

**Onderzoek naar mogelijkheden voor creatie van open
water in de depressie van de Moervaart (zone
Wulfsdonk) in relatie tot fosfor**

Eindverslag (augustus 2013)

Auteurs: An De Schrijver, Stephanie Schelfhout & Kris Verheyen

Inhoud

1. Probleemstelling.....	3
2. Doelstelling.....	3
3. Methodiek van staalname.....	3
4. Chemische analyses.....	4
5. Bodemtypes binnen het onderzoeksgebied.....	4
6. Theoretische achtergrond: Creatie van helder open water.....	6
6.1 Nalevering van fosfor naar het oppervlaktewater vanuit de waterbodem.....	6
6.2 Streefwaarden voor de ontwikkeling van open water.....	7
7. Bodemkarakteristieken van de percelen te Wulfsdonk.....	9
7.1 Bodemzuurtegraad.....	9
7.2 Percentage koolstof (C) in de bodem.....	11
7.3 Concentratie aan totaal ijzer (Fe) in de bodem.....	14
7.4 Concentratie aan totaal calcium (Ca) in de bodem.....	17
7.5 Concentratie totaal fosfor (P) in de bodem.....	20
7.6 Concentratie actief fosfor (P) in de bodem.....	22
7.7 Concentratie biobeschikbaar fosfor (P) in de bodem.....	25
8. Risico op nalevering van P door waterbodems.....	29
9. Mogelijke maatregelen ter creatie van open water.....	32
10. Besluit.....	33
11. Referenties.....	34

1. 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. 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 het risico dat in de toekomst ten gevolge van interne eutrofiëring open water verontreinigd wordt met fosfaten. Kennis van de uitgangssituatie 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.

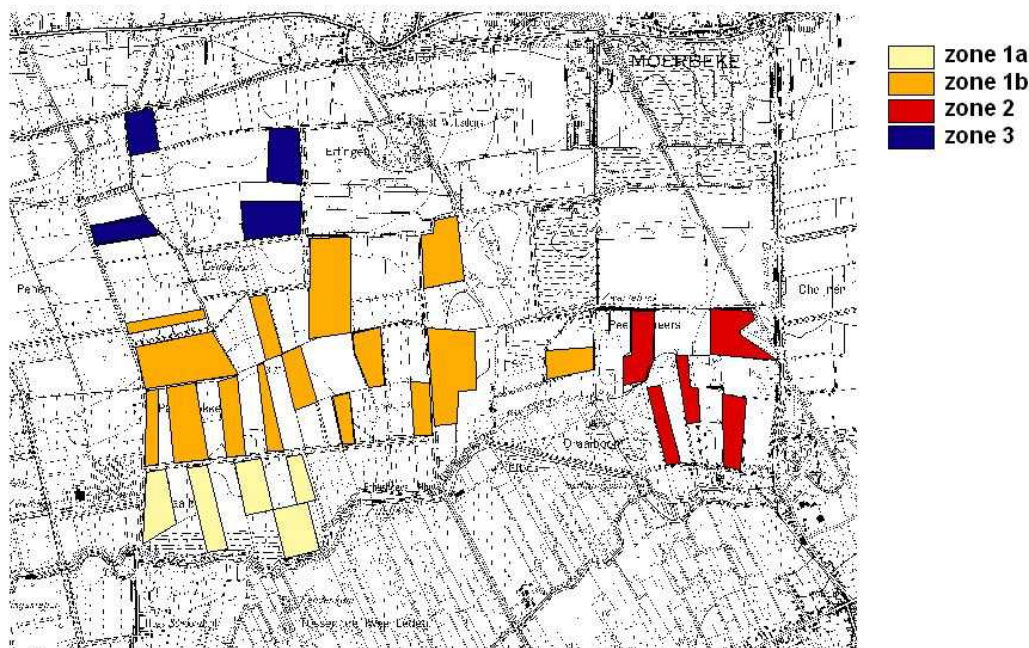
2. Doelstelling

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 zeggenvetatie, 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.

Binnen deze studie wordt gekeken naar de mogelijkheid tot de creatie van helder open water, waarbij de nalevering van fosfaten uit de waterbodem te voorkomen is. Dit onderzoek brengt de huidige concentraties aan biobeschikbaar en actief fosfor (P), alsook de kans dat fosfor door vernatting gemobiliseerd wordt. 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, alsook in functie van het voorstellen van maatregelen ter realisatie van de doelstellingen (ontgronden versus uitmijnen).

3. Methodiek van staalname

24 percelen werden bemonsterd tot een diepte van 50 cm, met een onderverdeling van 10 cm. Fig. 1 geeft een overzicht van de 4 zones waarin stalen genomen werden. Per perceel werd een mengmonster genomen van 6 bodemsteken voor de kleine percelen, en 8 bodemstalen voor de grotere percelen.



Figuur 1: Locatie van de percelen, met aanduiding van de zone waarin de percelen zich bevinden

4. Chemische analyses

De bodemstalen werden gedroogd onder geforceerde ventilatie bij 40°C, gehomogeniseerd, vermalen en gezeefd over een 1 mm zeef. De totale gehalten aan P, ijzer (Fe) en calcium (Ca) werden bepaald na totale destructie van de bodem in HClO_4 , HNO_3 en H_2SO_4 in teflonpotten bij 140°C (totaal P). Het binnen het groeiseizoen beschikbaar gehalte aan P werd bepaald na extractie van de bodem in NaHCO_3 (P_{Olsen} , methode van Olsen). Het 'actief' P werd bepaald na extractie in een ammoniumoxalaat-oxaalzuuroplossing (oxalaat-P). De bepaling van de P-concentraties gebeurde colometrisch volgens de malachiet-kleuring. De bepaling van Fe en Ca gebeurde via atomaire absorptiespectrometrie (AAS). De zuurtegraad van de bodem werd gemeten via bepaling van pH- H_2O . Het totaal gehalte aan koolstof (als proxy voor het gehalte aan organisch materiaal), stikstof (N) en zwavel (S) werd bepaald via CNS element-analyse.

5. Bodemtypes binnen het onderzoeksgebied

De Moervaartdepressie werd gevormd op het einde van de laatste ijstijd (Würm, 10000 jaar geleden) (De Beelde 2006). De fluviaatiele insnijding in de oude eolische dekzanden die afgezet werden tijdens het pleniglaciaal ging gepaard met een daling van de grondwatertafel. Deze fluviaatiele werking viel nagenoeg stil door de algemene verdroging van het klimaat. Daarna volgde een hernieuwde fluviaatiele 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 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 gytta genoemd, is in bijna gans de moervaartdepressie terug te vinden.

Het merendeel van de percelen bevinden zich op mergel (Fig. 2). Sommige percelen bestaan geheel en gedeeltelijk uit vochtig tot nat zandleem en klei (Fig.2). In sommige percelen komt ook veen voor. Drie percelen blijken van antropogene oorsprong te zijn (wellicht baggerspecie) (zie Fig. 2).



Figuur 2: Kaart met aanduiding van het bodemtype per perceel

6. Theoretische achtergrond: Creatie van helder open water

6.1 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 fosfaatnalevering 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 gesedimenteerd 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^-) 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 waterbodemvocht 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.

6.2 Streefwaarden voor de ontwikkeling van open water

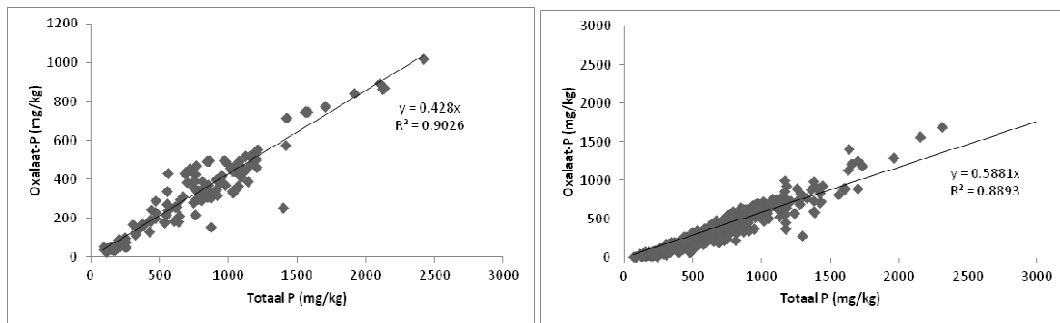
Om aan te geven of waterbodems fosfaat kunnen naleveren worden waterbodem geclassificeerd als eutroof versus niet-eutroof. Eutrofe bodems worden dan verondersteld om fosfaat na te leveren (Tonkes 2006). Om te bepalen of er sprake is van een eutrofe waterbodem moeten het totaal P en het totaal Fe-gehalte in de waterbodem gemeten worden. Zolang de waterbodem ca. 15 tot 18 keer zoveel ijzer bevat dan fosfaat zal volgens Boers en Uunk (1990) geen nalevering van fosfaat plaatsvinden. Een waterbodem 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 best gecorrigeerd worden voor de aanwezigheid van zwavel in de bodem. In gereduceerde bodems kan vorming van FeS of FeS₂ 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.

In kalkrijke bodems wordt fosfor ook gebonden aan calcium (Ca). De bovenstaande ratio's zijn in kalkrijke bodems wellicht te streng. In de literatuur kunnen geen indicatoren teruggevonden worden om op kalkrijke bodems het risico voor fosfaatnalevering in te schatten. De hoeveelheid P die gebonden is aan Ca wordt niet gemobiliseerd door vernatting (Christophoridis & Fytianos 2006). In deze bodems wordt het risico voor fosfaatnalevering ook bepaald door de fosfaten die geadsorbeerd zijn aan Fe. Echter, in kalkrijke bodems zal de fractie van de totale P-stock die gebonden ligt aan Fe kleiner zijn dan in niet-kalkrijke bodems. Door gebruik te maken van de totale P-pool in de hierboven vermelde ratio wordt het risico op nalevering wellicht overschat. Volgens ons kunnen bovenstaande ratio's best gecorrigeerd worden voor de hoeveelheid P die in dit type bodems extra vastligt aan Ca. Om in te kunnen schatten hoeveel P precies geadsorbeerd is aan Ca versus Fe en Al werd op de bodems van Wulfsdonk een sequentiële fractionatie uitgevoerd. Van de totale P pool werd vastgesteld dat gemiddeld zo'n 28% van de totale P-pool geadsorbeerd is aan Fe en Al, terwijl gemiddeld 38% geadsorbeerd is aan Ca. Voor de bodems van de zone Moervaart-N, Moervaart-Z en Mendonk zijn geen gegevens van sequentiële fractionaties beschikbaar. Echter, voor andere landbouwbodems gelegen op niet-kalkrijke bodems werd vastgesteld dat tussen 16 en 25% van de totale P-pool geadsorbeerd is aan Ca (De Schrijver et al. in voorbereiding). We kunnen dus veronderstellen dat in Wulfsdonk zo'n 13 tot 20% (gemiddeld 16%) meer P geadsorbeerd is aan Ca dan in de zone Moervaart-N, Moervaart-Z en Mendonk. Een vergelijking van het percentage actief P (oxalaat-P) geeft bovendien aan dat in Wulfsdonk gemiddeld zo'n 43% van het totaal P actief is, terwijl dit voor de percelen in de zone Moervaart-Noord, Moervaart-Zuid en Mendonk, waar geen moeraskalk voorkomt, gemiddeld zo'n 59% is (Fig. 3).

Omwille van het gebrek aan concrete literatuur werd daarom de volgende werkwijze gevolgd: de (Fe-S)/P-ratio werd als volgt gecorrigeerd: $(Fe-S)/(0.84 \cdot P)$, waarbij we veronderstellen dat in deze bodems zo'n 16% meer P geadsorbeerd is aan Ca in vergelijking met niet-kalkrijke bodems. Deze 16% werd van de totale concentraties P afgetrokken omdat deze fractie zeker niet vrijkomt bij vernatting. Hierbij

willen we benadrukken dat deze manier van werken een louter theoretische benadering is, niet gevalideerd werd en dat bijkomende studie noodzakelijk is.



Figuur 3: Relatie tussen de concentraties totaal P en actief P (oxalaat-P) in de zone Wulfsdonk (links) en de zones Moervaart-N, Moervaart-Z en Mendonk (rechts)

7. Bodemkarakteristieken van de percelen te Wulfsdonk

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

7.1 Bodemzuurtegraad

Onderstaande figuren tonen de bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH) van de verschillende percelen. Hoe hoger de pH-waarde, hoe lager de zuurtegraad, en hoe beter de bodem dus gebufferd is tegen verzurende processen. Uit onderstaande figuren blijkt dat de bodempH van het merendeel van de percelen hoger ligt dan 8, een gevolg van de aanwezigheid van moeraskalk (mergel). In de diepere bodemlagen komen zelfs pH-waarden voor van bijna 10.



Figuur 4: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H₂O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 0-10 cm



Figuur 5: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H₂O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 6: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H₂O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 7: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H₂O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 8: Bodemzuurtegraad (uitgedrukt als bodempH-H₂O) van de verschillende percelen van de bodemlaag 40-50 cm

7.2 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 eveneens 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.

Het percentage C in de bodem varieert tussen minder dan 2% in zone 2 en meer dan 10% in zones 1a, 1b en 3. In de percelen met hoge percentages C komt veen voor.



Figuur 9: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 0-10 cm van de verschillende percelen



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



Figuur 11: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 20-30 cm van de verschillende percelen



Figuur 12: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 30-40 cm van de verschillende percelen



Figuur 13: Percentage koolstof (C) van de bodemlaag 40-50 cm van de verschillende percelen

7.3 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 fosfaatnalevering vanuit de onderwaterbodem groot (zie verder).

De Fe-concentraties variëren tussen minder dan 5000 mg.kg⁻¹ in zone 2 en meer dan 20000 mg.kg⁻¹ in zone 3. In de diepere bodemlagen (30-50 cm) komt minder Fe voor dan in de bovenste bodemlaag (0-30 cm).



Figuur 14: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in mg.kg⁻¹) van de bodemlaag 0-10 cm



Figuur 15: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in mg.kg⁻¹) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 16: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 20-30 cm



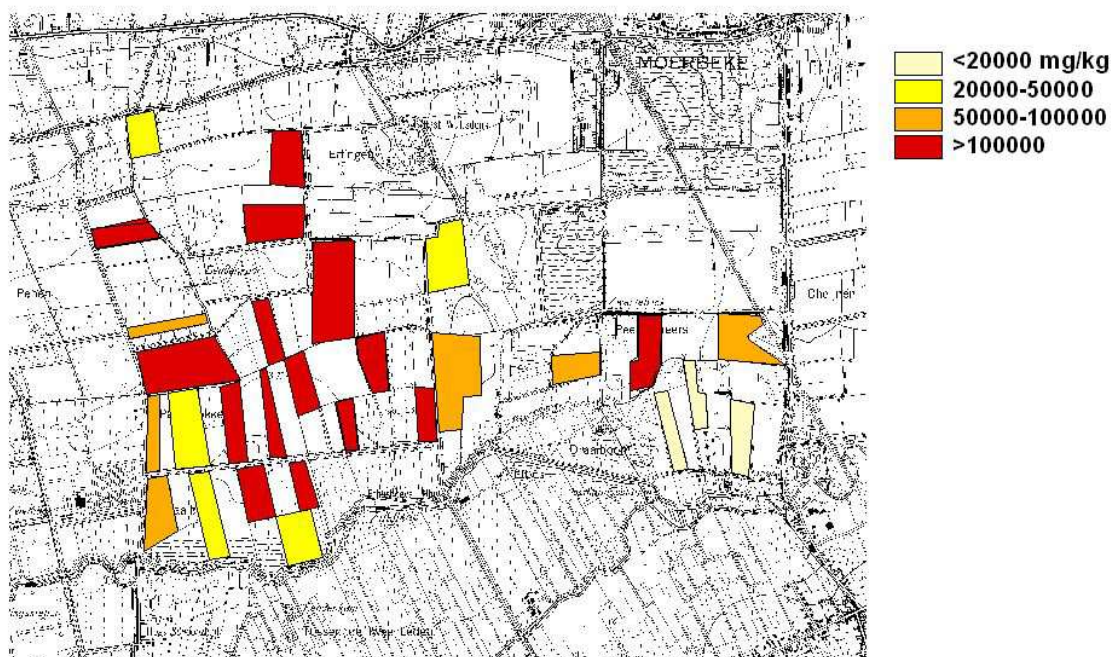
Figuur 17: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 30-40 cm



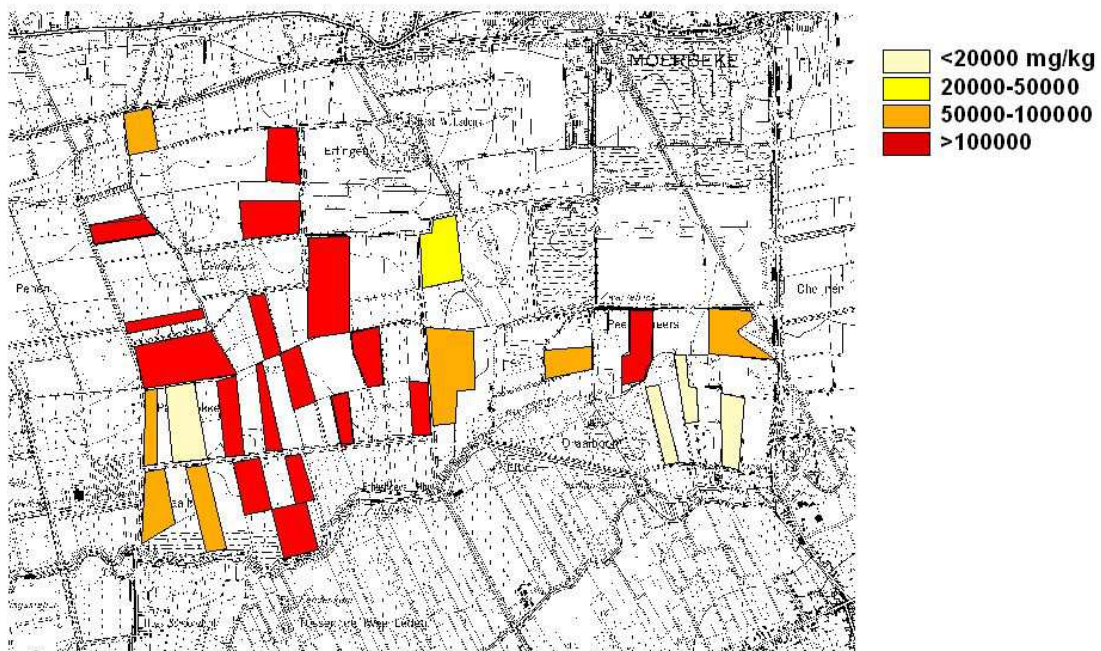
Figuur 18: Concentratie aan totaal ijzer (Fe) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 40-50 cm

7.4 Concentratie aan totaal calcium (Ca) in de bodem

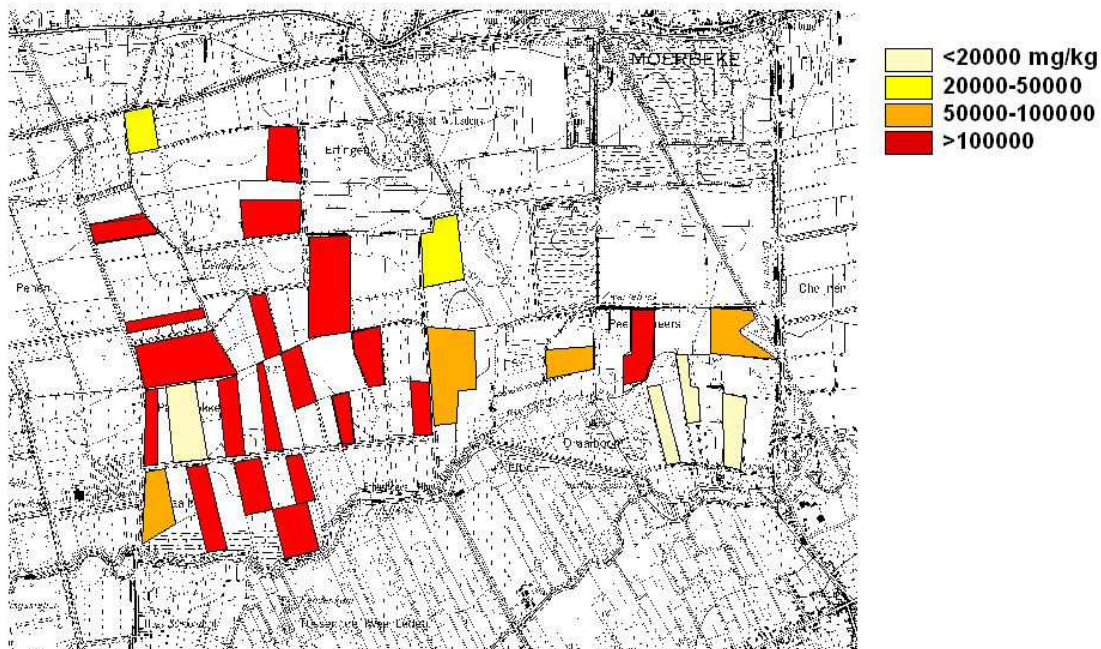
De aanwezigheid van moeraskalk in de bodem uit zich in zeer hoge concentraties aan calcium (Ca) in de bodem. In zone 2 komen de laagste Ca-concentraties voor (<20000 mg/kg), terwijl in zones 1b en zone 3 percelen voorkomen met Ca-concentraties van meer dan 100000 mg/kg .



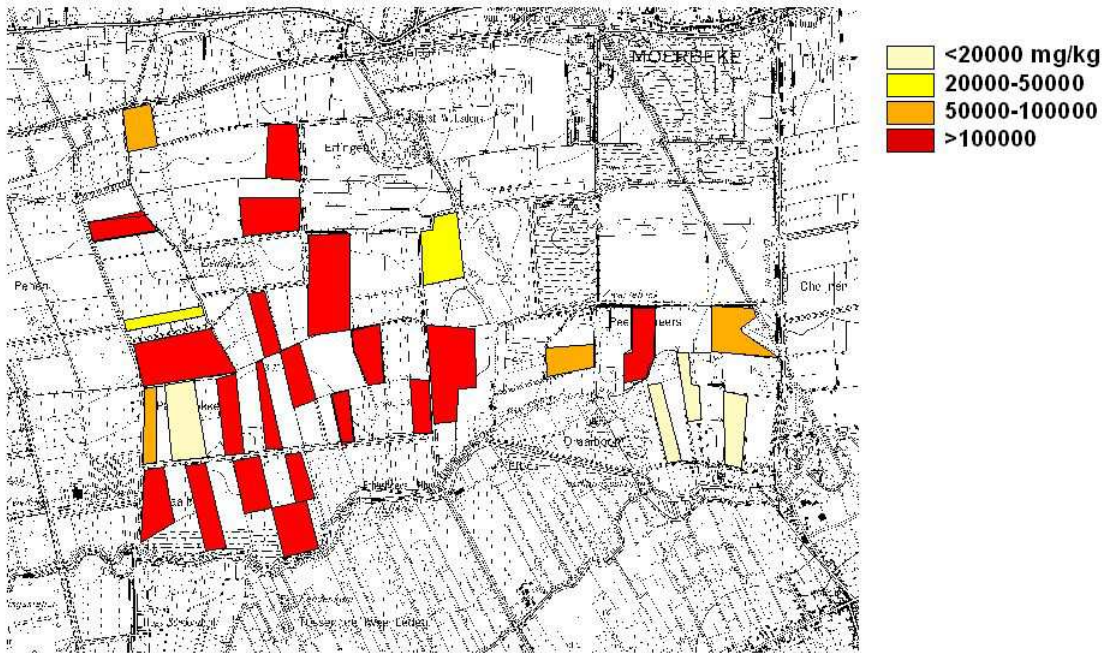
Figuur 19: Concentratie aan totaal calcium (Ca) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 0-10 cm



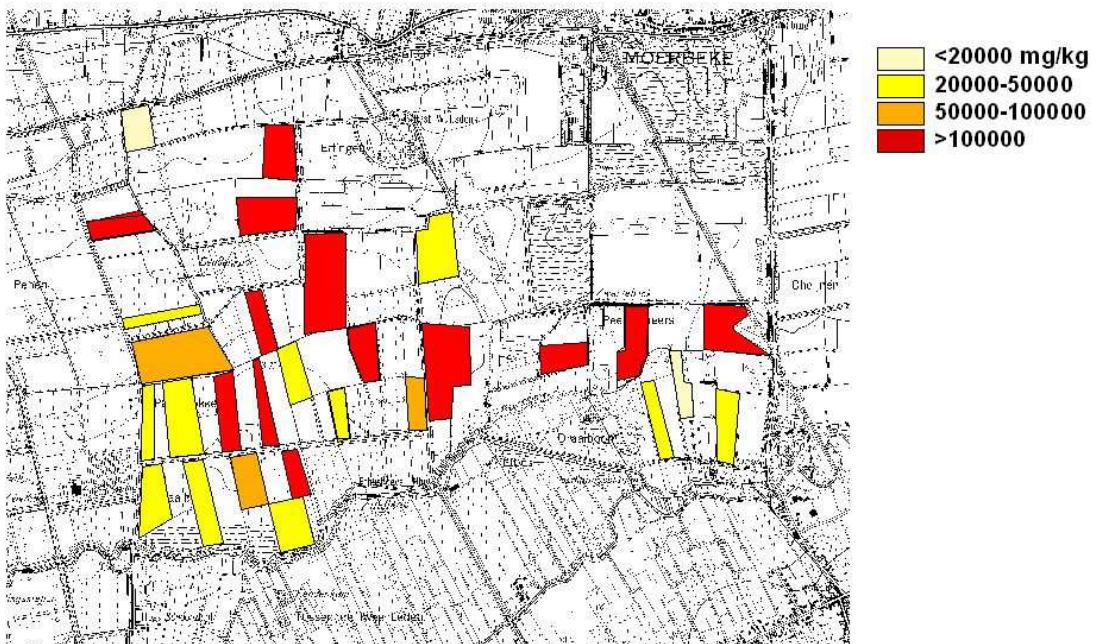
Figuur 20: Concentratie aan totaal calcium (Ca) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 21: Concentratie aan totaal calcium (Ca) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 22: Concentratie aan totaal calcium (Ca) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 23: Concentratie aan totaal calcium (Ca) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 40-50 cm

7.5 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 belangrijk 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 (zie verder).

De totale concentraties aan P variëren tussen minder dan 500 mg/kg en meer dan 1500 mg/kg. Deze hoogste waarden werden vastgesteld in twee percelen gelegen in de zone 1b. De bodem van deze laatste percelen zijn volgens de bodemkaart van antropogene oorsprong, mogelijks gaat het hier om gestorte baggerspecie. Tot op een diepte van 50 cm liggen de P-concentraties van beide percelen zeer hoog.



Figuur 24: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 0-10 cm



Figuur 25: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 26: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 27: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 28: Concentratie aan totaal fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 40-50 cm

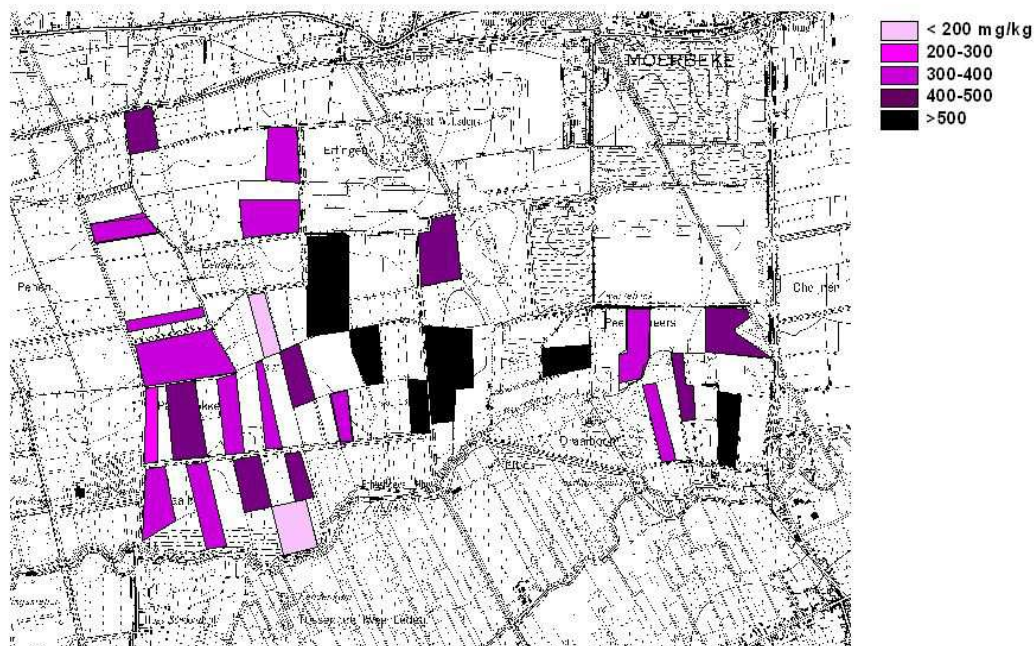
7.6 Concentratie actief fosfor (P) in de bodem

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 ook Figuur 3). De metingen van oxalaat-P geeft een idee van de P-pool die bij vernatting

kan vrijkomen. De concentraties kunnen ook gebruikt worden om de noodzakelijke duur van uitmijnen te bepalen voor de ontwikkeling van soortenrijke graslanden in het gebied. Deze berekeningen werd in het kader van deze studie echter nog niet uitgevoerd. De actieve P-concentraties variëren tussen minder dan 200 en meer dan 500 mg/kg.



Figuur 29: Concentratie aan actief fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 0-10 cm



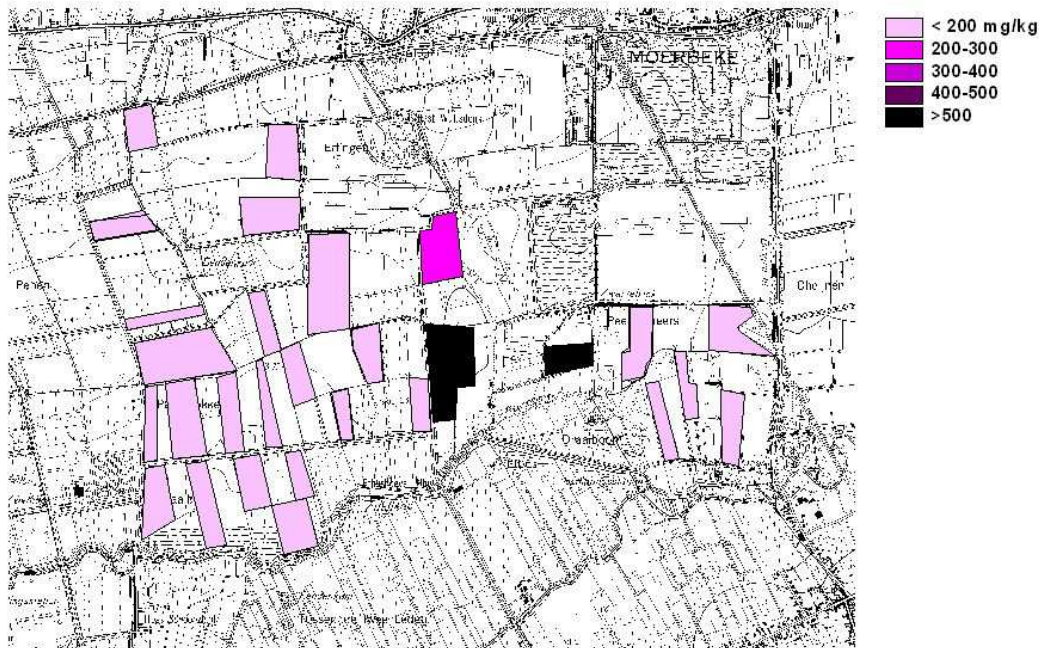
Figuur 30: Concentratie aan actief fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 31: Concentratie aan actief fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 32: Concentratie aan actief fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 33: Concentratie aan actief fosfor (P) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 40-50 cm

7.7 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. 34). Gemiddeld is zo'n 9% van de totale P-pool biobeschikbaar.

De concentraties biobeschikbaar P variëren sterk, tussen minder dan 25 mg/kg op een mooi ontwikkeld soortenrijk graslandje in de zone 1a, en meer dan 100 mg/kg in zone 1b (antropogene bodem). Op twee bodems in de zone 1b blijven de biobeschikbare P-concentraties hoog tot op 50 cm diepte. Mogelijks betreft het hier met bagger opgehoogde percelen.



Figuur 34: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor (P) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 0-10 cm



Figuur 35: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor (P) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 10-20 cm



Figuur 36: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 20-30 cm



Figuur 37: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor (P) (in mg.kg^{-1}) van de bodemlaag 30-40 cm



Figuur 38: Concentratie aan biobeschikbaar fosfor (P) (in $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) van de bodemlaag 40-50 cm

8. 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 lager te liggen dan 1360 mg.kg^{-1} . Ten tweede dient de P/Fe- of de (Fe-S)/P-ratio gunstig te zijn (zie § 6.1). Onderstaande figuren tonen de geschiktheid van de bodem op verschillende dieptes. Groene percelen zijn in functie van deze indicatoren geschikt voor de creatie van open water, de rode percelen niet.

De totale P concentraties zijn in een groot gedeelte van de onderzochte percelen lager dan de vereiste maximumwaarde van 1300 mg.kg^{-1} . Enkel in de zone 1b liggen (met bagger?) opgehoogde percelen die vanaf 30 cm diepte nog altijd niet aan deze norm voldoet. De (Fe-S)/(0.84*P)-ratio ligt voor een groot aantal percelen lager dan de minimale streefwaarde van 10. Zelfs op een diepte van 30 tot 40 cm voldoen nog altijd een aantal percelen gelegen in de zone 1b niet aan deze streefwaarde.

Zeven percelen gelegen in zone 1b en zone 3 voldoen in de bovenste 0-10 cm al aan beide criteria (zie Fig. 39). Vanaf 30 cm blijken de meeste percelen geschikt te zijn, uitgezonderd de percelen van antropogene oorsprong in zone 1b.



Figuur 39: Geschiktheid van de percelen op diepte 0-10 cm voor het ontwikkelen van open water



Figuur 40: Geschiktheid van de percelen op diepte 10-20 cm voor het ontwikkelen van open water



Figuur 41: Geschiktheid van de percelen op diepte 20-30 cm voor het ontwikkelen van open water



Figuur 42: Geschiktheid van de percelen op diepte 30-40 cm voor het ontwikkelen van open water



Figuur 43: Geschiktheid van de percelen op diepte 40-50 cm voor het ontwikkelen van open water

9. Mogelijke maatregelen ter creatie van open water

In dit deel wordt met kaartjes voorgesteld hoe via ontgronden (Fig. 44) en uitmijnen (Fig. 45) de noodzakelijke abiotiek kan bekomen worden voor de creatie van open water. Voor de bepaling van de diepte van ontgronden werden de (Fe-S)/P ratios van de verschillende bodemlagen getoetst aan de streefwaarden. De methode voor de berekening van de duur van uitmijnen wordt besproken in De Schrijver et al. (2013).



Figuur 44: Benodigde diepte van ontgronden om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodem



Figuur 45: Benodigde duur van uitmijnen om de percelen geschikt te maken als onderwaterbodem

10. Besluit

In deze studie werd voor 24 percelen gelegen in de zone Wulfsdonk bekeken of ze geschikt zijn voor de creatie van open water. Daartoe werden bodemstalen genomen tot 50 cm diepte, met een frequentie van 10 cm (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 en 40-50 cm). Per bodemlaag van 10 cm werd nagegaan of deze laag voldoet aan de criteria ter creatie van open water. Deze criteria zijn gebaseerd op (i) de totale P-concentraties < 1360 mg/kg en (ii) de (Fe-S)/P-ratio > 10 . Omdat de bodems van dit studiegebied zeer kalkrijk zijn (mergel), is het aannemelijk dat deze bovenstaande criteria te streng zijn. Het gedeelte van de totale P-stock dat geadsorbeerd is aan Ca is immers niet redoxgevoelig, wat betekent dat deze fractie niet gemobiliseerd wordt bij vernatting. In de literatuur kan geen informatie gevonden worden welke criteria best gehanteerd worden op kalkrijke bodems. Daarom werd hier een werkwijze gehanteerd die de bovenstaande strenge criteria beperkt aanpast. We gebruiken hier het criterium (Fe-S)/(0.84*P)-ratio > 10 , waarbij verondersteld wordt (gebaseerd om sequentiële fractionaties van de bodem) dat in dit type bodems zo'n 16% meer P geadsorbeerd is aan Ca in vergelijking met niet kalkrijke bodems. Mogelijks wordt nog een grotere fractie op inerte wijze aan Ca gebonden in de bodem. De aangepaste ratio is dus een vrij voorzichtige benadering (voorzichtigheidsprincipe). We willen hier verder wel benadrukken dat deze methode niet gevalideerd is, en dat voor dit type bodem verder diepgaand studiewerk noodzakelijk is.

Vanaf 30 cm diepte zijn de meeste percelen geschikt voor de creatie van open water (zie Fig. 39 tot 43). Vanaf 40 cm zijn quasi alle percelen geschikt. Dit betekent dat percelen mits 0, 10, 20, 30 of 40 cm afgraving geschikt worden, dus geen risico inhouden voor nalevering van P. Echter, het oostelijke deel van zone 1b kan wellicht beter niet weerhouden worden voor dit type natuur, omdat tot grote diepte hoge P-concentraties werden vastgesteld. Deze percelen zijn volgens de bodemkaart van antropogene oorsprong (zie Fig. 2, met bagger opgehoogd?). Figuur 44 geeft per perceel de te ontgronden diepte, terwijl in Fig. 45 bekeken werd hoe lang het duurt om via uitmijnen de geschikte bodem te creëren.

11. Referenties

- 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
- Christophoridis C. & Fytianos K. 2006. Conditions affecting the release of phosphorus from Surface lake Sediments. *Journal of Environmental Quality* 35: 1181-1192
- De Beelde 2006. <http://www.natuurpunt-zuid-waasland.be/moervaart.html>
- Geurts JJM., Smolders AJP, Verhoeven JTA., Roelofs JGM. & Lamers LPM 2008. *Freshwater biology* 53: 2101-2116
- 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
- Lamers L., Lucassen E., Smolders F. & Roelofs J. 2005. Fosfaat als adder onder het gras bij "nieuwe natte natuur". *H₂O* 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
- Smolders A., Lucassen E., Tomassen H., Lamers L. & Roelofs J. 2006. De problematiek van fosfaat voor natuurbeheer. *Vakblad Natuur Bos Landschap*, April, 5-11.
- 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.