-gelimiteerd zijn. Ook Van de Riet et al. (2009) bestudeerden welke nutriënten de biomassa-productie limiteren in dotterbloemgraslanden. Ook zij concludeerden dat niet P maar N en K de productiviteit sturen. Hun conclusie is dan ook dat vernatten van voormalige landbouwbodems – en de daarmee gepaard gaande vrijstelling van P - niet noodzakelijk een bottleneck hoeft te vormen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden. Hun advies is om zich voornamelijk te richten op de reductie van de beschikbaarheid aan N en

K. Er wordt echter geen bewijs geleverd dat ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en andere natte graslandtypes mogelijk is bij de extreem hoge biobeschikbaarheid van fosfor van zwaar bemeste landbouwgronden. Verder wordt in deze conclusie ook geen rekening gehouden met het risico dat vernatting van voormalige landbouwgronden de groei van pitrus stimuleert en ‘verpitrussing’ veroorzaakt. Wanneer getracht wordt om voormalige landbouwgrond om te vormen naar natte soortenrijke graslanden treedt vaak overheersing op van pitrus (*Juncus effusus*) (van 't Veer & Witteveldt 2002; Kemmers et al. 2004; Lamers et al. 2005; Smolders et al. 2006, Lamers et al. 2009). In de Nederlandse literatuur beschrijft men dit als ‘verpitrussing’. Pitrus maakt enorme hoeveelheden zaad aan dat lang vitaal blijft, licht is, en dus goed verspreid kan worden (Ervin & Wetzel, 2002). Pitrus kan zich echter ook gemakkelijk ongeslachtelijk verbreiden (Lamers et al. 2009). Wisselende waterstanden lijken geen probleem te vormen voor pitrus.

Er is nog veel onduidelijkheid over de precieze oorzaken van deze ‘verpitrussing’. Volgens Lamers et al. (2009) neemt de biomassa van pitrus op zandbodems en natte laagveenbodems sterk toe vanaf een fosfaatbeschikbaarheid van ongeveer 300 micromol Olsen-P per liter veldverse bodem = 9,3 mg Olsen-P per kg droge bodem; zie Fig. 9, overgenomen uit Lamers et al. 2009). Echter, enige voorzichtigheid bij de veralgemening van deze resultaten is toch wenselijk, gezien de relatie tussen het biobeschikbaar P in de bodem en de biomassa van pitrus voor de hogere concentraties aan biobeschikbaar P in de bodem slechts gebaseerd is op 3 meetpunten (zie Fig. 9), en misschien enkel gelden voor zandbodems.



Figuur 9: Relatie tussen biobeschikbaar P (Olsen-P, in µmol/l verse bodem) op de X-as en de biomassa-productie van pitrus (in gram droge stof per m²) op de Y-as (uit Lamers et al. 2009)

Volgens Lamers et al. (2009) en Smolders et al. (2007) vormt de achtergrond van dit probleem dus de blijvende hoge beschikbaarheid aan fosfaat, en dit in combinatie met een snelle verzuring van de wortelzone. De omvorming van landbouw naar natuur leidt na stopzetting van bekalking dikwijls tot verzuring. Pitrus zou weinig moeite hebben met deze stijging van de zuurtegraad (daling van de bodempH) en zou snel uitbreiden, vooral op door dieren vertrapte en door machines en slagregen verslepte bodems waar zaden uit de zaadbank of nieuw aangewaarde zaden kunnen kiemen (Lamers et al. 2009). Volgens Kemmers et al. (2008) komt pitrus tot kieming op voormalige met fosfaatbelaste landbouwgronden met een geringe zuurbuftercapaciteit wanneer bemesting (inclusief bekalking) wordt gestopt, vernatting plaatsvindt en bodembeschadiging optreedt door maaien of begrazen. Vooral op graslanden die 's winters nat blijven en 's zomers beweid worden (en dus vertrappt) vindt binnen enkele jaren een sterke uitbreiding plaats van pitrus. Ook volgens Weeda et al. (1999) kan pitrus explosief te voorschijn komen in verwaarloosde laaggelegen weilanden die opnieuw in begrazing worden genomen.

Ook grote wisselingen in de grondwaterstand zouden pitrus bevoordelen. De verslagen van zes leerexcursies over te nemen inrichtingsmaatregelen voor de ontwikkeling van natte schraallanden op voormalige landbouwgronden (Geerdes & Jansen 2006) vermelden dat als de gemiddelde laagste grondwaterstand niet voldoende hoog is (bijvoorbeeld in het geval van de ontwikkeling van zilverschoongraslanden) de kans op verpitrussing bijzonder groot is. Ook volgens deze verslagen gedijt pitrus best bij sterk schommelende grondwaterstanden onder verzurende omstandigheden (Geerdes & Jansen 2006). Door (liefst 3 x per jaar) maaien en afvoeren, met een eerste vroege maaibeurt begin juni, zou pitrus voor een groot deel kwijt te spelen zijn, tenzij de bodem fosfaatverzadigd is.

#### 7.2.4 Streefwaarden voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden

Uit bovenstaande gegevens blijkt dus dat het verre van duidelijk is welke streefwaarden moeten gehanteerd worden voor het herstel van een aantal graslandtypes. Voor glanshavergraslanden lijken de streefwaarden vrij duidelijk: we streven naar een maximale biobeschikbare P concentratie van 15 à 18 mg.kg<sup>-1</sup>. Voor zilverschoongraslanden en kamgraslanden zijn te weinig gegevens voorhanden en kunnen we geen streefwaarden bepalen. Voor Dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wijzen studies (DeAngelis 1992, Koerselman & Verhoeven 1995, Van Duren & Pegtel 2000, Van de Riet et al. 2009) uit dat ze eerder N- en K-gelimiteerd zijn dan P-gelimiteerd. Goed ontwikkelde percelen van deze vegetatietypes vertonen ook een grote variabiliteit in de totale en actieve (P<sub>ox</sub>) P concentraties in de bodem. Beide parameters zeggen echter niet veel over de P concentraties die werkelijk voor de vegetatie beschikbaar zijn. De biobeschikbare P concentraties van goed ontwikkelde percelen lijken doorsnee wel lager te liggen dan 30 mg.kg<sup>-1</sup> (zie Fig. 4). Te weinig gegevens van deze biobeschikbare pool zijn echter voorhanden om conclusies te kunnen trekken naar streefwaarden. Het is dus nog onduidelijk of het vernatten van voormalige landbouwbodems – en de daarmee gepaard gaande vrijstelling van P - een bottleneck vormt voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties. Verder is er nog onduidelijkheid hoe groot het risico is op verpitrussing van de landbouwpercelen na vernatting.

Afgeleide streefwaarden:

**Voor zilverschoongraslanden en kamgraslanden** werden geen streefwaarden bepaald omwille van het gebrek aan referentiegegevens.

**Voor glanshavergraslanden:** P<sub>Olsen</sub> < 18 mg.kg<sup>-1</sup> – wat overeenkomt met een P<sub>ox</sub> van 100 mg.kg<sup>-1</sup> voor de zandbodems, 140 mg.kg<sup>-1</sup> voor de zandleembodems en 160 mg.kg<sup>-1</sup> voor de kleibodems. Deze streefwaarden voor P<sub>ox</sub> werden afgeleid uit Fig. 6 en werden gebruikt voor de berekening van de uitmijntermijnen (zie verder § 8).

**Voor dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties** hebben we als streefwaarden P<sub>Olsen</sub> < 30 mg.kg<sup>-1</sup> of P<sub>Olsen</sub> < 50 mg.kg<sup>-1</sup> gehanteerd. De onderste grenswaarde van P<sub>Olsen</sub> < 30 mg.kg<sup>-1</sup> baseren we op de nu beschikbare referentiegegevens. Echter, omdat dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties N- en of K-gelimiteerd blijken te zijn, is het mogelijk dat hogere concentraties aan biobeschikbaar P mogen voorkomen. Omwille van de grote onduidelijkheid over de te gebruiken streefwaarden opteren we echter ook om de berekeningen te maken met een hogere streefwaarde: P<sub>Olsen</sub> < 50 mg.kg<sup>-1</sup>. De streefwaarde van P<sub>Olsen</sub> < 30 mg.kg<sup>-1</sup> komt overeen met een P<sub>ox</sub> concentratie van 180 mg.kg<sup>-1</sup> voor zandbodem, 280 mg.kg<sup>-1</sup> voor zandleembodem en 300 mg.kg<sup>-1</sup> voor kleibodem. De streefwaarde van P<sub>Olsen</sub> < 50 mg.kg<sup>-1</sup> komt overeen met een P<sub>ox</sub> concentratie van 300 mg.kg<sup>-1</sup> voor zandbodem, 460 mg.kg<sup>-1</sup> voor zandleembodem en 530 mg.kg<sup>-1</sup> voor kleibodem. Deze streefwaarden voor P<sub>ox</sub> werden gebruikt voor de berekening van de duur van uitmijnen. Deze streefwaarden zijn dus mogelijk te streng.

## 8. Beschrijving van de huidige abiotiek

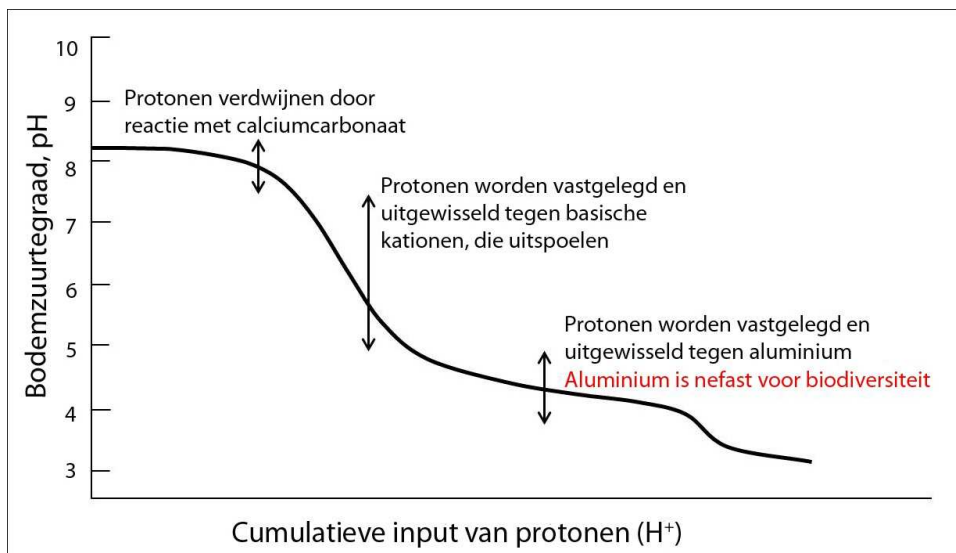
De Moervaartdepressie werd gevormd op het einde van de laatste ijstijd (Würm, 10000 jaar geleden) (De Beelde 2006). De fluviatiele insnijding in de oude eolische dekzanden die afgezet werden tijdens het pleniglaciaal ging gepaard met een daling van de grondwatertafel. Deze fluviatiele werking viel nagenoeg stil door de algemene verdroging van het klimaat. Daarna volgde een hernieuwde fluviatiele activiteit en het stilvallen van de eolische activiteit in de warmere fasen van het Tardiglaciaal. Door afdamming van de Vlaamse Vallei door de dekzandrug Maldegem-Stekene werd tijdens het laatglaciaal een ondiep zoetwatermeer gevormd ten zuiden van de dekzandrug. De omstandigheden waren er ideaal voor de vorming van biogene sedimenten (veen en mergel). Mergel of moeraskalk is ontstaan door de neerslag van kleine diertjes met een kalkskelet en bestaat voor 50 tot 90 % uit kalk en voor de rest uit klei (De Beelde 2006). Het afgezette kalkrijke sediment, moeraskalk of gyttja genoemd, is in bijna gans de moervaartdepressie terug te vinden. Hierboven ligt een laag gliede (zeepklei) uit het atlanticum (7500 jaar BP), een venige biogene afzetting. Hierboven bevinden zich overstromingsafzettingen bestaande uit veen, klei en zand. Waar omwille van de hogere ligging geen overstromingspakket kon worden afgezet komt pleistoceen zand tot lemig zand aan de oppervlakte. Volgens Herbos et al. (2008) is de basenrijkdom in de Moervaart- en Zuidlededepressie hoogstens voor een deel bepaald door de moeraskalk, gezien de wijdere verspreiding van het gebufferd grondwater in vergelijking met het voorkomen van moeraskalk.

In onderstaande paragrafen worden de huidige abiotische karakteristieken van de onderzochte percelen besproken. We zoomen in op de bodemzuurtegraad, het percentage koolstof (C) en stikstof (N), verschillende fracties van fosfor (P) en het totale ijzergehalte (Fe) van de bodem.

### 8.1 Bodemzuurtegraad

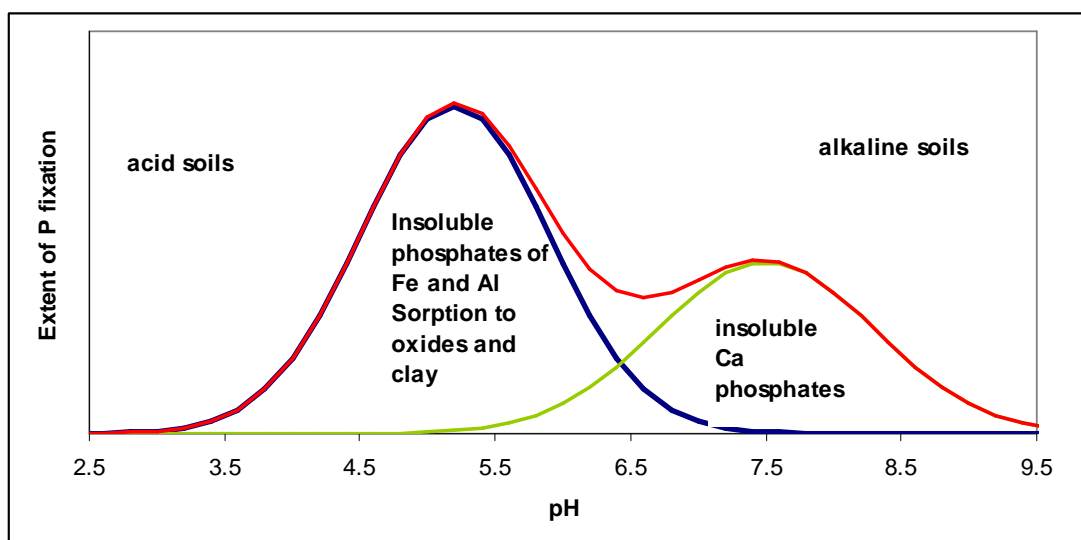
Onderstaande figuren tonen de bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH) van de verschillende percelen. Bodemverzuring is een toename van de concentratie aan protonen (waterstofionen,  $H^+$ ) in de bodem. Hoe zuurder de bodem, hoe hoger de concentratie aan protonen, en hoe lager de pH van de bodem. Wanneer protonen in een bodem terecht komen, treden verschillende buffermechanismen in werking waarbij deze protonen vastgelegd of verwijderd worden (zie Fig. 10). Bij bodems met hoge pH (lage bodemzuurtegraad) worden inkomende protonen geneutraliseerd door een reactie met calciumcarbonaat. Wanneer alle vrij calciumcarbonaat weg gereageerd is, worden protonen uitgewisseld tegen de zogenaamde basische kationen (kalium, calcium en magnesium) die zich op het uitwisselingscomplex van de bodem bevinden. Het uitwisselingscomplex van de bodem bestaat uit negatief geladen klei- en leempartikels en het organisch materiaal waaraan de kationen gebonden zijn. Bij deze uitwisseling worden protonen vastgelegd op de plaatsen waar zich eerst kationen bevonden. De kationen komen dan in oplossing en indien ze niet worden opgenomen door de vegetatie, logen ze via percolerend water uit naar het grondwater of naar diepere bodemlagen. Bij verzuring verarmt de bodem dus omdat de concentratie aan basische kationen daalt. Een verdere daling van de bodem-pH ( $pH < 4.5$  à  $5$ ) veroorzaakt het in oplossing gaan van aluminium- en ijzerhydroxiden. Het in oplossing komen van aluminium is ecologisch een bijzonder nefast proces. Aluminium is immers giftig voor talrijke soorten.

Hoe hoger de pH-waarde, hoe lager de zuurtegraad, en hoe beter de bodem dus gebufferd is tegen verzurende processen. Een biotoop zoals een ven bijvoorbeeld is verzuringsgevoelig als er zonder de aanvoer van gebufferd water een grote kans bestaat dat het verzuurt. Verzuring wordt veroorzaakt door verzurende neerslag of door de aanvoer van zuur water uit het omliggende inrijgebied. Een ven kan ook verzuren omdat een ven voor het eerst sinds vele jaren droogvalt. De bodempH geeft ons een idee van de huidige capaciteit tot buffering.

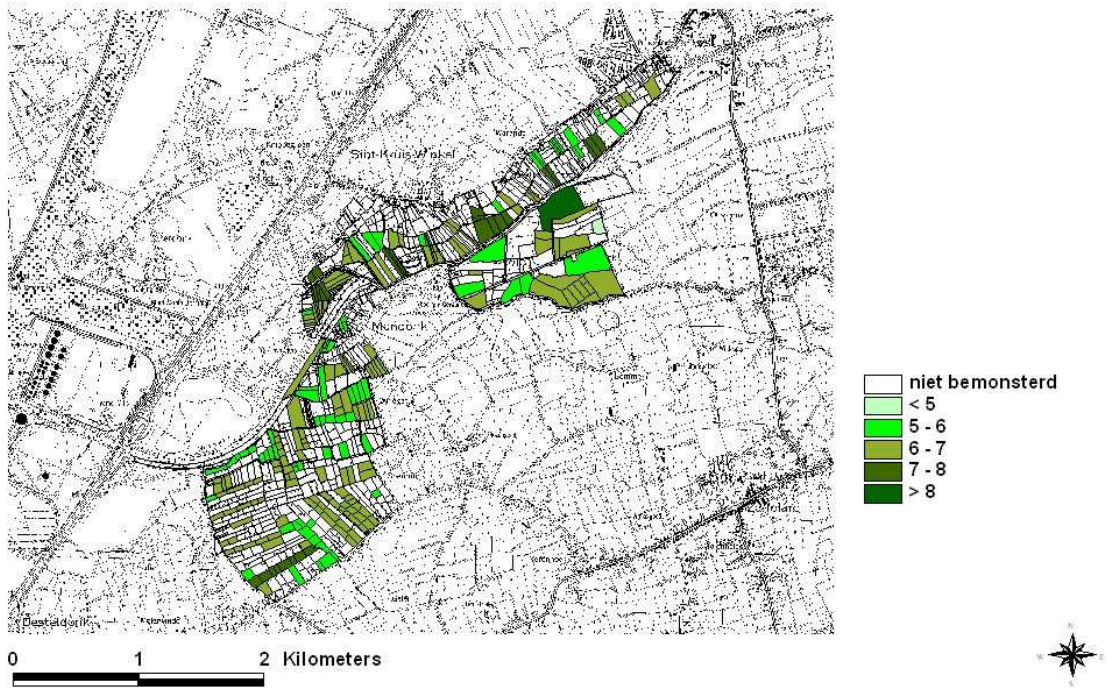


*Figuur 10: Bij input van protonen treden verschillende buffermechanismen in werking. Wanneer bodems sterk verzuurd zijn, belanden ze in het aluminiumbufferbereik, waarbij aluminium in oplossing komt en toxisch kan werken voor allerlei soorten (Bron: Bowman et al. 2008).*

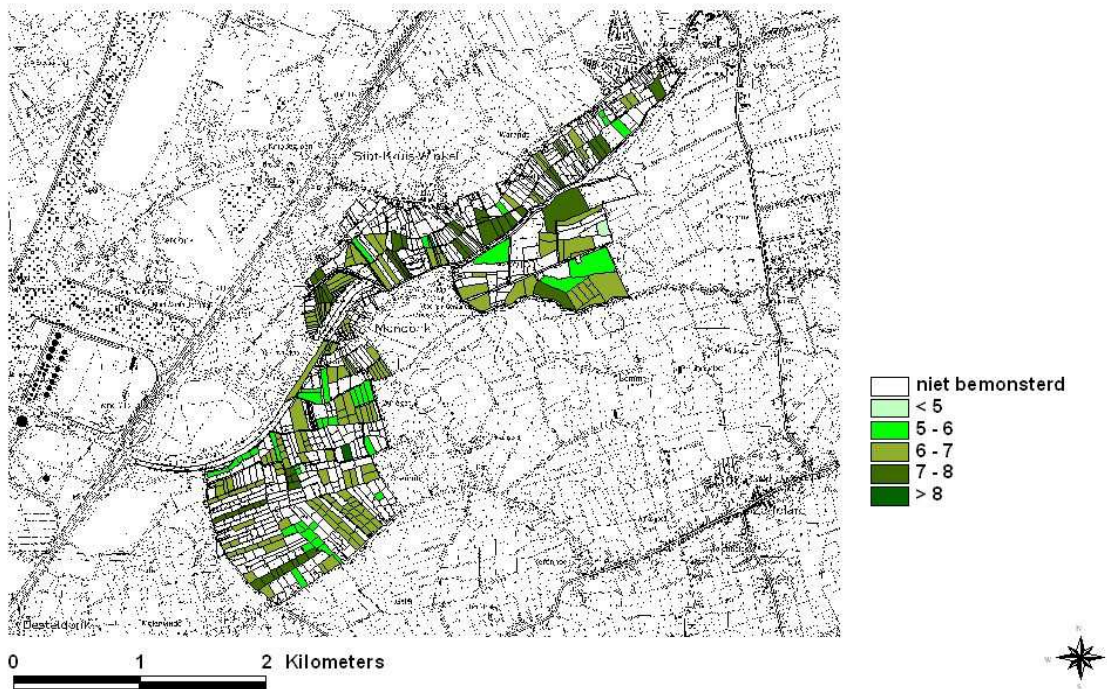
Uit onderstaande figuren 12 tot en met 16 blijkt dat de bodempH van het merendeel van de percelen hoger ligt dan 5, wat aangeeft dat alle percelen zich minstens in het kationenuitwisselingsbufferbereik bevinden. Een aantal percelen hebben een zeer hoge bodempH, met waarden van meer dan 8. Dit is wellicht een gevolg van de aanwezigheid van moeraskalk, of van de aanvoer van het basenrijk grondwater. De andere percelen hebben bodempH's die schommelen tussen 5 en 7 (kationenuitwisselingsbufferbereik). Deze percelen worden door landbouwers bekalkt, waarbij doorsnee getracht wordt om de bodempH rond de pH=6.5 te brengen. Bij deze pH is de biobeschikbaarheid van P het hoogst (zie Fig. 11, Stevenson & Cole 1999). Enkel het bosperceel in Moervaart-Zuidlede heeft pH-waarden lager dan 5 in de diepere horizonten.



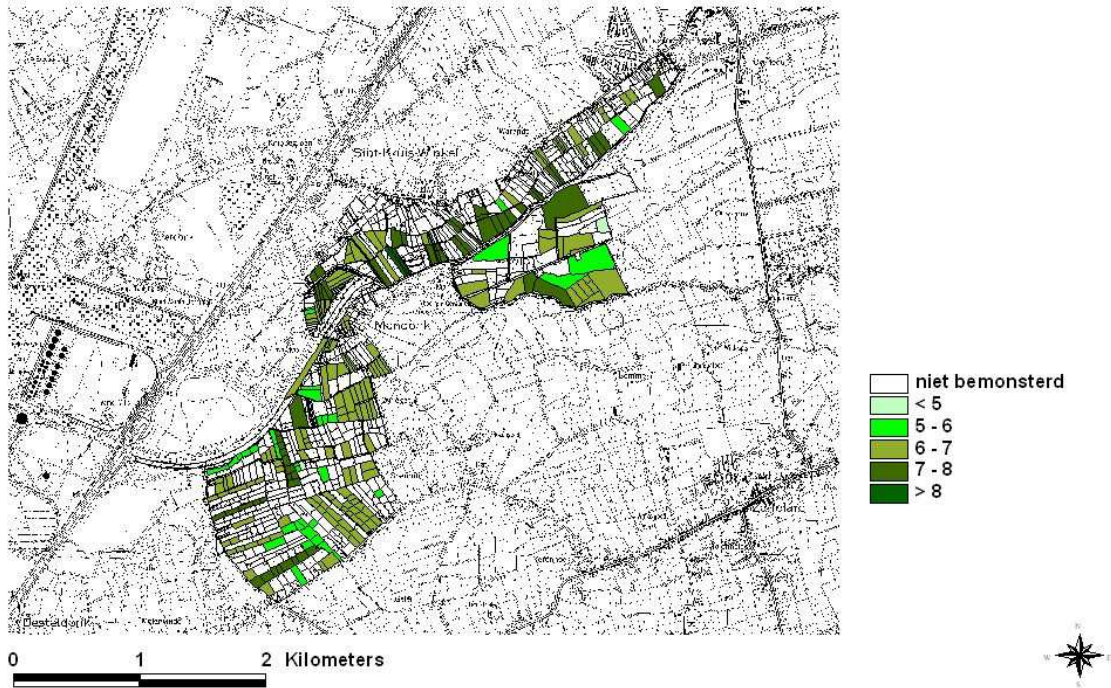
*Figuur 11: Relatie tussen bodempH en de beschikbaarheid van P in zure en basische bodems. De hoogste beschikbaarheid van P komt voor bij een pH rond de 6.5.*



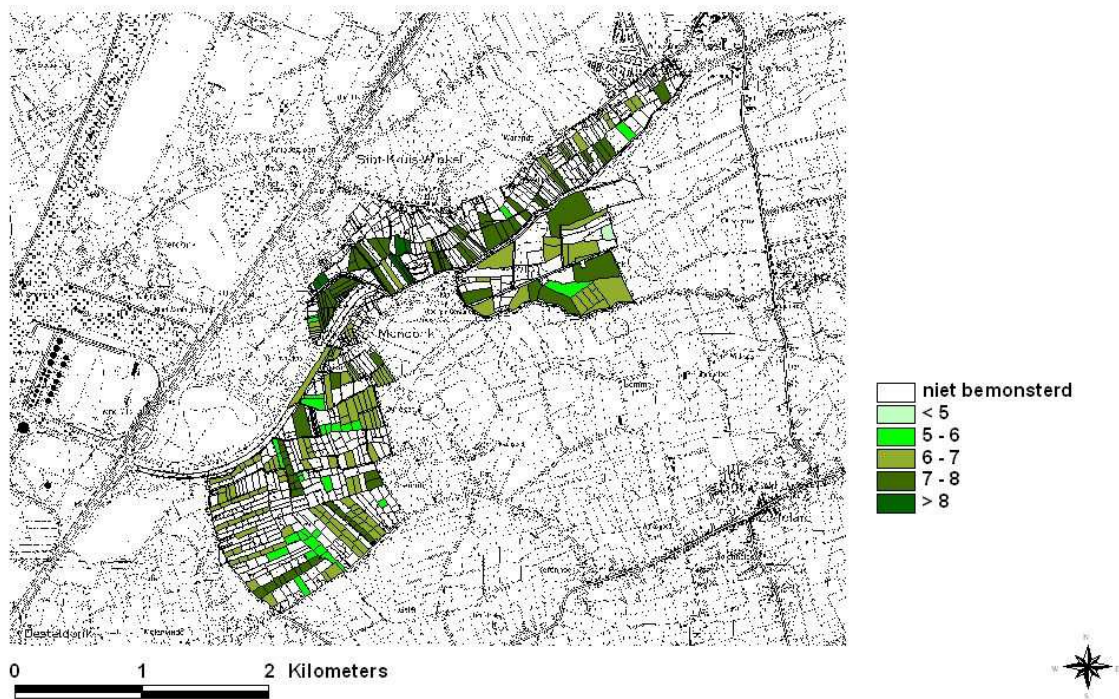
*Figuur 12: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H<sub>2</sub>O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 0-10 cm*



*Figuur 13: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H<sub>2</sub>O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 10-20 cm*

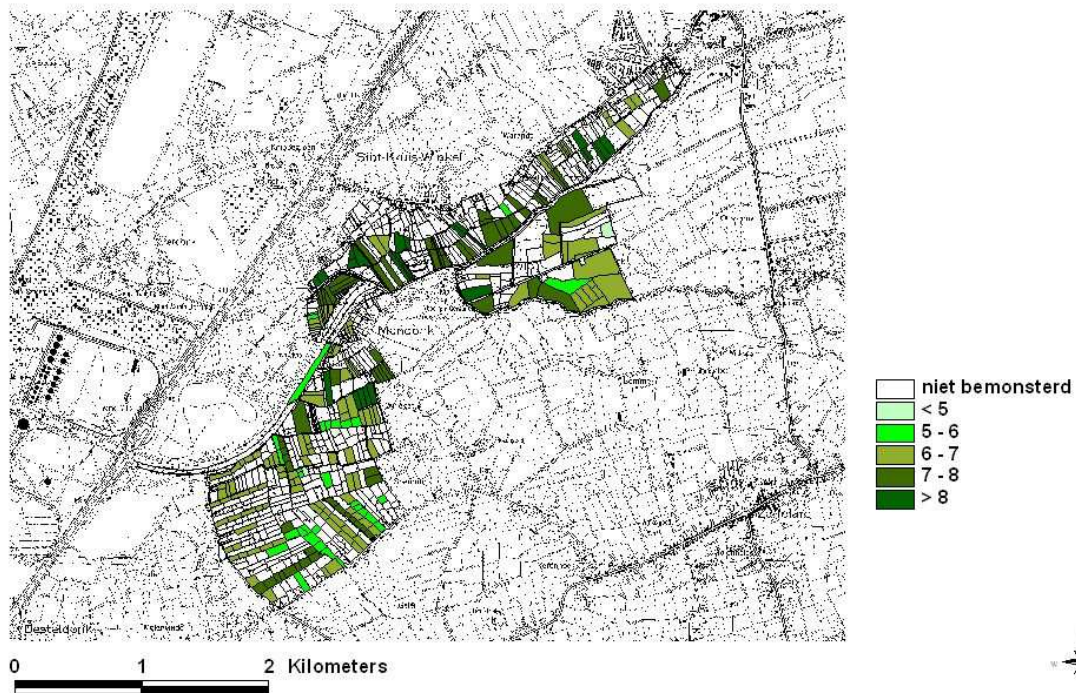


Figuur 14: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H<sub>2</sub>O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 15: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H<sub>2</sub>O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 30-40 cm



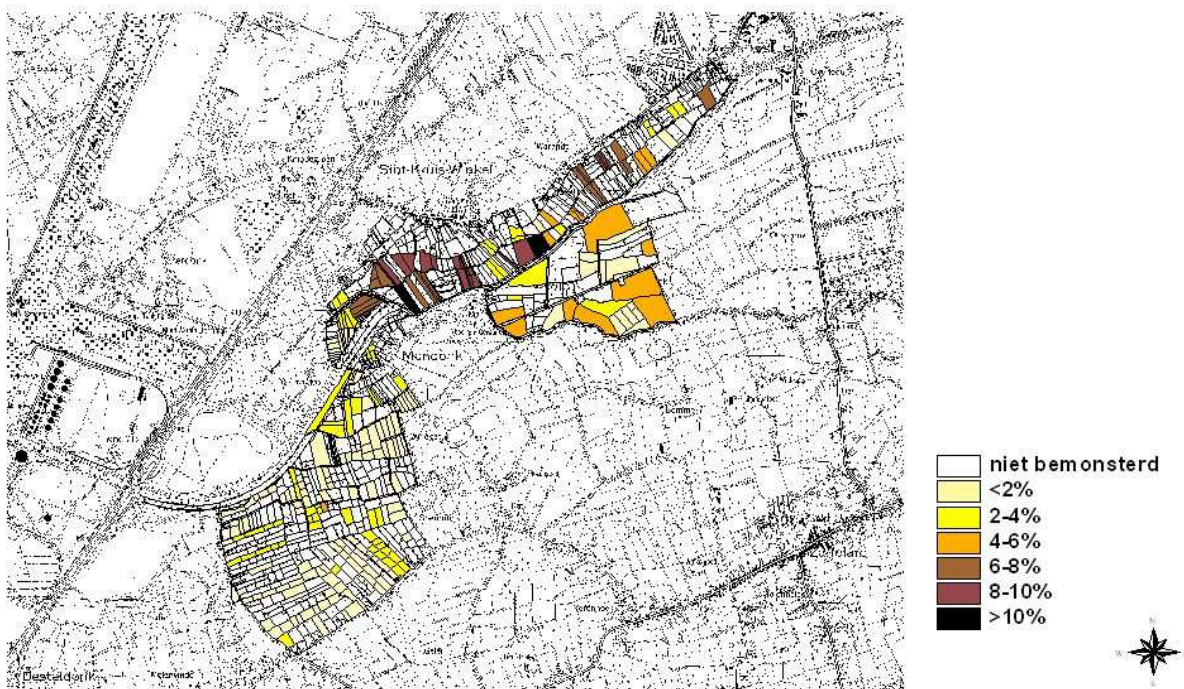


*Figuur 16: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H<sub>2</sub>O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 40-50 cm*

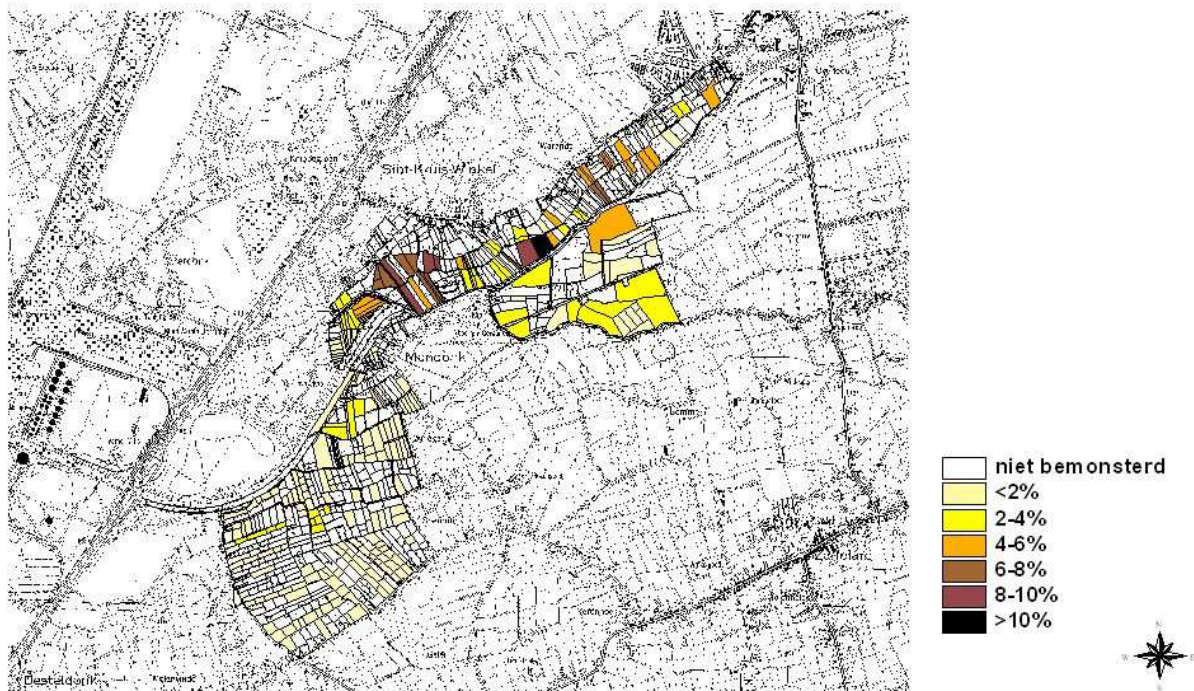
## 8.2 Percentage koolstof (C) in de bodem

Onderstaande figuren tonen de concentraties aan koolstof (C, uitgedrukt als % C) van de verschillende percelen. Deze concentraties geven een idee van de aanwezigheid van veen. De aanwezigheid van veel organisch materiaal in de bodem speelt een belangrijke rol bij interne eutrofiëring wanneer sulfaat wordt aangevoerd via het grondwater. Bodembacteriën gebruiken onder zuurstofarme omstandigheden sulfaat bij de afbraak van organisch materiaal. Hierbij wordt waterstofsulfide gevormd. Het gevormde sulfide zorgt ervoor dat fosfaat in de bodem niet langer goed kan binden aan ijzer, doordat sulfide zelf sterker hecht aan het vrijgekomen ijzer. Fosfaat komt hierdoor vrij in de bodem en diffundeert naar de waterlaag, wat ernstige interne eutrofiëring tot gevolg kan hebben. Daarnaast is er minder ijzer beschikbaar om nieuw vrijgekomen of aangevoerd fosfaat te binden. Als er onvoldoende ijzer is om het sulfide te binden, loopt de concentratie van het sulfide op en bereikt het soms voor planten en dieren giftige waarden. Hoge concentraties aan organisch materiaal kunnen dit proces in de hand werken.

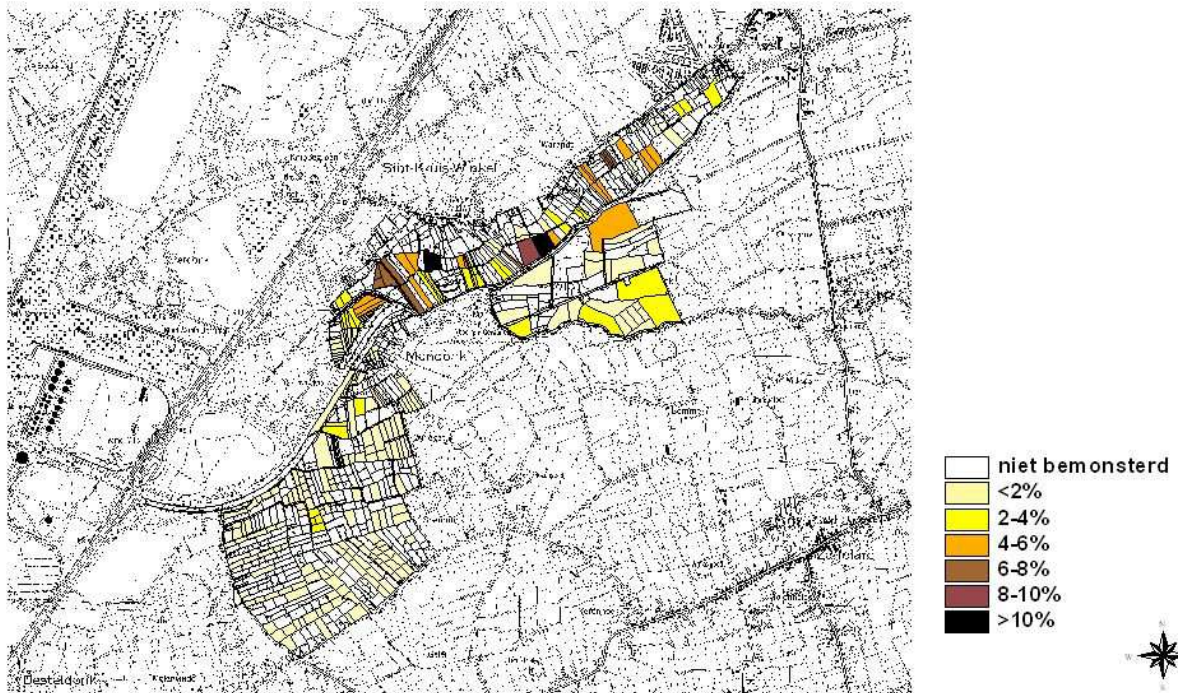
In de zandige zone Mendonk zijn de percentages C veel lager dan in de lemigere zone Moervaart-Zuid en in de kleiige zone van Moervaart-Noord en -Zuid. In het algemeen verlaagt het percentage C met de diepte. De zuidwestelijke zone van Moervaart-Noord heeft hoge C percentages, wat kan wijzen op de aanwezigheid van veen. Ook de (met bagger?) opgehoogde percelen in Moervaart-Noord hebben zeer hoge percentages C. De percentages C liggen intermediair in de zone Moervaart-Zuid. De zandigere strook heeft duidelijk lagere C percentages.



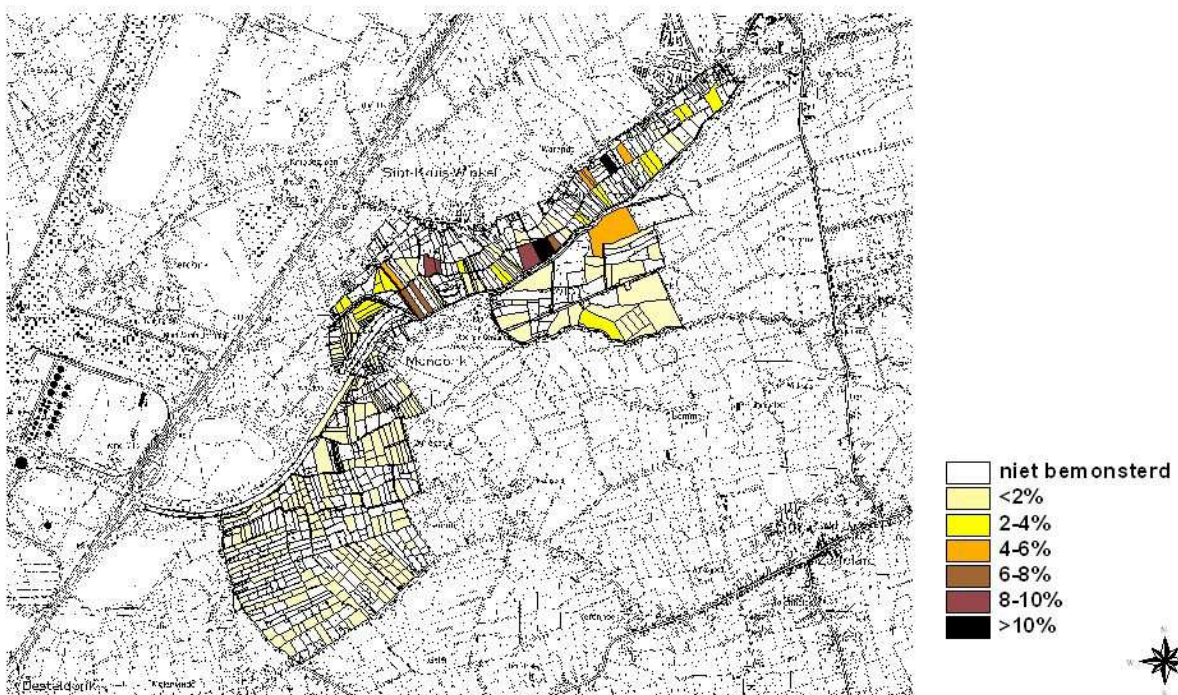
*Figuur 17: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 0-10 cm van de verschillende percelen*



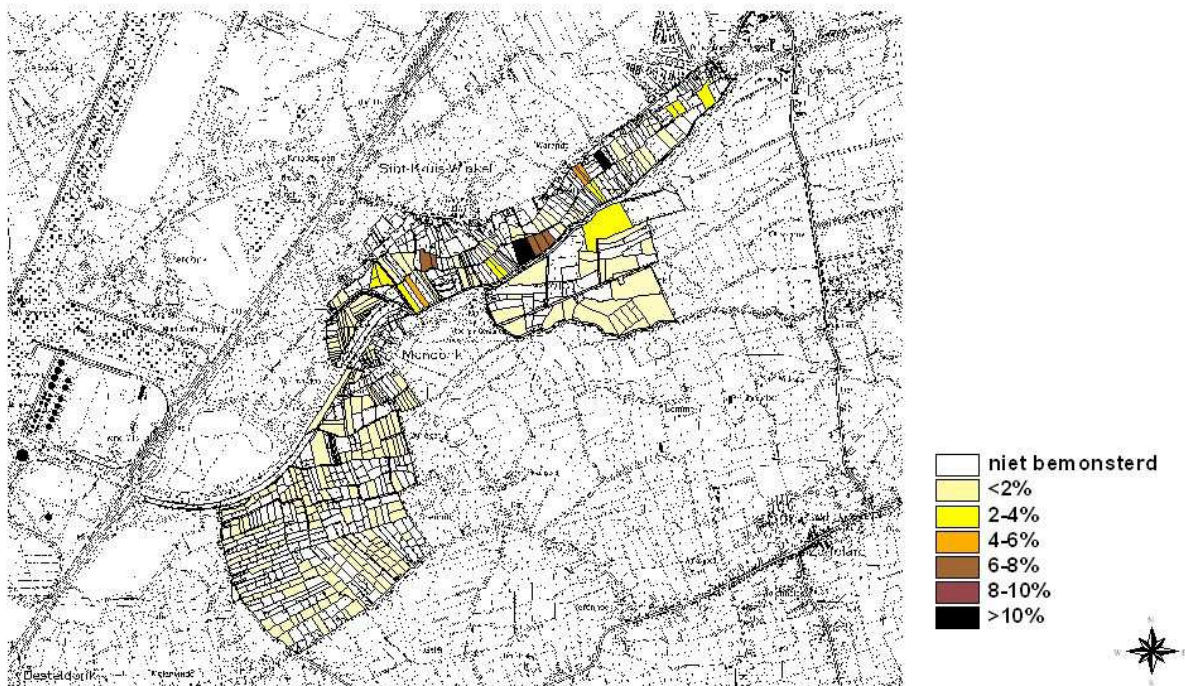
*Figuur 18: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 10-20 cm van de verschillende percelen*



*Figuur 19: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 20-30 cm van de verschillende percelen*



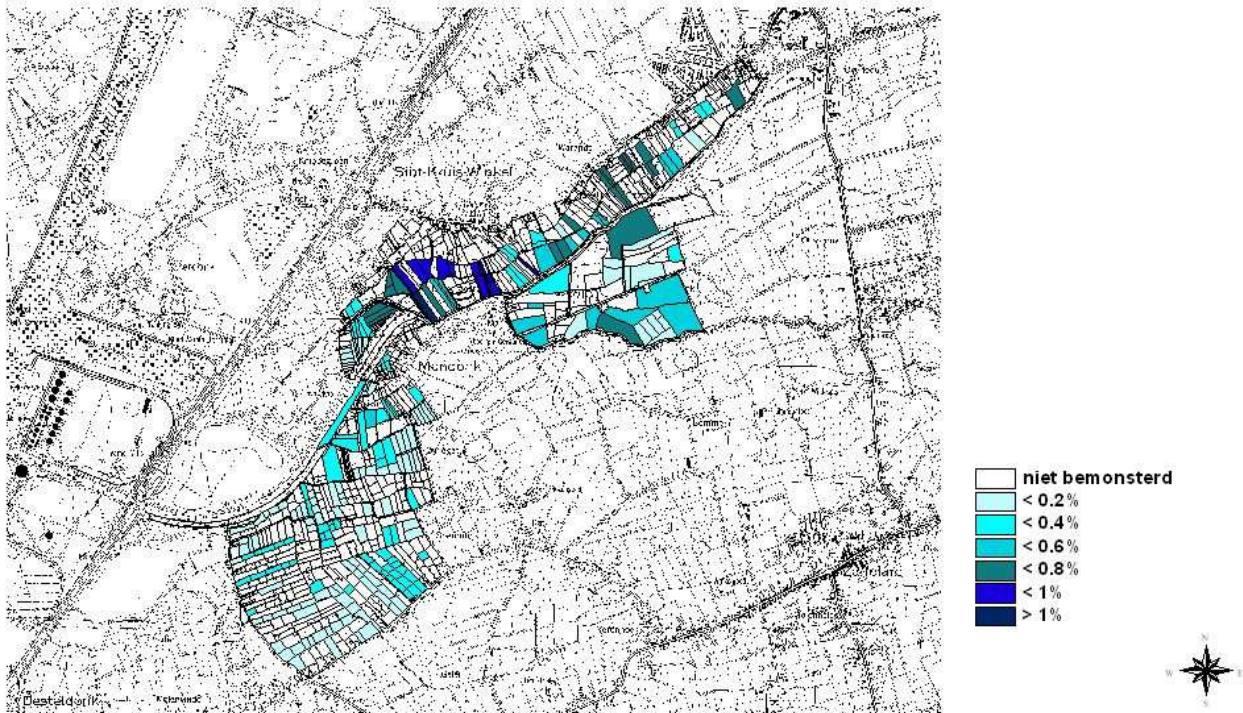
*Figuur 20: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 30-40 cm van de verschillende percelen*



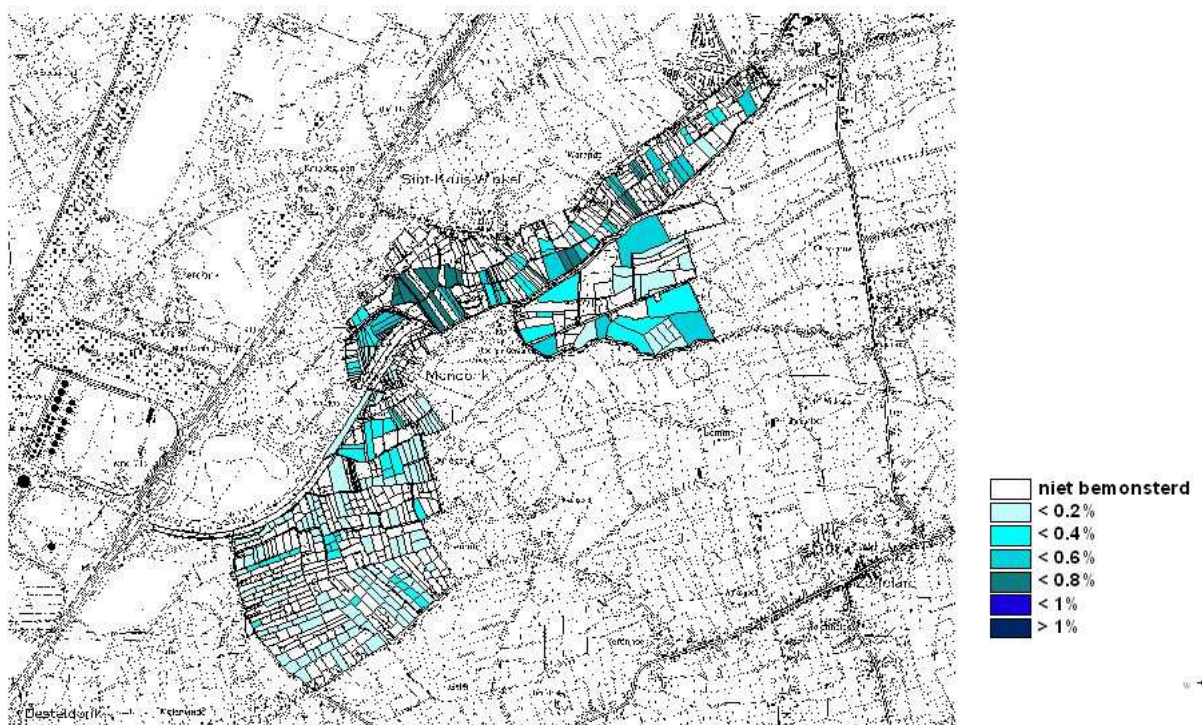
Figuur 21: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 40-50 cm van de verschillende percelen

### 8.3 Percentage stikstof (N) in de bodem

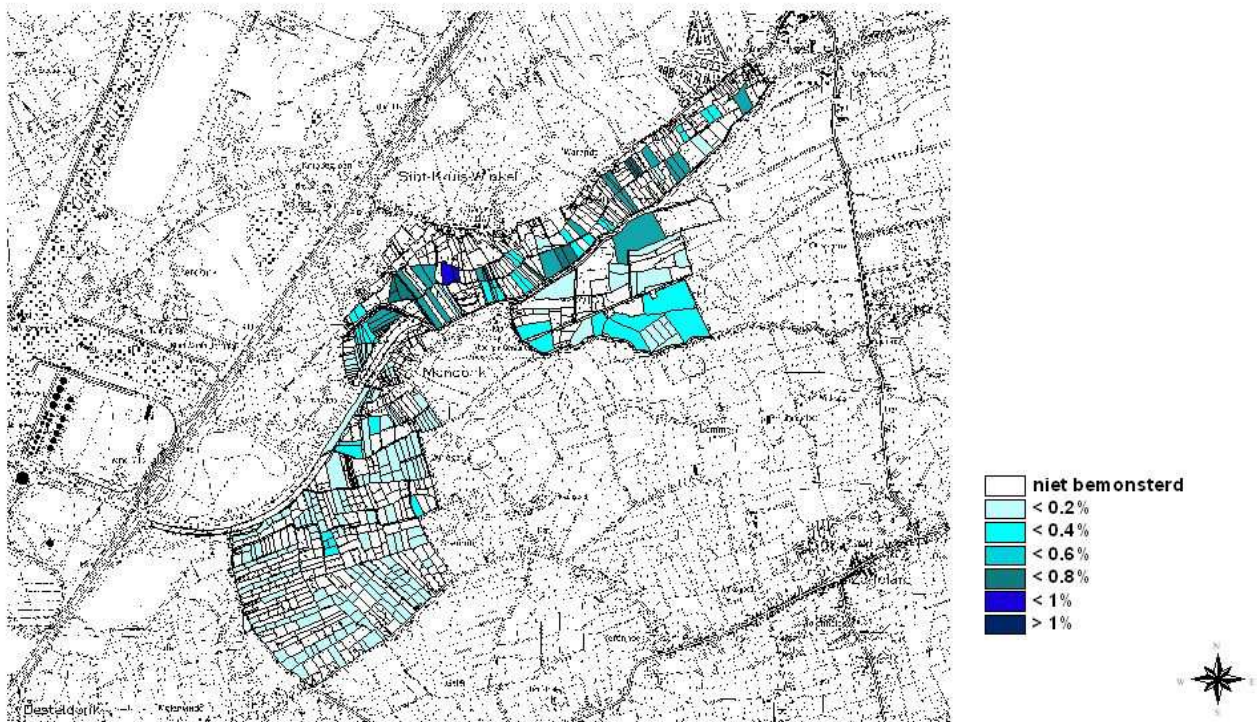
Onderstaande figuren tonen de concentraties aan stikstof (N, uitgedrukt als % N) van de verschillende percelen. Deze concentraties geven een idee van de totale stikstofstock die op termijn kan vrijkomen door mineralisatie. De concentraties N zijn sterk gecorreleerd met de concentraties C, wat aangeeft dat de grootste stock aan N zich in het organisch materiaal bevindt. In natte omstandigheden wordt deze pool aan N niet of nauwelijks gemineraliseerd en komt dus ook niet beschikbaar voor de biota. In droge omstandigheden echter kan versnelde mineralisatie bijdragen tot verhoogde concentraties aan N, wat nadelig is voor stikstofgelimiteerde habitattypes als dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties. bodem.



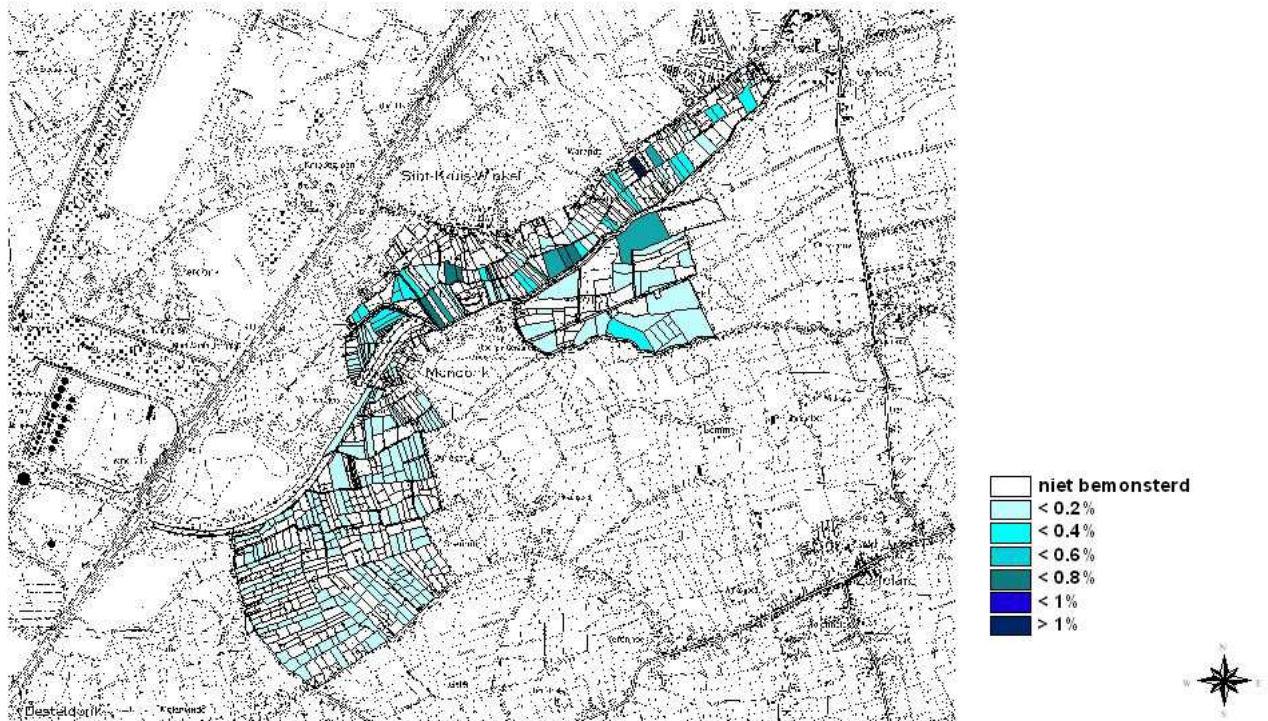
*Figuur 22: Percentage stikstof (N) van de bodemlaag 0-10 cm van de verschillende percelen*



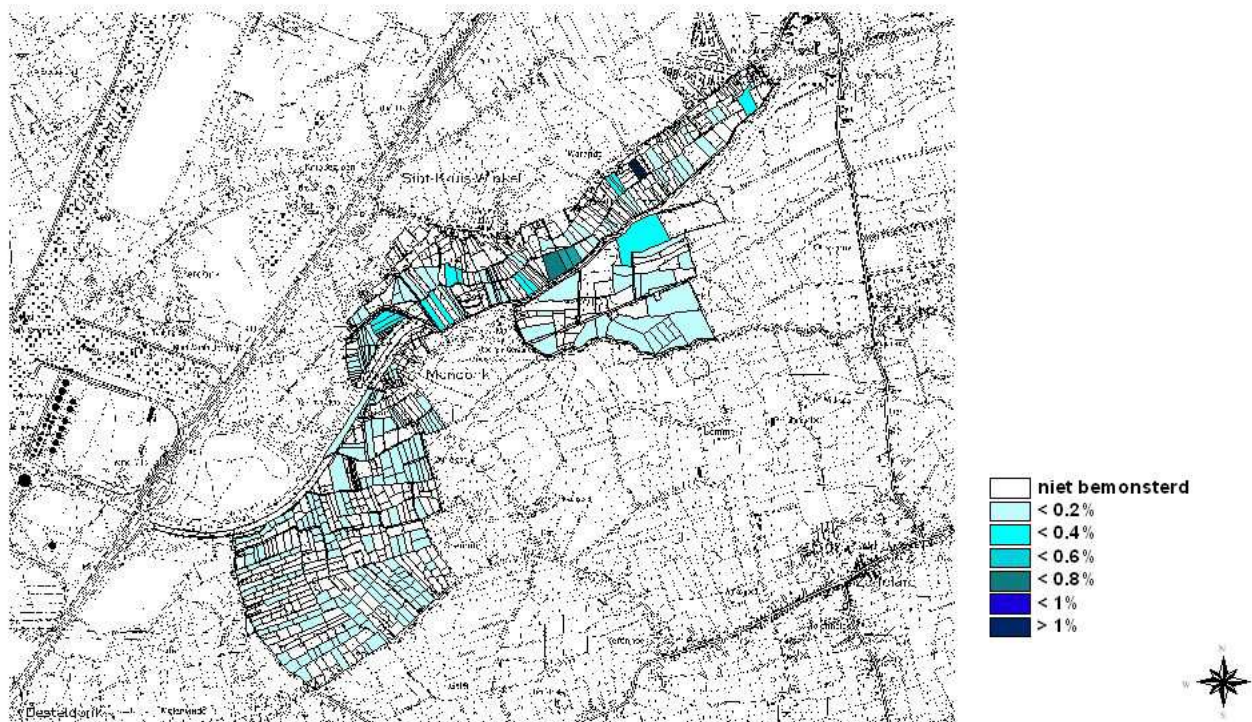
*Figuur 23: Percentage stikstof (N) van de bodemlaag 10-20 cm van de verschillende percelen*



*Figuur 24: Percentage stikstof (N) van de bodemlaag 20-30 cm van de verschillende percelen*



*Figuur 25: Percentage stikstof (N) (in %) van de bodemlaag 30-40 cm van de verschillende percelen*



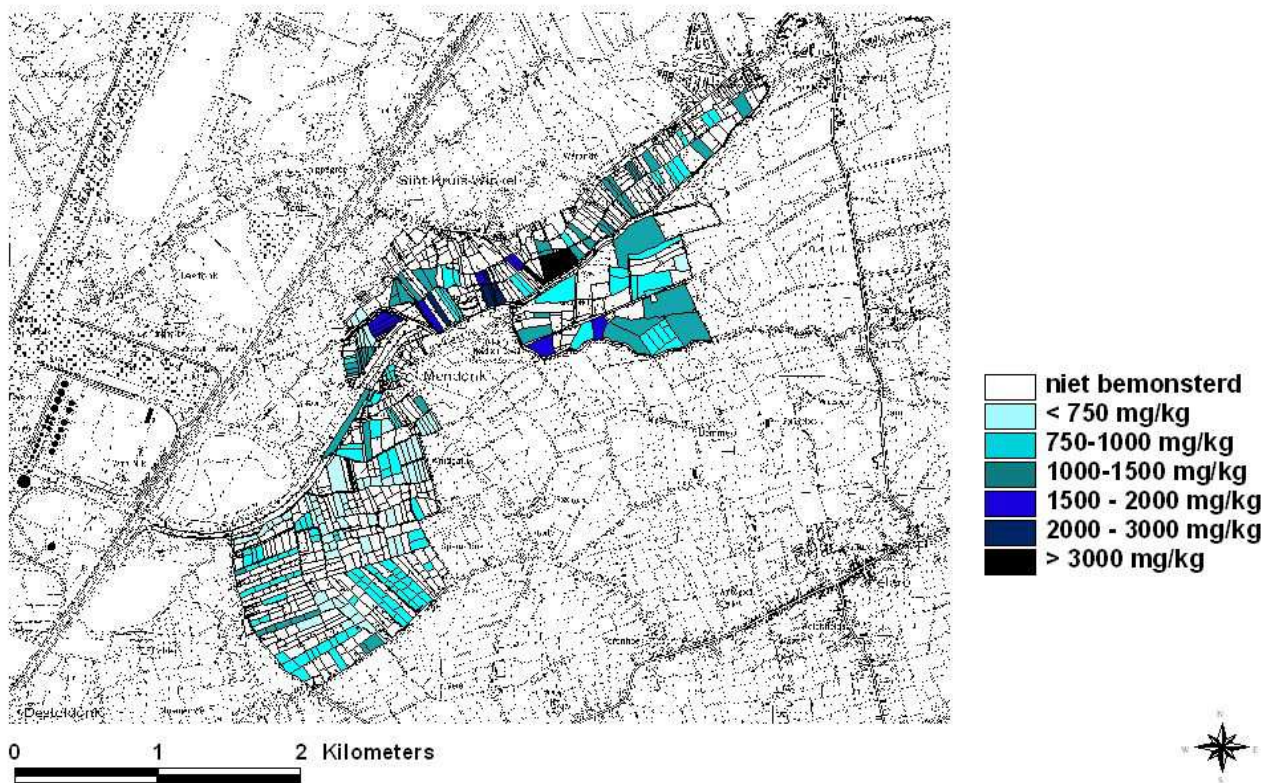
Figuur 26: Percentage stikstof (N) van de bodemlaag 40-50 cm van de verschillende percelen

#### 8.4 Concentratie totaal fosfor (P) in de bodem

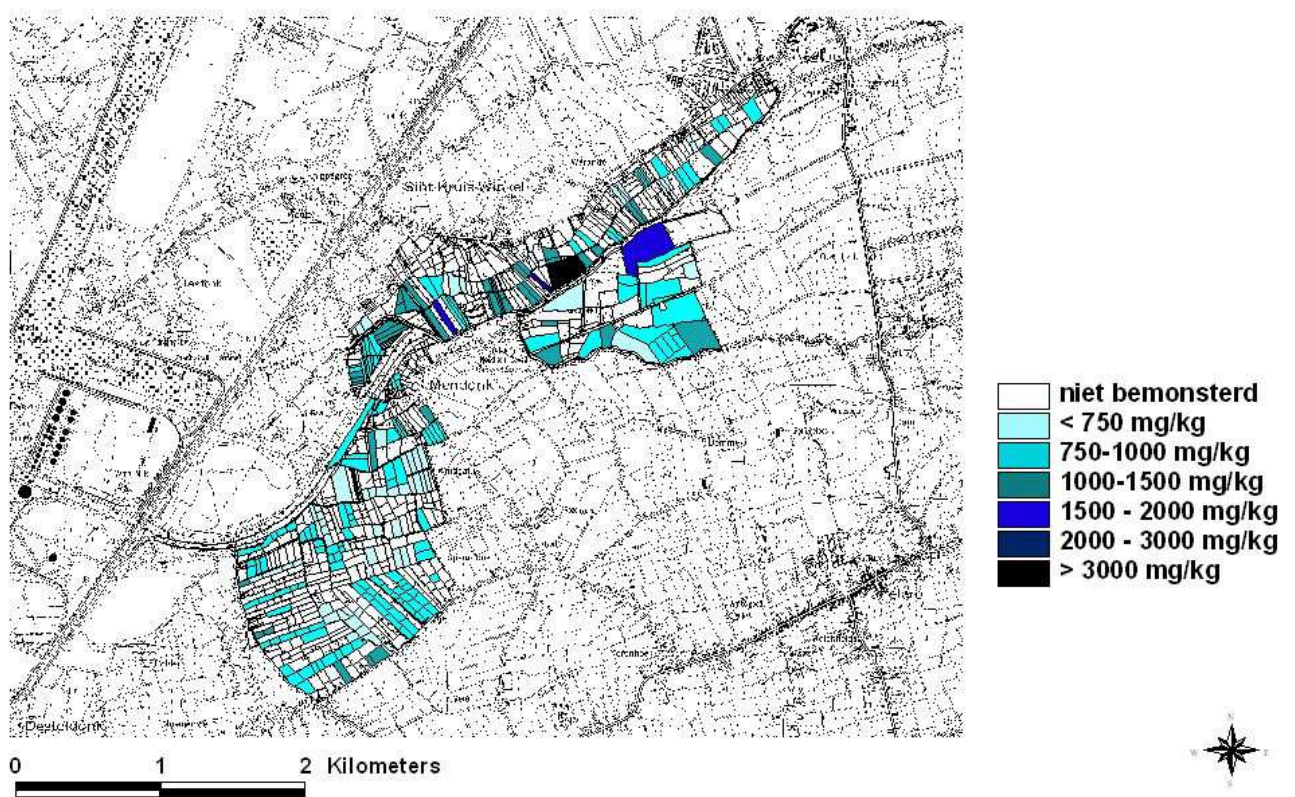
De concentratie aan totaal P geeft een idee van de totale hoeveelheid P in de bodem, en dus ook van de mate waarin de percelen in het verleden bemest werden. De P concentraties hangen bovendien sterk samen met de textuur van de bodem: kleibodems kunnen meer P vasthouden dan zandbodems. Een gedeelte van de totale P stock is inert en komt niet beschikbaar. Bodems met veel ijzer en calcium kunnen hoge concentraties aan totaal P bevatten, terwijl de biobeschikbare concentraties toch laag kunnen zijn. De totale P stock is dus geen goede maat voor de fractie die op korte of langere termijn beschikbaar kan komen. Bij vernatting kan aan ijzer gebonden P vrijkomen. Bij verzuring kan aan calcium gebonden P vrijkomen.

De metingen van totaal P zijn essentieel om na te gaan of de bodems geschikt zijn als onderwaterbodem. De (Fe-S)/P-ratio kan ermee berekend worden, wat inzicht geeft in het risico tot nalevering van P bij vernatting.

De totale P concentraties variëren tussen minder dan  $750 \text{ mg.kg}^{-1}$  en meer dan  $3000 \text{ mg.kg}^{-1}$ . In de zandige percelen van Mendonk zijn de concentraties aan totaal P minder hoog dan in de kleiige zone. In zandbodems zijn de concentraties aan calcium en ijzer lager dan in kleibodems, waardoor minder P kan vastgehouden worden. In de meeste percelen zijn de hoogste concentraties aan P terug te vinden in de bovenste 30 cm van de bodem (ploegvoor). Echter, in Moervaart-Noord bevinden zich enkele (met bagger?) opgehoogde percelen die tot op 50 cm diepte extreem hoge concentraties aan totaal P bevatten.

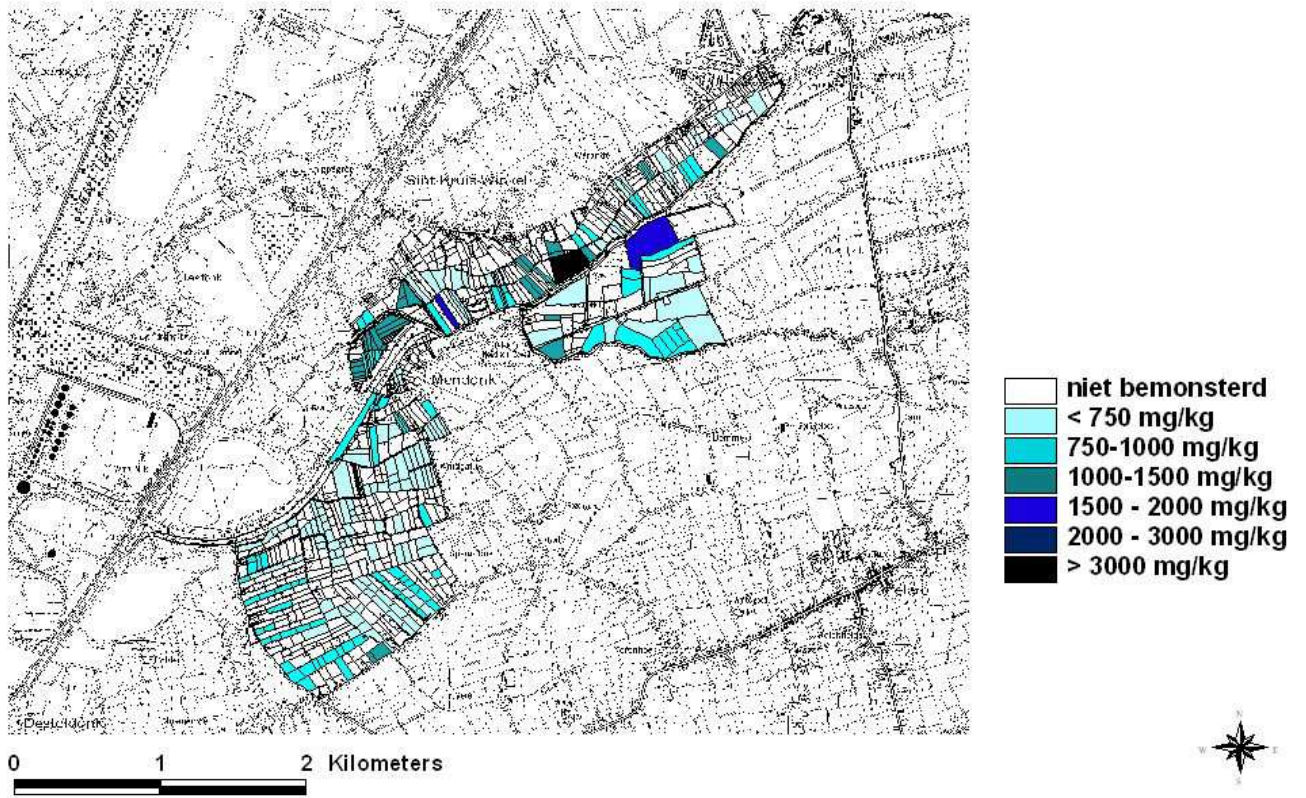


Figuur 27: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 0-10 cm

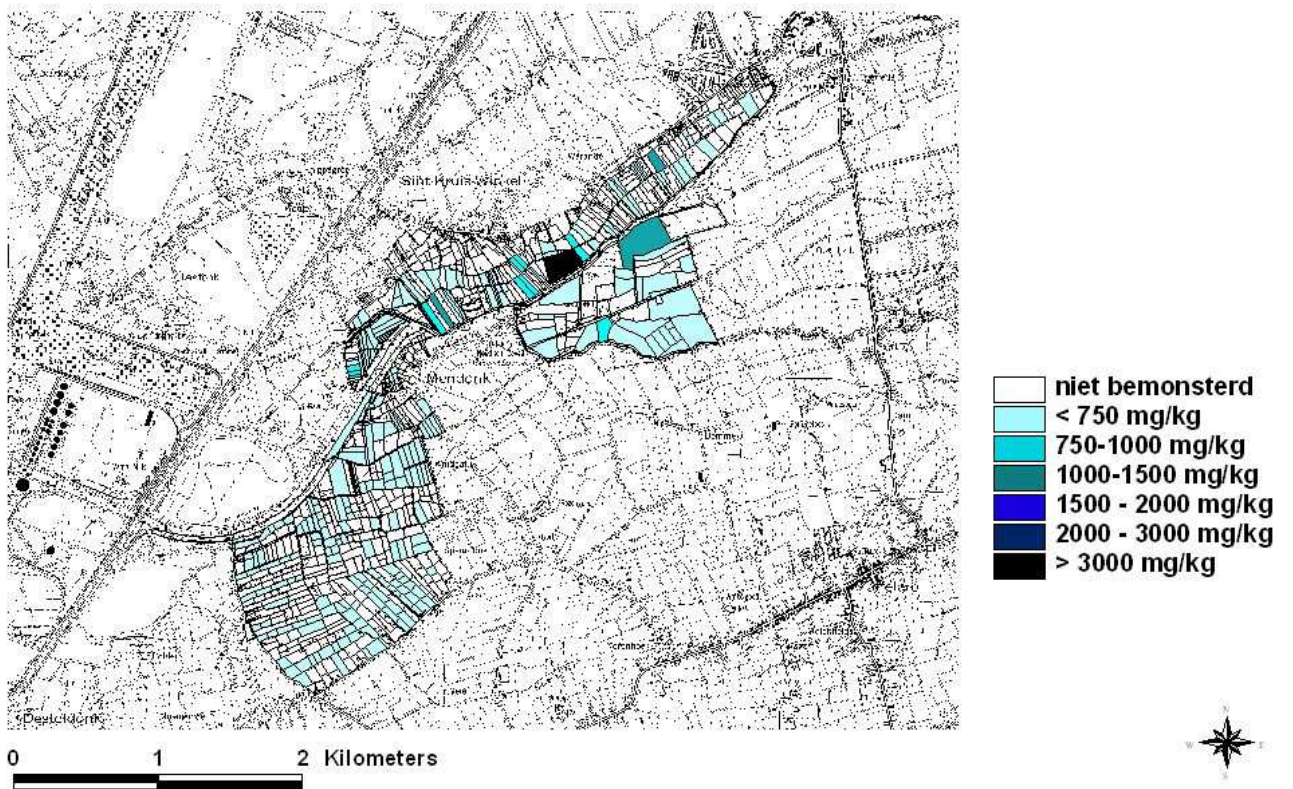


Figuur 28: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 10-20 cm

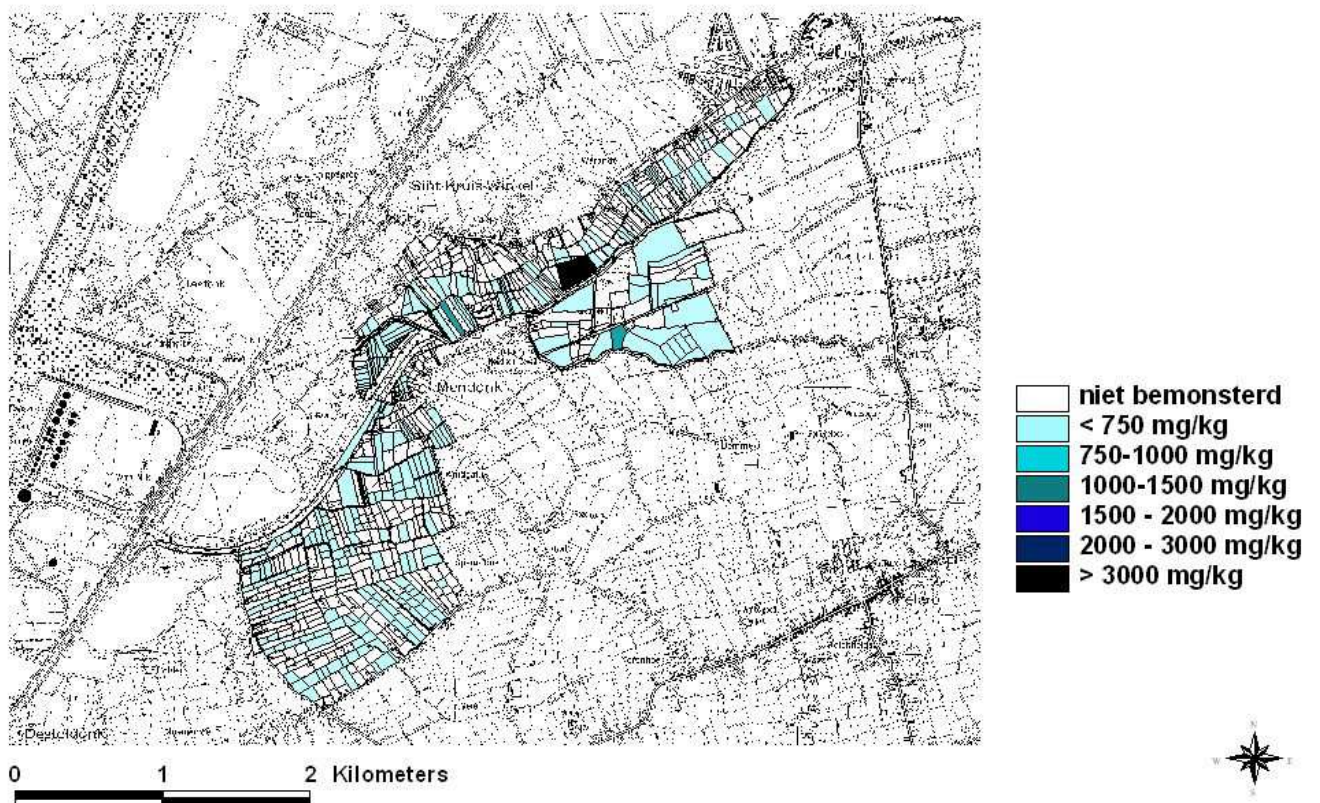




Figuur 29: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in  $\text{mg.kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 20-30 cm



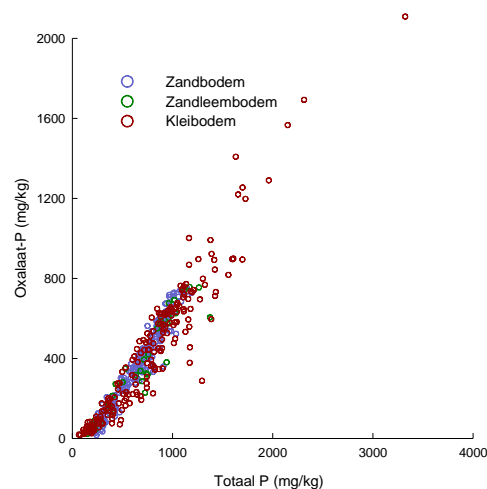
Figuur 30: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in  $\text{mg.kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 31: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 40-50 cm

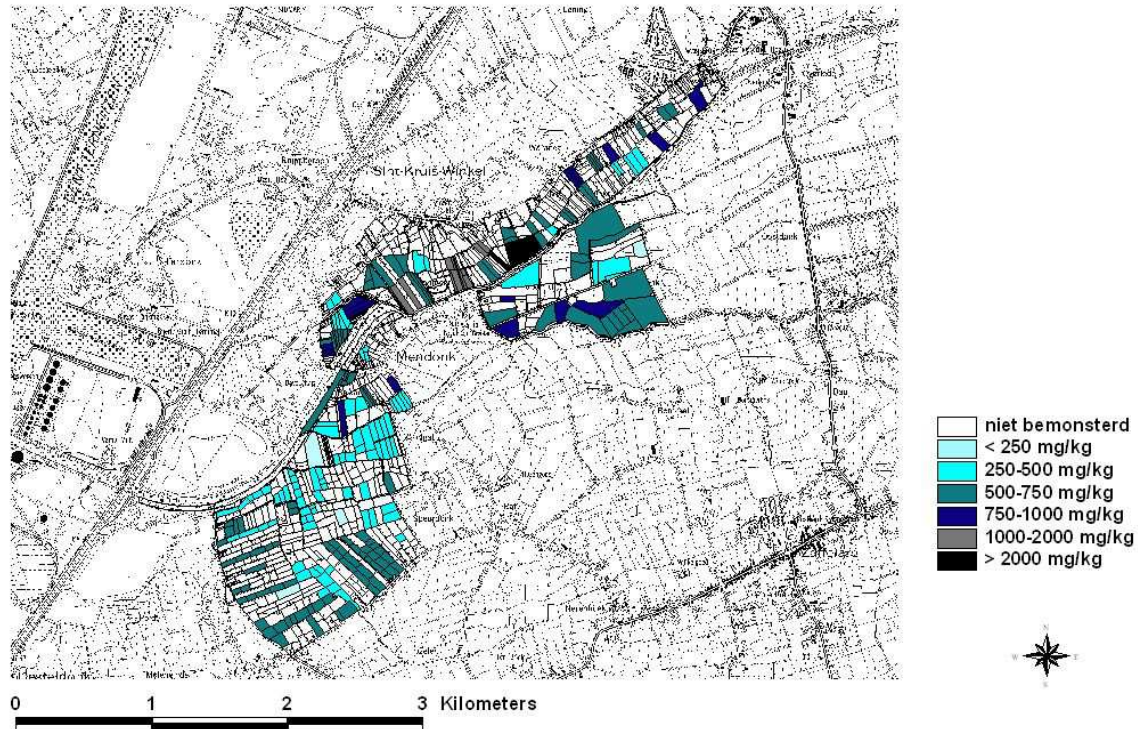
### 8.5 Concentratie actief fosfor (P) in de bodem

De concentratie aan 'actief P' (oxalaat-P) geeft een idee van de hoeveelheid P dat op langere termijn beschikbaar kan komen. Voor de bemonsterde percelen werd een sterke correlatie gevonden tussen totaal P en actief P (zie Fig. 32). De metingen van oxalaat-P werden gebruikt om de noodzakelijke duur van uitmijnen te bepalen voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden in het gebied (zie verder § 8).

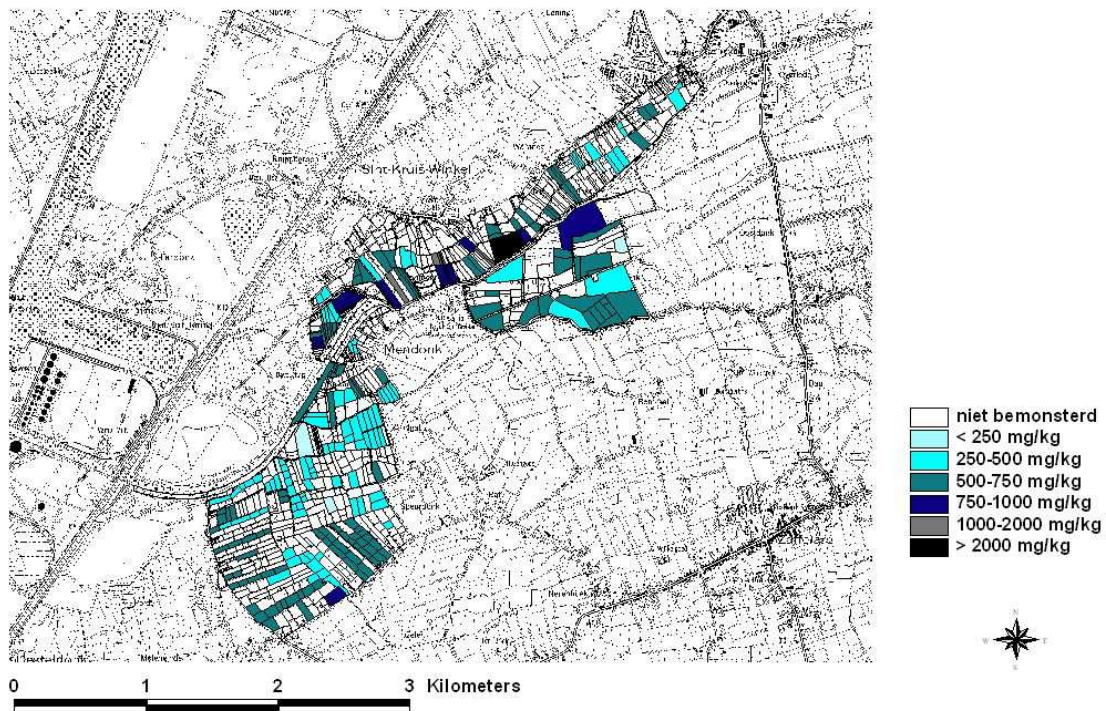


Figuur 32: Relatie tussen totaal P ( $P_{\text{tot}}$ ) ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) en oxalaat-P ( $P_{\text{ox}}$ ) ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) voor de zand-, zandleem- en kleibodems (omwille van de extreem hoge concentraties aan  $P_{\text{ox}}$  en totaal P werden de resultaten van de opgehoogde percelen uit Moervaart-Noord weggelaten uit deze figuur)

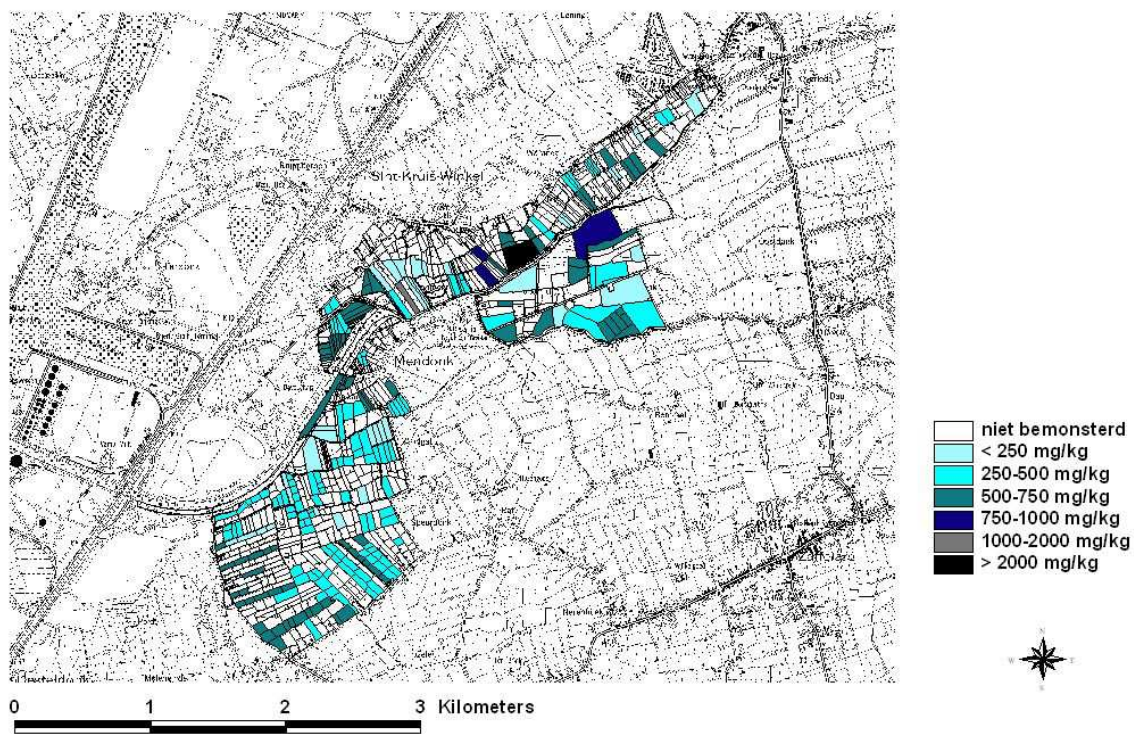
De actieve P concentraties variëren tussen minder dan 250 mg.kg<sup>-1</sup> en meer dan 2000 mg.kg<sup>-1</sup>. In de zandige percelen van Mendonk zijn ook de concentraties aan actief P minder hoog dan in de kleiige zone. In de meeste percelen zijn de hoogste concentraties aan actief P terug te vinden in de bovenste 30 cm van de bodem (ploegvoor). Echter, in Moervaart-Noord bevinden zich enkele (met bagger?) opgehoogde percelen die tot op 50 cm diepte extreem hoge concentraties aan actief P bevatten.



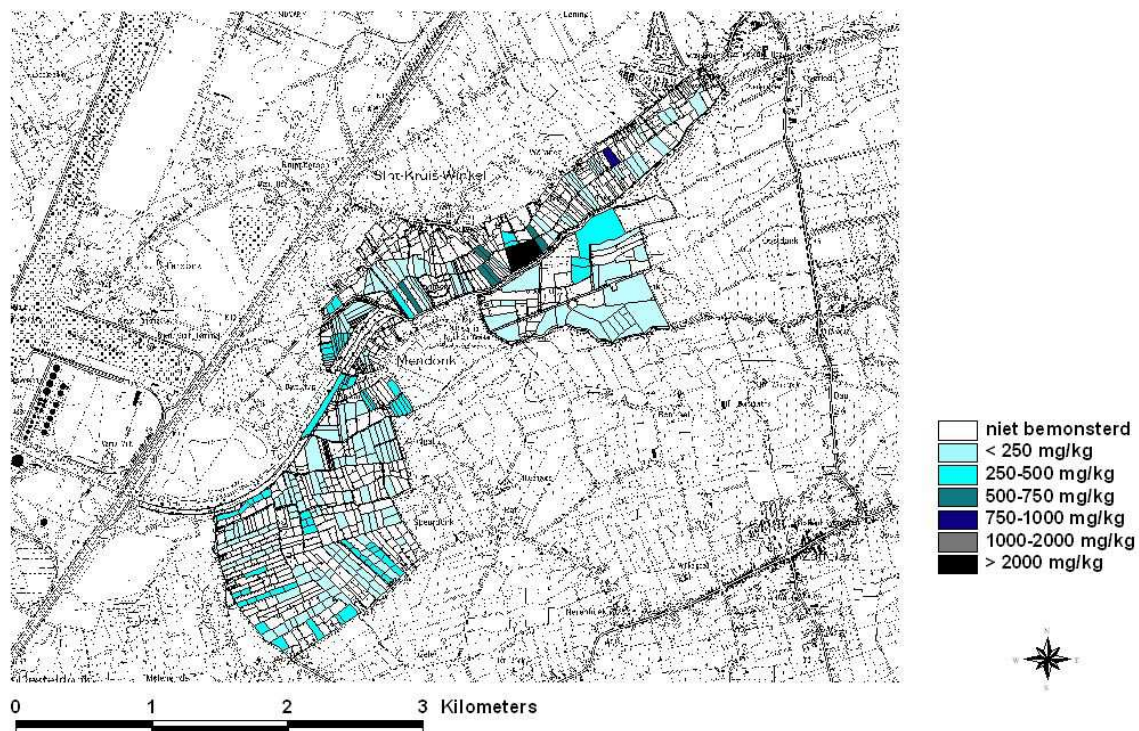
*Figuur 33: Concentratie aan actief fosfor (P<sub>ox</sub>) (in mg.kg<sup>-1</sup>) van de bodemlaag 0-10 cm*



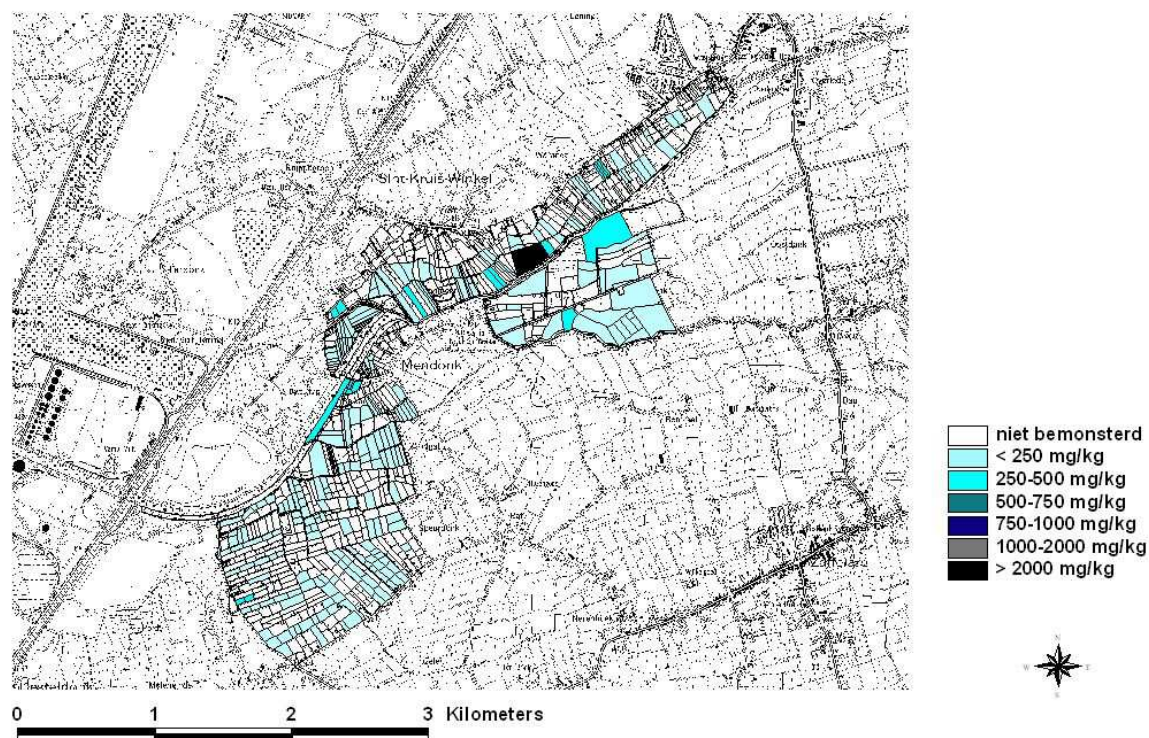
Figuur 34: Concentratie aan actief fosfor ( $P_{ox}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 35: Concentratie aan actief fosfor ( $P_{ox}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 20-30 cm



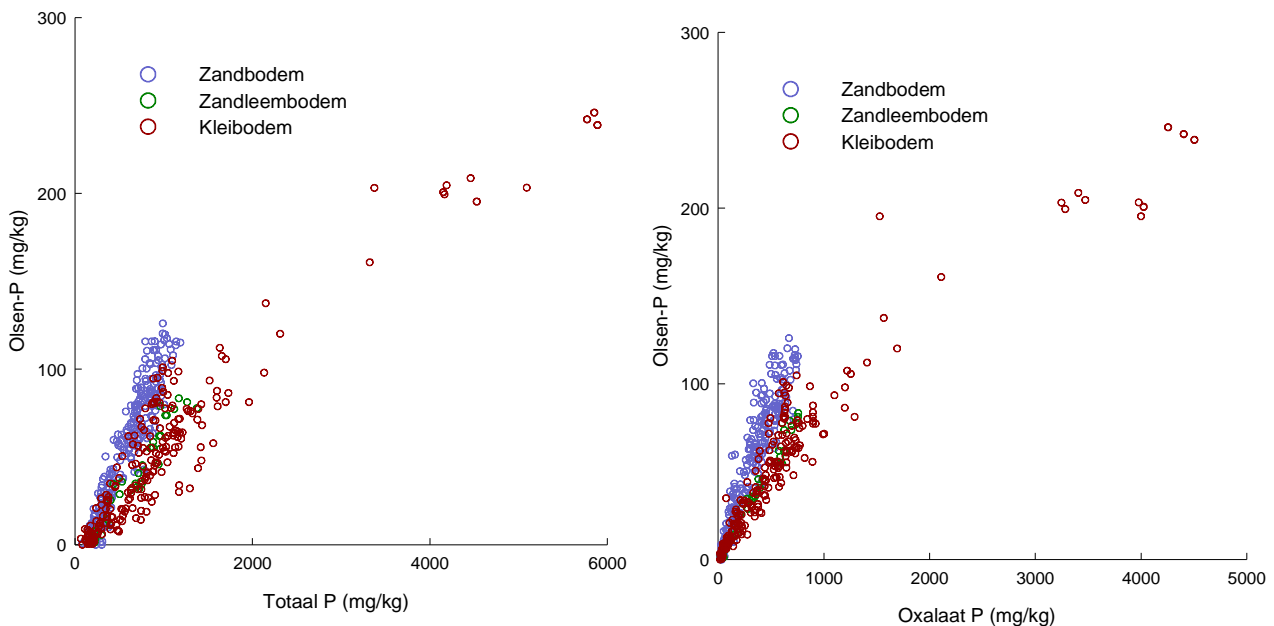
Figuur 36: Concentratie aan actief fosfor ( $P_{ox}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 37: Concentratie aan actief fosfor ( $P_{ox}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 40-50 cm

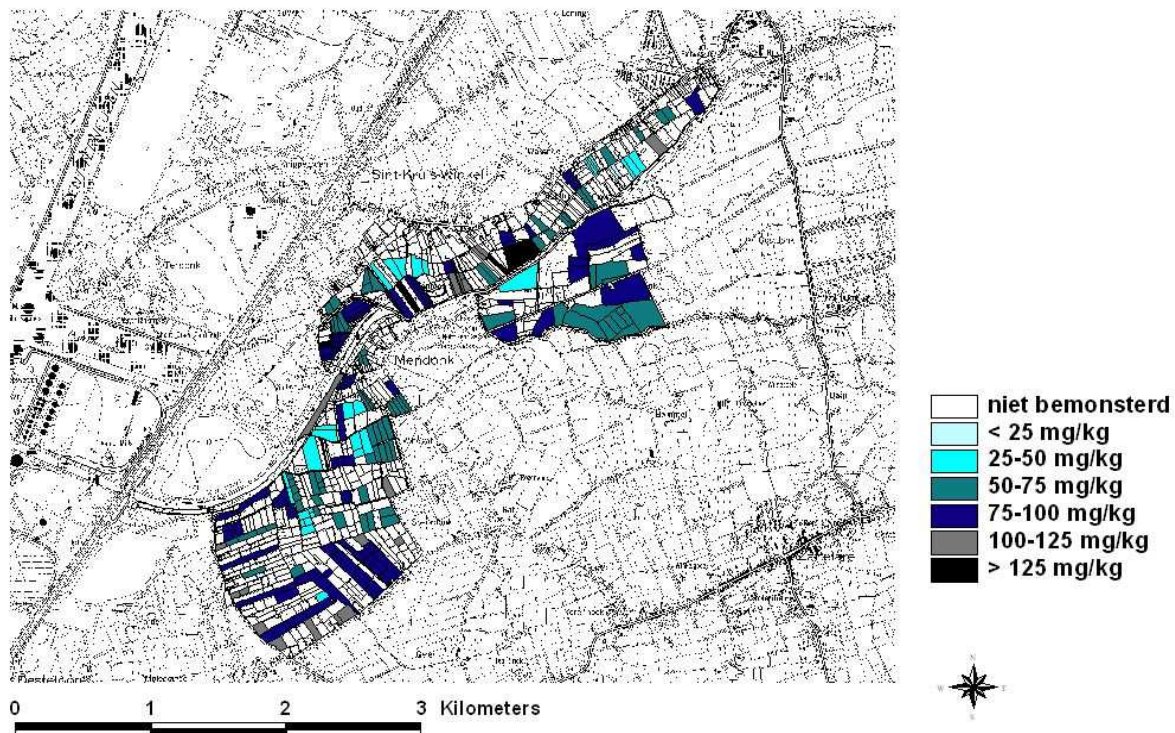
## 8.6 Concentratie biobeschikbaar fosfor (P) in de bodem

De concentratie aan 'biobeschikbaar P' (Olsen-P) geeft een idee van de hoeveelheid P dat binnen het groeiseizoen beschikbaar is voor biota. Voor de bemonsterde percelen werd een sterke correlatie gevonden tussen totaal P en actief P ( $P_{ox}$ ) enerzijds en biobeschikbaar P ( $P_{Olsen}$ ) anderzijds (zie Fig. 38). Er is een duidelijke relatie tussen deze parameters, maar deze is afhankelijk van de textuur. In een zandbodem is gemiddeld zo'n 17% van het actief P biobeschikbaar, terwijl dit in zandleem- en kleibodems lager ligt (zo'n 10%). De metingen van biobeschikbaar-P worden gebruikt om af te toetsen welke percelen momenteel al geschikt zijn voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden in het gebied (zie verder § 9).

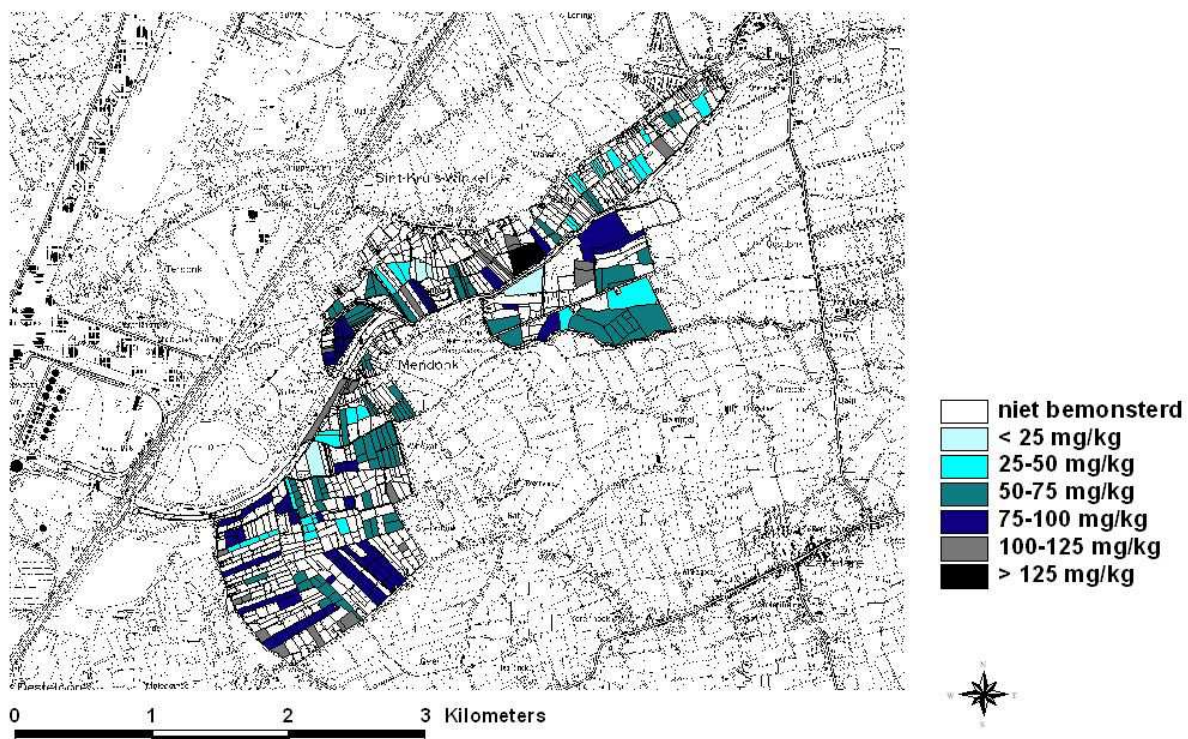


Figuur 38: Relatie tussen totaal P ( $mg.kg^{-1}$ ) en biobeschikbaar P ( $P_{Olsen}$ ,  $mg.kg^{-1}$ ) (links) en actief P ( $P_{ox}$ ,  $mg.kg^{-1}$ ) en biobeschikbaar P ( $P_{Olsen}$ ,  $mg.kg^{-1}$ ) (rechts) per textuurtype

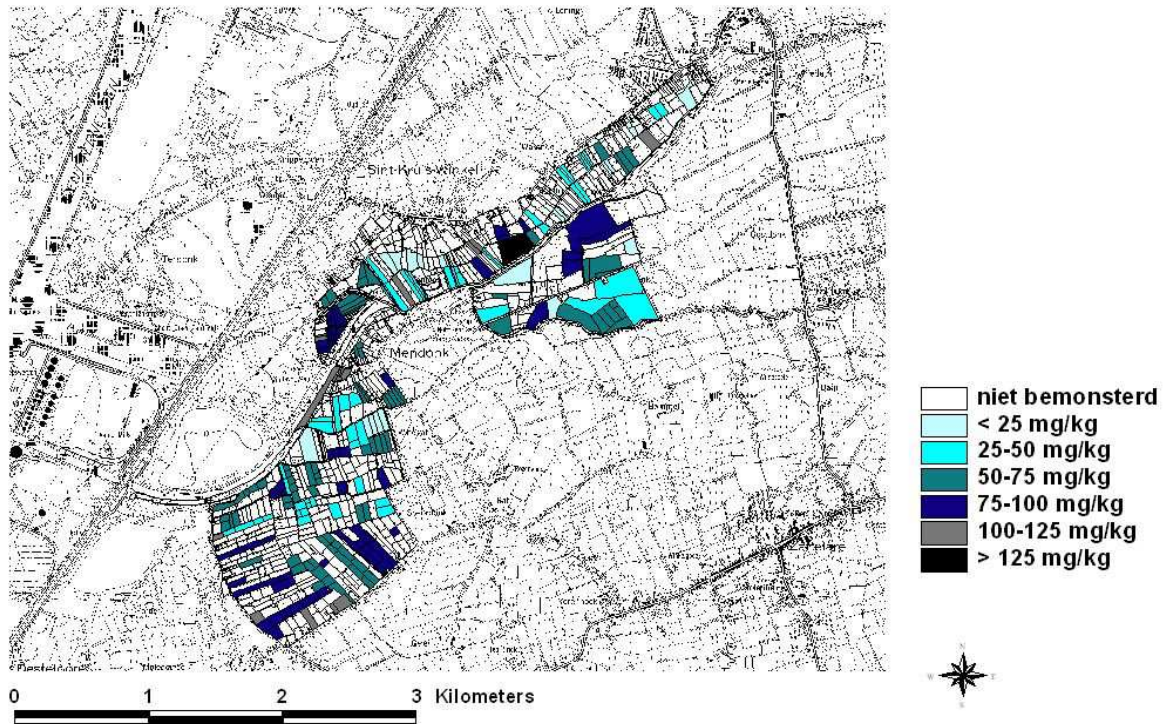
De biobeschikbare  $P_{Olsen}$  concentraties variëren tussen minder dan  $25 mg.kg^{-1}$  en meer dan  $200 mg.kg^{-1}$ . In de zandige percelen van Mendonk zijn de biobeschikbare P concentraties, in tegenstelling tot de concentraties aan totaal P en  $P_{ox}$ , niet noodzakelijk lager dan in de kleiige zone. In de meeste percelen zijn de hoogste concentraties aan biobeschikbaar P terug te vinden in de bovenste 30 cm van de bodem (ploegvoor). In Moervaart-Noord bevinden zich enkele (met bagger?) opgehoogde percelen die tot op 50 cm diepte extreem hoge concentraties aan biobeschikbaar P bevatten.



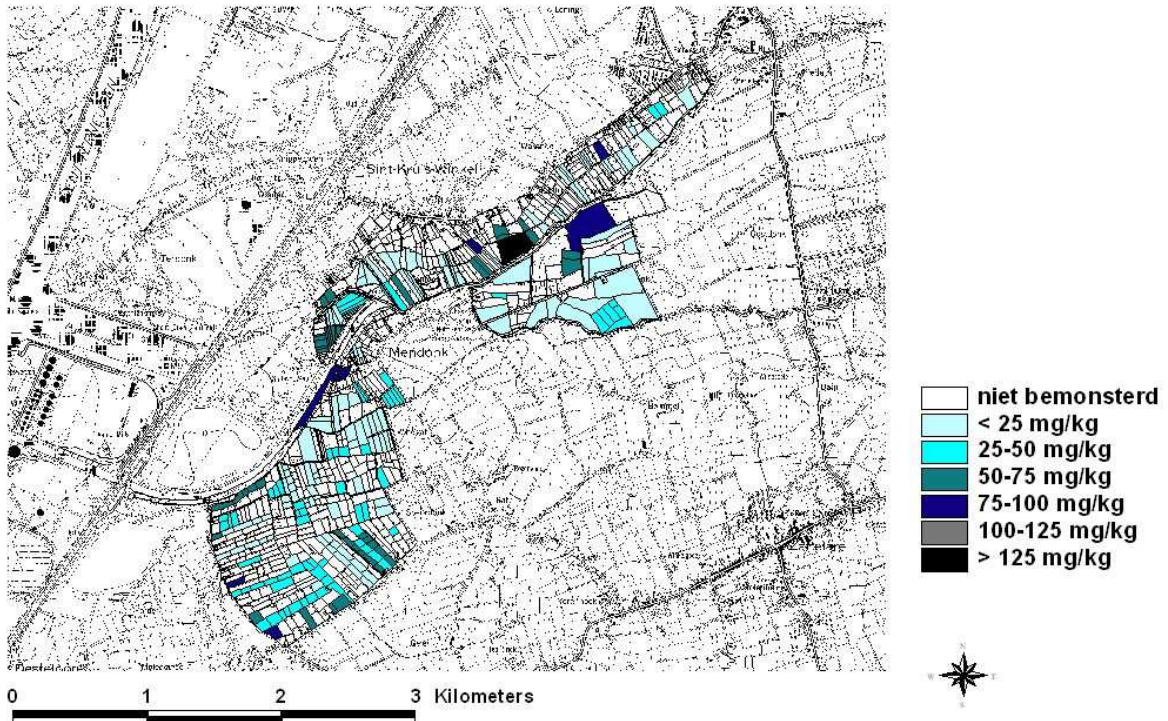
Figuur 39: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor ( $P_{Olsen}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 0-10 cm



Figuur 40: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor ( $P_{Olsen}$ ) (in  $mg.kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 10-20 cm

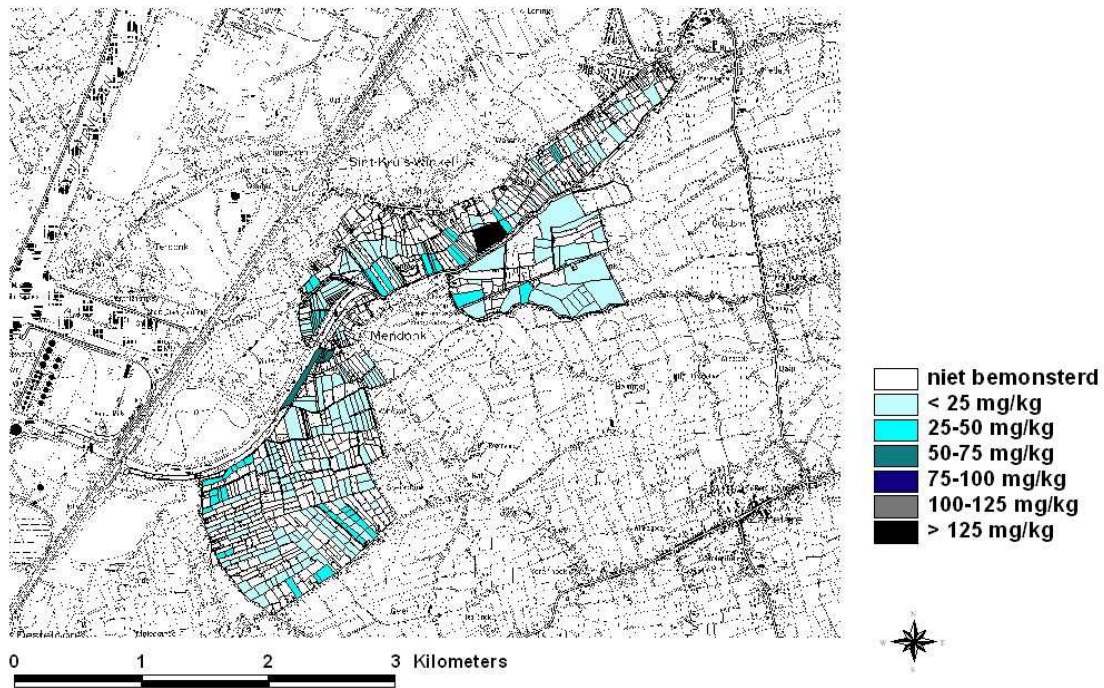


*Figuur 41: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor ( $P_{Olsen}$ ) (in  $mg \cdot kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 20-30 cm*



*Figuur 42: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor ( $P_{Olsen}$ ) (in  $mg \cdot kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 30-40 cm*



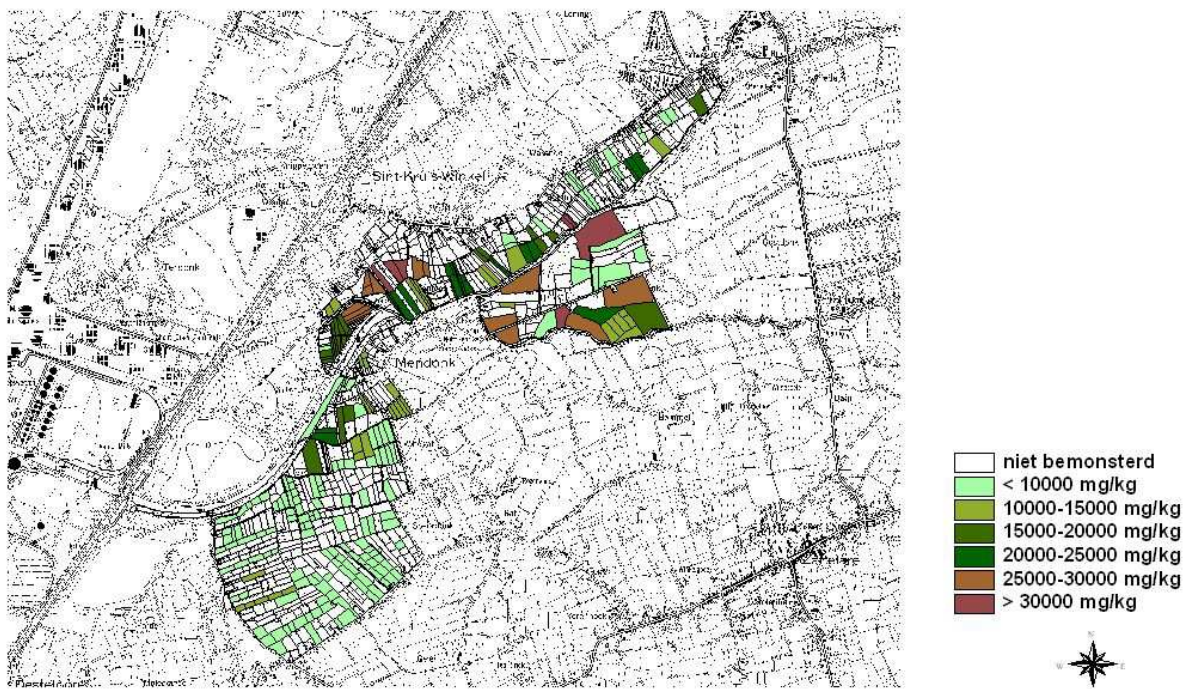


Figuur 43: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor ( $P_{olsen}$ ) (in  $mg \cdot kg^{-1}$ ) van de bodemlaag 40-50 cm

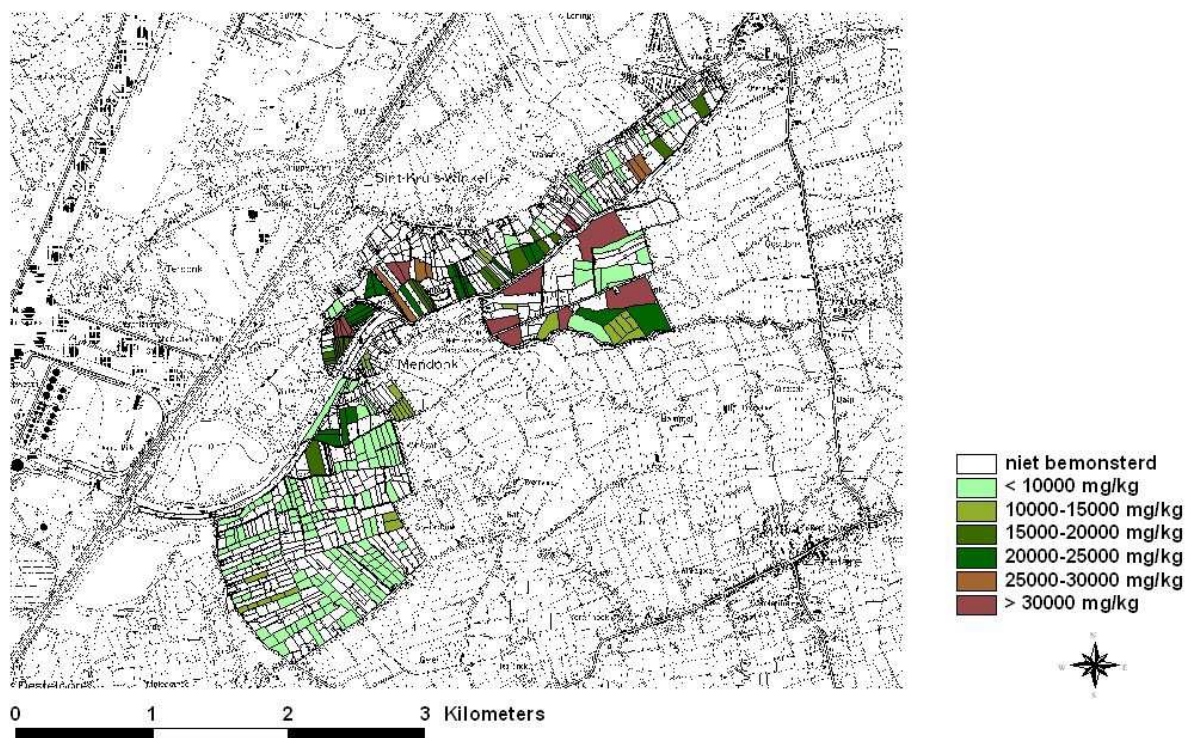
## 8.7 Concentratie aan totaal ijzer (Fe) in de bodem

De concentraties aan totaal ijzer (Fe) zijn belangrijk om inzicht te krijgen in het risico voor nalevering van P bij vernatting. Hoe meer Fe in de bodem, hoe meer P kan vastgehouden worden, en hoe meer P kan nageleverd worden bij vernatting. De totale Fe concentraties worden gebruikt voor de berekening van de (Fe-S/P)-ratio, welke een indruk geeft van de hoeveelheid Fe die beschikbaar is voor fosfaatbinding. Wanneer deze molaire ratio kleiner is dan 10 is het risico op fosfaataflevering vanuit de onderwaterbodem groot (zie § 5.1).

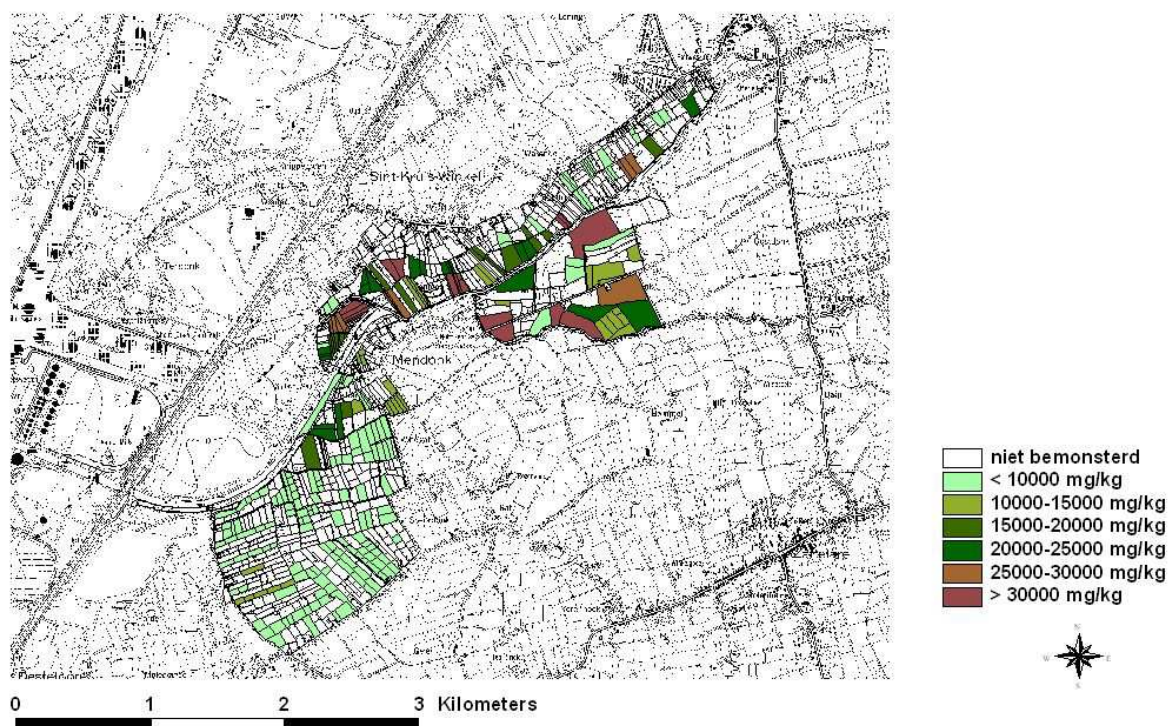
De Fe concentraties variëren tussen minder dan 10000 mg.kg<sup>-1</sup> in de zandige percelen en meer dan 30000 mg.kg<sup>-1</sup> in de percelen met meer klei.



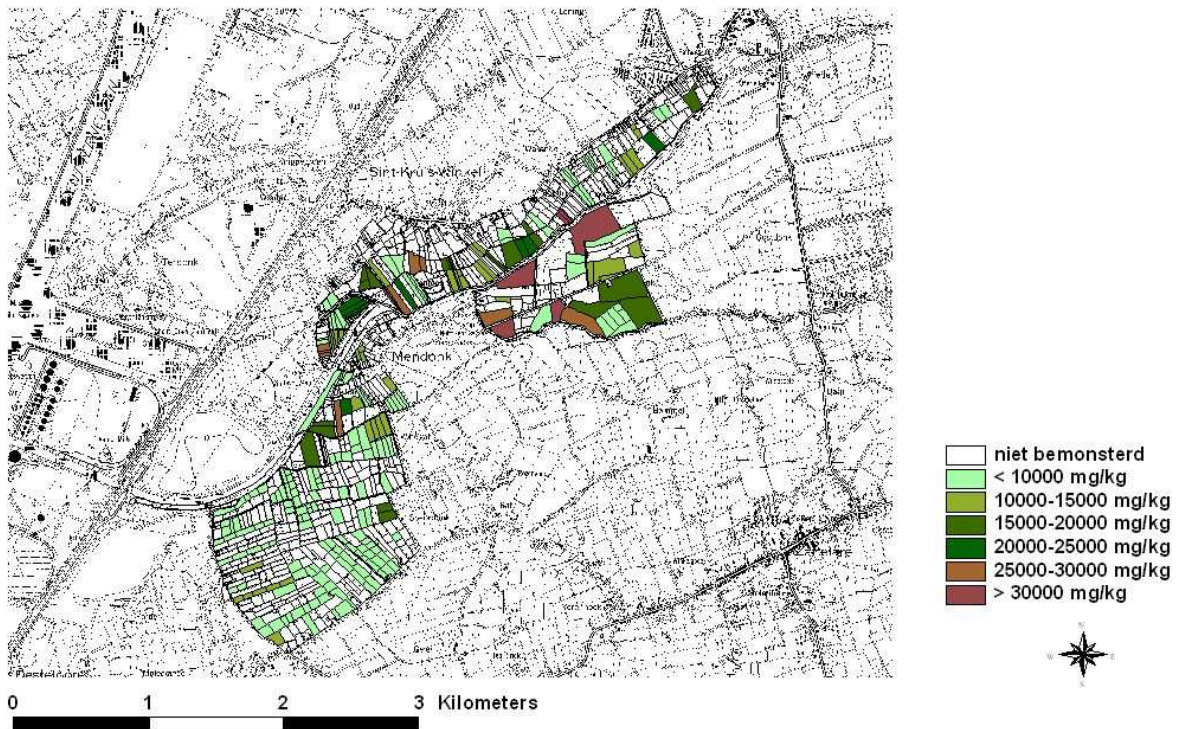
Figuur 44: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in mg.kg<sup>-1</sup>) van de bodemlaag 0-10 cm



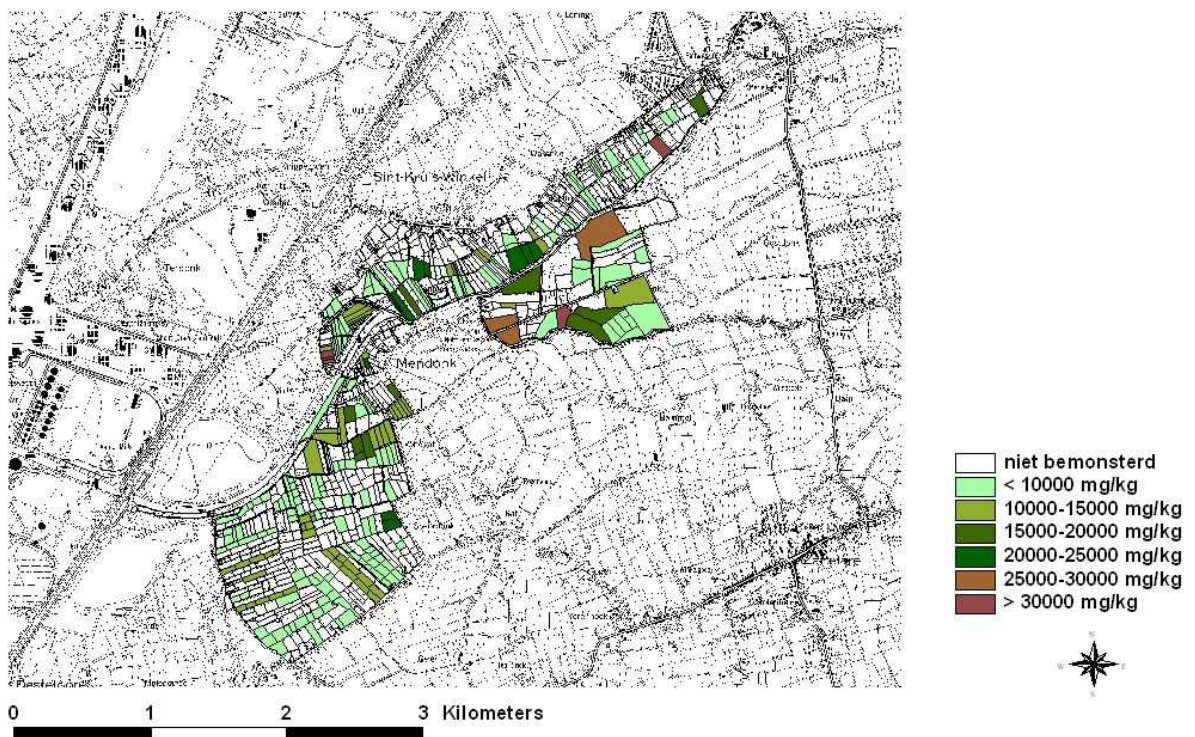
Figuur 45: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 46: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 47: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in  $\text{mg.kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 30-40 cm



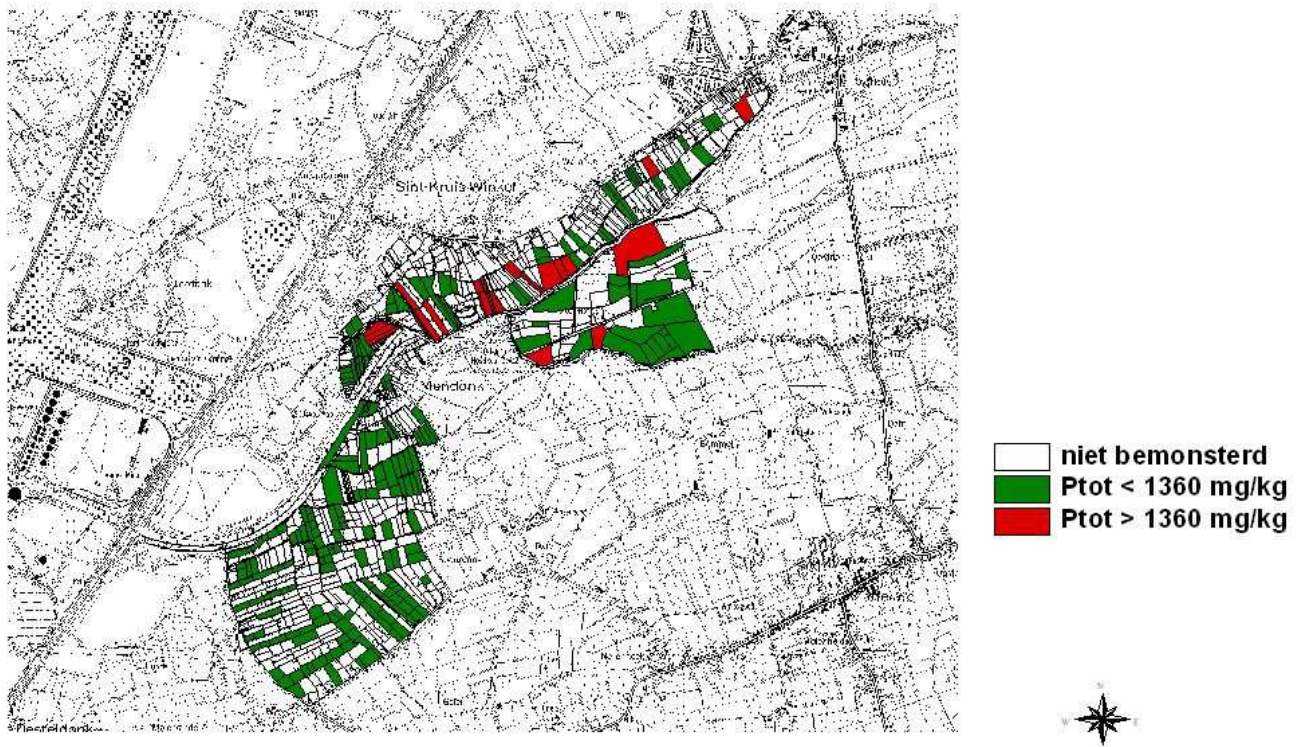
Figuur 48: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in  $\text{mg.kg}^{-1}$ ) van de bodemlaag 40-50 cm

## 9. Risico op nalevering van P door waterbodems

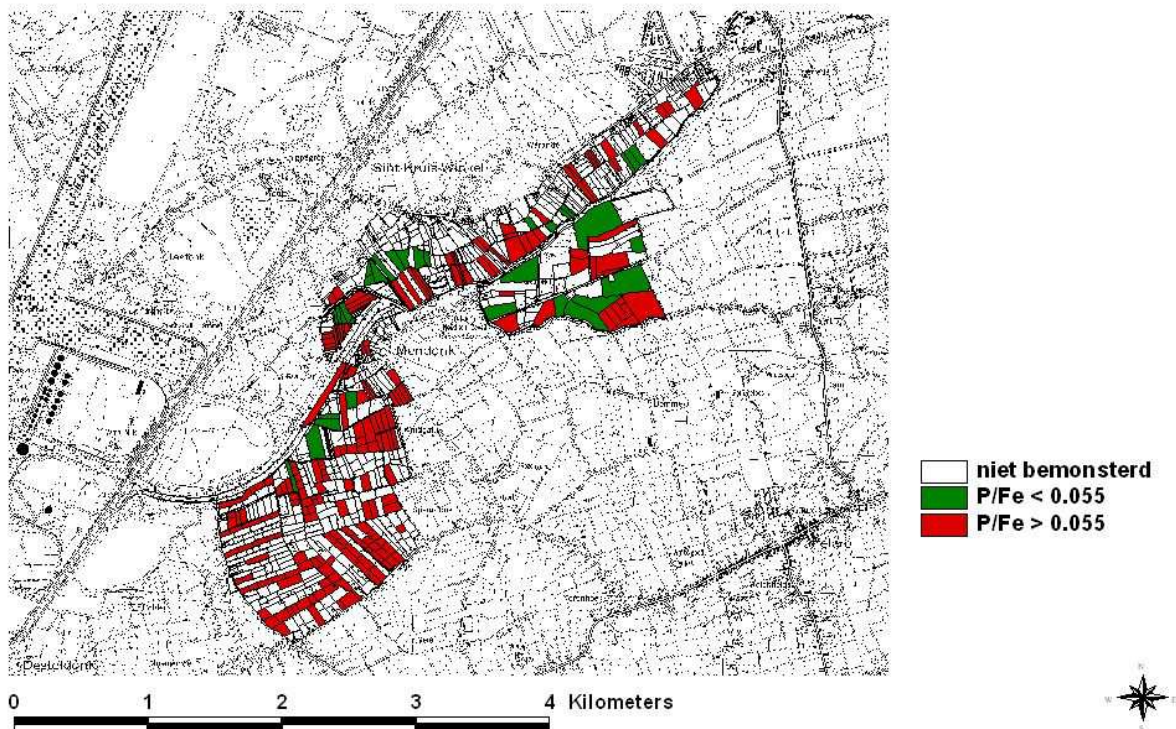
Opdat bodems geschikt zouden zijn om open water te creëren dient voldaan te zijn aan twee voorwaarden. Ten eerste dient de totale P-concentratie hoger te liggen dan  $1300 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Ten tweede dient de P/Fe- of de (Fe-S)/P-ratio gunstig te zijn. Onderstaande figuren tonen per diepteklasse de totale P-concentraties opgemeten in de bemonsterde percelen, de P/Fe-ratio en de (Fe-S)/P-ratio voor de verschillende diepteklassen. Groene percelen zijn in functie van deze indicatoren geschikt voor de creatie van open water, de rode percelen niet. Percelen zijn echter enkel geschikt als ze voor de twee indicatoren groen gekleurd zijn. De combinatie van beide factoren wordt ook voorgesteld.

De totale P concentraties zijn in een groot gedeelte van de onderzochte percelen lager dan de vereiste maximumwaarde van  $1300 \text{ mg.kg}^{-1}$ . Enkel in de zone Moervaart-Noord liggen (met bagger?) opgehoogde percelen die vanaf 30 cm diepte nog altijd niet aan deze norm voldoet. De P:Fe-ratio ligt voor een groot aantal percelen hoger dan de maximale streefwaarde van 0.055. Zelfs op een diepte van 30 tot 40 cm voldoen nog altijd een aantal percelen gelegen in het zuiden van zone Mendonk en in Moervaart-Noord niet aan deze streefwaarde. Ook voor de diepere bodemlagen blijft deze ratio voor een aantal percelen uit Mendonk en Moervaart-Noord problematisch. Voor de (Fe-S)/P-ratio kunnen dezelfde conclusies getrokken worden.

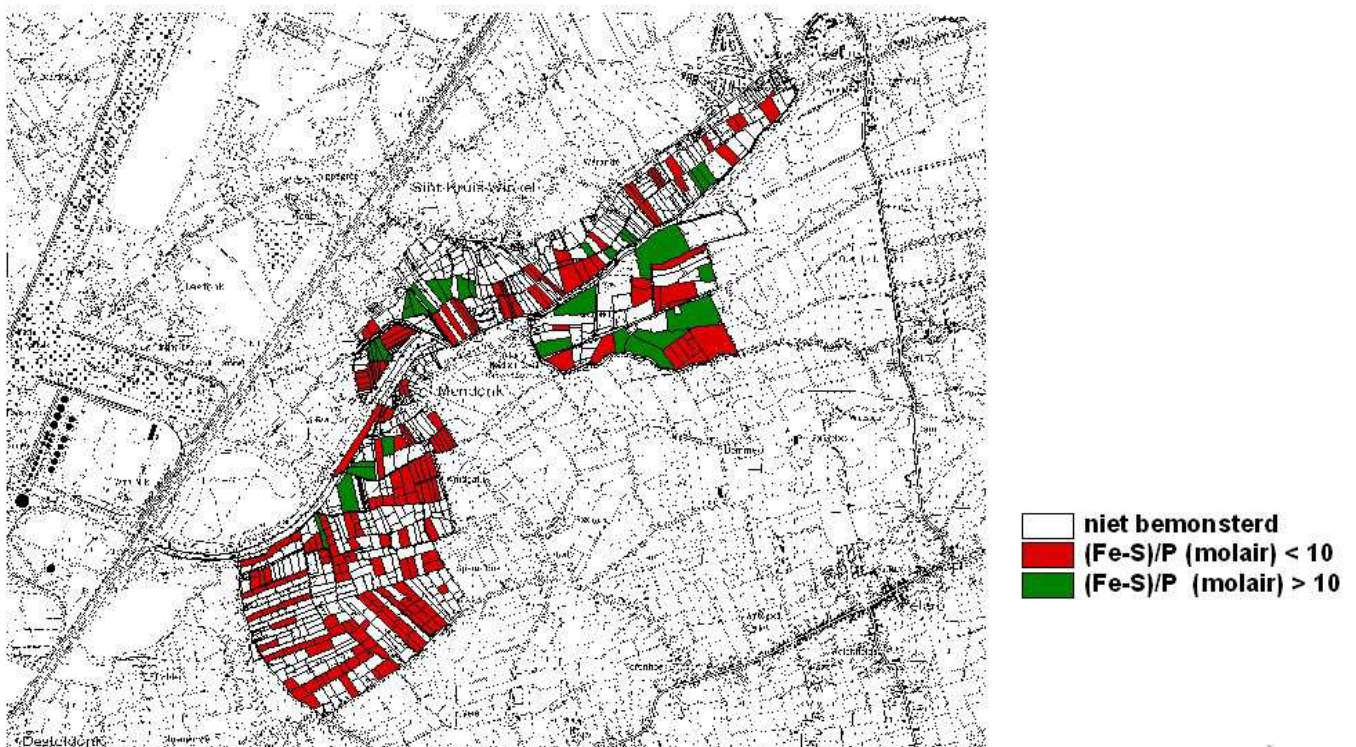
Slechts weinig percelen voldoen in de bovenste 0-10 cm aan alle criteria (zie Fig. 52). Enkel in het NO van de zone Mendonk, in het W van Moervaart-Noord en in het ZW van de zone Moervaart-Zuid zijn een aantal percelen waar open water kan ontwikkeld worden zonder afgraving. Dit beeld blijft nagenoeg onveranderd tot op een diepte van 30 cm (Fig. 56 & 60). Vanaf 30 cm, echter, blijkt een groot gedeelte van de onderzochte percelen te voldoen aan de beide criteria (Fig. 64 & 68) en kan open water gecreëerd worden mits afgraving van 30 cm bodem.



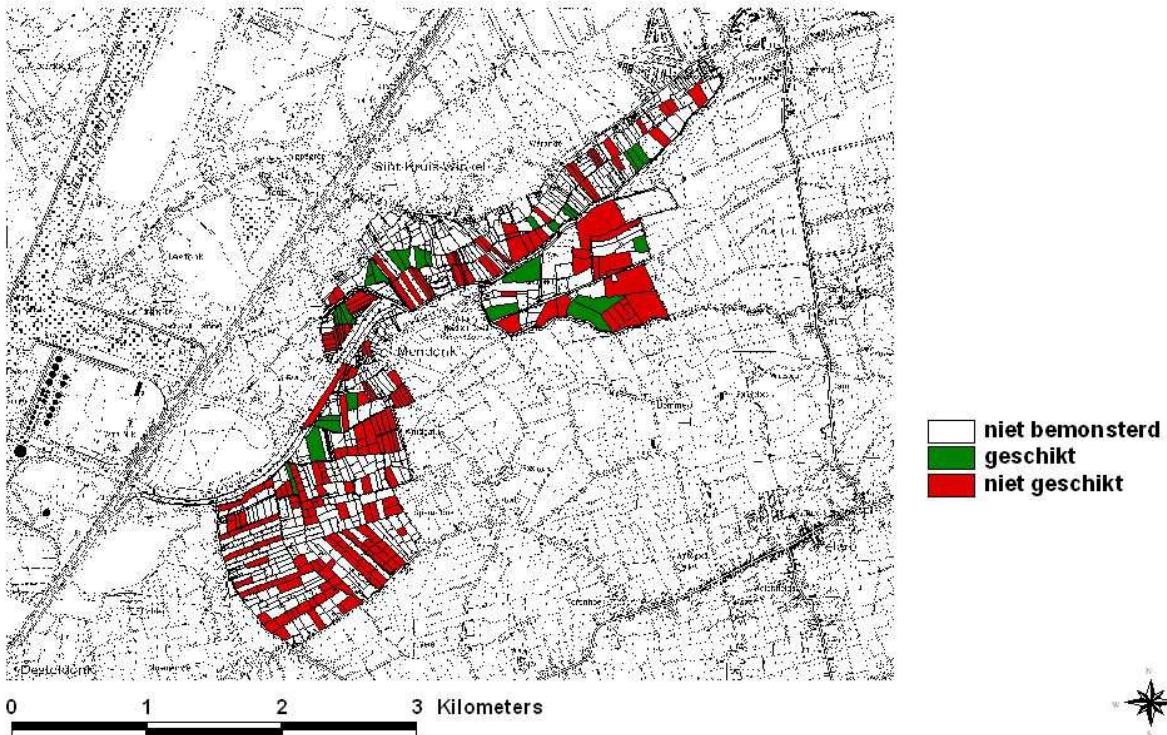
Figuur 49: Concentraties totaal P op diepte 0-10 cm in functie van het ontwikkelen van open water



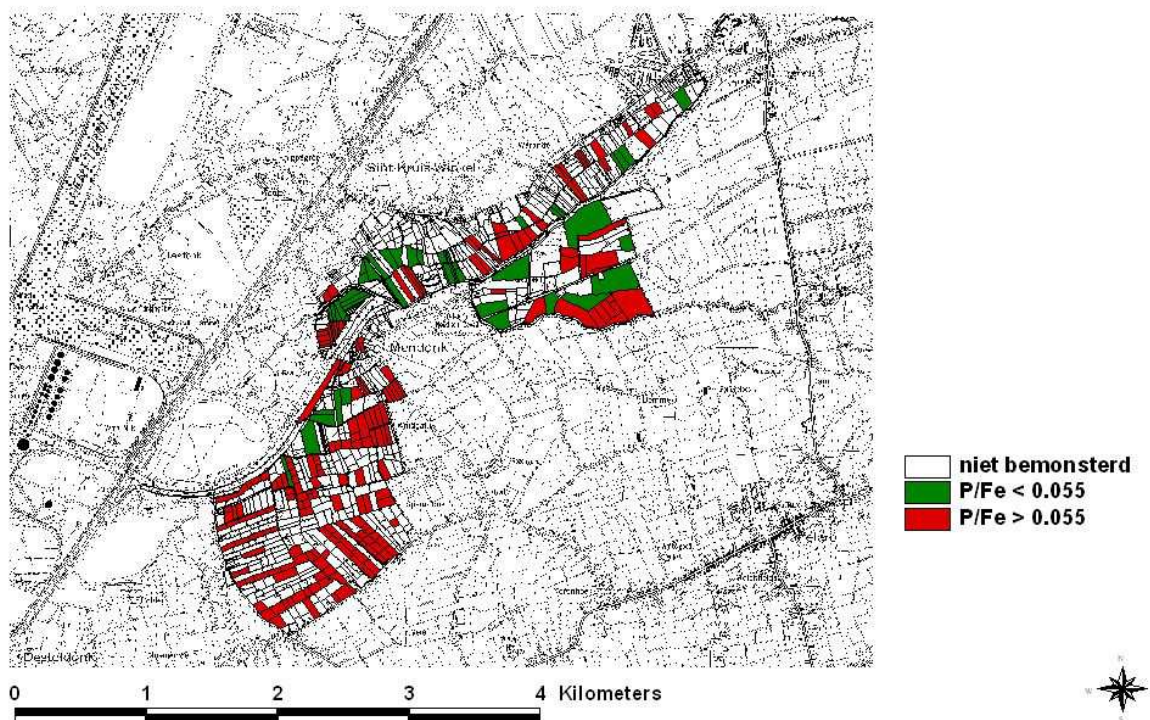
Figuur 50: P/Fe-ratio (gewichtsbasis) op diepte 0-10 cm in functie van het ontwikkelen van open water



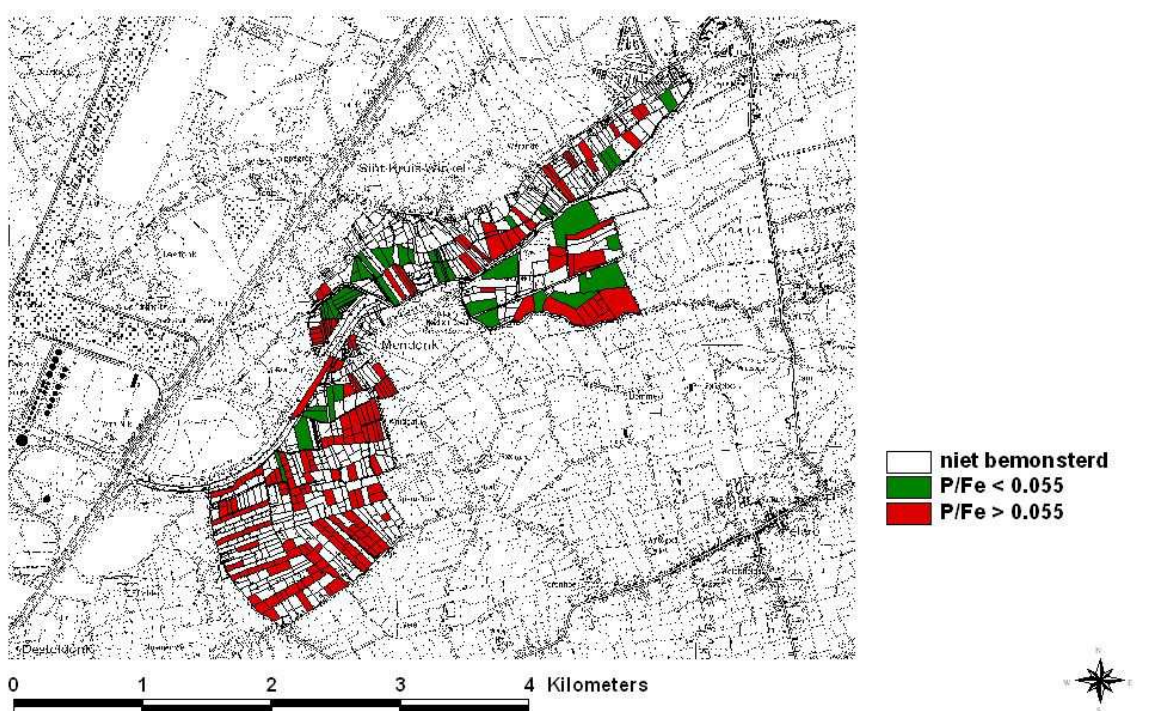
Figuur 51: (Fe-S)/P-ratio (molaire basis) op diepte 0-10 cm in functie van het ontwikkelen van open water



Figuur 52: Geschiktheid (door combinatie van beide indicatoren) van de percelen op diepte 0-10 cm voor het ontwikkelen van open water

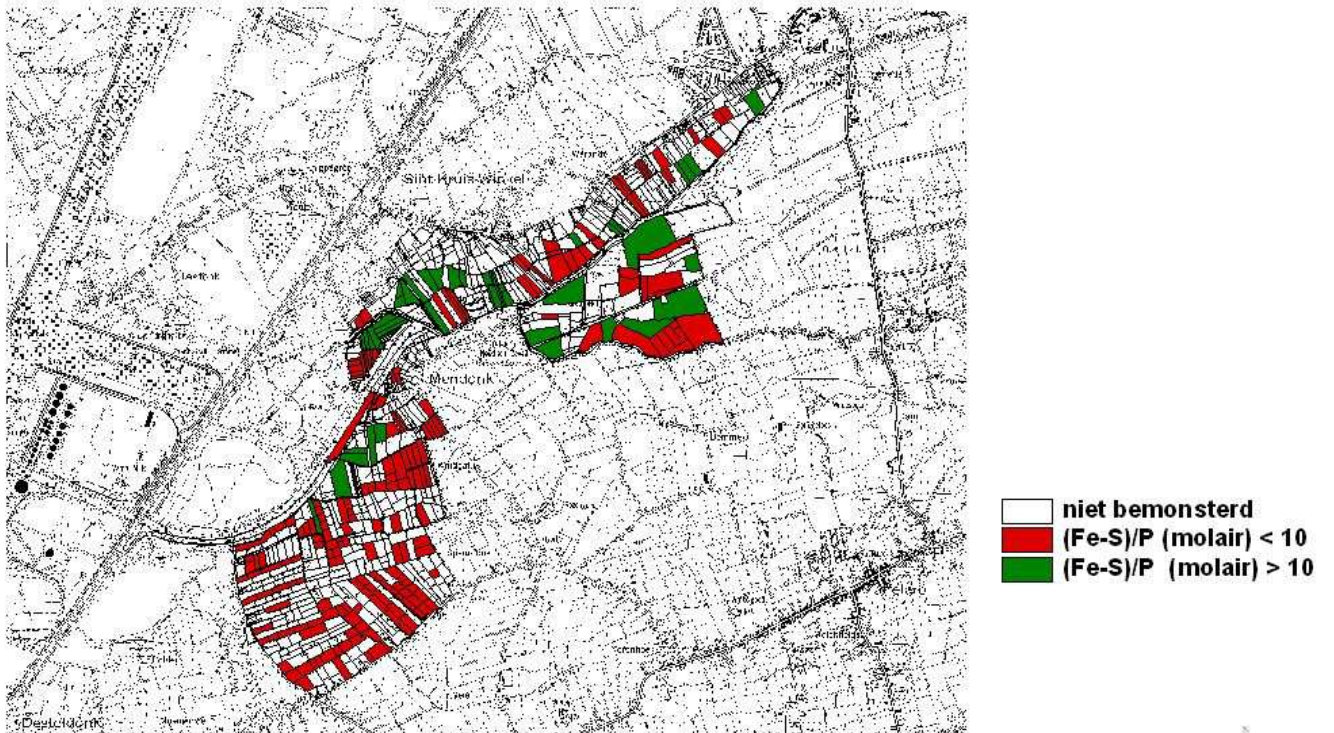


Figuur 53: Concentraties totaal P op diepte 10-20 cm in functie van het ontwikkelen van open water

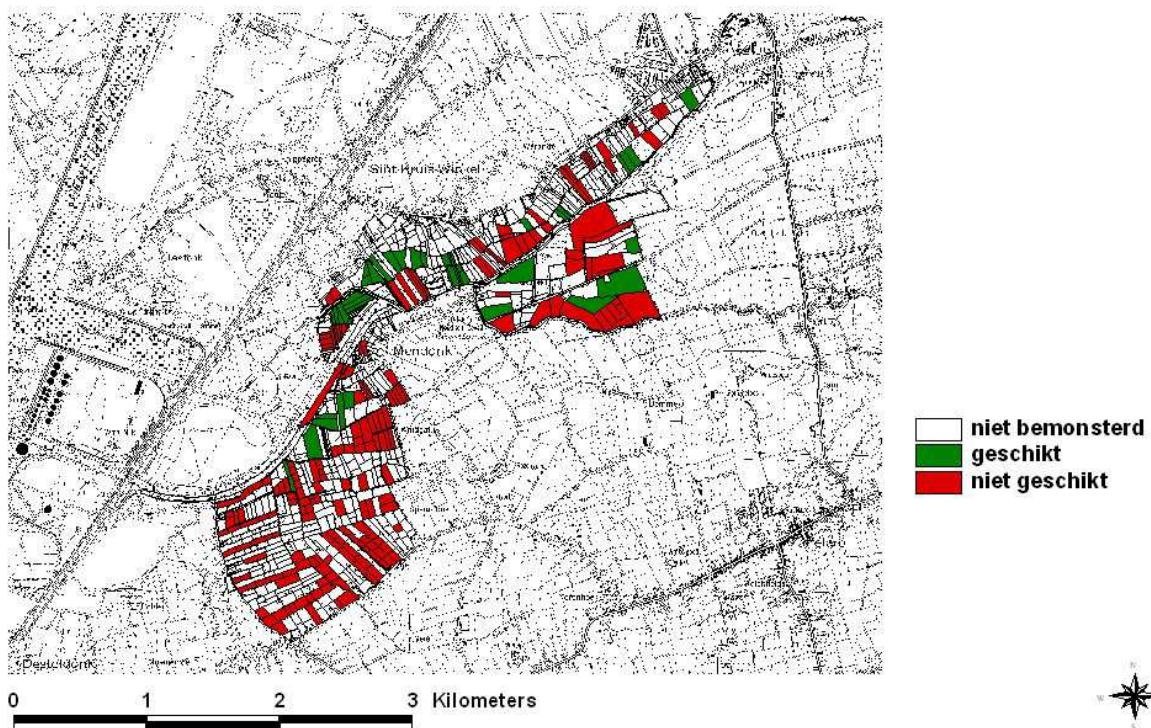


Figuur 54: P/Fe-ratio (gewichtsbasis) op diepte 10-20 cm in functie van het ontwikkelen van open water

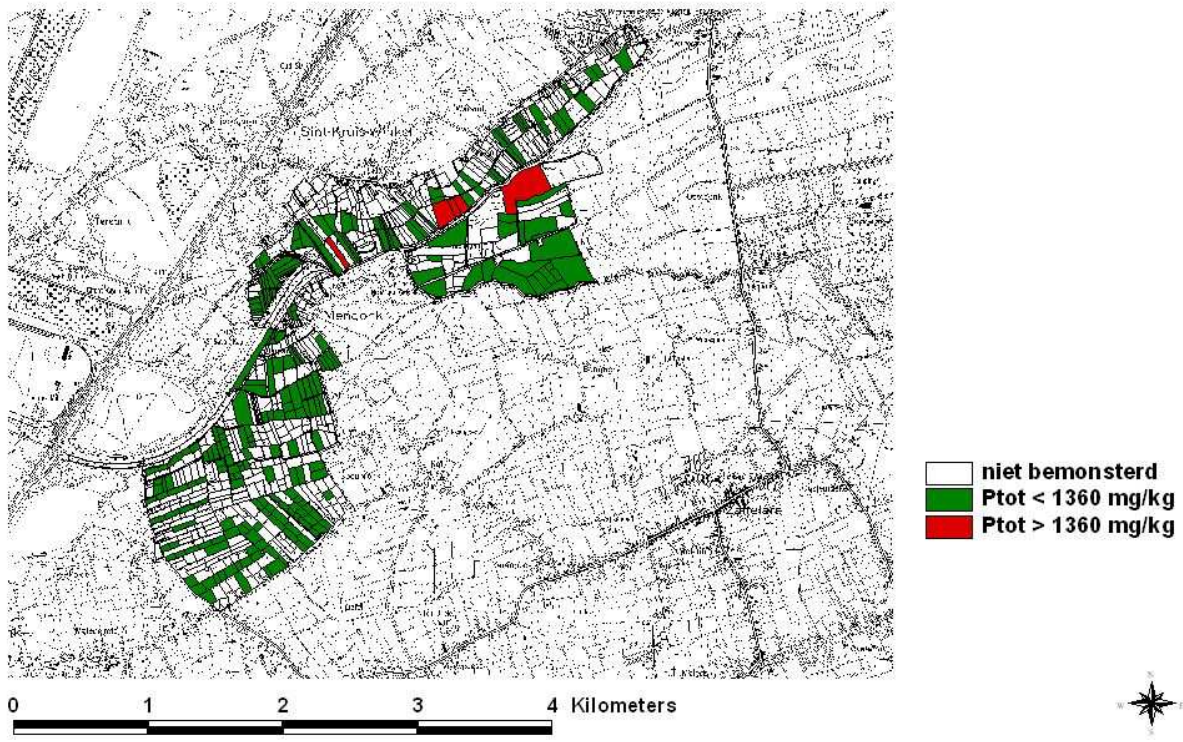




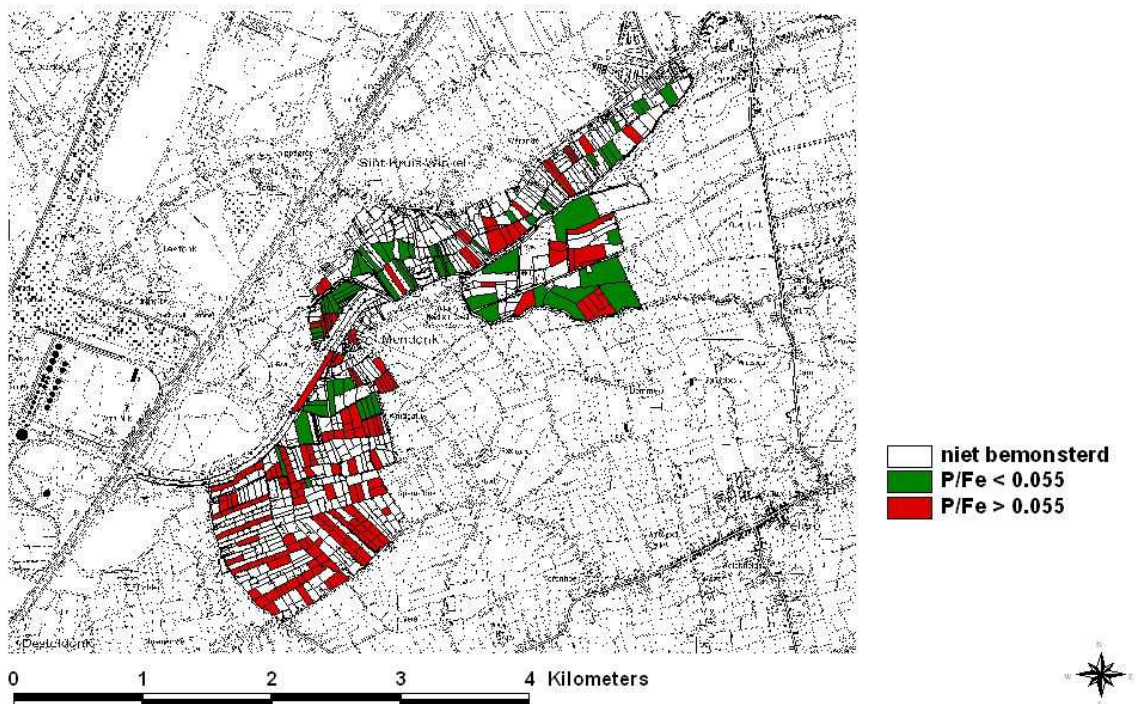
Figuur 55: (Fe-S)/P-ratio (molaire basis) op diepte 10-20 cm in functie van het ontwikkelen van open water



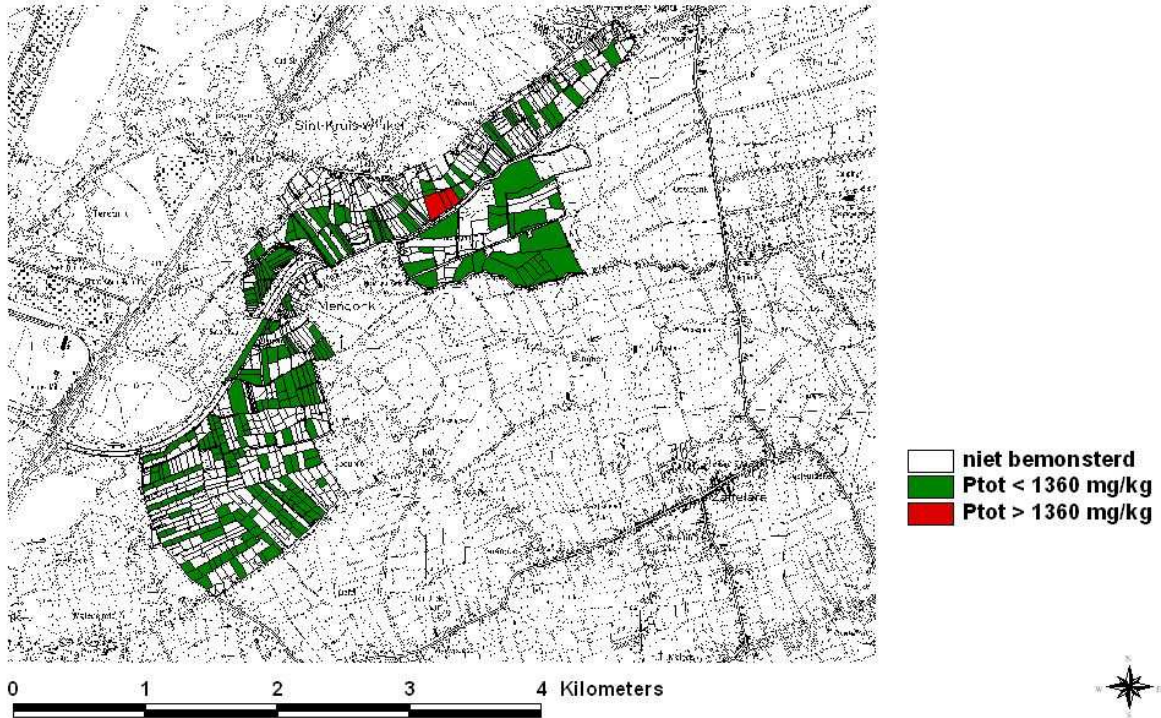
Figuur 56: Geschiktheid (door combinatie van beide indicatoren) van de percelen op diepte 10-20 cm voor het ontwikkelen van open water



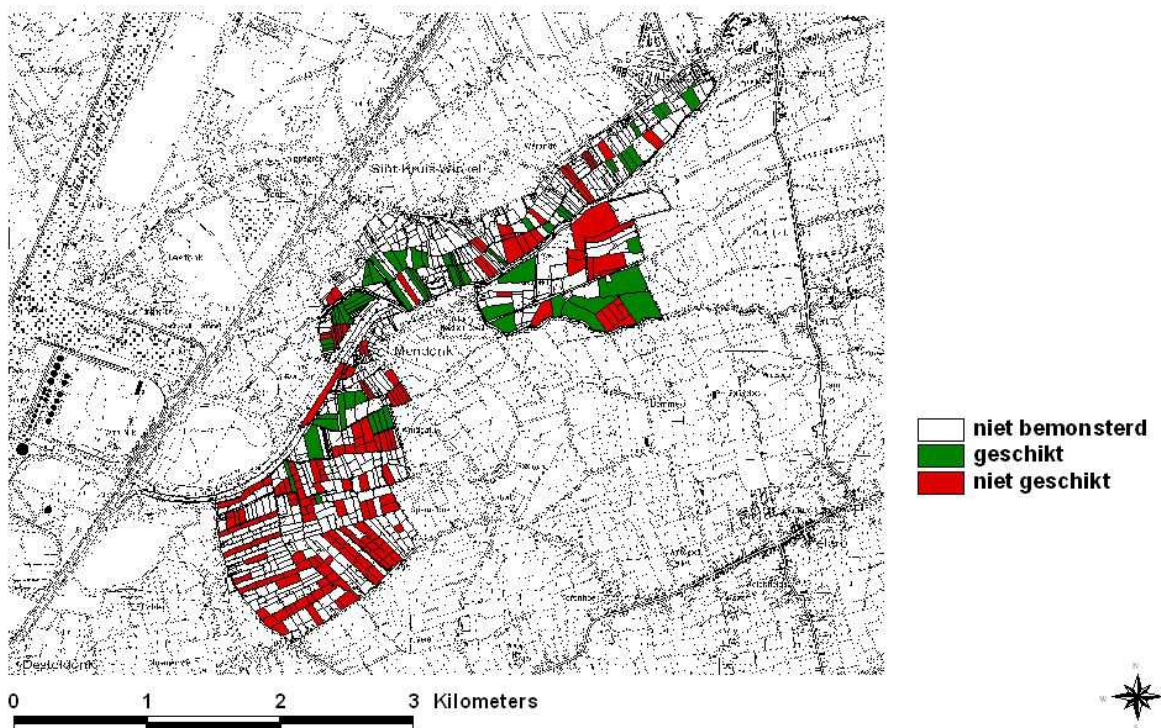
*Figuur 57: Concentraties totaal P op diepte 20-30 cm in functie van het ontwikkelen van open water*



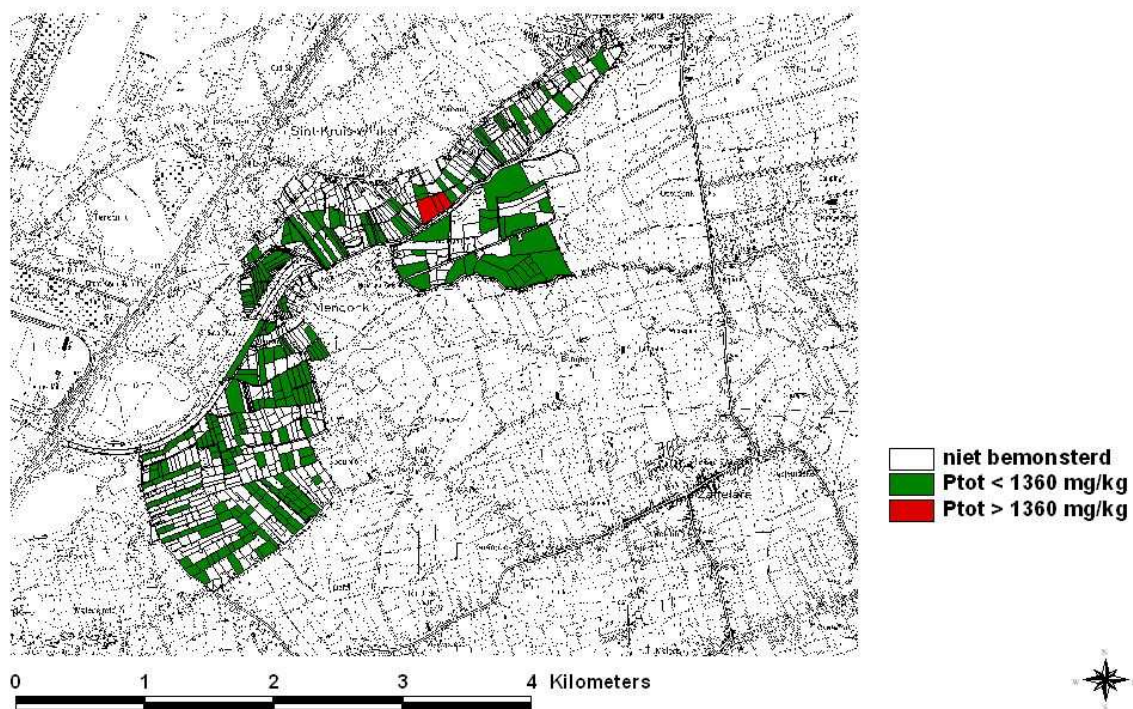
*Figuur 58: P/Fe-ratio (gewichtsbasis) op diepte 20-30 cm in functie van het ontwikkelen van open water*



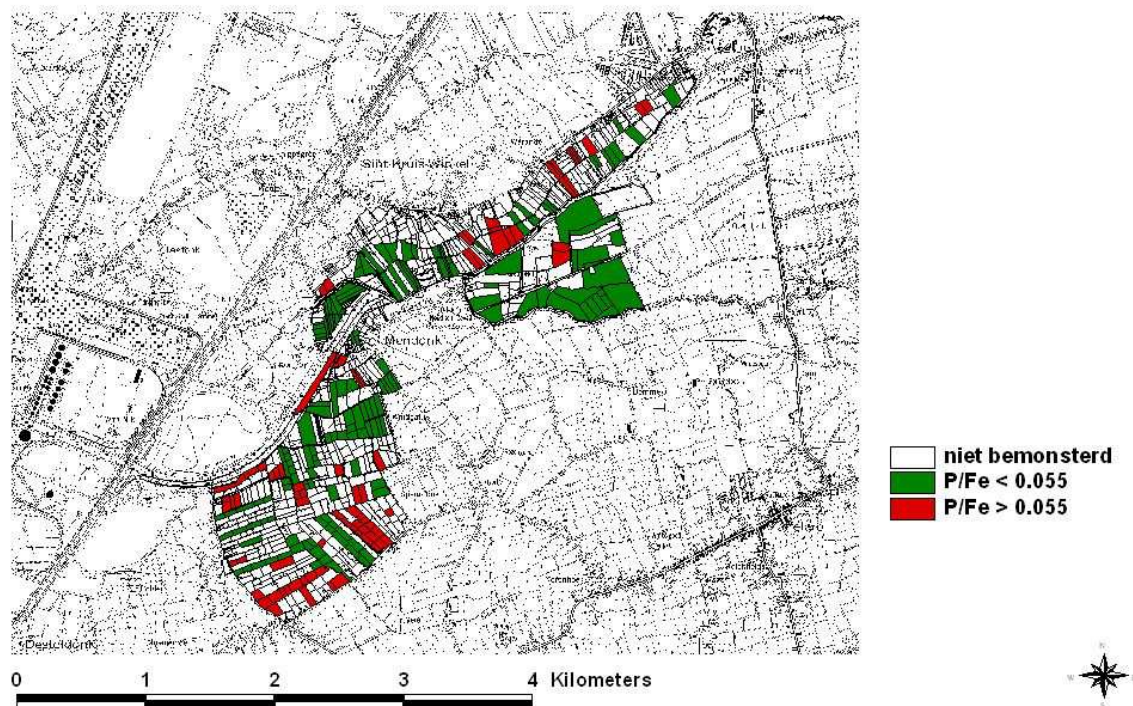
Figuur 59: (Fe-S)/P-ratio op diepte 20-30 cm in functie van het ontwikkelen van open water



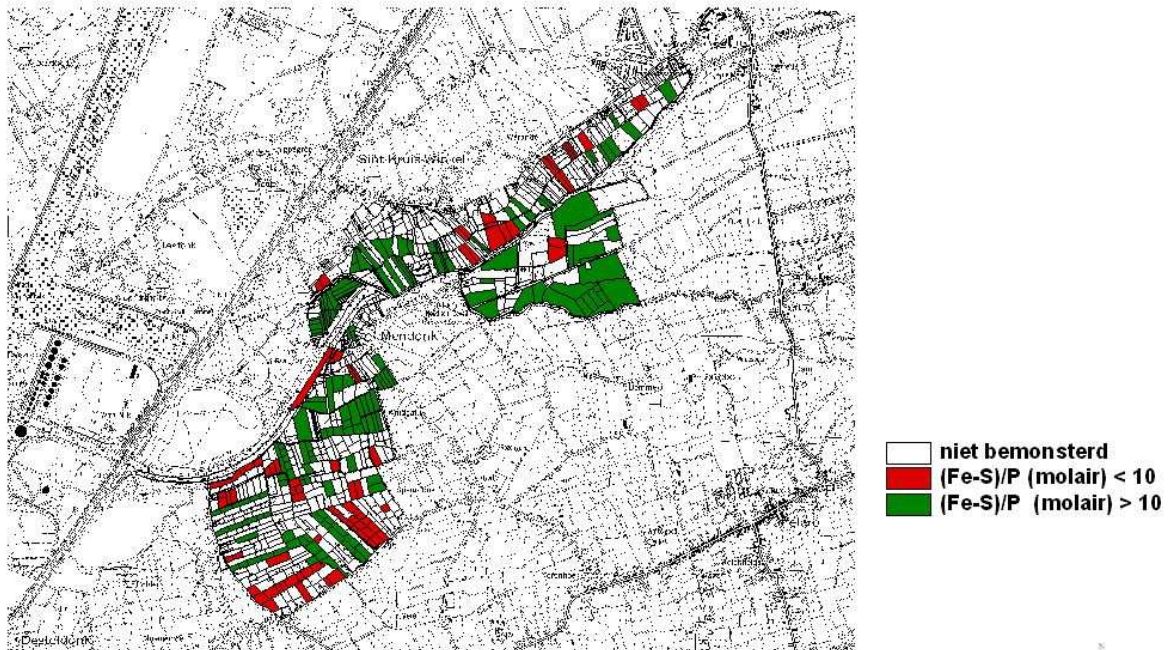
Figuur 60: Geschiktheid (door combinatie van beide indicatoren) van de percelen op diepte 20-30 cm voor het ontwikkelen van open water



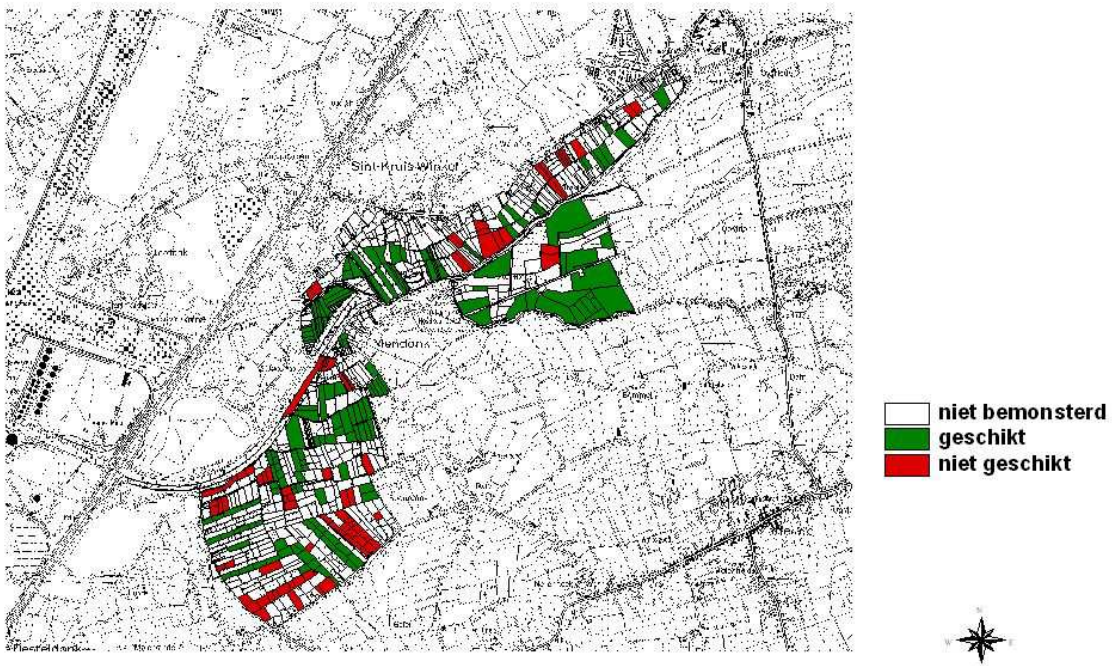
Figuur 61: Concentraties totaal P op diepte 30-40 cm in functie van het ontwikkelen van open water



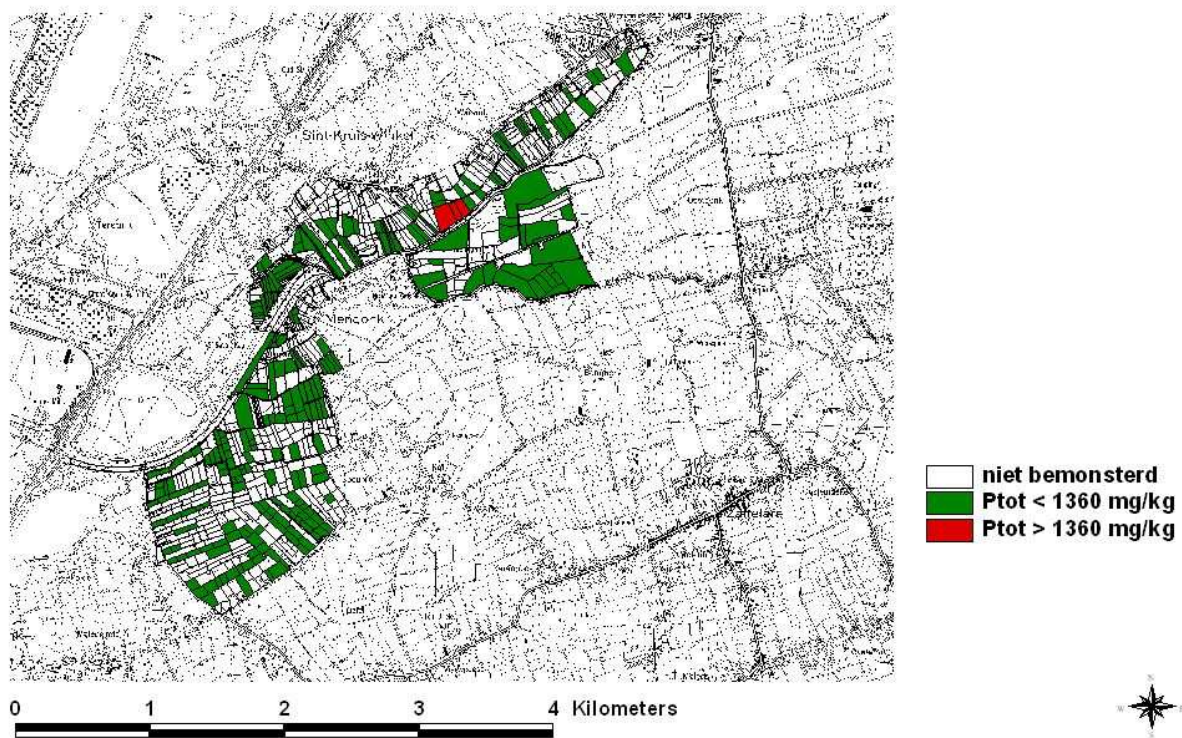
Figuur 62: P/Fe-ratio (gewichtsbasis) op diepte 30-40 cm in functie van het ontwikkelen van open water



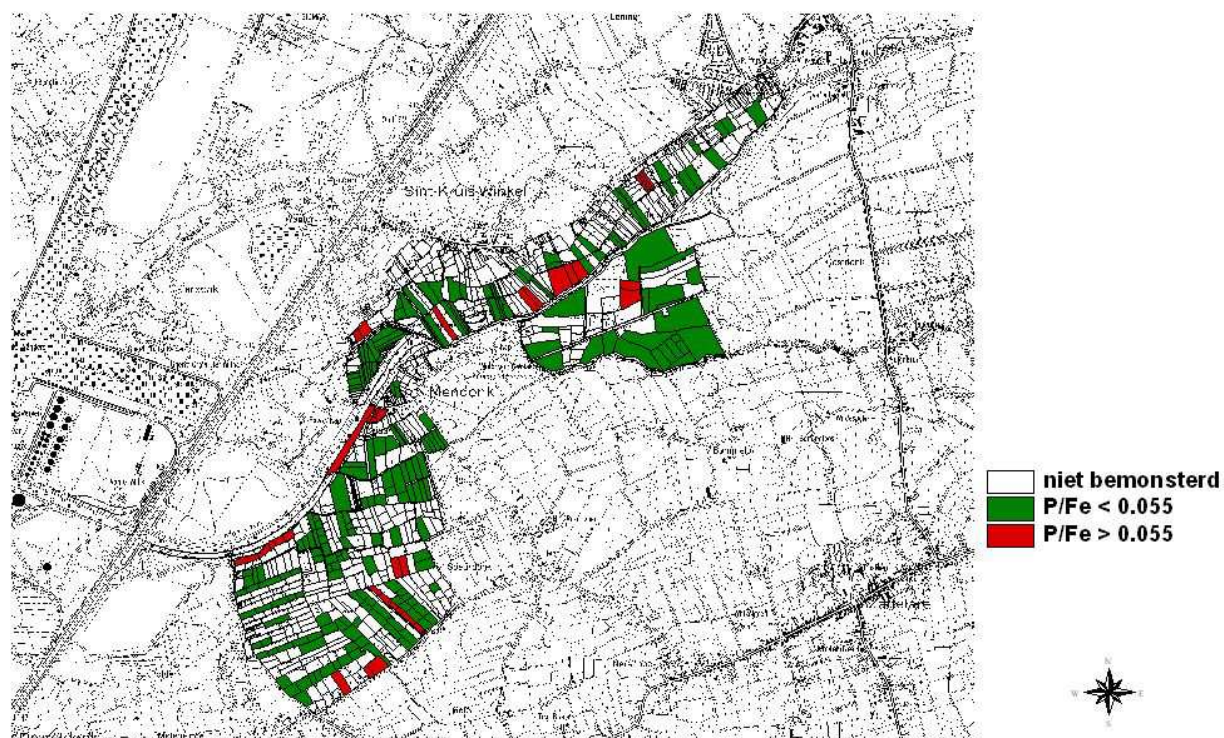
Figuur 63: (Fe-S)/P-ratio (molaire basis) op diepte 30 tot 40 cm in functie voor het ontwikkelen van open water



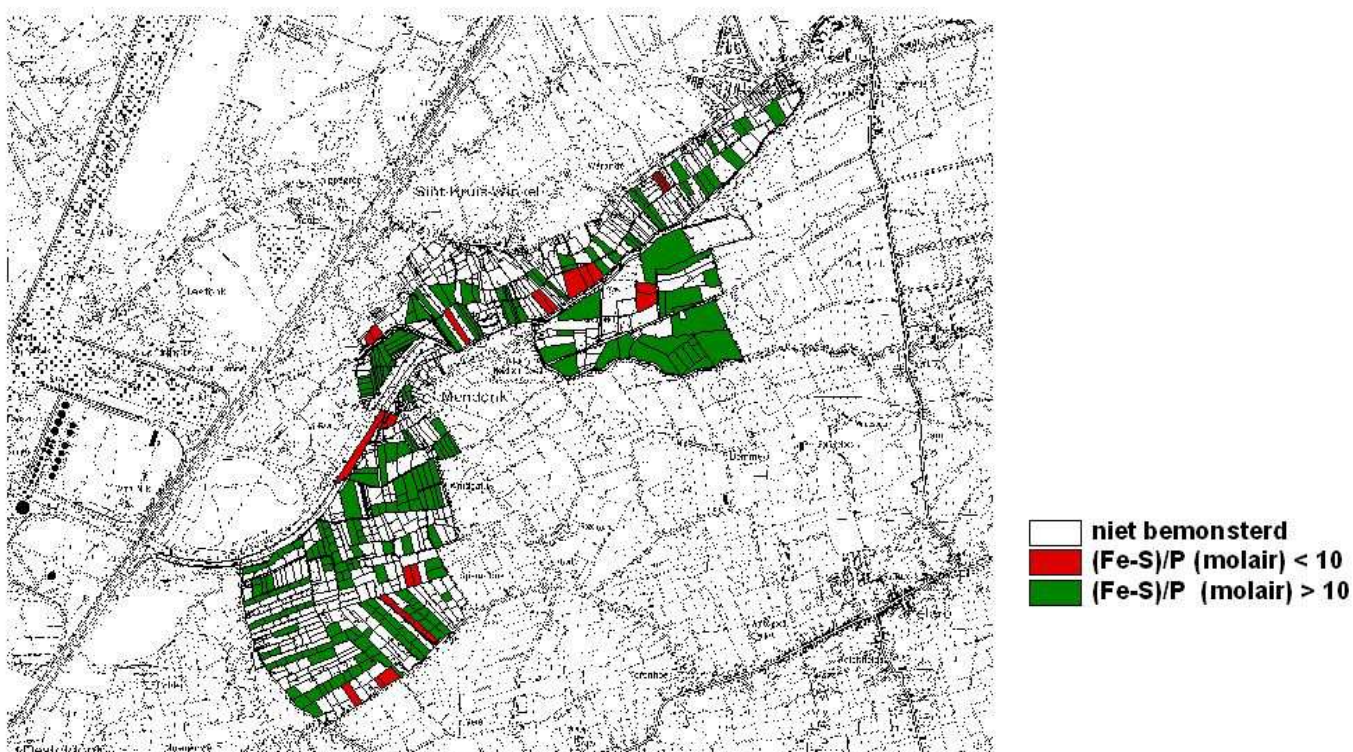
Figuur 64: Geschiktheid (door combinatie van beide indicatoren) van de percelen op diepte 30-40 cm voor het ontwikkelen van open water



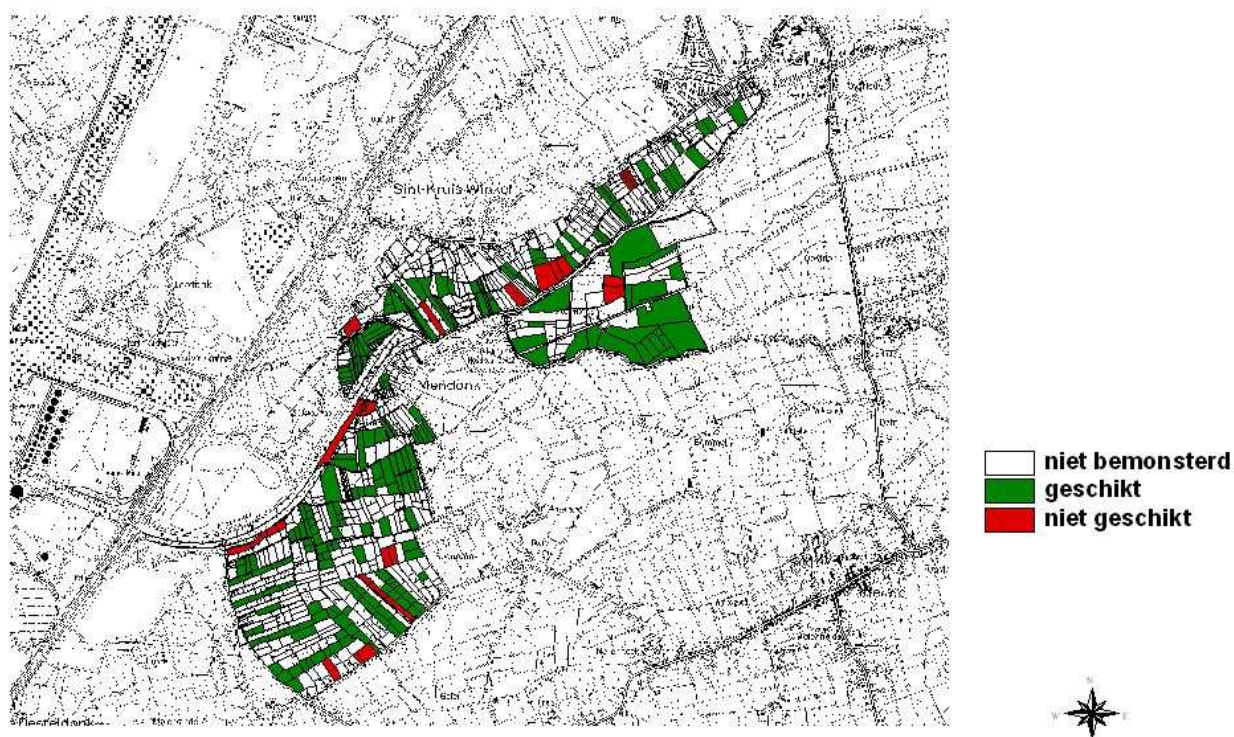
Figuur 65: Concentraties totaal P op diepte 40-50 cm in functie van het ontwikkelen van open water



Figuur 66: P/Fe -ratio op diepte 40-50 cm in functie van het ontwikkelen van open water



Figuur 67: (Fe-S)/P -ratio op diepte 40-50 cm in functie van het ontwikkelen van open water



Figuur 68: Geschiktheid (door combinatie van beide indicatoren) van de percelen op diepte 40-50 cm voor het ontwikkelen van open water

## 10. Mogelijke maatregelen ter creatie van open water

In dit deel wordt met kaartjes voorgesteld hoe via ontgronden, uitmijnen of een combinatie van uitmijnen en ontgronden de noodzakelijke abiotiek kan bekomen worden voor de creatie van open water. Voor de bepaling van de diepte van ontgronden werden de  $P_{Olsen}$  concentraties van de verschillende bodemlagen getoetst aan de streefwaarden. De methode voor de berekening van de duur van uitmijnen wordt in deze paragraaf uitgelegd.

### Theoretisch kader voor het berekenen van de uitmijnduur

Wanneer de bodem verschaalt neemt de fosforafvoer bij maaien af door het optreden van limitatie door elementen die snel uit het systeem verdwijnen, zoals N en K. Op basis van literatuur nemen we aan dat de fosforafvoer via maaibeheer in natuurpercelen tussen 10 en 15 kg P per hectare bedraagt (Oosterbaan et al. 2008, Sival et al. 2007). Wanneer echter selectief bemest wordt met N en K, treedt na een tijdje toch een verlaging in de P-afvoer op door een vertraagde aanvulling van biobeschikbare P vanuit de traagcirculerende actieve P pool (cfr. Koopmans et al. 2004). Gezien het precieze verloop van deze afname van P in de tijd tot op heden niet gekend is, is daarom deze theoretische berekening gemaakt.

De pool van biobeschikbaar P (hier gekwantificeerd als  $P_{Olsen}$ ) wordt permanent aangevuld vanuit de traag circulerende actieve P pool. Onze uitmijnberekeningen maken we op basis van de traag circulerende actieve P pool, hier gekwantificeerd als  $P_{ox}$ . Voor de berekening van de uitmijnduur in functie van de creatie van open water werd per perceel berekend wat de maximaal toegelaten concentratie is aan totaal P ( $P_{tot}$ ). Op basis van de fractie aan  $P_{tot}$  bekijken we per perceel wat de overmaat is aan P (t.o.v. de doelstelling) in de ploegvoor. Voor de berekening van de uitmijnduur in functie van de ontwikkeling van soortenrijke graslanden werd per perceel berekend wat de maximaal toegelaten concentratie is aan traag-circulerend P ( $P_{ox}$ ). Op basis van de fractie aan  $P_{ox}$  bekijken we per perceel wat de overmaat is aan P (t.o.v. de doelstelling) in de ploegvoor. Deze overmaat moet worden weggewerkt via opname door de gewassen (uitmijnen). De opname door de gewassen neemt echter af in de tijd, en dit in relatie tot de biobeschikbare P concentraties in de bodem. We gaan ervan uit dat bij afnemende biobeschikbaarheid van P in de bodem de P-afvoer vermindert. Voor onze berekeningen hebben we een aantal aannames gemaakt, gedeeltelijk al gebaseerd op het lopende doctoraatsonderzoek van ir. Stephanie Schelfhout. Tabel 1 geeft weer hoe we rekening hielden met de daling in fosforafvoer in de tijd en dit voor twee berekeningsscenario's. We willen hierbij duidelijk stellen dat de gegevens uit tabel 1 indicatief zijn en verfijnd dienen te worden op basis van het lopende onderzoek.

Tabel 1: Indicatieve aannames van fosforafvoer in een uitmijnbeheer (N+K-bemesting) bij dalende biobeschikbaarheid aan P in de ploegvoor (0-30 cm)

Gemiddelde $P_{Olsen}$ concentratie in de ploegvoor ( $mg.kg^{-1}$ )	P-afvoer ( $kg.ha^{-1}$ ) scenario 1
> 60	50
50-60	45
40-50	40
30-40	30
25-30	25
20-25	20
<20	15



Per perceel zijn de initiële concentraties aan  $P_{\text{tot}}$ ,  $P_{\text{ox}}$  en  $P_{\text{Olsen}}$  gekend. Op basis van de complete dataset bepaalden we per textuurtype de relatie tussen  $P_{\text{Olsen}}$  en  $P_{\text{tot}}$  en  $P_{\text{Olsen}}$  en  $P_{\text{ox}}$  (zie Fig. 38). Via deze relaties werd per tijdstap van 5 jaar bekeken in welke mate de stock aan  $P_{\text{tot}}$  of  $P_{\text{ox}}$  (en de concentraties) dalen in de tijd. Door de relaties tussen  $P_{\text{tot}}$  en  $P_{\text{Olsen}}$  (voor open water) en tussen  $P_{\text{ox}}$  en  $P_{\text{Olsen}}$  (voor soortenrijke graslanden) kan afgeleid worden met welke  $P_{\text{Olsen}}$  concentratie dit overeenstemt. Op basis van deze laatste concentratie kan dan via tabel 1 afgeleid worden wat de P-afvoer voor de volgende tijdsblok van 5 jaar is. Deze methode werd toegepast tot de gewenste  $P_{\text{tot}}$  (in het geval van ontwikkeling van waterbodembodem) of  $P_{\text{ox}}$  (ontwikkeling van graslandtypes) bereikt werd.

Een eerste kaartje (zie Fig. 69) toont hoe diep moet ontgrond worden om de bodem geschikt te maken. De volgende drie kaartjes tonen hoe een beheer van uitmijnen al dan niet in combinatie met ontgronden de bodem geschikt kan maken om open water te creëren.

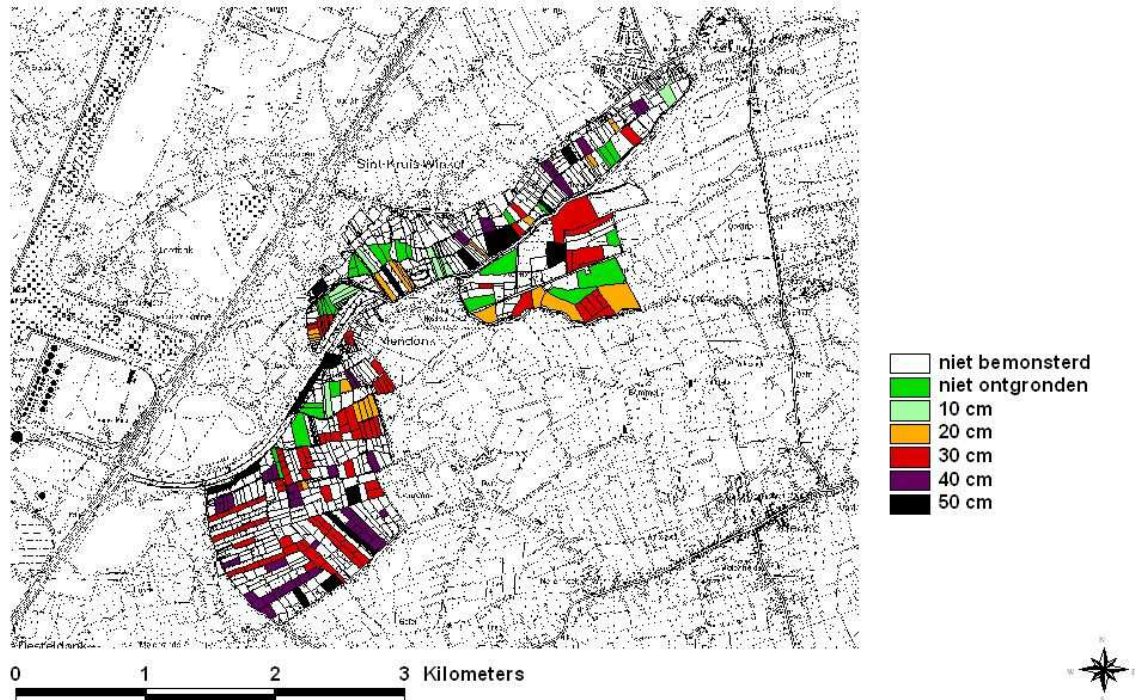


Fig. 69: Benodigde diepte van ontgronden om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodem, vastgesteld op basis van de hierboven bediscussieerde indicatoren

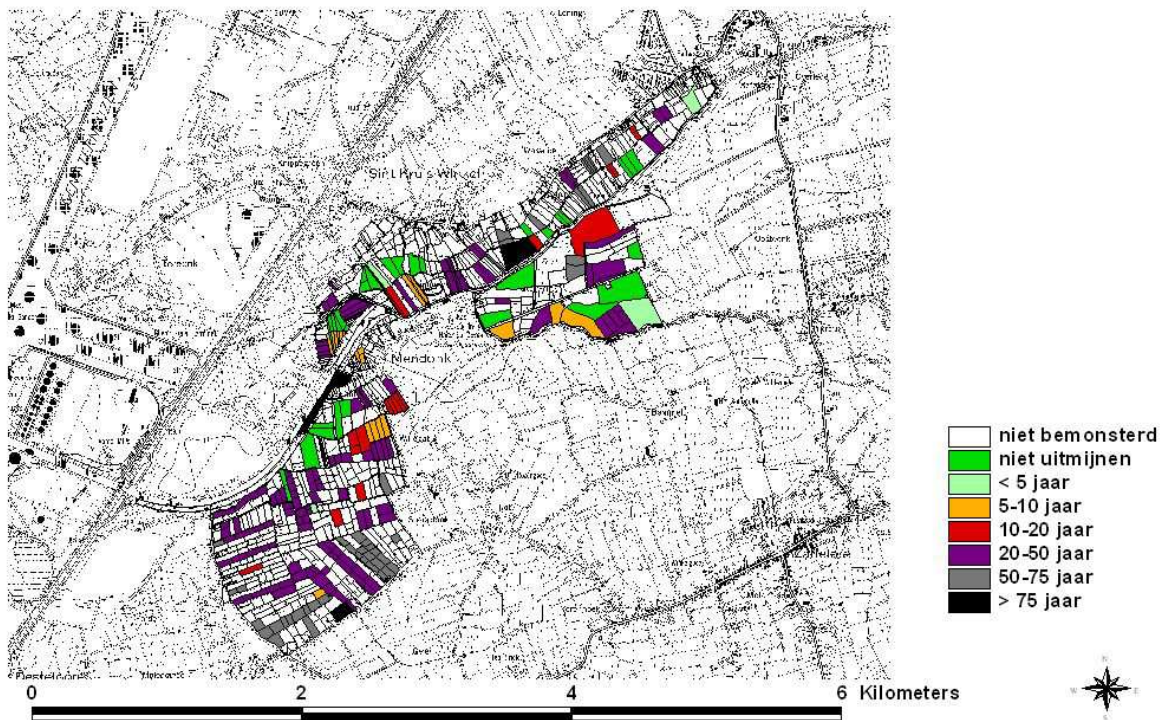


Fig. 70: Benodigde duur van uitmijnen om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodem

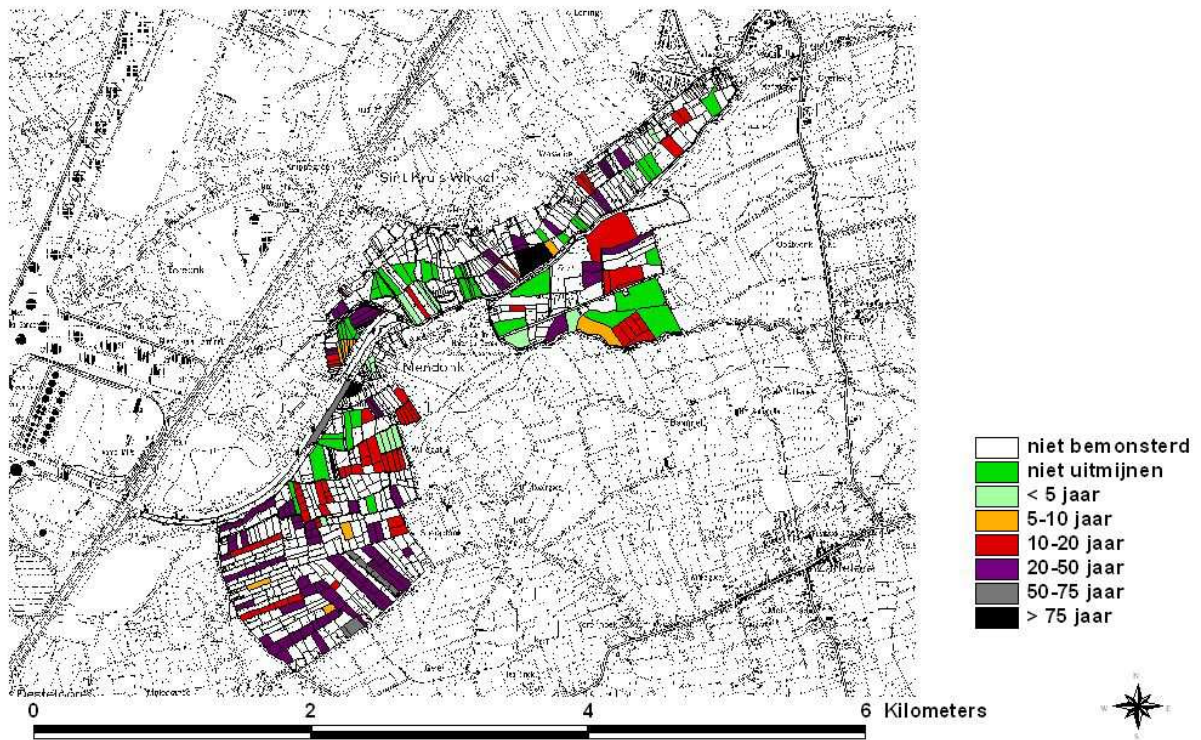


Fig. 71: Benodigde duur van uitmijnen na 10 cm ontgronden om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodembodem

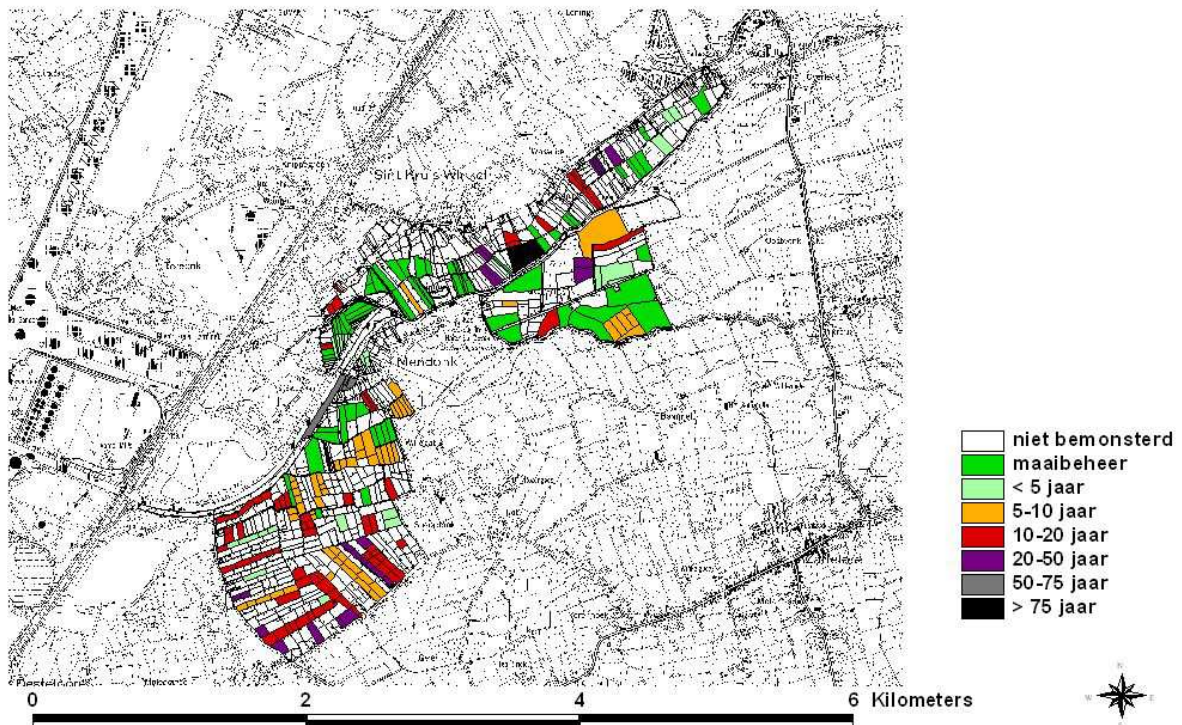


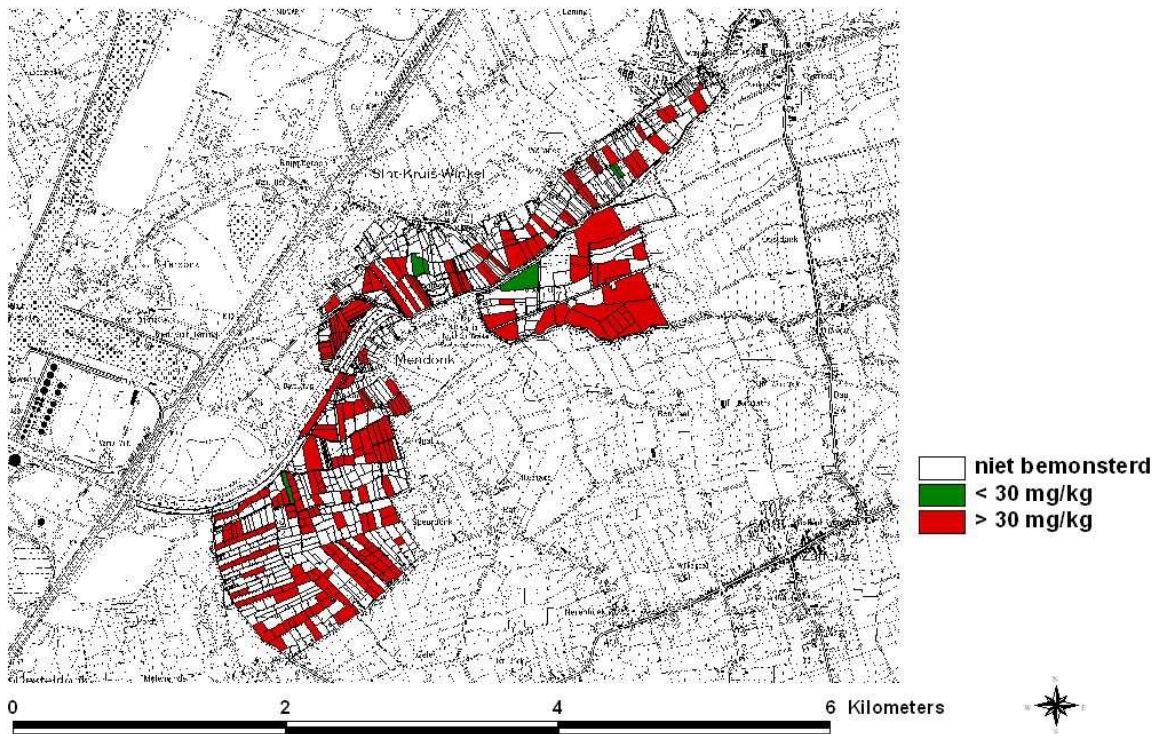
Fig. 72: Benodigde duur van uitmijnen na 20 cm ontgronden om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodembodem

## 11. Kansen voor ontwikkeling van soortenrijke graslanden

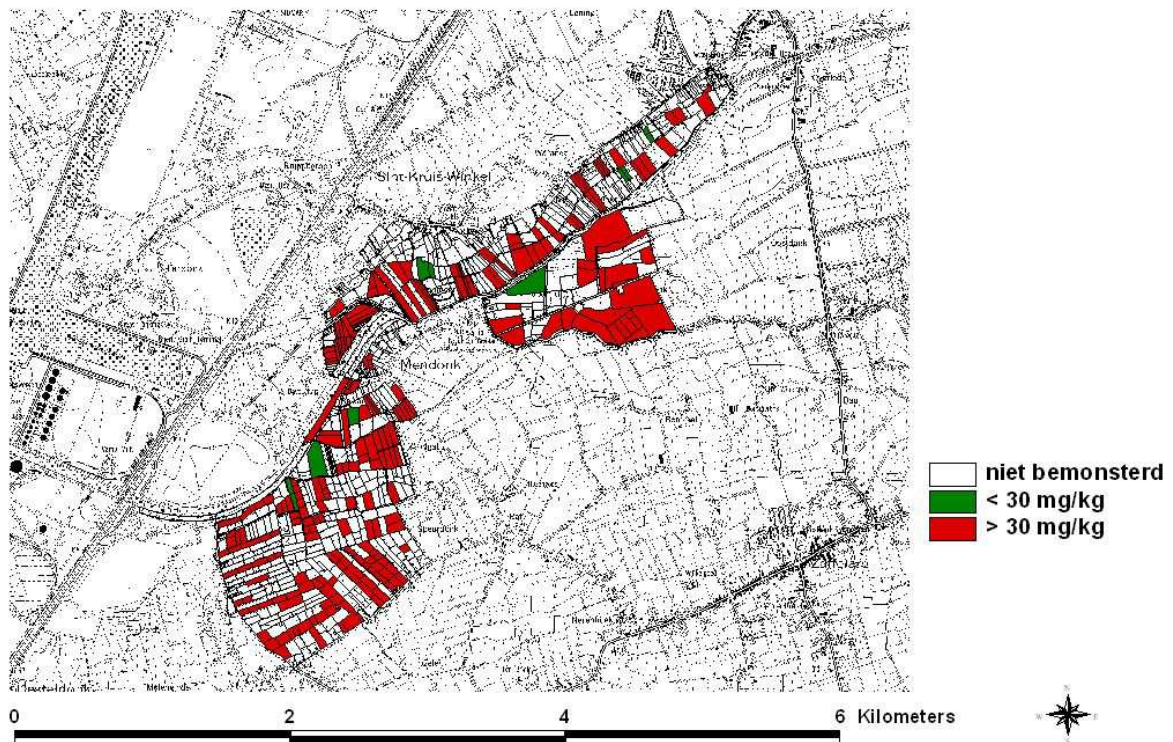
Onderstaande figuren tonen de kansen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden, grote zeggenvegetaties en glanshavergraslanden voor de verschillende percelen, en dit op verschillende dieptes. Met kansen voor ontwikkeling bedoelen we hier evenwel louter de geschiktheid vanuit het perspectief van P concentraties in de bodem. De grondwaterstanden, evoluties in bodempH etc. worden hier buiten beschouwing gelaten. Voor de dotterbloemgraslanden en de grote zeggenvegetaties zijn de percelen in groen geschikt volgens het strengste criterium van 30 mg  $P_{\text{Olsen}}$ /kg DS en volgens het minder streng criterium 50 mg  $P_{\text{Olsen}}$ /kg DS. Voor de ontwikkeling van glanshavergraslanden worden de huidige biobeschikbare P concentraties getoetst aan het strenge criterium van 18 mg  $P_{\text{Olsen}}$ /kg DS. De percelen in rood zijn zonder voorafgaandelijke maatregelen niet geschikt. Zoals uit de figuren kan opgemaakt worden zijn nauwelijks percelen zonder voorafgaand verschrallingsbeheer potentieel kansrijk om te evolueren naar dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties, althans volgens de vrij strenge criteria die wij gehanteerd hebben. Mogelijks zijn deze criteria dus te streng (zie ook § 5.2).

Glanshavergrasland, een graslandtype van matig voedselarme condities, heeft nauwelijks kans tot ontwikkeling op het merendeel van de onderzochte percelen. Enkel de percelen die momenteel onder bos liggen zijn kansrijk. Pas vanaf een diepte van 30 cm wordt het plaatje meer groen gekleurd. Voor de creatie van glanshavergraslanden zal dus moeten worden afgegraven of langdurig uitgemijnd worden (zie verder §10).

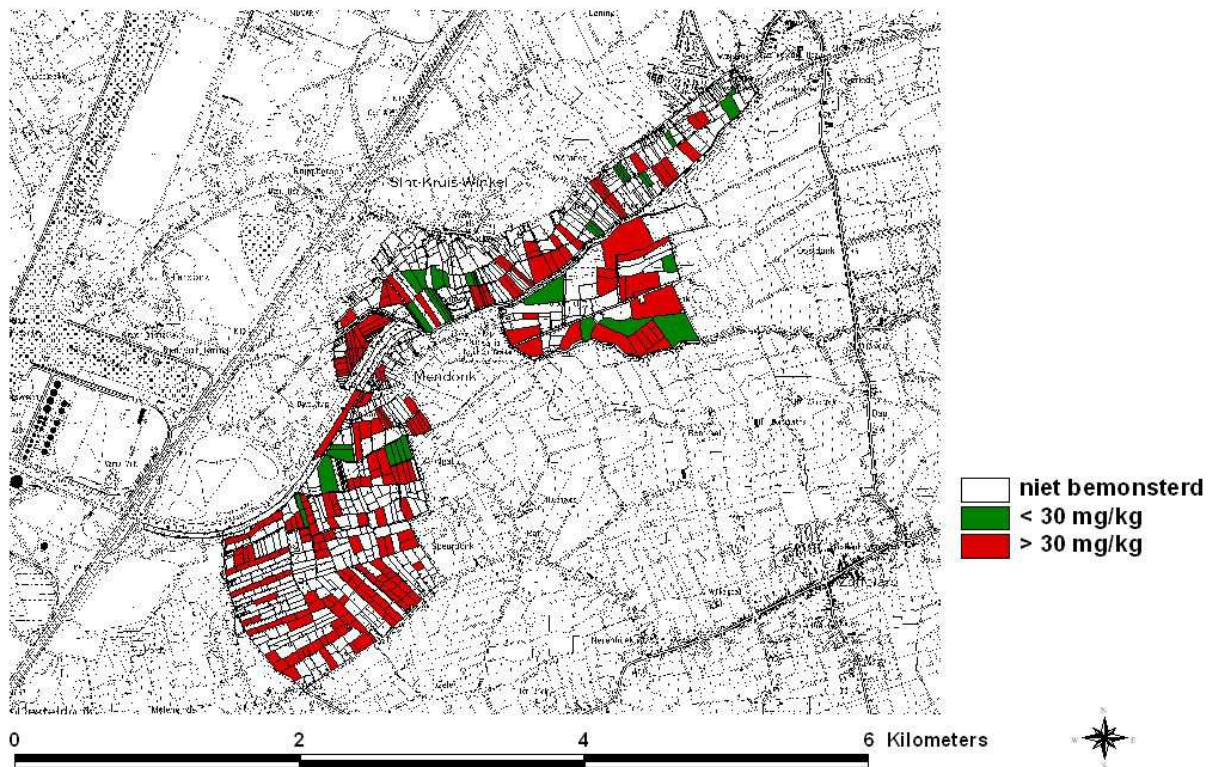
Omdat rietvegetaties indifferent blijken te zijn aan hoge nutriëntenconcentraties, kan besloten worden dat het ontwikkelen van riet op het merendeel van de percelen kansrijk is.



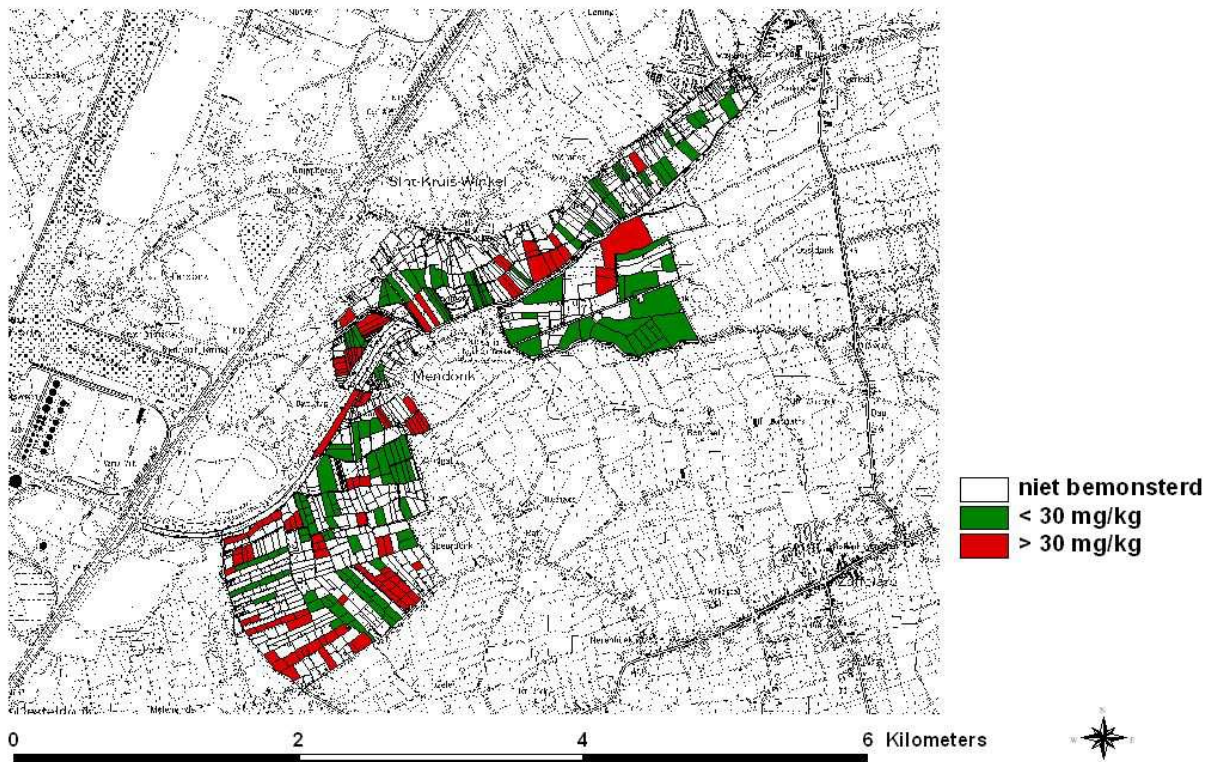
Figuur 73: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 0-10 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



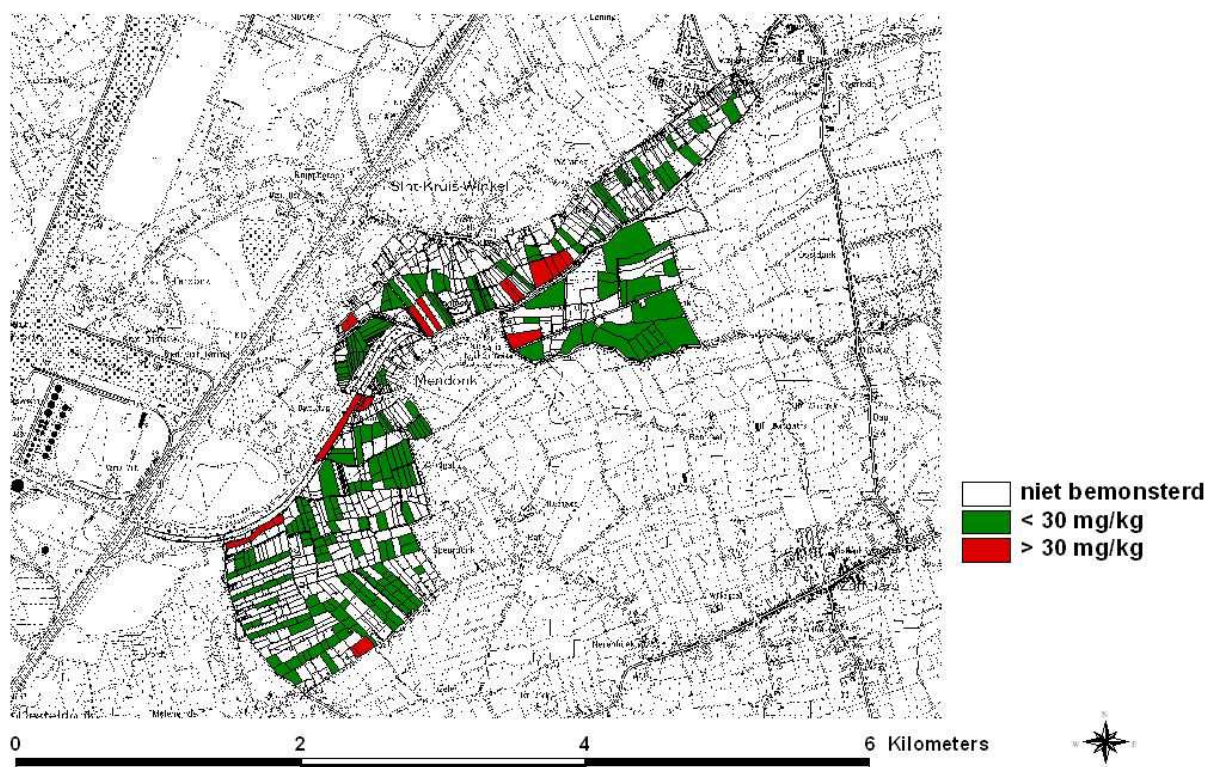
Figuur 74: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 10-20 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



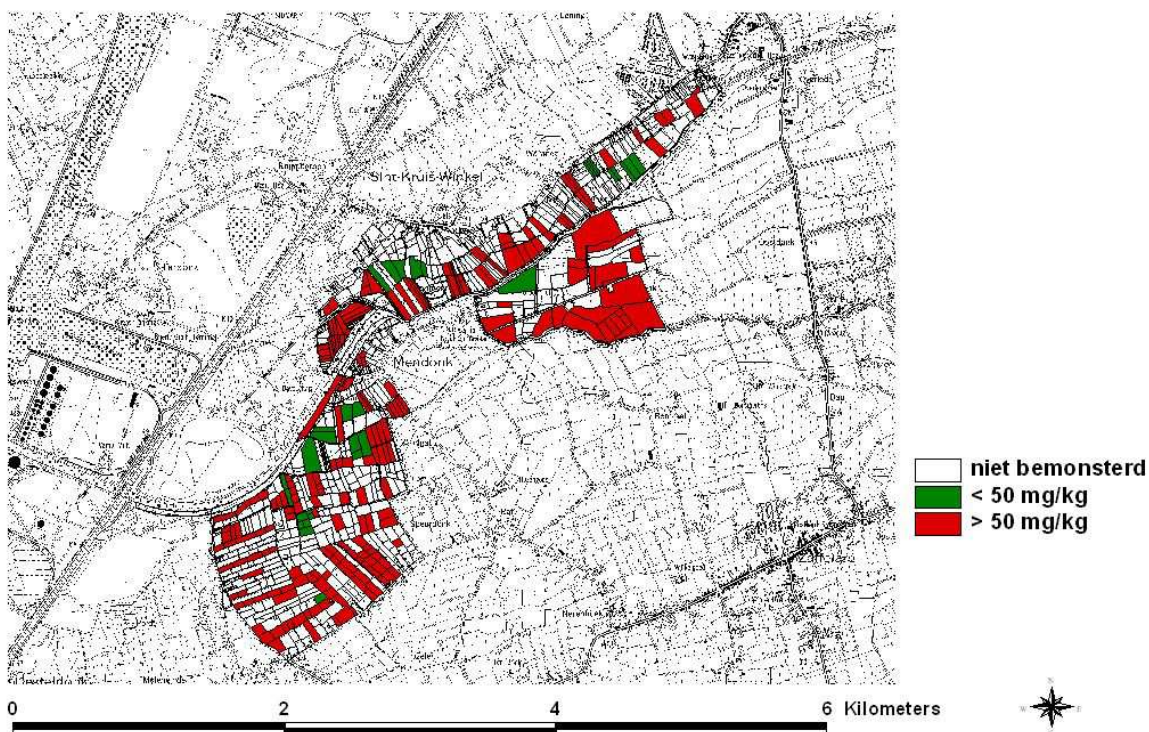
Figuur 75: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 20-30 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



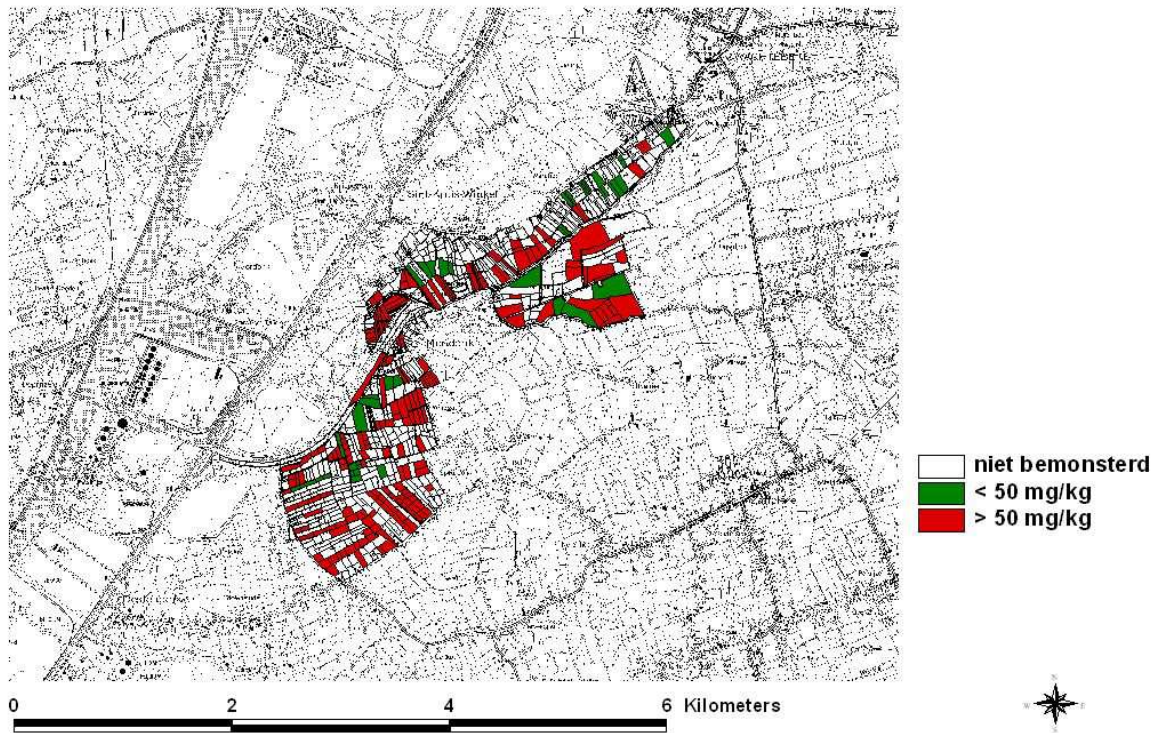
Figuur 76: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 30-40 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



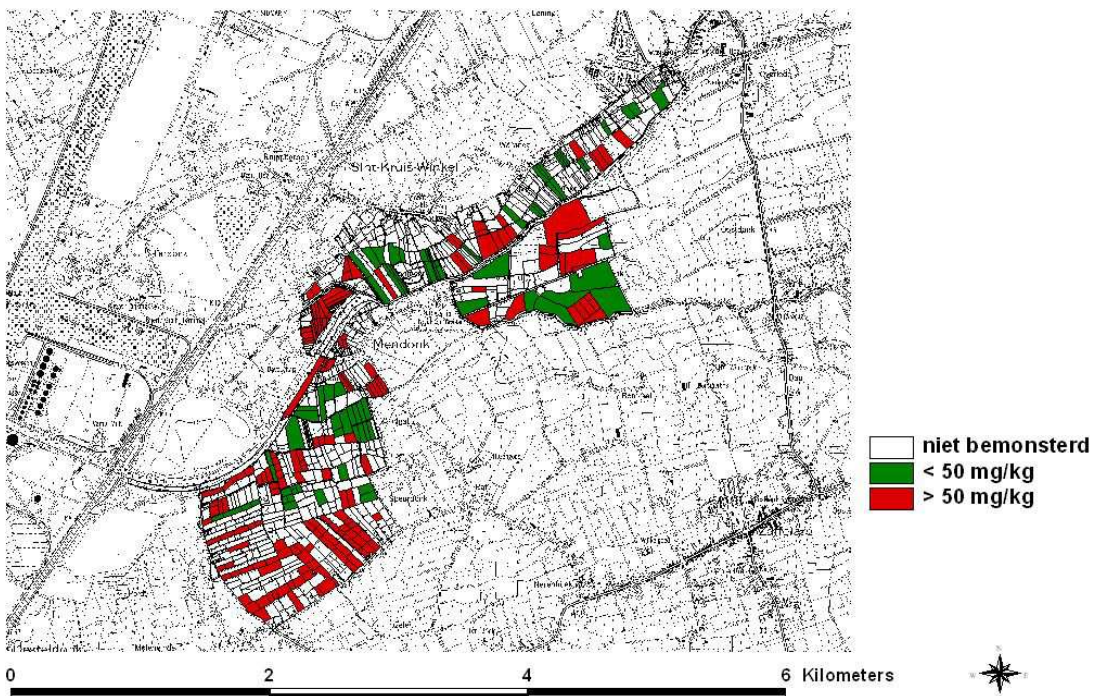
Figuur 77: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 40-50 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



Figuur 78: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 0-10 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd

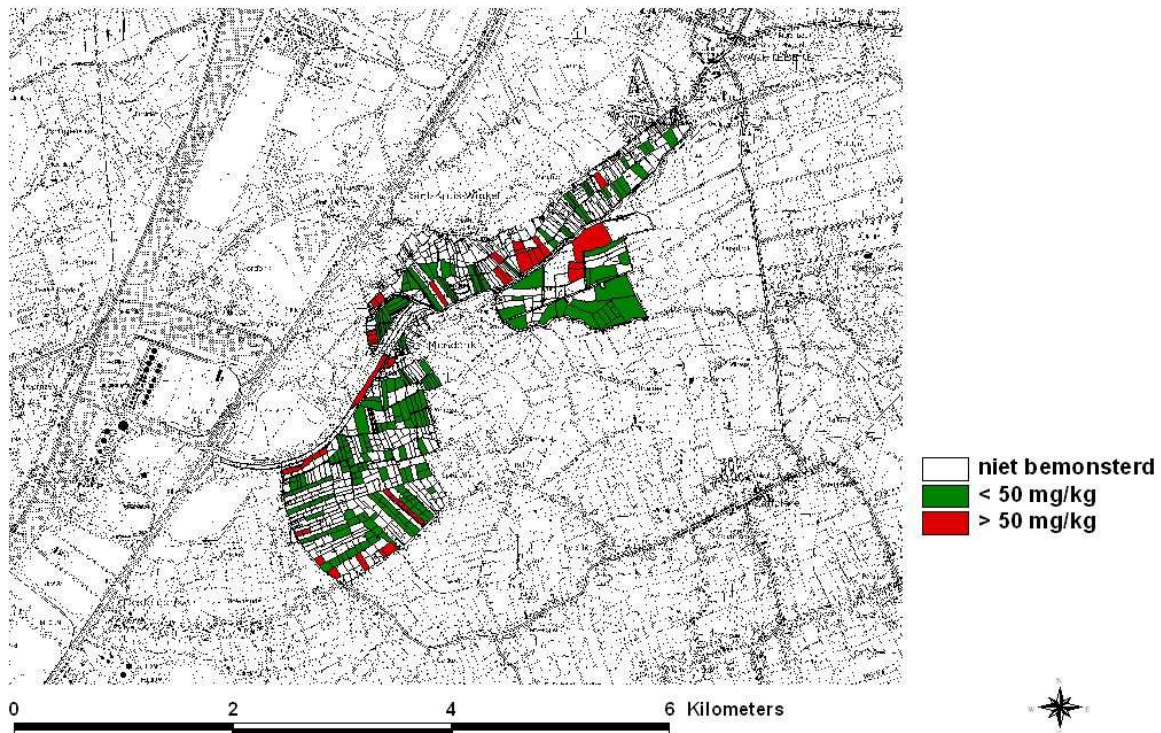


Figuur 79: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 10-20 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd

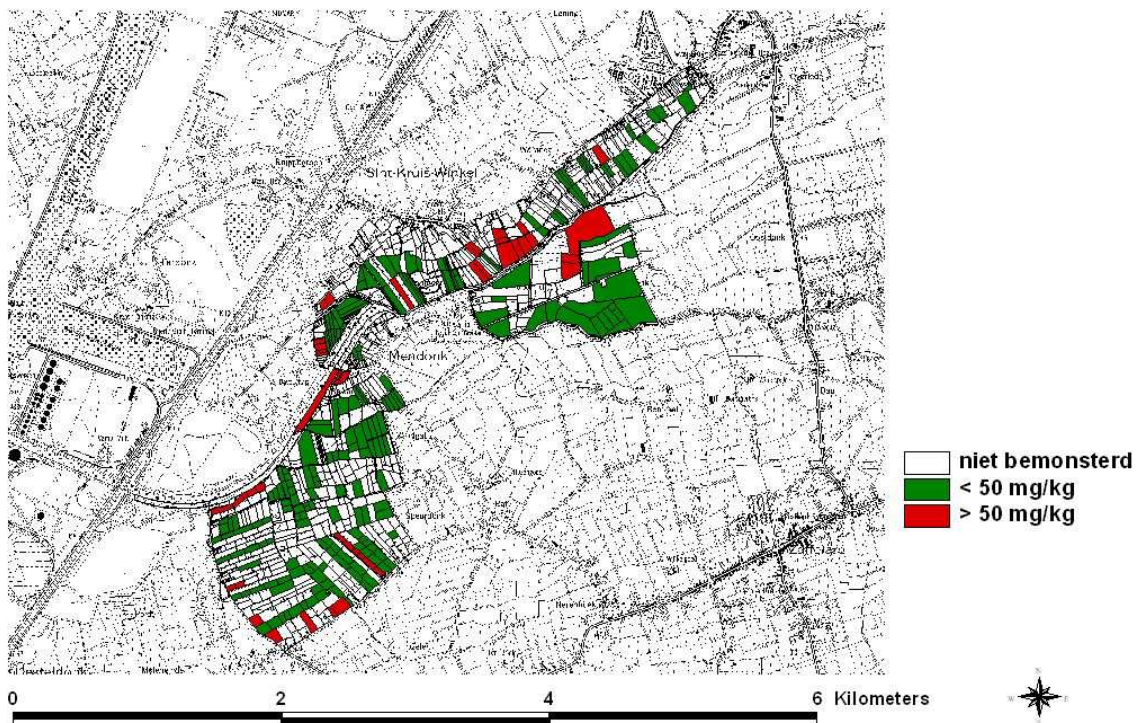


Figuur 80: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 20-30 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd

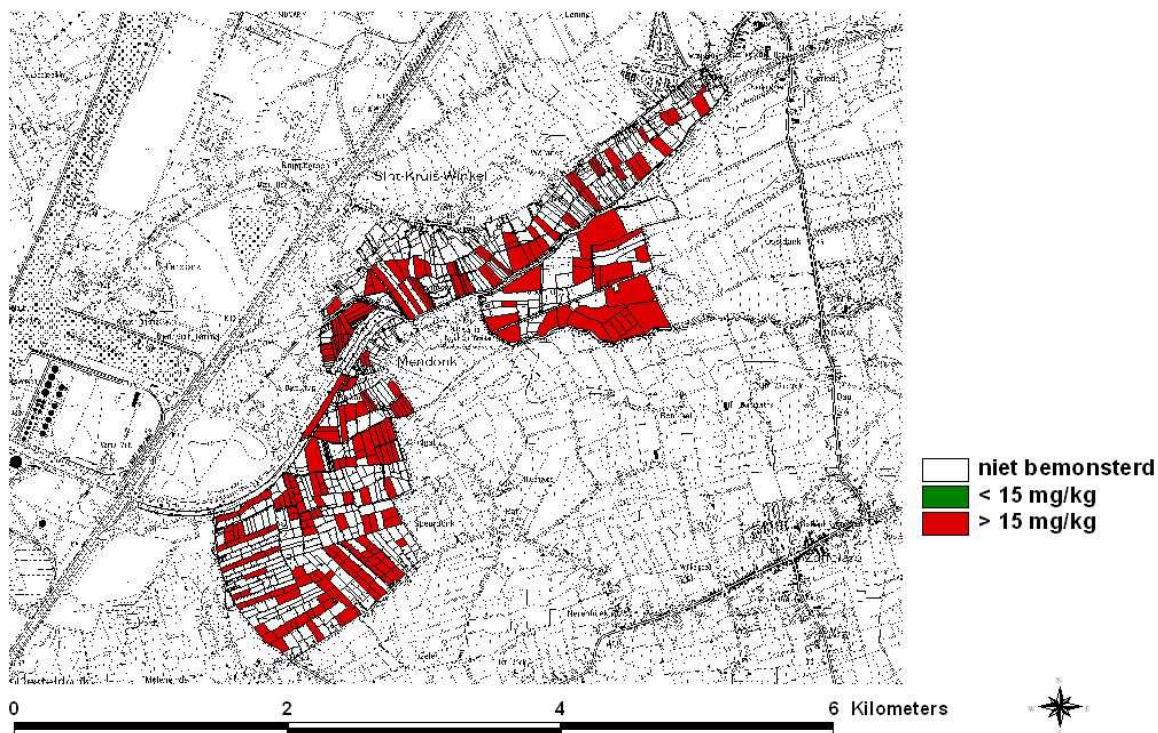




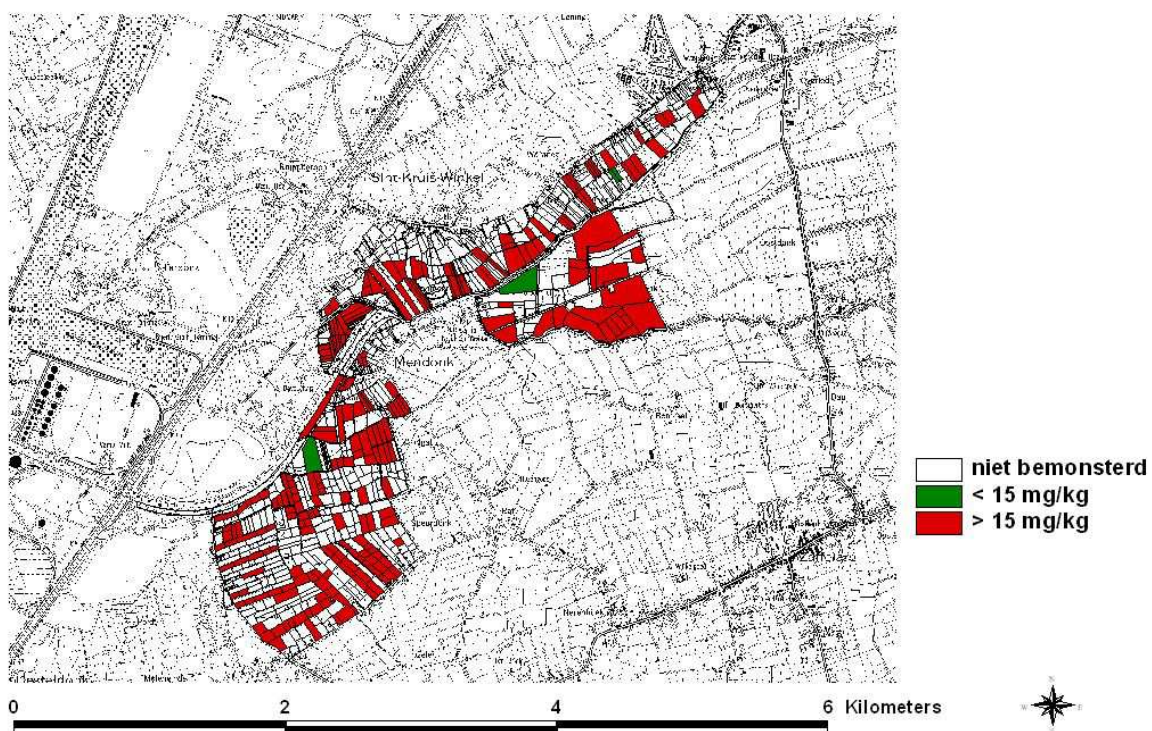
Figuur 81: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 30-40 cm wanneer een  $P_{olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



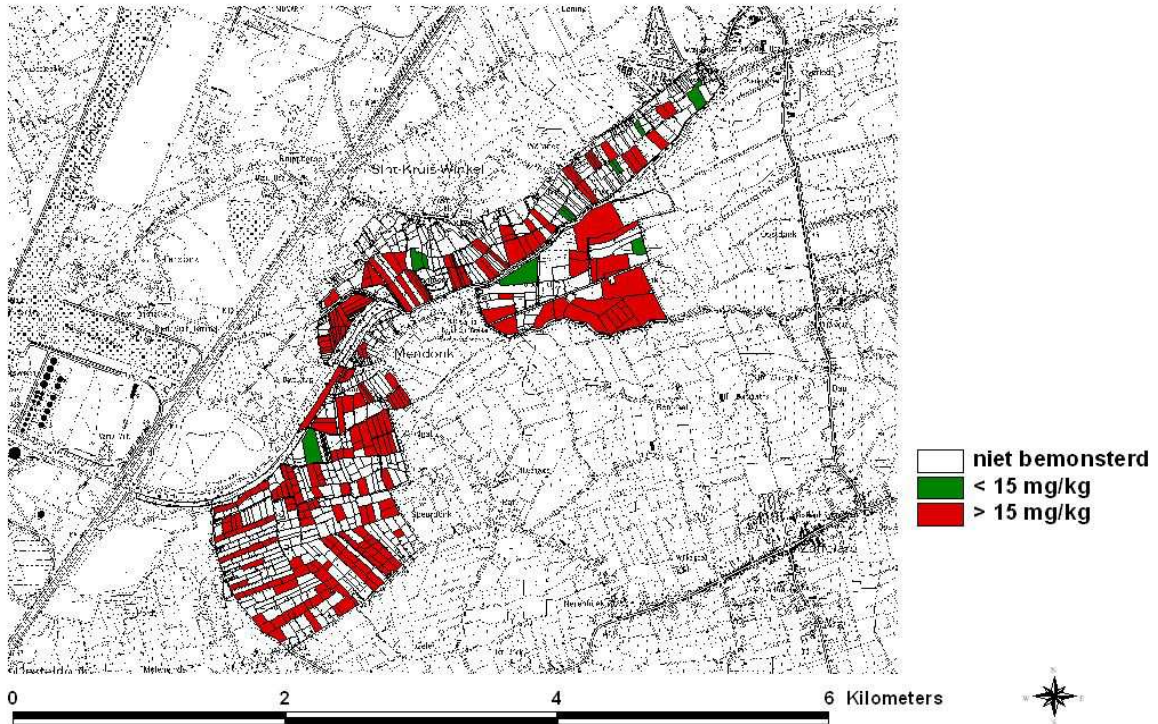
Figuur 82: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties op diepte 40-50 cm wanneer een  $P_{olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



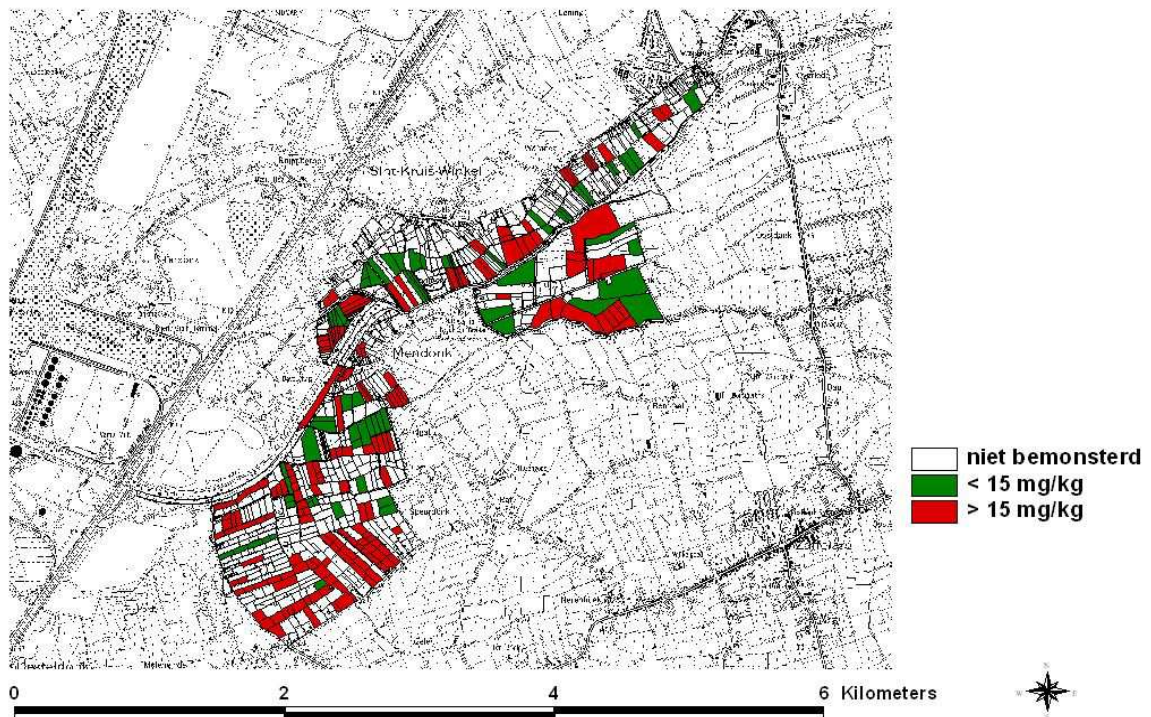
Figuur 83: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van glanshavergraslanden op diepte 0-10 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



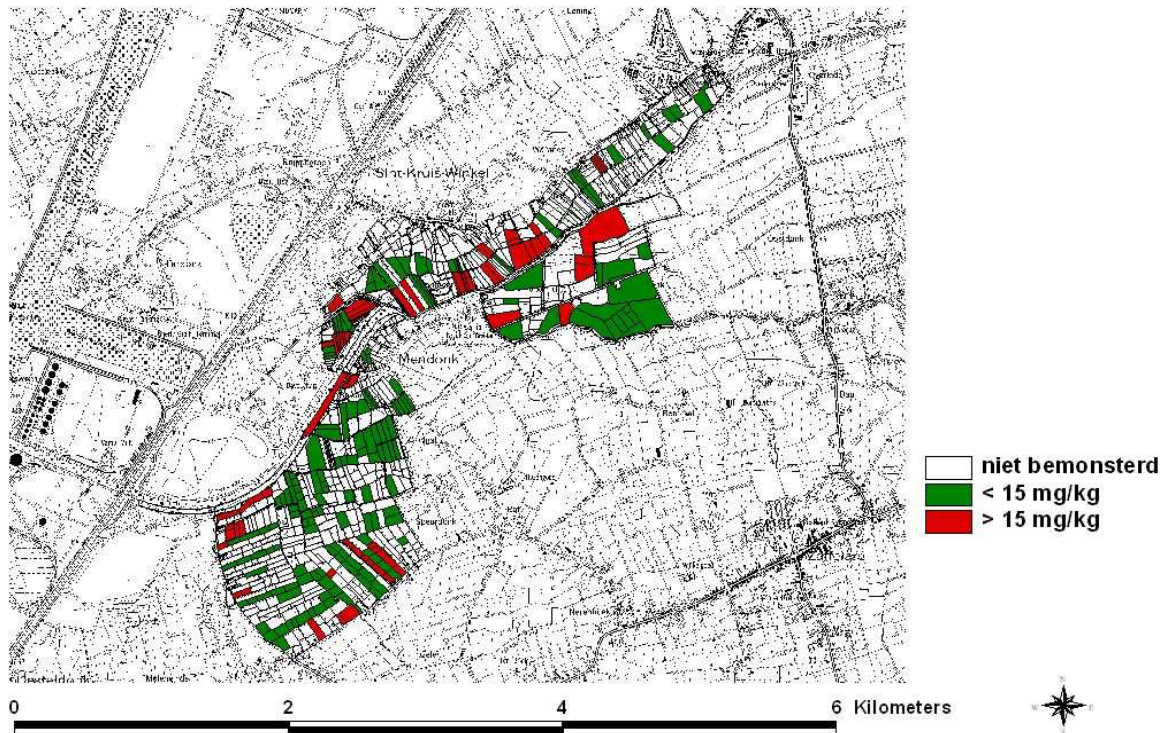
Figuur 84: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van glanshavergraslanden op diepte 10-20 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



Figuur 85: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van glanshavergraslanden op diepte 20-30 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



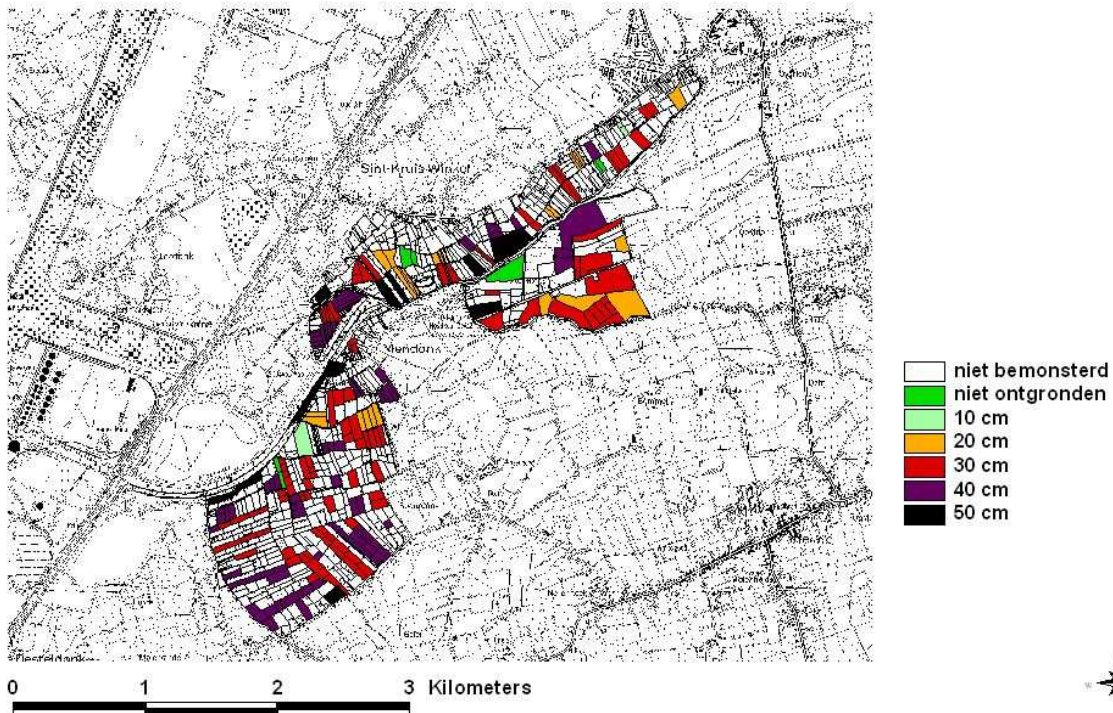
Figuur 86: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van glanshavergraslanden op diepte 30-40 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



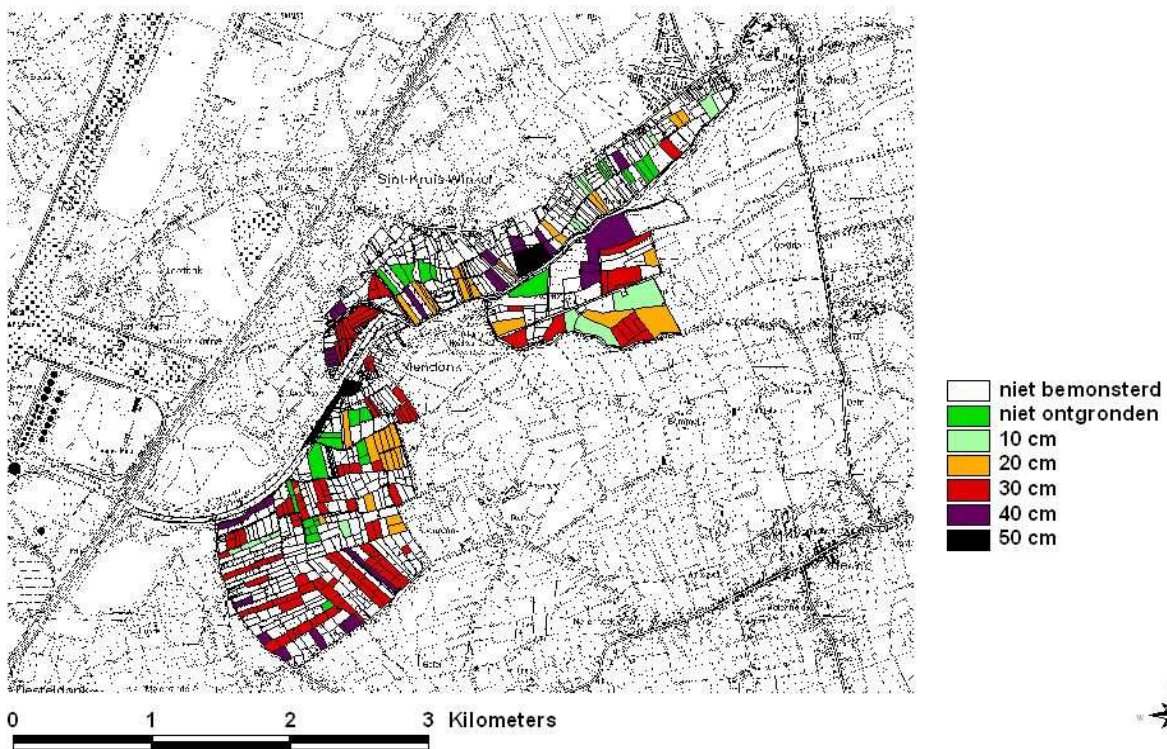
Figuur 87: Geschiktheid van de percelen voor ontwikkeling van glanshavergraslanden op diepte 40-50 cm wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $15 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd

## 12. Mogelijke maatregelen ter ontwikkeling van soortenrijke graslanden

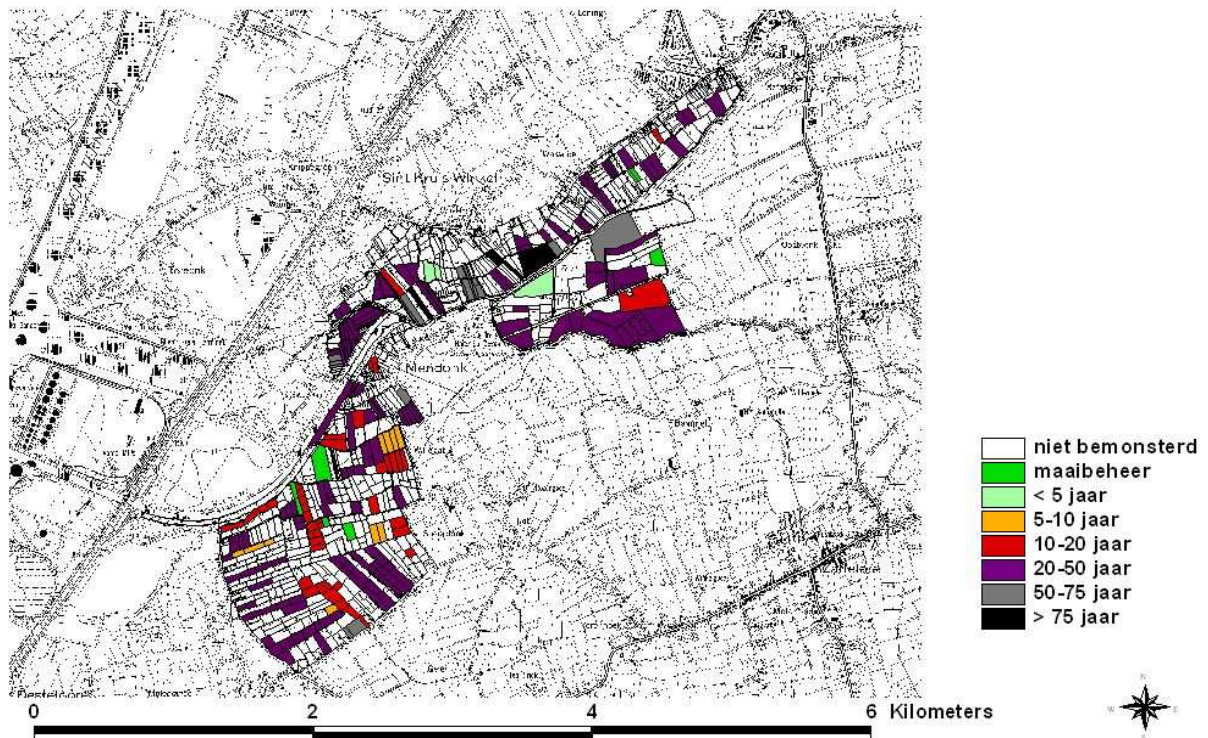
In dit deel wordt met kaartjes voorgesteld hoe via ontgronden, uitmijnen of een combinatie van uitmijnen en ontgronden de noodzakelijke abiotiek kan bekomen worden voor ontwikkeling van soortenrijke graslanden. Voor verdere uitleg verwijzen we naar § 9. Per vegetatietype toont een eerste kaartje hoe diep moet ontgrond worden om de bodem geschikt te maken. De volgende drie kaartjes tonen telkens hoe een beheer van uitmijnen al dan niet in combinatie met ontgronden de bodem geschikt kan maken om open water te creëren. Voor glanshavergraslanden werd de duur van uitmijnen enkel berekend voor de zones die potentieel geschikt zijn voor dit graslandtype (Van Aert 2010).



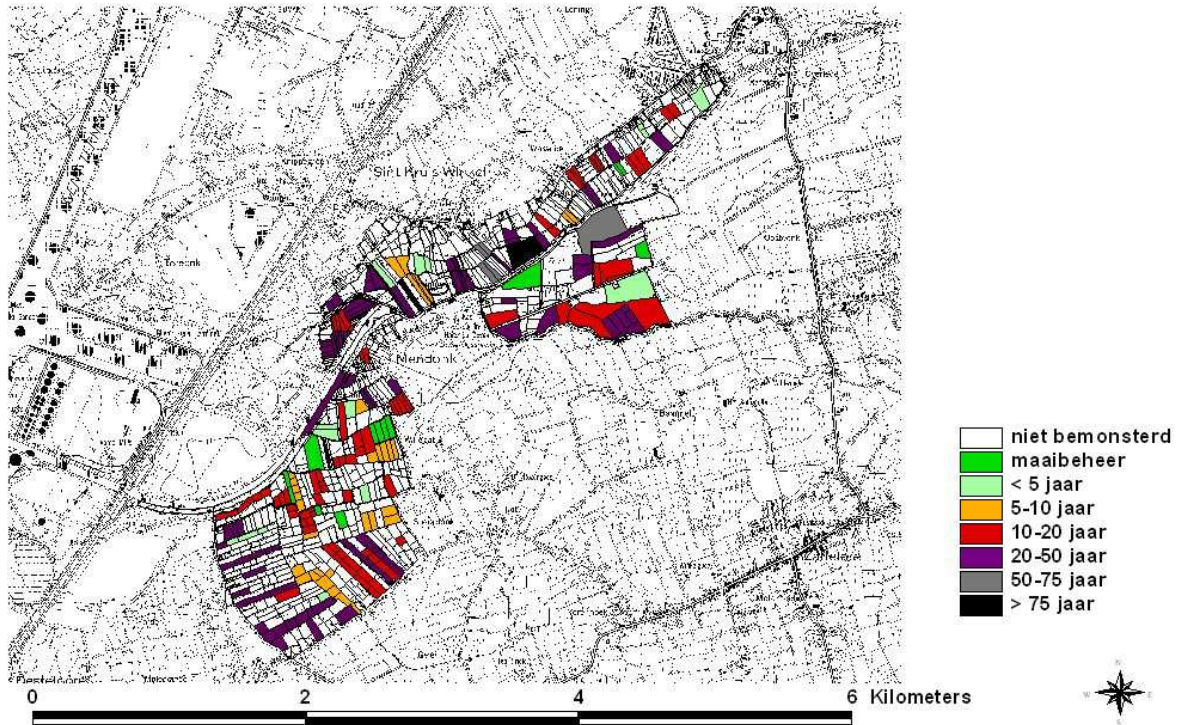
*Figuur 88: Diepte van ontgronden voor de snelle ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties met als streefwaarde een  $P_{Olsen} < 30 \text{ mg.kg}^{-1}$*



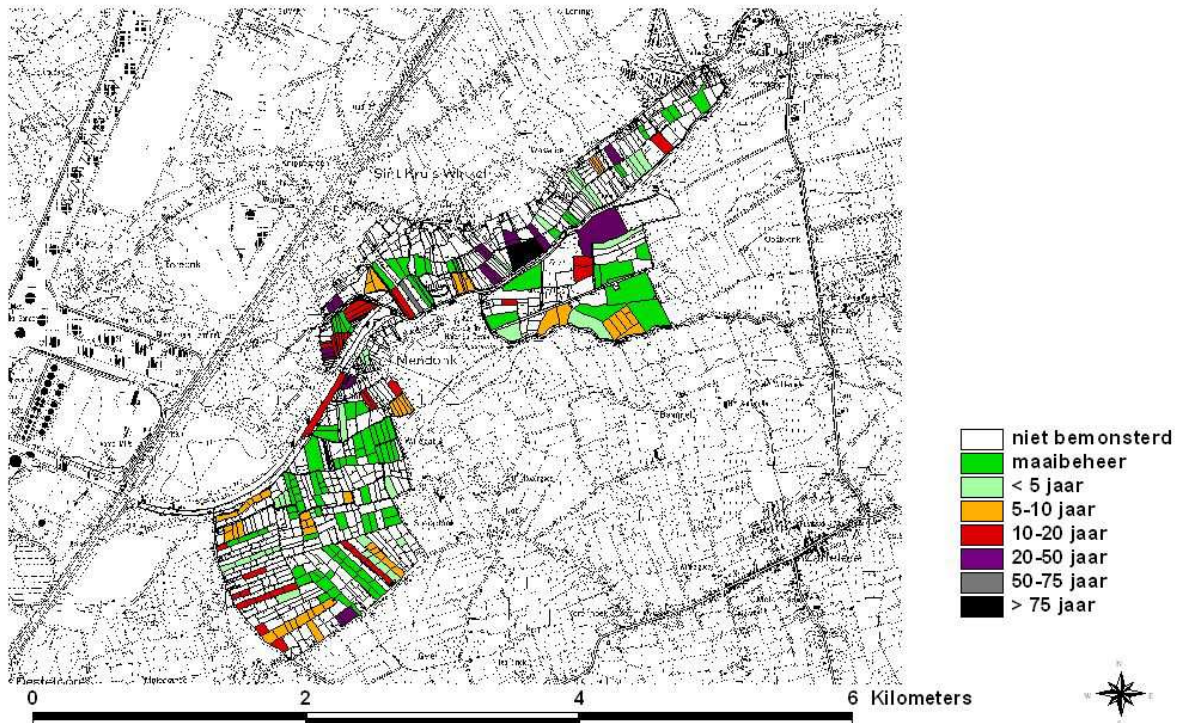
Figuur 89: Diepte van ontgronden voor de snelle ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties met als streefwaarde een  $P_{Olsen} < 50 \text{ mg.kg}^{-1}$



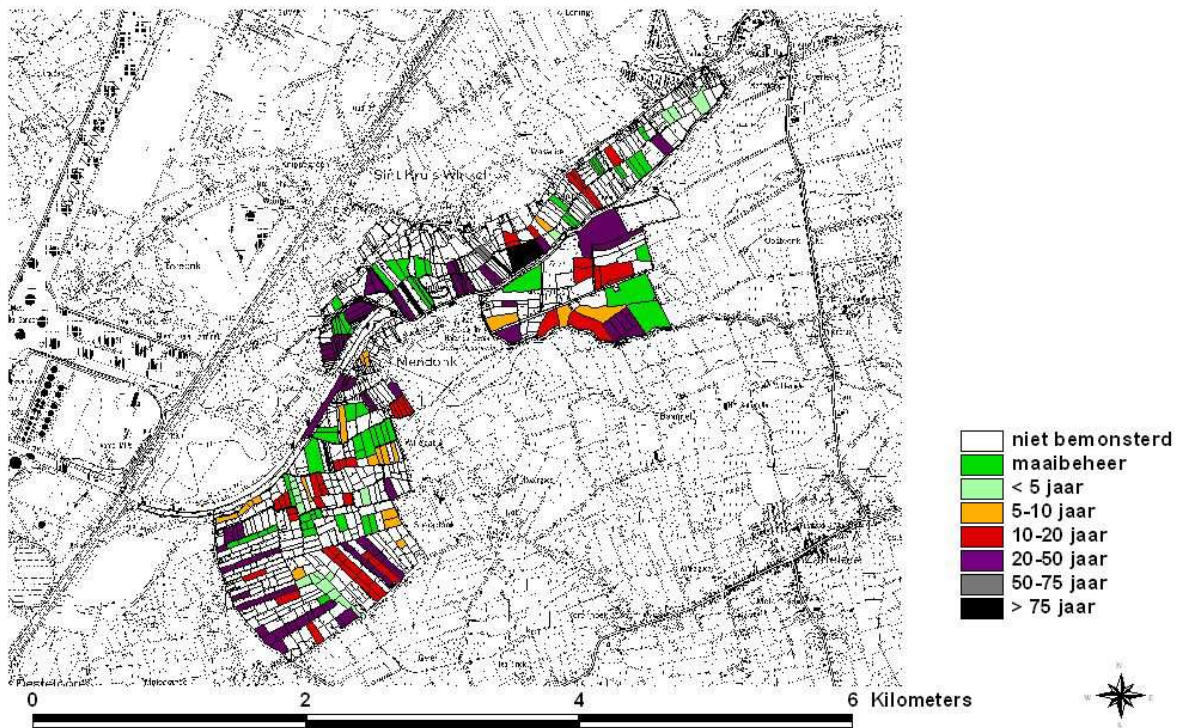
Figuur 90: Duur van uitmijnen op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd



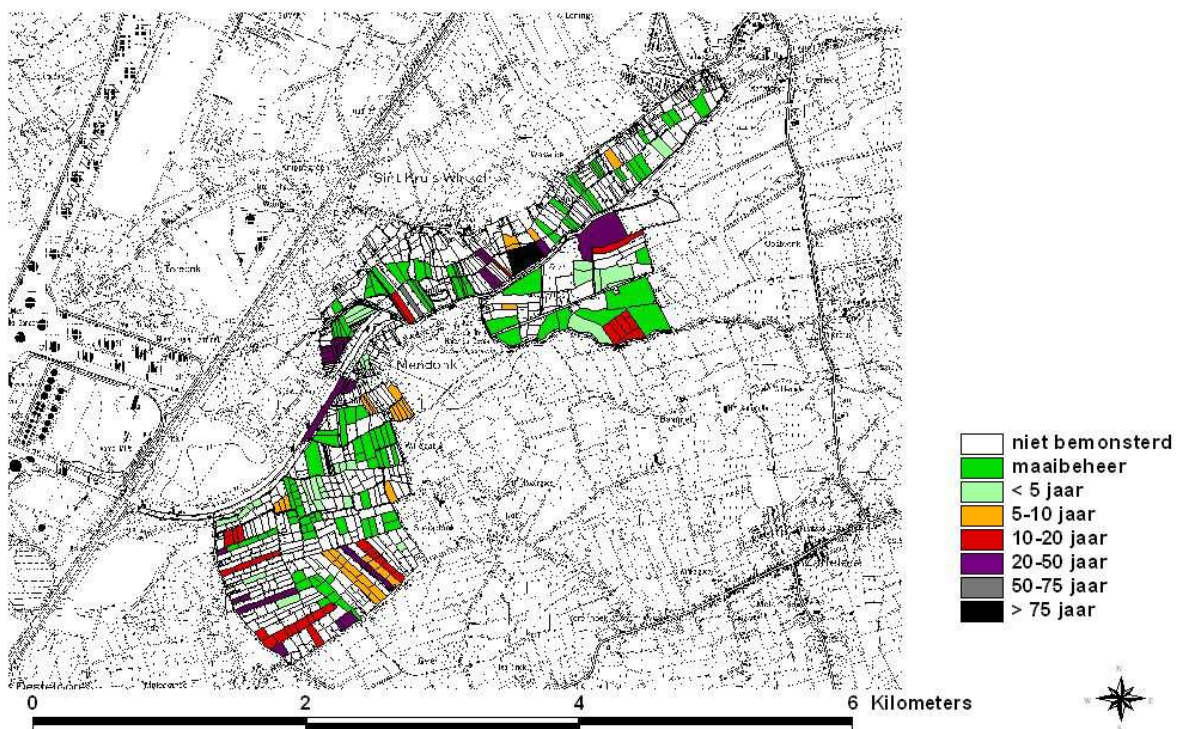
Figuur 91: Duur van uitmijnen na 10 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  (



Figuur 92: Duur van uitmijnen na 20 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $30 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)

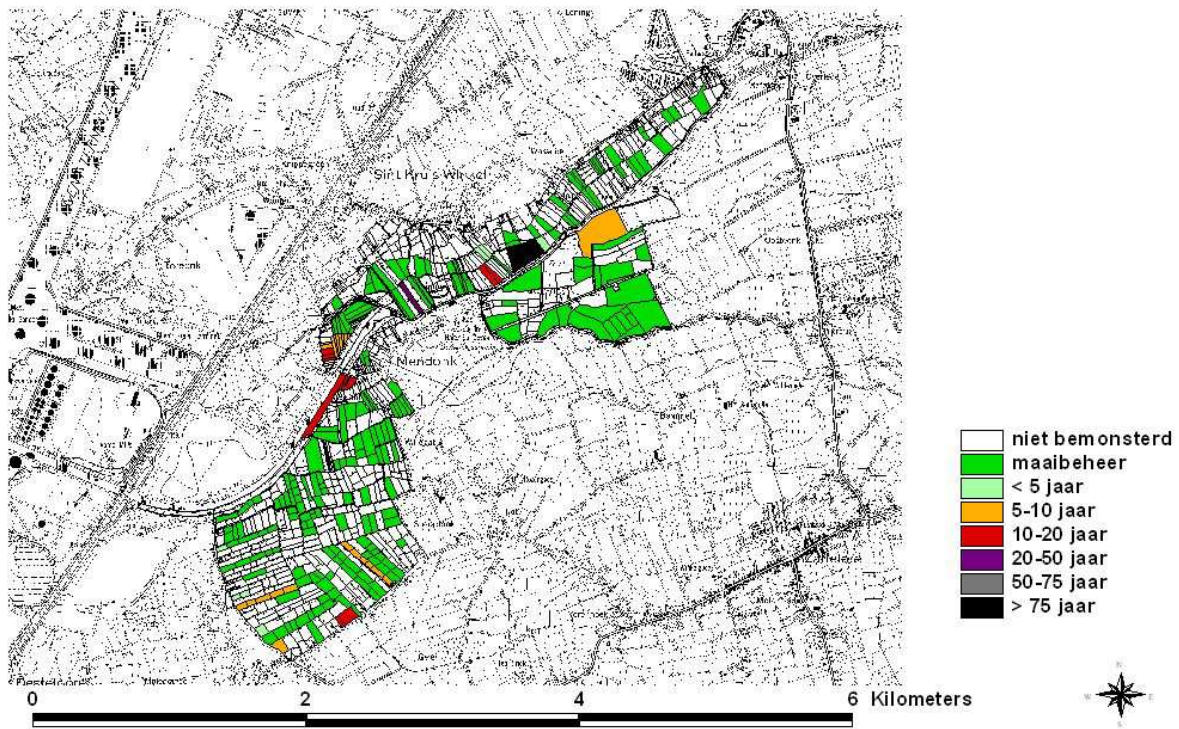


*Figuur 93: Duur van uitmijnen op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)*

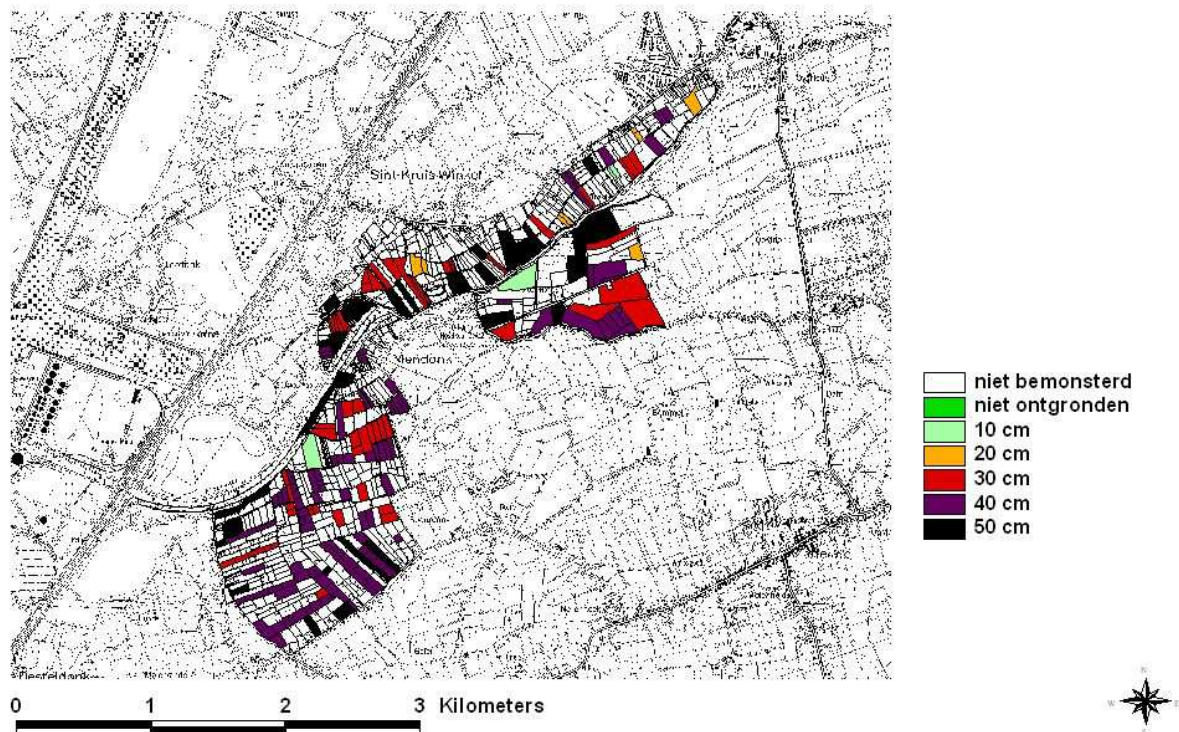


*Figuur 94: Duur van uitmijnen na 10 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)*

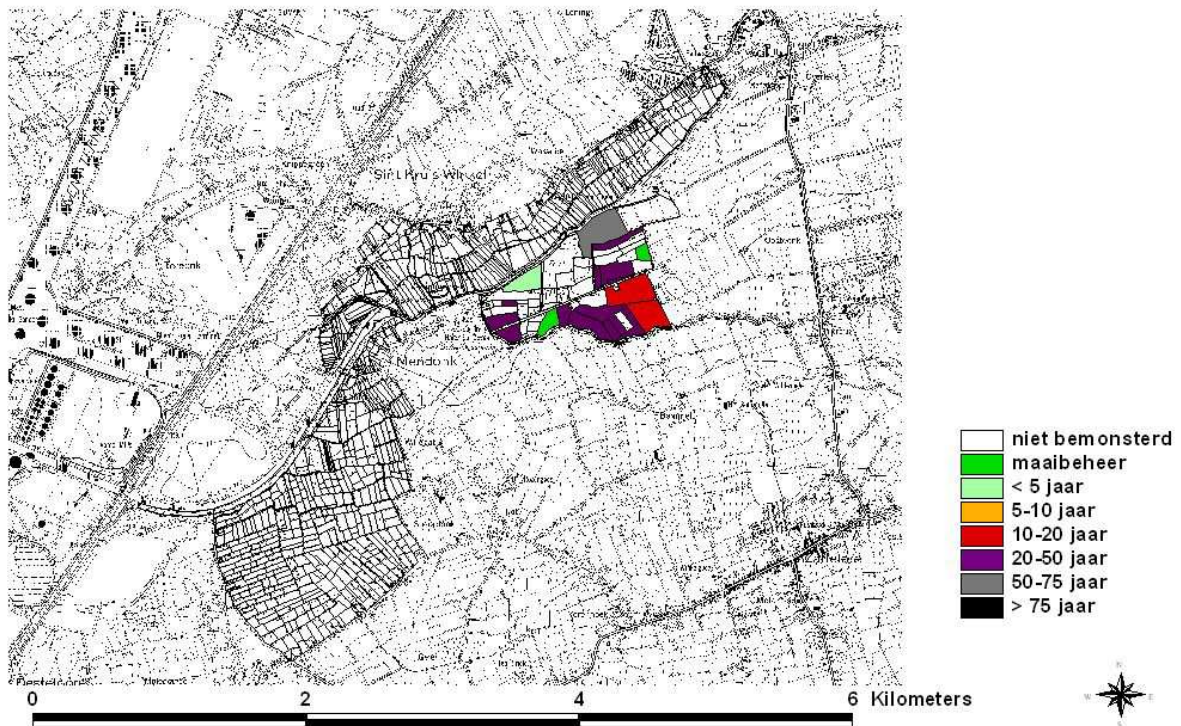




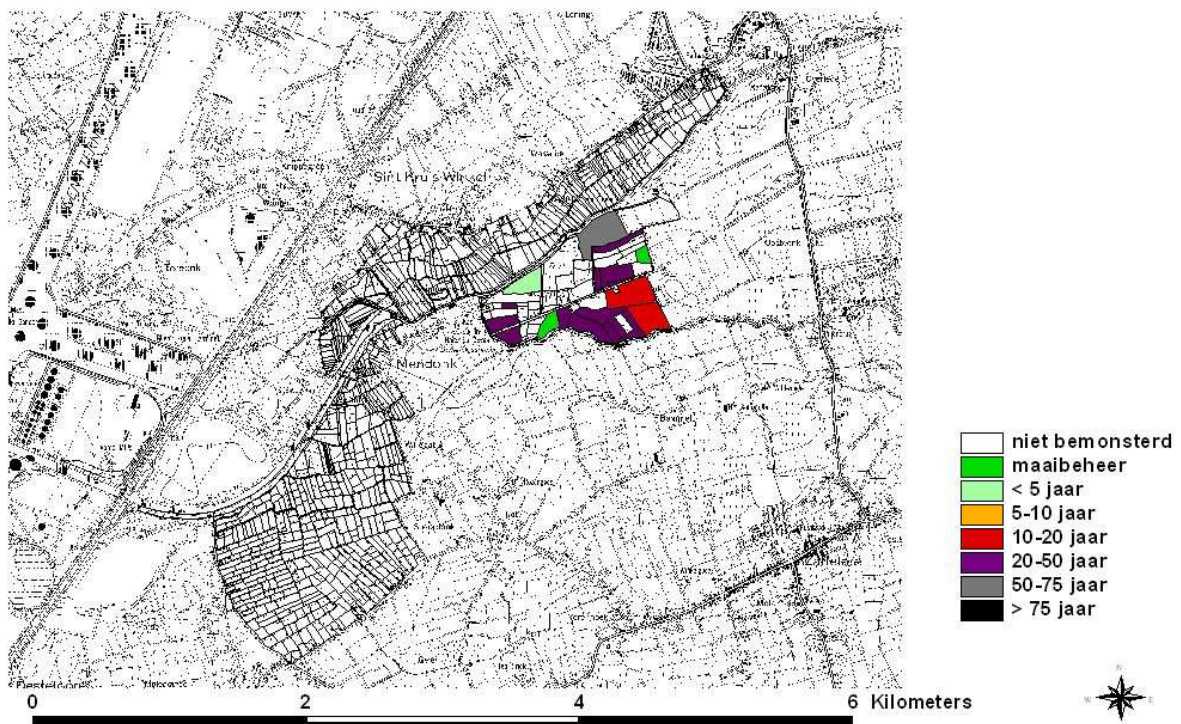
Figuur 95: Duur van uitmijnen na 20 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $50 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)



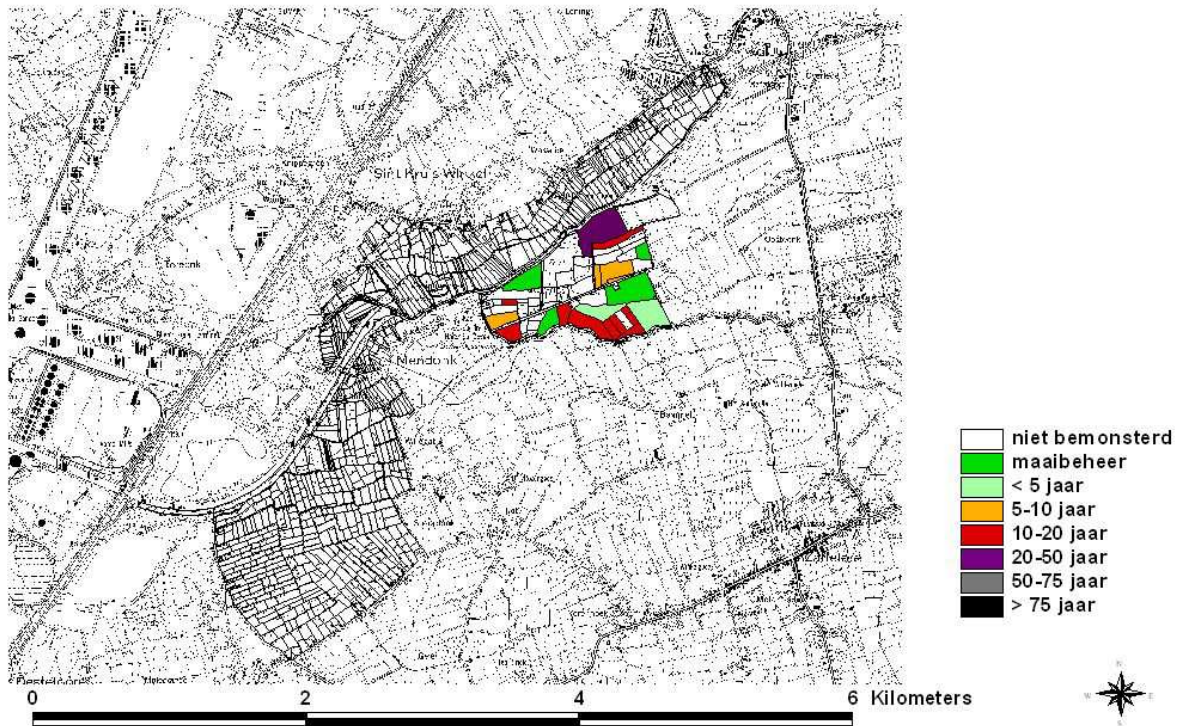
Figuur 96: Diepte van ontgronden voor de snelle ontwikkeling van glanshavergraslanden met als streefwaarde een  $P_{Olsen} < 18 \text{ mg.kg}^{-1}$



Figuur 97: Duur van uitmijnen op de percelen voor de ontwikkeling van glanhavergraslanden wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $18 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)



Figuur 98: Duur van uitmijnen na 10 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van glanhavergraslanden wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $18 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)



*Figuur 99: Duur van uitmijnen na 20 cm ontgronden op de percelen voor de ontwikkeling van glanshavergraslanden wanneer een  $P_{Olsen}$  van  $18 \text{ mg.kg}^{-1}$  wordt nagestreefd in de bouwvoor (0-30 cm)*

### 13. Percelen te Moervaart-N met extreem hoge P concentraties

Centraal in de zone Moervaart-N bevinden zich twee opgehoogde percelen met extreem hoge fosforconcentraties (zie Fig. 27, in zwart). Om na te gaan hoe diep de P concentraties zo sterk verhoogd zijn maakten we een extra boring tot op 100 cm diepte (zie Fig. 100). Misschien werden deze percelen opgehoogd met baggermateriaal (zie <http://www.natuurpunt-zuid-waasland.be/moervaart.html>).

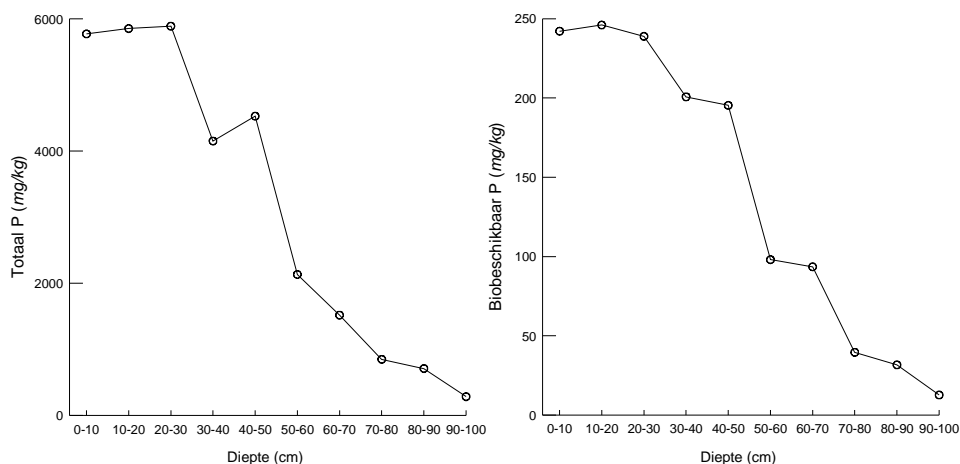


Fig. 100: Concentraties totaal en biobeschikbaar P ( $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) op verschillende dieptes

### 14. Globale conclusie

Voor de ontwikkeling van helder open water werden twee duidelijke criteria getest: het totaal fosforgehalte moet lager liggen dan  $1360 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  en de (Fe-S/P)-ratio (molaire basis) moet hoger zijn dan 10 (of de P/Fe-ratio (gewichtsbasis) moet lager liggen dan 0.055). Weinig percelen blijken momenteel geschikt te zijn voor de creatie van open water. Enkel in het NO van de zone Mendonk, in het W van de zone Moervaart-N en Moervaart-Zuid kunnen een aantal percelen zonder afgraving omgevormd worden tot open water. Pas vanaf een diepte van 30 cm komen gebiedsdekkend zones voor waar op grotere schaal open water kan aangelegd worden (zie Fig. 64) in de bovengenoemde gebieden. In de zone Moervaart-N bevinden zich enkele (met bagger?) opgehoogde percelen die tot op een diepte van 50 cm ongeschikt blijken voor eender welke deze doelstelling (zie ook §11).

De snelste manier om open water te creëren is ontgronden. Door het afgraven van een 0 tot 30 cm dikke bodemlaag verwijderd men de met fosfor aangerijkte ploegvoor, waardoor de bovengelegen bodemlaag geschikt wordt als onderwaterbodem. Sommige percelen moeten dieper ontgrond worden om geschikt te worden (Fig. 69). Indien er geen mogelijkheid tot ontgronden is, bijvoorbeeld omwille van de archeologie of omwille van het budget, kan overwogen worden om de bodems uit te mijnen. Daarvoor zal men vaak gedurende een zeer lange periode gewassen moeten telen, door selectieve bemesting met stikstof en kalium (om de biomassa-productie hoog te houden) (zie Fig. 70). Een combinatie van 10 cm ontgronden en uitmijnen vermindert de uitmijnduur, maar niet noemenswaardig (Fig. 71). Wanneer 20 cm ontgrond wordt kunnen een groot aantal percelen al binnen de 10 jaar uitgemijnd worden (Fig. 72).

Voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden zijn de criteria minder duidelijk. Om soortenrijke graslanden te creëren moet gestreefd worden naar limitatie van 1 of meerdere nutriënten (stikstof, kalium, en/of fosfor). Uit de literatuur blijken natte graslandtypes als dotterbloemgrasland en grote zeggenvegetaties eerder stikstof en/of kaliumgelimiteerd te zijn dan fosforgeslimiteerd. Van de Riet et al. (2009) stellen dat het vernatten van voormalige landbouwgronden en de daarmee gepaard gaande vrijstelling van fosfor niet noodzakelijk een bottleneck hoeven te vormen voor de ontwikkeling van dotterbloemgraslanden. Er moet echter meer bewijs komen, meer onderzoek naar referentiewaarden m.b.t. biobeschikbaar fosfor is absoluut nodig, en dit in relatie tot vernatting en bodemverzuring.

Een van de problemen van hoge biobeschikbare P concentraties in de bodem is immers het probleem van 'verpitrussing'. Vernatting van voormalige landbouwpercelen op zandbodem tonen vaak een dominante groei van pitrus. Lamers et al. (2009) wijzen naar de hoge biobeschikbare fosforconcentraties als oorzaak, in combinatie met verzuring van de bodem. Ook schommelende grondwaterstanden zouden verpitrussing in de hand werken. Momenteel bevinden alle bodems zich nog in het kationenuitwisselingsbufferbereik ( $\text{pH-H}_2\text{O} > 4.5$ ) of in het bufferbereik met calciumcarbonaat (zie Fig. 12 tot en met 16). Vooral de bodems die zich in het bufferbereik bevinden met calciumcarbonaat zijn goed gebufferd tegen verzuring. In het geval van vernatting tot het maaiveld zal ook de aanvoer van baserijk grondwater bodemverzuring tegengaan. Om verpitrussing te voorkomen is het dus noodzakelijk te streven naar zo constant mogelijke waterpeilen, binnen de doelstellingen van de beoogde graslandtypes. Om kieming van het zaad van pitrus tegen te gaan moet bodemverstoring, bijvoorbeeld door begrazing, vermeden worden. Begrazing kan best beperkt worden tot lage dichtheden en dit pas na een periode van verschrallingsbeheer via maaien of uitmijnen. Vernatting kan verder pas gebeuren nadat de P concentraties in de bodem voldoende laag liggen. Ontwikkeling van zilverschoongraslanden lijkt dan ook niet aangewezen omwille van de noodzaak van sterk wisselende grondwaterstanden voor dit graslandtype.

Voor dotterbloemgraslanden en grote zeggenvegetaties toetsten we de huidige biobeschikbare fosforconcentraties aan twee streefwaarden, die dus mogelijks veel te streng zijn. De meest strenge ( $P_{\text{Olsen}} < 30 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) is gebaseerd op metingen in goed ontwikkelde vegetaties, de tweede streefwaarde ( $P_{\text{Olsen}} < 50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) is eerder arbitrair gekozen, met in het achterhoofd dat het mogelijk niet nodig is om zeer lage biobeschikbare P concentraties na te streven (omwille van de stikstof- en kaliumlimitatie van deze graslandtypes). Uit onze analyse blijkt dat slechts weinig percelen momenteel deze beide streefwaarden halen (zie Fig. 73 en Fig. 78) en dat pas vanaf een diepte van 30 cm het merendeel van de onderzochte percelen geschikt blijken. Om snel geschikte bodems te creëren zal dus ofwel diep ontgrond moeten worden, ofwel lang uitgemijnd worden (zie Fig. 88 tot en met 95).

Het bereiken van stikstoflimitatie kan op vrij korte termijn gerealiseerd worden, doordat natte bodems (zeker in het geval veel organisch materiaal voorhanden is) het in de bodemoplossing aanwezige nitraat kunnen verwijderen door het denitrificatieproces. In natte bodems wordt ook het mineralisatieproces sterk vertraagd, waardoor weinig stikstof wordt vrijgesteld vanuit organisch materiaal. Ook kaliumlimitatie kan men blijkbaar vrij snel bereiken door een klassiek maai-beheer (referenties in Van Duren en Pegtel 2000). Of dit op elk bodemtype kan is niet duidelijk. Wellicht is dit op zandbodem eerder haalbaar dan op kleibodem.

Voor de ontwikkeling van het drogere graslandtype glanshavergrasland stelt het probleem van verpitrussing zich niet. De streefwaarden zijn ook duidelijk: de biobeschikbare ( $P_{\text{Olsen}}$ ) concentraties liggen best lager dan  $15\text{-}18 \text{ mg.kg}^{-1}$ . De uitgangssituatie is momenteel vrij hopeloos, en er zal ofwel ontgrond ofwel lang uitgemijnd moeten worden om de doelstellingen te bereiken. Sommige percelen, die nu onder bos gelegen zijn, hebben wel potentie tot ontwikkeling van dit graslandtype.

Om het succes van het verschrallingsbeheer via uitmijnen of maaien te evalueren kan een monitoring in de tijd van een aantal percelen zeer nuttig zijn. Daartoe kan men, afhankelijk van het beschikbare budget, een selectie maken van een tiental percelen. Op deze percelen kan men met een frequentie van bijvoorbeeld vijf jaar bodemstalen nemen welke dan best geanalyseerd worden op biobeschikbaar P, actief P, totaal P, totaal Fe en totaal S en bodemzuurtegraad (dit laatste enkel in het geval van maaibeheer). Met deze parameters kan inzicht bekomen worden in de snelheid en efficiëntie van het uitgevoerde verschrallingsbeheer. De biobeschikbare P concentraties geven inzicht in de P pool die binnen het huidige groeiseizoen beschikbaar is voor de vegetatie. Met de actieve P pool wordt informatie bekomen van de hoeveelheid P die reeds via het verschrallingsbeheer werd verwijderd. Met de totale concentraties P, Fe en S kan men tenslotte evalueren of de (Fe-S)/P ratio en het risico op nalevering door vernatting wijzigden.

## 15. Referenties

- Beltman B., Smolders A. & Vermaat J. 2009. Waterberging en natuurtonwikkeling op veenweidegronden. De rol van nutriënten. *Landschap*, 26, 95-102
- Boers P. & Uunk J. 1990. Methode voor het inschatten van de nalevering van fosfaat door de waterbodem na vermindering van de externe belasting. Lelystad, nota Rijkwaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA nr. 90.032
- Critchley CNR., Chambers BJ., Fowbert JA., Sanderson RA., Bhogal A., Rose SC. 2002. Association between lowland grassland plant communities and soil properties. *Biological Conservation*, 105(2), 199-215.
- DeAngelis D L 1992 Dynamics of nutrient cycling and food webs. Chapman & Hall, London. 270 p.
- Dupouey JL., Dambrine E., Laffite JD., Moares C. 2002. Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. *Ecology* 83: 2978-2984
- Fagan KC., Pywell RF., Bullock JM. & Marrs RH. 2008. Do restored calcareous grasslands on former arable fields resemble ancient targets? The effect of time, methods and environment on outcomes. *Journal of Applied Ecology* 45: 1293-1303.
- Geurts JJM., Smolders AJP, Verhoeven JTA., Roelofs JGM. & Lamers LPM 2008. *Freshwater biology* 53: 2101-2116
- Giesen & Geurts, 2007. De fosfaattoestand van de bodem in de Breedbroeken. Inrichtingsmogelijkheden voor het natuurontwikkelingsgebied de Breedbroeken op basis van de fosfaatverzadiging. Opdrachtgever Dienst Landelijk Gebied, Regio Zuid, Tilburg
- Gowing DJG., Tallowin JRB., Dise NB., Goodyear J., Dodd ME., Lodge RJ. 2002. A review of the ecology, hydrology and nutrient dynamics of floodplain meadows in England. *English nature Reports* 2002, number 446.
- Grime JP. 2001. Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Huybrechts W., De Becker P., De Bie E. & Callebaut J. Flawet 1.0. Database Flanders Wetland Sites.
- Janssens F., Peeters A., Tallowin JRB., Bakker JP., Bekker RM., Fillat F. & Oomes MJM. 1998. Relationship between soil chemical factors and grassland diversity. *Plant and Soil* 202: 69-78.
- Jensen HS., kristensen P., Jeppesen E. & Skytthe A. 1992. Iron:Phosphorus ratio in surface sediment as an indicator of phosphate release from aerobic sediments in shallow lakes. *Hydrobiologia* 235-236: 731-743
- Kemmers R., Grootjans A., Bakker M., Baaijens GJ., Nijp J. & van Dijk G. 2007. Leidt bevoeiing van schraallanden tot eutrofiëring. *De Levende Natuur* 108: 127-131
- Koerner W., Dupouye JL., Dambrine E., Benoit M. (1997). Influence of past land use on the vegetation and soils of present day forest in the Vosges mountains, France. *Journal of Ecology* 85: 351-358
- Koerselman W & Verhoeven J T A 1995 Eutrophication of fen ecosystems: external and internal nutrient sources and restoration strategies. *In Restoration of Temperate Wetlands*. Eds BD Wheeler, SC Shaw, WJ Fojt and RA Robertson. pp 91-112. Wiley, Chichester.
- Koopmans, G.F., Oenema, O. & Riemsdijk, W.H. Van. (2004c) Characterization, desorption, and mining of phosphorus in noncalcareous sandy soils., Universiteit Wageningen, Doctoral thesis, 168.

- Lamers L., Lucassen E., Smolders F. & Roelofs J. 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij "nieuwe natte natuur". *H<sub>2</sub>O* 17: 28-30
- Lamers LPM., Falla SJ., Samborska EM., van Dulken IAE., van Hengstum G. & Roelofs JGM. 2002. Factors controlling the extent of eutrophication and toxicity in sulfate-polluted freshwater wetlands. *Limnology & Oceanography* 47: 585-593
- Lamers LPM., Tomassen HBM., Roelofs JGM. 1998. Sulfate-induced eutrophication and phytotoxicity in freshwater wetlands. *Environmental Science and Technology* 32: 199-205
- Loeb R. & Verdonchot PFM. 2009. Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Werkdocument 128. Wettelijke onderzoekstaken Natuur & Milieu, Wageningen.
- Lucassen E (2004). Biogeochemical constraints for restoration of sulphate-rich fens. Ph.D. thesis. Radboud University Nijmegen, 150 pp
- Lucassen E., Smolders A., Gerats R., Brouwers E., van den Munckhof P. & Roelofs J. 2008. Het herstel van de valkenbergvennen vanuit voormalige landbouwgronden. *De Levende Natuur* 109: 163-168.
- Oosterbaan, A., J.J. de Jong & A.T. Kuiters, 2008. Vernieuwing in ontwikkeling en beheer van natuurgraslanden op voormalige landbouwgrond op droge zandgronden Wageningen, Alterra, Alterra rapport 1669. 57 blz.
- Runhaar J, Jansen PC. 2004. Overstroming en vegetatie; Vergelijkend onderzoek in vijf beekdalallocaties. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1079. 77p.
- Sival, F., Chardon, W., & van Rooij, M. 2007. Fosfaat en natuurontwikkeling op voormalige landbouwgronden in de provincie Zeeland. (Alterra-rapport 1495): Wageningen UR.
- Smolders A., Lucassen E., Tomassen H., Lamers L. & Roelofs J. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, April, 5-11.
- Smolders AJP., Lucassen E., Bobbink R., Roelofs JGM. & Lamers LPM. 2010. How nitrate leaching from Agricultural lands provokes phosphate eutrophication in groundwater fed wetlands: the sulphur bridge. *Biogeochemistry* 98: 1-7
- Stevenson & Cole 1999. Cycles of soil. Carbon, Nitrogen, Phosphorus, sulfur, micronutrients. New York, Wiley & Sons, Inc, 427 pp
- Van Aert M. 2010. Ecohydrologisch onderzoek in de Moervaart- en Kalevallei in functie van natuurontwikkeling van robuuste natuurkernen in het kader van de natuurbehoudsdoelstellingen van de Gentse Zeehaven. Ecohydrologische modellering NICHE Vlaanderen.
- Van de Riet BP., Barendregt A., Brouns K., Hefting MM. & Verhoeven JTA. 2009. Nutrient limitation in species-rich Calthion grasslands in relation to opportunities for restoration in a peat meadow landscape. *Applied Vegetation Science*, 1, 1-11.
- Van Delft SPJ., de Groot WJM. & Chardon WJ. 2006. Bemonstering landbouwgronden en bepaling van de beschikbaarheid van fosfaat in verband met voorgenomen natuurontwikkeling. Karakterisering van 7 terreinen in de provincie Limburg. Alterra, Wageningen. Alterra-rapport 1332: <http://www2.alterra.wur.nl/Webdocs/PDFFiles/Alterraraapporten/AlterraRapport1332.pdf>
- Van Duren IC. & Pegtel DM. 2000 Nutrient limitations in wet, drained and rewetted fen meadows: evaluation of methods and results. *Plant and Soil* 220, 35-47.



Van Gerven LPA., Hendriks RFA., Harmsen J., Beumer V. & Bogaart PW. 2011. Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem. Metingen in het veengebied Krimpenerwaard. Alterra-rapport 2217, Reeks Monitoring stroomgebieden 23. Alterra, Wageningen UR.

Vandenbussche V., T'Jollyn F., Zwaenepoel A., Vanhecke L. & Hoffmann M. 2002a. Systematiek van natuurtypen voor de biotopen heide, moeras, duin, slik en schor. Deel 3: Moeras. Verslag van het Instituut voor Natuurbehoud 2002.14. ONDERZOEKSOPDRACHT MINA 102/99/01. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Natuur

Wassen MJ., Olde Venterink HGM. & De Swart EOAM. 1995 Nutrient concentrations in mire vegetation as a measure of nutrient limitation in mire ecosystems. *J. Veg. Sci.* 6, 5–16.

Wassen MJ., Venterink HO., Lapshina ED. & Tanneberger F. 2005. Endangered plants persist under phosphorus limitation. *Nature* 437: 547-550.

Weijters M. & Bobbink R. 2010. Studie van de bodemchemie en oppervlaktewaterkwaliteit in het natuurinrichtingsproject Zoerselbos. Eindrapport, rapportn° 2010.8

Zwaenepoel A., T'Jollyn F., Vandenbussche V. & Hoffmann M. (2002a). Systematiek voor natuurtypen voor Vlaanderen. 6.3 Graslanden, Natte hooilanden op (matig) voedselarme gronden. Verslag van het Instituut voor Natuurbehoud 2002.14. ONDERZOEKSOPDRACHT MINA 102/99/01. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Natuur

Zwaenepoel A., T'Jollyn F., Vandenbussche V. & Hoffmann M. (2002a). Systematiek voor natuurtypen voor Vlaanderen. 6.4 Graslanden, Graslanden op (matig) voedselrijke gronden. Verslag van het Instituut voor Natuurbehoud 2002.14. ONDERZOEKSOPDRACHT MINA 102/99/01. Studie in opdracht van het Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Administratie Milieu-, Natuur-, Land- en Waterbeheer, Afdeling Natuur