



FACULTEIT BIO-INGENIEURSWETENSCHAPPEN

Afbakening van de fosfaatverzadigde gebieden in Vlaanderen op basis van een kritische fosfaatverzadigingsgraad van 35%

(VLM/MESTBANK/TWOL2006/MB2006/5)

Finaal rapport - deel 2, Kennislacunes

Dr. ir. J. Salomez, ir. S. De Bolle, Prof. Em. Dr. ir. G. Hofman & Prof. Dr. ir. S. De Neve

Onderzoeksgroep Bodemvruchtbaarheid en Nutriëntenbeheer

Vakgroep Bodembeheer en bodemhygiëne

1 Inleiding

In de voorbije decennia is de aanrijking van de Europese wateren met nutriënten van antropogene oorsprong (stikstof [N] en fosfor [P]) een belangrijk milieuprobleem geworden. Deze nutriënten dragen bij tot eutrofiëring en resulteren in een daling van de waterkwaliteit, zowel voor het gebruik ervan als drinkwater, recreatiewater en/of industriewater (Withers & Haygarth, 2007). De landbouw, samen met de industrie en de huishoudens, heeft hierin een belangrijk en vaak toenemend aandeel. Er werden immers reeds grote inspanningen gedaan voor het controleren en het verminderen van de P-verliezen bij puntbronnen. De diffuse bronnen van P-verlies hebben minder aandacht gekregen, in hoofdzaak omdat deze moeilijker te identificeren en te controleren zijn (Sharpley & Rekolainen, 1997).

In het verleden werden diffuse P verliezen naar het milieu dikwijls “algemeen” gezien als erosie van partikels waaraan fosfor gebonden is. Deze werden verder getransporteerd via oppervlakkige afspoeling (Chardon & Schoumans, 2007). Dit is ook het dominerende mechanisme en de hydrologische weg voor P-transport in hellende gebieden (Sharpley & Smith, 1990). In vlakke gebieden echter is oppervlakkige runoff van ondergeschikt belang. P-transport door het bodemprofiel speelt daar de dominante rol, hetgeen uiteindelijk kan leiden tot de aanrijking van het grondwater met fosfor (Koopmans et al., 2007). Door laterale stroming van het grondwater in drainagebuizen of door natuurlijke drainage kan ook de P-concentratie in het oppervlaktewater verhogen.

Ondanks deze algemene kennis, zijn er op dit ogenblik nog heel wat onzekerheden met betrekking tot de factoren die een effect kunnen hebben op de P-verliezen uit landbouwbodems en hoe deze gekwantificeerd kunnen worden. Hierna wordt een overzicht gegeven van kennislacunes over het P-gedrag in landbouwbodems en daaraan gerelateerde onderzoeksvragen.

2 P-verliezen door erosie

Ondanks de gematigde klimaatscondities in België en het voorkomen van eerder milde hellingen zijn verschillende streken in België gevoelig voor erosie door runoff. Dit heeft zowel on-site als off-site gevolgen (Schiettecatte, 2006). Voor fosfor wordt meestal vastgehouden aan de veronderstelling dat oppervlakkige runoff samen met de bodempartikels, de hoofdbron is van P-verliezen bij landbouwgronden (Sharpley et al., 1994).

Erosie kan eng gedefinieerd worden als het meevoeren van bodempartikels wanneer water zich over het bodemoppervlak beweegt. Grote P verliezen komen voor wanneer de bodem aangerijkt is met P, het grasland vertrapt is, waar er geen bedekkingsgewas is, etc. Er wordt algemeen aangenomen dat interrill-erosie een selectief transport van fijnere sedimentpartikels en nutriënten veroorzaakt, terwijl er bij rill-erosie geen selectiviteit in het sedimenttransport op te merken valt (Profitt & Rose, 1991)

De hoeveelheid P die gemobiliseerd wordt via oppervlakkige runoff is afhankelijk van veldkenmerken zoals infiltratiecapaciteit, ruwheid van het oppervlak, de vegetatie, hellingsgraad en de initiële concentratie van P in de bodem samen met de duur en intensiteit van de regenbui en de hoeveelheid erosie (Heathwaite, 1997). Op deze basis kan een onderscheid gemaakt worden in hoog- en laag-risicogebieden (Lemunyon & Gilbert, 1993). Een hoog risicogebied kan zich bv. bevinden naast een stroom; waarbij dit gebied gekenmerkt wordt door een lage infiltratiecapaciteit en een duidelijke bodemcompactie.

Gedurende het groeiseizoen (mei-augustus), wanneer de bodem bedekt is met een gewas dat nutriënten aan de bodem onttrekt en erosie tegenhoudt, is de erosie en nutriënt afvoerratio normaal gesproken klein. Een hogere afvoer komt voor bij een (hevige) regenbui net na een oppervlakkige voorjaarsbemesting op braakliggende grond of na de oogst, in de herfst bij het voorkomen van regenperioden (Puustinen et al., 2007). De jaarlijkse landbouwkundige “P-load” komt dan ook bijna volledig voor in de periode van de herfst tot de lente. De weersomstandigheden en de hydrologische factoren gedurende deze periode zijn de hoofdfactoren die de variatie van de “P-load” beïnvloeden (Puustinen et al., 2007).

Op basis van sedimentafzettingen in 13 wachtbekkens begrooten Verstraeten & Poesen (2002) de totale P-verliezen door erosie tussen 1.8 en 39.7 kg P (ha.j)⁻¹. Worden deze waarden vergeleken met het verlies dat kan optreden uit een P-verzadigde bodem -0.3 mg totaal P L⁻¹ bij een neerslagoverschot van 300 mm j⁻¹ stemt overeen met een verlies van 0.9 kg P (ha.j)⁻¹ - dan is het duidelijk dat de P-verliezen door erosie vaak hoger kunnen zijn dan de P-uitloging uit fosfaatverzadigde bodems. Bovendien kan door het opleggen van strengere P₂O₅-bemestingsnormen op fosfaatverzadigde bodems een herverdeling van de mestoverschotten naar omliggende gebieden plaatsvinden en dit kan daar in een aantal gevallen aanleiding geven tot grotere P-verliezen door runoff en erosie (Schiettecatte et al., 2007).

Verschiedende managementtechnieken toegepast op een bodem kunnen de kans op P-verliezen doen stijgen of dalen (Kothyari et al., 2004). Volgens Catt et al. (1997) zijn de beste managementmethodes voor het minimaliseren van P-verliezen gedurende nattere periodes minimale bodembewerking, waarbij de oogstresten op het veld blijven, en/of de gewassen op rijen dwars op de helling te telen. Ook Klik & Rosner (1997) vonden dat onder conventionele bodembewerkingen het P-verlies hoger was dan onder conserverende bodembewerkingen of no-till. Het plaatsen van een bedekkingsgewas of groenbemester gedurende de herfst en winterperiode is een te volgen optie aangezien het gewas de energie van de regen breekt waardoor de kans op erosie kleiner wordt.

Depositie, een proces volgend op erosie, is selectief en resulteert in een verrijking van fijne partikels in de runoff. Aangezien fosfor vooral geassocieerd wordt met die fijnere bodempartikels gaat als gevolg hiervan de potentiële P-aanrijking stijgen bij grotere afstanden (Quinton et al., 2001).

Voor het bepalen van de mogelijke erosie-risicogebieden kan de bodemerosie-risicokaart van Vlaanderen (Van Rompaey et al., 2000) een goede hulp zijn. Maar voor het aanduiden van actuele P-risicogebieden is de erosiekaart geen goede parameter aangezien P-bemesting en P-verzadiging veldspecifiek zijn (Schiettecatte, 2006).

3 P verliezen via drainage buizen

De P verliezen die zich voordoen via drainage buizen zijn qua principe te vergelijken met de verliezen via connectiviteit (zie verder). De aanwezigheid van drainagebuizen verbetert significant de stabiliteit van de bodemstructuur door het sneller verwijderen van het overtollige water op de percelen (zeer hoge connectiviteit). Maar het heeft een omgekeerd effect op de waterkwaliteit, aangezien er samen met het water een verhoogde nutriëntenafvoer (waaronder afvoer van fosfor) plaatsvindt (Dills & Heathwaite, 1999). Door het voorkomen van drainagebuizen heeft de bodem onvoldoende tijd om het water te filteren en er de nutriënten uit te halen (Sanchez Valero et al., 2007). Hierdoor wordt de fosfor samen met het water afgevoerd van de bodem naar een beek of sloot waarin de drainagebuis eindigt (Fig. 1).



Fig. 1: Outlet van een drainage buis (Zucker & Brown, 1998)

De lozing van het drainagewater in de beek kan gezien worden als een puntbron van P-verlies doordat het op één plaats in de beek of rivier terecht komt. De daarin aanwezige fosfor is echter van diffuse oorsprong, aangezien de meeste buizen over een lange afstand lopen en het onmogelijk is om na te gaan waar exact de fosfor in de buis terechtgekomen is.

Door Brookes et al. (1997) werd voor Vlaamse landbouwbodems een verband gegeven tussen de procentuele P-verzadiging (tot 90 cm) en de ortho-P-concentratie in drainbuizen (Fig. 2). Hoewel de gefitte curve in een gelijkaardig verband resulteerde als de theoretische curve, gaven waarden beneden 35% P-verzadiging steeds een P-concentratie lager dan $0.1 \text{ mg ortho P L}^{-1}$. Hoe hoger echter de P-verzadigingsgraad, hoe hoger de P-verliezen en hoe groter de afwijking t.o.v. de curve, met een absolute uitschieter bij 51% P-verzadigingsgraad ($2.47 \text{ mg ortho P L}^{-1}$). Deze waarde kon echter verklaard worden door de aanwezigheid van ondiepe drains (40 cm), waardoor de P-verzadigingsgraad wellicht onderschat werd (hoogste P-verzadiging komt meestal voor in de bouwvoor).

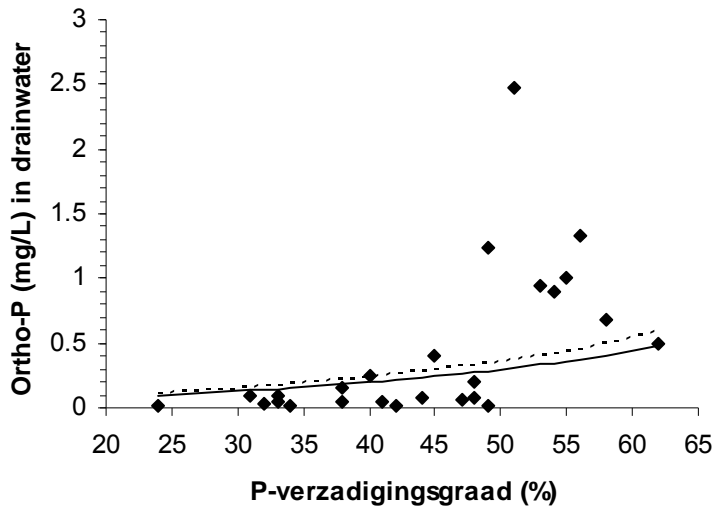


Fig. 2. Verband tussen de ortho-P concentratie in drainwater en de fosfaatverzadigingsgraad van landbouwbodems. De volle lijn geeft het theoretisch verband weer volgens Van der Zee et al. (1990), de streepjeslijn is het theoretisch model gefit aan de data (naar Brookes et al., 1997)

De patronen van P belasting in het effluent van de drainagebuizen zijn gerelateerd aan bepaalde factoren zoals type en tijdstip van bemesting (Dean & Foran, 1992; Haygarth, 1997; Gentry et al., 2000), voorafgaande vochtcondities (Kung et al., 2000), bodemtype en managementpraktijken (Beauchemin et al., 1998), etc. Stämpfli & Mandramootoo (2006) toonden aan dat significant grotere P-verliezen zich voordeden via drainagebuizen vergeleken met conventionele vrije drainage.

De P- en sedimentexport door drainagebuizen kan variëren op korte (binnenin een event) en op langere tijdschaal (Ulen, 1995; Dills & Heathwaite, 1999). Gedurende gewasirrigatie, (hevige) buien en smeltende sneeuw wordt het grootste P export via drainagebuizen gevonden. Meestal is een deel van de getransporteerde P afkomstig van een eerdere verplaatsing van P door preferentiële stroom van water aan het oppervlak doorheen macroporiën in de bodem (Haygarth, 1997; Stone & Krishnappan, 2002) maar dit fenomeen is niet altijd geobserveerd (Beauchemin et al., 1998).

Temporele variabiliteit wordt ook waargenomen op een grotere schaal (Ulen, 1995; Withers et al., 2003). Sanchez Valero et al. (2007) vonden de meeste P-verliezen in oktober door de stijgende P-concentraties en stijgende regenval. In de zomer waren de P-verliezen gereduceerd door een gereduceerde afvoer van water.

Managementpraktijken zoals het plaatsen van drainagestoppen, het optimaliseren van het tijdstip en de hoeveelheid van bemesting zouden volgens Macrae et al. (2007) onderzocht moeten worden als eventuele oplossingen om de nutriëntexport via drainagebuizen te minimaliseren. Sanches Valero et al. (2007) gaven een gelijklopende optie om de daling van “P-load” gedurende het ganse groeiseizoen te realiseren, namelijk zorgen dat er gedurende het ganse jaar minder water via de drainagebuis verdwijnt, waardoor er dichter bij het principe van vrije drainage aangeleund wordt.

4 Organische P verliezen

Opgeloste organische P (DOP) is afkomstig van resten van organisch materiaal en organische biomassa (Heathwaite, 1993). DOP is meer mobiel dan het opgelost anorganisch P (DRP, vooral orthofosfaat) en is een potentieel belangrijke P-bron voor eutrofiëring van het oppervlakte water.

Er bestaat maar weinig informatie over hoe de managementpraktijken een effect hebben op het transport van sommige componenten zoals opgelost organisch materiaal (Jiao et al., 2004). Resultaten van bodems die “organische mest” toegediend kregen, geven aan dat de DOP-fractie van belang is, aangezien deze fractie het grootste deel uitmaakt van de totale P in de bodemoplossing onder een diepte van 50 cm (Chardon, 1997).

DRP wordt algemeen aanzien als de grootste fractie van de totale hoeveelheid opgeloste P (TP) in het drainagewater en wordt beschouwd als direct opneembaar voor de algen in het oppervlaktewater. Maar studies toonden aan dat DRP niet noodzakelijk de grootste fractie is, aangezien er hoge DOP concentraties gevonden werden in de bodemoplossing (Chapman et al., 1997) en in het uitgespoelde water (Chardon et al., 1997). Daardoor speelt DOP wellicht een grotere rol in de “TP load” van het oppervlakte water dan algemeen aangenomen (McDowell & Koopmans, 2005). Whitton et al. (1991) vonden ook dat de hydrolyse van DOP voor de aquatische flora en fauna kan werken als een mechanisme om P te verkrijgen als DRP de groei limiteert.

5 Connectiviteit

Bij het onderzoek naar fosfaatuitspoeling is niet alleen de hoeveelheid toegediend fosfaat van belang, andere factoren spelen ook een rol. Eén van deze factoren is de ondergrondse topografie en hydrologie (Haygarth et al., 2005). Als er uitspoeling van fosfaat plaatsvindt, speelt het belang van de connectiviteit tussen de bodemlagen en de onderliggende watervoerende laag of aquifer een grote rol. Staat de bodemlaag in rechtstreeks contact met de aquifer, dan is de connectiviteit tussen beiden groot en is ook de kans op fosfaatuitspoeling groot (Fig. 3).

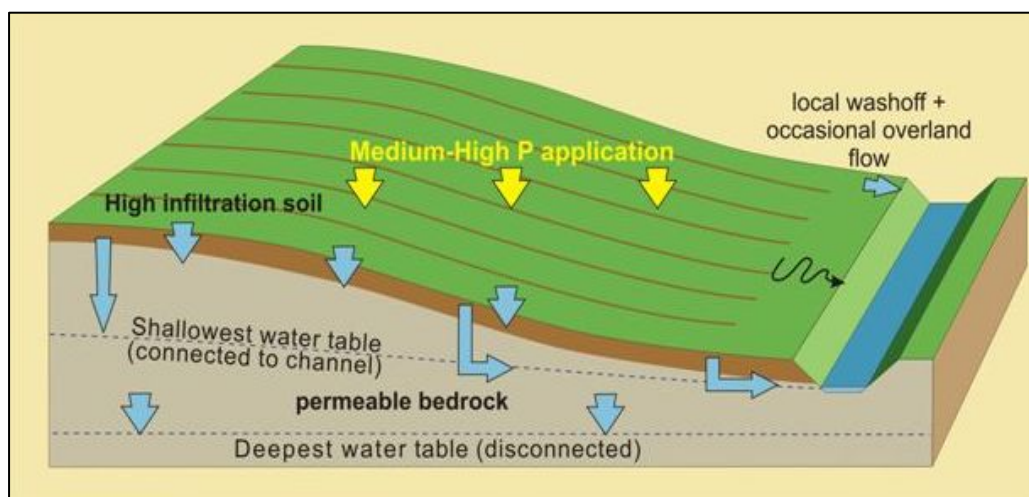


Fig. 3. Bodem met een hoog risico op P uitspoeling naar het oppervlaktewater

Wanneer de bodemlaag minder of helemaal niet verbonden is met de aquifer, door bijvoorbeeld het voorkomen van een ondoordringbare laag, is de kans dat de uitgespoelde P de aquifer of het rivierwater bereikt veel kleiner (Fig. 4). Dit wil ook zeggen dat een groot P-verlies niet altijd overeenkomt met een grote P-aanrijking in het water. “Een klein verlies dicht bij een beek kan een groter gevolg hebben dan een groot verlies waarbij er geen contact is tussen bodem en de grondwaterlagen” (Heathwaite, 2007).

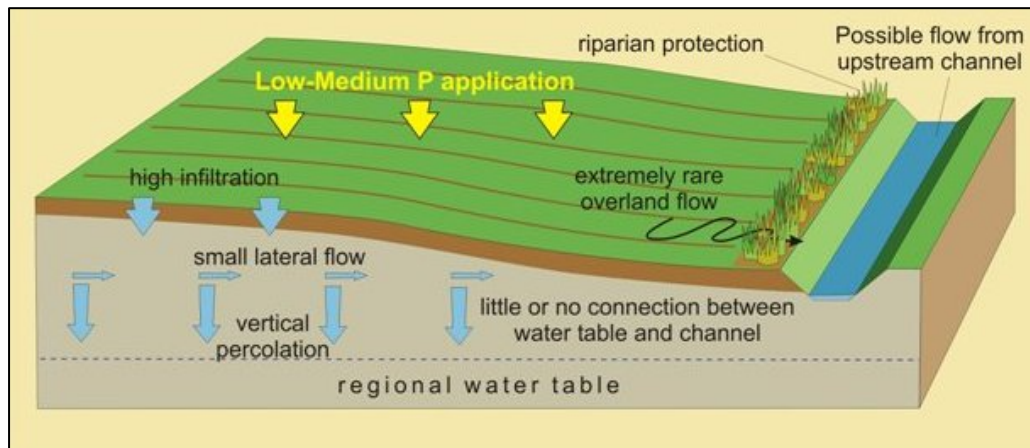


Fig. 4. Bodem met een laag risico op P uitspoeling naar het opp. water

Bij de bepaling van de connectiviteit op een bepaald punt is de hoeveelheid water die zich daar in de bodem bevindt eveneens van belang. Zo kan de connectiviteit van de bodem op een bepaald moment verschillend zijn van de connectiviteit van dezelfde bodem een week later door het opgetreden zijn van een omvangrijke regenbui. De connectiviteit wordt groter, op alle (grootteorde) schalen gezien, als het bassin natter wordt door regenval of door stockage van grondwater in de bodem.

Het bepalen van de connectiviteit is een moeilijke opdracht aangezien het afhankelijk is van de ondergrondse bodemeigenschappen, hydrologie, etc. Afhankelijk van de heterogeniteit van de bodem en de gewenste schaal is het opstellen van een connectiviteitskaart arbeidsintensiever. De meest gewenste kaart om een goede schatting te maken van de gevolgen van een eventuele fosfaatuitspoeling is natuurlijk de meest gedetailleerde; het opstellen ervan is echter bijna onmogelijk. Het vinden van een goede balans tussen informatie en detaillering is dus cruciaal.

6 P-mining

Technieken die voor een daling van de P-hoeveelheid in de bodem zorgen, waaronder P-mining, worden voorgesteld als effectieve remediatiemethoden voor sterk P-aangerijkte bodems (Chardon et al., 1996; Steinhilber & Weismiller, 1999). P-mining kan gedefinieerd worden als het dalen van het risico tot P-verlies als gevolg van opname van fosfor uit de bodem door gewassen groeiend zonder externe P-toediening. Deze techniek heeft uiteraard enkel effect als zoveel mogelijk delen van de plant van het perceel verwijderd worden.

Hoewel dit een eenvoudig concept betreft, toch is er voor deze techniek slechts weinig kwantitatieve informatie beschikbaar over de lange-termijn veranderingen van de verschillende P-vormen in de bodem (Koopmans et al., 2004). Bovendien is ook informatie over de reversibiliteit van de globale fosforreacties in P-aangerijkte bodems en de gevolgen op de hoeveelheid plantbeschikbare P en P-uitspoeling op lange termijn schaars.

Theoretisch is alle absorptie van P een omkeerbaar proces (Lookman et al., 1995). De omkeerbaarheid van alle reacties van fosfor met de vaste bodemfase is vanuit landbouwkundig standpunt zeer belangrijk, omdat het mee de optimale bodemvruchtbaarheid voor de gewasproductie bepaalt. De ratio van P-desorptie en de evenwichtsrelatie tussen de P concentratie in de bodemoplossing en de geabsorbeerde P in de vaste fase van de bodem zijn evenwel moeilijk experimenteel te bepalen, dit door de relatief trage desorptiekinetiek en andere meer praktische problemen (Van der Zee et al., 1987; Freese et al., 1995). Het verwijderen van fosfor op korte termijn kan een snelle daling van P in de bodemoplossing en in de reversibel geabsorbeerde P aan de Al en Fe-(hydro)oxiden van de bovenste bodemlagen opleveren. Dit kan evenwel resulteren in een onevenwicht met de gebonden P binnenin Al- en Fe-(hydr)oxiden, dit door de trage desorptiekinetiek ervan. Anderzijds kan een trage verwijdering van dezelfde hoeveelheid fosfor over een veel langere termijn in evenwicht zijn met de desorptieratio van de P-bindingen bij trage reacties. Tot op heden is de verhouding van de fosforopname bij P-aangerijkte bodems tot de evenwichtsdesorptieratio onbekend.

De meeste studies die uitgevoerd zijn, zijn pot- en serre-experimenten die lopen over ofwel een korte of lange termijn. In korte termijn experimenten (vb. in één groei-seizoen) wordt desorptie van P-bindingen als irrelevant beschouwd (Van Noordwijk et al., 1990). In de potexperimenten van Guo & Yost (1999), waarbij maïs en sojabonen gekweekt werden zonder toediening van P, werd een grote hoeveelheid P_{ox} gemeten en werd geen gewasderving vastgesteld ten opzichte van een controle met P-bemesting. Dit was ook het geval bij experimenten met gras op P-aangerijkte bodems (Koopmans et al., 2004). Dit geeft aan dat P-mining, althans volgens de pot- en serre-experimenten, een effectieve managementstrategie kan zijn om te komen tot een verlaging van de P-hoeveelheid in de bodem.

7 Opmaak van een P-index

In tegenstelling tot een aantal andere landen, bv. Noorwegen, Denemarken, Duitsland, verschillende staten van Amerika., etc. beschikt Vlaanderen niet over een P-index. Een P-index ordent bron- en transportfactoren zodat een inschatting gemaakt kan worden van het P-verlies op perceels- en/of stroomgebiedsschaal (Lemunyon & Gilbert, 1993; Gburek et al., 2000). Immers, het hoofddoel van een P-index is het inschatten van het verlies aan fosfor dat kan voorkomen op een bepaalde plaats.

In een P-index worden o.a. de bodem P-test, organische en minerale bemesting, de bemestingstechniek en de P-beschikbaarheid in organische meststoffen als bronfactoren gezien, terwijl, bodemerrosie, oppervlakkige afspoeling, ondergrondse drainage, de contributie-afstand en de connectiviteit voorbeelden zijn van transportfactoren (Bechmann et al., 2005).

Concept

In de eerste versies van een P-index (Lemunyon & Gilbert, 1993) werd aan elke factor een relatieve potentiële P-verlieswaarde (numeriek) toegekend. Aan elke factor kan eveneens een wegingscoëfficiënt toegekend welke het relatief belang van de factor tot het P-verlies aanduidt. De P-index wordt dan berekend door elk potentiële P verlies te vermenigvuldigen met zijn wegingsfactor en de som te maken voor dat perceel of stroomgebied. De bekomen waarde wordt nadien categorisch geanalyseerd (bv. zeer laag tot zeer hoog), teneinde mogelijke aanbevelingen te geven voor het nutriëntenmanagement (Mallarino et al., 2002). De ranking van een bodem op de P-index geeft het risico op P verlies van die site weer ten opzichte van andere sites. De ranking van de site kan dan landbouwers helpen bij het nemen van beslissingen in hun managementstrategie.

Een voorbeeld van een dergelijke index wordt hieronder gegeven

<i>P Index rating value from soil test</i>	
<i>If soil test value is 0 to 50 lbs P/acre, enter 1 in box A.</i>	
<i>If soil test value is 51 to 80 lbs P/acre, enter 2 in box A.</i>	
<i>If soil test value is 81 to 200 lbs P/acre, enter 4 in box A.</i>	
<i>If soil test value is more than 200 lbs P/acre, enter 8 in box A.</i>	
Box A	

<i>P Index rating value from manure application</i>	
<i>If applying no manure, enter 0 in box B.</i>	
<i>If applying 1 to 30 lbs P₂O₅/acre from manure, enter 1 in box B.</i>	
<i>If applying 31 to 60 lbs P₂O₅/acre from manure, enter 2 in box B.</i>	
<i>If applying 61 to 90 lbs P₂O₅/acre from manure, enter 4 in box B.</i>	
<i>If applying more than 90 lbs P₂O₅/acre from manure, enter 8 in box B.</i>	
Box B	

<i>P Index rating value from fertilizer application</i>	
<i>If applying no fertilizer, enter 0 in box C.</i>	
<i>If applying 1 to 30 lbs P/acre from fertilizer, enter 1 in box C.</i>	
<i>If applying 31 to 90 lbs P/acre from fertilizer, enter 2 in box C.</i>	
<i>If applying 91 to 150 lbs P/acre from fertilizer, enter 4 in box C.</i>	
<i>If applying more than 150 lbs P/acre from fertilizer, enter 8 in box C.</i>	
Box C	_____

<i>P Index rating value from manure/fertilizer application method</i>	
<i>If applying no manure/fertilizer, enter 0 in box D.</i>	
<i>If placing manure/fertilizer deeper than 2 inches, enter 0.5 in box D.</i>	
<i>If incorporating manure/fertilizer immediately before crop, enter 1 in box D.</i>	
<i>If incorporating manure/fertilizer more than 3 months before crop or are surface applying manure/fertilizer less than 3 months before crop, enter 2 in box D.</i>	
<i>If surface applying manure/fertilizer (no incorporation of manure/fertilizer into soil) more than 3 months before crop or are surface applying manure to a pasture land, enter 4 in box D.</i>	
Box D	_____

<i>P Index rating value from soil erosion</i>	
<i>If soil loss from this field is less than 5 tons/acre/year, enter 1.5 in box E.</i>	
<i>If soil loss from this field is 5 to 10 tons/acre/year, enter 3 in box E.</i>	
<i>If soil loss from this field is 10 to 15 tons/acre/year, enter 6 in box E.</i>	
<i>If soil loss from this field is more than 15 tons/acre/year, enter 12 in box E.</i>	
<i>Box E</i>	_____

<i>P Index rating value from surface runoff</i>	
<i>If surface runoff from this field is less than 0.1 cm enter 0 in box F</i>	
<i>If surface runoff from this field is 0.1 to 1.0 cm enter 0.5 in box F</i>	
<i>If surface runoff from this field is 1.0 to 5.0 cm enter 1.0 in box F</i>	
<i>If surface runoff from this field is 5.0 to 10.0 cm enter 2 in box F</i>	
<i>If surface runoff from this field is more than 10 cm enter 4 in box F</i>	
<i>Box F</i>	_____

<i>Total P Index rating value for the site</i>

<p>Add the <i>P</i> Index value points from boxes A, B, C, D, E and F and enter the total in box G.</p> <p>The value in box G represents Total <i>P</i> Index value for the site.</p>	
Box G	

Site vulnerability to P-loss as a function of Total P Index rating values

<i>Site vulnerability rating</i>	<i>Total P Index rating value</i>
<i>Low</i>	<8
<i>Medium</i>	8 to 14
<i>High</i>	15 to 32
<i>Very High</i>	>32

Low to medium site vulnerability ratings indicate that current management practices are adequate for protection of surface waters from phosphorus pollution. High and very high site vulnerability ratings indicate a need for improved management practices.

In latere en/of verbeterde versies van een P-index worden ook andere factoren in rekening gebracht en veranderen sommige wegingsfactoren teneinde een juister beeld te krijgen van het P verlies in die regio. Extra factoren die in een bepaalde regio van belang kunnen zijn en dus mee in rekening worden gebracht zijn bijvoorbeeld de afstand tot het oppervlaktewater, de vegetatie, bewerkingstechnieken, hydrologische kenmerken en de P verzadigingsgraad.

Ook voor Vlaanderen kan het opstellen van een efficiënte P-index, gebaseerd op bestaande P-indexen en rekening houdend met de meest voorkomende fouten, een belangrijke tool zijn voor het bepalen van het potentiële P-verlies naar het water als gevolg van verschillende managementpraktijken. Een aantal pro's en contra's kunnen hierbij nog opgesomd worden:

- Het gebruik van een P index is ruimer, dan wanneer enkel gebruik wordt gemaakt van een “treshold” waarde, aangezien een P-index de mogelijkheid geeft om velden te identificeren met een hoog potentieel tot P-afgifte aan grond- en/of oppervaktewater. Het geeft ook de reden weer van de kans op P-afgifte. Het maakt m.a.w. een rangschikking van de maatregelen die het meest efficiënt de bodem- en waterkwaliteit kunnen garanderen of behouden (Mallarino et al., 2002).
- De P-index is een empirisch instrument en heeft als “risk assessment” instrument slechts een beperkt nut (Heathwaite et al., 2003). Nochtans houdt het wel rekening met de algemene processen voor de controle van diffuse bronnen van P verlies, waardoor het als gids voor mitigatiestrategieën gebruikt kan worden.
- De detailleringsgraad van de P-index bepaalt de hoeveelheid tijd die er nodig is om de index op te stellen. Hoe hoger de detailleringsgraad, hoe efficiënter de index zal werken. Daarvoor moet dus een tijd-efficiëntie ratio-meting gebeuren. Hoe vollediger alle methoden en mogelijke praktijken in de index worden opgenomen hoe juister en bruikbaar de index zal zijn en hoe makkelijker de P-index te gebruiken zal zijn.
- Het is belangrijk dat bij de opmaak van de P-index “de eenvoudigheid in gebruik” in rekening wordt gebracht. De index moet gebruikt kunnen worden door zowel wetenschappers als landbouwers. Door het duidelijk specificeren van klassen en grenzen moet het mogelijk zijn dat iedereen de P-index correct en snel kan invullen. Alleen zo zal de P-index optimaal zijn doel bereiken.

Zoals reeds gesteld bestaat er in Vlaanderen op dit ogenblik geen P-index en dient de inschatting vaak ad-hoc te gebeuren, zonder inzicht in mogelijke bron- en/of transportfactoren.

8 Besluit

De voorgaande opsomming en bespreking toont aan dat er nog veel onduidelijkheden zijn en er dus nog extra onderzoek nodig is om ten volle te begrijpen hoe P zich gedraagt in een (fosfaatverzadigde) bodem. Op basis van de hierboven aangehaalde kennislacunes, samen met de resultaten van deel 1, kunnen volgende onderzoeksvragen gesteld worden:

1. Evaluatie van de nieuw-afgebakende P-verzadigde gebieden: hoewel de afbakening van de P-verzadigde gebieden werd uitgevoerd met de op dit ogenblik best beschikbare techniek, kan een perceelsgerichte evaluatie van zowel het eigenlijke P-verzadigde gebied als de gebiedsgrenzen meer inzicht verschaffen in de nauwkeurigheid waarmee deze gebieden werden afgebakend. Ook een evaluatie van de verschillen tussen de eertijds afgebakende P-verzadigde gebieden en de nieuwe afbakening kan in dit onderzoek meegenomen worden;
2. Kan het begrip "fosfaatverzadigde gronden" uitgebreid worden naar andere texturen? Op basis van recente bevindingen wordt gesteld dat kleibodems wellicht evenveel en in een aantal gevallen zelfs meer fosfor naar het grond- en oppervlaktewater lekken dan fosfaatverzadigde zure zandbodems. Op dit ogenblik bestaat er echter geen enkel protocol dat op een eenvoudige wijze het verband aangeeft tussen de hoeveelheid fosfor in deze bodems en de hoeveelheid fosfaat die uit het profiel verloren gaat. Het opstellen van een dergelijk protocol vereist nog heel wat fundamenteel onderzoek, niet in het minst om de diverse achterliggende P-retentie en P-vrijstellingsmechanismen te begrijpen;
3. De bodemerosiekaarten kunnen een idee geven van het bodemerosierisico en van het mogelijk verlies aan bodemdeeltjes, maar hieruit kan op dit ogenblik niet onmiddellijk het P-verlies afgeleid worden, aangezien dit in hoofdzaak samenhangt met de aan deze deeltjes gebonden P. Enkel een perceelsgewijze benadering kan voldoende inzicht geven in de mogelijke P-verliezen als gevolg van erosie;
4. Het ondergronds gedrag van fosfor, met daaraan gekoppeld de connectiviteit, is op dit ogenblik onbekend voor de Vlaamse bodems. Ook hieromtrent is het nodige fundamenteel onderzoek nog noodzakelijk;

5. Opstellen van een P-index: een groot aantal landen en/of regio's hebben op dit ogenblik reeds een P-index opgesteld die het mogelijk maakt om de impact van bemesting en teelttechnieken te evalueren in functie van een mogelijk P-verlies op perceelsniveau. Een dergelijke P-index zou het mogelijk maken dat de beslissing om al of niet te bemesten bij een individuele landbouwer kan komen te liggen. Op die manier kan zowel meer vrijheid, maar ook meer verantwoordelijkheid voor een bepaald bemestingsgedrag bij de landbouwer gelegd worden. De opmaak van een P-index kan wellicht relatief eenvoudig opgemaakt worden en ter beschikking gesteld van zowel landbouwers als voorlichtingsdiensten.

Uit deze kennislacunes en de eruit afgeleide onderzoeksvragen mag duidelijk zijn dat zowel het onderzoek als de wetgeving zich niet alleen moeten toespitsen op de hoeveelheid P die uitspoelt of verdwijnt, maar dat er ook moet gekeken worden naar de verschillende manieren hoe P uit de bodem kan verdwijnen en in het oppervlakte- of grondwater terecht kan komen. Zodoende kunnen de juiste maatregelen genomen worden om correct te bemesting en verdere eutrofiëring te voorkomen.

9 Referenties

- Beauchemin, S., Simard, R.R. & Cluis, D. 1998. Forms and concentration of phosphorus in drainage water of twenty-seven tile-drained soils. *Journal of Environmental Quality*, **27**, 721–728.
- Bechmann, M., Krogstad, T. & Sharpley, A. 2005. A phosphorus index in Norway. *Acta Agriculturae Scandinavica section B-Soil and Plant*, **55**, 205-213.
- Brookes, P., Heckrath, G., De Smet, J., Hofman, G. & Vanderdeelen, J. 1997. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston), pp. 253-271. CAB international, Wallingford, UK.
- Catt, J.A., Johnston, A.E. & Quinton, J.N. 1997. Phosphate losses in Woburn erosion reference experiment. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. brookes & A.E. Johnston), pp. 374-377. CAB international, Wallingford, UK.
- Chapman, P.J., Shand, C.A., Edwards, A.C. & Smith, S. 1997. The phosphorus composition of soil solutions and soil leachates: influence of soil:solution ratio. *European Journal of Soil Science*, **48**, 703–710.

- Chardon, W.J. 1997. Organically combined phosphorus in soil solutions and leachates. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. brookes & A.E. Johnston), pp. 363-366. CAB international, Wallingford, UK.
- Chardon, W.J., Oenema, O., del Castilho, P., Vriesema, R., Japenga, J. & Blaauw, D. 1997. Organic phosphorus in solutions and leachates from soils treated with animal slurries. *Journal of Environmental Quality*, **26**, 372–378.
- Chardon, W.J., Oenema, O., Schoumans, O.F., Boers, P.C.M., Fraters, B. & Geelen, Y.C.W.M. 1996. Exploration of options for management and restoration of phosphorus leaking agricultural soils. (In Dutch.) Vol. 8. The Netherlands Integrated Soil Res. Programme, Wageningen, The Netherlands.
- Chardon, W.J. & Schoumans, O.F. 2007. Soil texture effects on the transport of phosphorus from agricultural land in river deltas of Northern Belgium, The Netherlands and North-West Germany. *Soil use and Management*, **23** (suppl. 1), 16-27.
- Dean, D.M. & Foran, M.E. 1992. The effect of farm liquid waste application on tile drainage. *Journal of Soil Water Conservation JSWCA3*, **47** (5), 368–369.
- Dills, R.M. & Heathwaite, A.L. 1999. The controversial role of tile drainage in phosphorus export from agricultural land. *Water Science and Technology*, **39** (12), 55-61.
- Freese, D., Lookman, R., Merckx, R. & van Riemsdijk, W.H.. 1995. New method for assessment of long-term phosphate from soils. *Soil Science Society of America Journal*, **59**, 1295–1300.
- Gburek, W.J, Sharpley, A.N, Heathwaite, A.L. & Folmar, G.J. 2000. Phosphorus management at the watershed scale: a modification of the phosphorus index. *Journal of Environmental Quality*, **29**, 130-144.
- Gentry, L.E., David, M.B., Smith-Starks, K.M. & Kovacic, D.A., 2000. Nitrogen fertilizer and herbicide transport from tile drained fields. *Journal of Environmental Quality*, **29** (1), 232–240.
- Guo, F. & Yost, R.S.. 1999. Quantifying the available soil phosphorus decrease pool with the acid ammonium oxalate method. *Soil Science Society of America Journal*, **63**, 651–656.
- Haygarth, P.M., 1997. Agriculture as a source of phosphorus pollution in water: sources and pathways. Scientific Committee in Phosphates in Europe, Paris.
- Haygarth, P.M., Wood, F.L., Heathwaite, A.L. & Butler, P.J. 2005. Phosphorus dynamics observed through increasing scales in a nested headwater-to-river channel study. *Science of the total environment*, **344**, 83-106;
- Heathwaite, A.L. 1993. The impact of dissolved nitrogen and phosphorus cycling in temperate ecosystems. *Chemistry and Ecology*, **8**, 217-231.

- Heathwaite, A.L. 1997. Sources and pathways of phosphorus loss from agriculture. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. Brookes & A.E. Johnston), pp. 205-223. CAB international, Wallingford, UK.
- Heathwaite, A.L. 2007. Keynote at IPW5, Silkeborg, Denmark.
- Heathwaite, L., Sharpley, A.N. & Bechmann, M. 2003. The conceptual basis for a decision support framework to assess the risk of phosphorus loss at the field scale across Europe. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **166**, 447-458.
- Jiao, Y., Hendershot, W.H. & Whalen, J.K. 2004. Agricultural practices influence dissolved nutrients leaching through intact soil cores. *Soil Science Society of America Journal*, **68**, 2058–2068.
- Klik, A. & Rosner, J. 1997. Impact of different tillage practices on phosphorus losses from agricultural fields. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. brookes & A.E. Johnston), pp. 379-381. CAB international, Wallingford, UK.
- Koopmans, G.F., Chardon, W.J., Ehlert, P.A.I., Dolfing, J., Suurs, R.A.A., Oenema, O. & Riemsdijk, W.H. 2004. Phosphorus availability for plant uptake in a Phosphorus-enriched noncalcareous sandy soil. *Journal of Environmental Quality*, **33**, 965-975.
- Koopmans, G.F., Chardon, W.J. & McDowell, R.W. 2007. Phosphorus movement and speciation in sandy soil profile after long-term animal applications. *Journal of Environmental Quality*, **36**, 305-315.
- Kothyari, B.P., Verma, P.K., Joshi, B.K. & Kothyari, U.C. 2004. Rainfall-erosion-soil and nutrient loss relationships for plot size areas of Bhetagad watershed in Central Himalaya, India. *Journal of Hydrology*, **293**, 137-150.
- Kung, K.J.-S., Steenhuis, T.S., Kladviko, E.J., Bubbenzer, G., Gish, T.J. & Helling, C.S. 2000. Impact of preferential flow on the transport of adsorbing and non-adsorbing tracers. *Soil Science Society of America Journal*, **64**, 1290–1296.
- Lemunyon, J.L. & Gilbert, R.G. 1993. The concept and need for a phosphorus assessment tool. *Journal of Production Agriculture*, **6**, 483-496.
- Lookman, R., Freese, D., Merckx, R., Vlassak, K. & Van Riemsdijk, W.H.. 1995. Long-term kinetics of phosphate release from soil. *Environmental Science and Technology*, **29**, 1569–1575.
- Macrae, M.L., English, M.C., Schiff, S.L. & Stone, M. 2007. Intra-annual variability in the contribution of tile drains to basin discharge and phosphorus export in a first-order agricultural catchment. *Agricultural Water Management*, **92**, 171–182.
- Mallarino, A.P., Stewart, B.M., Baker, J.L., Downing, J.D. & Sawyer, J.E. 2002. Phosphorus indexing for cropland: Overview and basic concepts of the Iowa phosphorus index. *Journal of Soil and Water Conservation*, **57**, 440-447.

- McDowell, R.W. & Koopmans, G.F. 2005. Assessing the bioavailability of dissolved organic phosphorus in pasture and cultivated soils treated with different rates of nitrogen fertilizer. *Soil Biology & Biochemistry*, **38**, 61-70.
- Profitt, A.P.B. & Rose, C.W. 1991. Soil erosion processes. II. Settling velocity characteristics of eroded sediment. *Australian Journal of Soil Research*, **29**, 685-695.
- Puustinen, M., Tattari, S., Koskiahho, J. & Linjama, J. 2007. Influence of seasonal hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Management*, **93**, 44-55.
- Quinton, J.N., Catt, J.A. & Hess, T.M. 2001. The selective removal of phosphorus from soil: Is event size important? *Journal of Environmental Quality*, **30**, 538-545.
- Sanchez Valero, C., Madramootoo, C.A. & Stämpfli, N. 2007. Water table management impacts on phosphorus loads in tile drainage. *Agricultural Water Management*, **89**, 71-80.
- Schiettecatte, W. 2006. Assessment of sediment and phosphorus transport from laboratory to watershed scale. Ph.D. Thesis, Ghent University, Belgium, 214 pp.
- Schiettecatte, W., Gabriels, D., Verbist, K., Cornelis, W. & Hofman, G. (2007). Sediment- en fosforverliezen door erosie. In: Erosiebestrijding in theorie en praktijk (ed. TI-KVIV), pp 49-57.
- Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C. & Reddy, K.R. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *Journal of Environmental Quality*, **23** (3), 437-451.
- Sharpley, A.N. & Rekolainen, S. 1997. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Phosphorus loss from soil to water (eds. H. Tunney, O.T. Carton, P.C. brookes & A.E. Johnston), pp. 1-53. CAB international, Wallingford, UK.
- Sharpley, A.N. & Smith, S.J. 1990. Phosphorus transport in agricultural runoff: the role of soil erosion. In: Soil erosion on agricultural land (eds. J. Boardman, I.D.L. Foster & J.A. Dearing), pp. 351-366. John Wiley & Sons, New York.
- Stämpfli, N. & Madramootoo, C.A. 2006. Dissolved phosphorus losses in tile drainage under subirrigation. *Water Quality Research Journal of Canada*, **41**, 63-71.
- Steinhilber, P. & Weismiller, R. 1999. On-farm management options for controlling phosphorus inputs to the bay. p. 169-178. In: A.N. Sharpley (ed.) Agriculture and phosphorus management. The Chesapeake Bay. Lewis Publ., Boca Rotan, FL.
- Stone, M. & Krishnappan, B.G. 2002. The effect of irrigation on tile sediment transport in a headwater stream. *Water Research*, **36**, 3439-3448.

- Ulen, B. 1995. Episodic precipitation and discharge events and their influence on losses of phosphorus and nitrogen from tile drained arable fields. *Swedish Journal of Agricultural Research*, **25**, 25–31.
- Van der Zee, S.E.A.T.M., Fokkink, L.G.J. & van Riemsdijk, W.H. 1987. A new technique for assessment of reversibly adsorbed phosphate. *Soil Science Society of America Journal*, **51**, 599–604.
- Van der Zee S.E.A.T.M, Van Riemsdijk W.H. & De Haan F.A.M. 1990. Het protocol fosfaatverzadigde gronden. Deel I: toelichting. Vakgroep Bodemkunde en Plantevoeding, Landbouwniversiteit Wageningen, Nederland, 69 pp.
- Van Noordwijk, M., de Willigen, P., Ehlert, P.A.I. & Chardon, W.J. 1990. A simple model of P uptake by crops as a possible basis for P fertilizer recommendations. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, **38**, 317–332.
- Van Rompaey, A.G., Govers, G., Van Oost, K., Van Muysen, W. & Poesen, J. 2000. Bodemerosiesnelheden op landbouwpercelen in Vlaanderen. Rapport bij de kaartbladen "Watererosie per landbouwperceel", "Bewerkingserosie per landbouwperceel" en Totale erosie per landbouwperceel". Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, AMINAL, Afdeling Land, Brussel, 18 pp.
- Verstraeten, G. & Poesen, J. 2002. Regional scale variability in sediment and nutrient deliver from small agricultural watersheds. *Journal of Environmental Quality*, **31**, 870-879.
- Withers, P.J.A., Ulen, B., Stamm, C. & Bechmann, M. 2003. Incidental phosphorus losses—are they significant and can they be predicted? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, **166**, 459–468.
- Withers, P.J.A. & Haygarth, P.M. 2007. Agriculture, phosphorus and eutrophication: a European perspective. *Soil Use and Management*, **23** (suppl. 1), 1-4.
- Whitton, B.A., Grainger, S.L.J., Hawley, G.R.W. & Simon, J.W. 1991. Cellbound and extracellular phosphatase activities of Cyanobacterial isolates. *Microbial Ecology*, **21**, 356–371.
- Zucker, L.A. & Brown, L.C. 1998. Agricultural drainage, Water quality impacts and subsurface drainage studies in the Midwest. Bulletin 871-98.

Referentie Fig. 1 en Fig. 2: <http://www.ncl.ac.uk/iq/DSM/ThePERM.xls> (5 november 2007).