



ALTERRA

WAGENINGEN UR

Uitspoeling van stikstof en fosfaat en emissies van CO₂ en N₂O na toediening van slootbagger op veengrond

René Rietra
Christy van Beek
Joop Harmsen

Alterra-rapport 1984, ISSN 1566-7197



Uitspoeling van stikstof en fosfaat na toediening van slootbagger op veengrond

Uitspoeling van stikstof en fosfaat en emissies van CO₂ en N₂O na toediening van slootbagger op veengrond

René Rietra
Christy van Beek
Joop Harmsen

Alterra-rapport 1984

Alterra, Wageningen, 2009

REFERAAT

Rietra, R.P.J.J., C.L. van Beek & J. Harmsen, 2009. *Uitspoeling van stikstof en fosfaat en emissies van CO₂ en N₂O na toediening van slootbagger op veengrond*. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 1984. 56 blz.; 10 fig.; 4tab.; 9 ref.

Bagger uit slootbodems heeft mogelijk invloed op de uitspoeling van stikstof en fosfaat naar oppervlaktewater en emissie van broeikasgassen. In een verkennende studie zijn lysimeters gevuld met slootbagger uit de Vlietpolder en Zegveld met of zonder een laag bodem onderin. In 2008 is gedurende 60 dagen het percolaat van bagger uit de Vlietpolder geanalyseerd, en in 2009 is de proef herhaald, en is gedurende 160 dagen het percolaat van bagger uit de Vlietpolder en Zegveld geanalyseerd op *ortho*fosfaat, nitraat, ammonium, organische stikstof en opgeloste organische stof. In 2009 is de emissie van koolstofdioxide en lachgas uit verschillende behandelingen van bagger bepaald.

Per baggeronde wordt ongeveer 366 kg N ha⁻¹ en 19 kg P ha⁻¹ op het land gebracht. Uit deze bagger kan potentieel veel N en P uitspoelen. De uitgespoelde hoeveelheden geven een indicatie van de belasting van de bodem en het oppervlaktewater (via bodem of via oppervlakkige afstroming) maar ook van de bemestende waarde. Uit de behandelingen zonder grond blijkt dat de uitspoeling uit Vlietpolderbagger 14 kg N ha⁻¹ en 10 kg P ha⁻¹ bedraagt gedurende de experimentele periode van 160 dagen. In tegenstelling tot de Vlietpolder is de uitspoeling uit bagger uit Zegveld niet anders dan grond. Bagger is tevens een bron van de broeikasgassen CO₂ en N₂O. Per baggertoediening wordt er circa 4 ton CO₂ equivalenten geëmitteerd, ongeveer gelijkelijk verdeeld over CO₂ en N₂O. Deze studie toont aan dat de herkomst van bagger een belangrijke factor is voor de bemestende waarde van bagger, maar ook voor het risico op af- en uitspoeling van ongewenste stoffen naar het oppervlaktewater.

Trefwoorden: fosfaat, slootbagger, stikstof, uitspoeling

ISSN 1566-7197

Dit rapport is gratis te downloaden van www.alterra.wur.nl (ga naar 'Alterra-rapporten'). Alterra verstrekt geen gedrukte exemplaren van rapporten. Gedrukte exemplaren zijn verkrijgbaar via een externe leverancier. Kijk hiervoor op www.boomblad.nl/rapportenservice.

© 2009 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: info.alterra@wur.nl

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	11
2 Doel	13
3 Aanpak	15
4 Materiaal en Methoden	17
4.1 Uitspoeling N en P	17
4.1.1 Proef 2007	17
4.1.2 Proef 2008	18
4.1.3 Weergave resultaten	18
4.2 Gasvormige emissies	19
5 Resultaten en Discussie	21
5.1 Uitspoeling van N en P	21
5.2 Emissie van CO ₂ en N ₂ O	25
5.3 Synthese	27
6 Conclusies en Aanbevelingen	31
Literatuur	33
 <i>Bijlagen</i>	
1 Beschrijving van gebruikte analysemethoden	35
2 Gehalten stikstof, fosfaat en organische stof in bodem, sloot en bagger	37
3 Analyseresultaten experiment in 2007	39
4 Analyseresultaten experiment in 2008	41
5 Samenvatting resultaten proef in 2007	43
6 Samenvatting resultaten proef in 2008	45
7 Concentraties als functie van de tijd in experiment 2007	47
8 Concentraties en uitspoeling als functie van de tijd in experiment 2008	49

Woord vooraf

Binnen het project 'Relatie grond-oppervlaktewater' is in opdracht van LNV een inventarisatie gemaakt van kennisleemten m.b.t. stikstof- en fosfaatbelasting van het oppervlaktewater. Eén van die kennisleemten was het effect van het toedienen van slootbagger op de uitspoeling van stikstof en fosfaat. In de onderhavige studie is een verkennende proef uitgevoerd naar dit effect. De auteurs zijn erkentelijk voor de inhoudelijke discussies met Frank van der Bolt en voor het praktische werk van Popko Bolhuis (beide Alterra).

Samenvatting

In het veenweidegebied worden perceelssloten regelmatig op diepte gehouden door de bovenste laag bagger uit de sloot te halen (te baggeren) en op de kant te zetten. Hiernaast wordt in toenemende mate bagger uit een gebied in weilanddepots opgeslagen met als doel het maaiveld te verhogen. Slootbagger is rijk aan nutriënten en vormt hiermee een potentiële bron van nutriënten die uit kunnen spoelen naar het oppervlaktewater. In een proef is slootbagger uit de Vlietpolder aangebracht in lysimeters, met of zonder grond onderin de lysimeter, en is gedurende 160 dagen het percolaat regelmatig geanalyseerd op nitraat, ammonium, organische stikstof (N), fosfaat (P) en opgeloste organische stof (DOC). In een tweede proef is gedurende 200 dagen de CO₂ en N₂O emissie bepaald uit de bagger en/of grond.

De gemiddelde fosfaatconcentraties in de Vlietpolderbagger en in het percolaat zijn zeer hoog (3,0 mg P l⁻¹) maar zijn in de Zegveldbagger laag (0,2 mg P l⁻¹). De fosfaatconcentraties in de bodem, en in het percolaat uit de lysimeter met bagger en bodem blijven gedurende de hele proefperiode laag (0,01 à 0,1 mg P l⁻¹). Dit geeft een hoge P uitspoeling (zie onderstaande tabel), en een substantiële bijdrage aan de fosfaatbemesting gezien de fosfaatgebruiksnorm van 44 kg P ha⁻¹y⁻¹. De P uitspoeling per hectare neemt meer dan evenredig toe met de dikte van de baggerlaag. Uitgespoeld P wordt gebonden worden in de onderliggende bodem. De uitspoeling van stikstof uit de bagger was gedurende de proefperiode sterk wisselt en is in totaal niet groter dan de uitspoeling uit bodem. De verschillen in resultaten tussen 2 locaties is aanzienlijk (ongeveer een factor 2 voor N en een factor 24 voor P). Deze verschillen worden deels verklaard door het verschil in de mate van P-verzadiging.

Cumulatief uitgespoelde hoeveelheden (kg ha⁻¹) uit experiment in 2008 geëxtrapoleerd naar 1 jaar, gecorrigeerd voor bijdrage van depositie uit lucht.

behandeling	Vlietpolder					Zegveld				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
dikte laag bagger (cm)	10	2	10	2	-	10	2	10	2	-
dikte laag grond (cm)	-	-	2	2	2	-	-	2	2	2
N (kg/ha)	21	3	3	14	22	-4	-4	1	15	30
P (kg/ha)	15.8	3.8	0.3	0.3	0.6	0.8	0.2	0.2	0.2	0.7

Tevens is bagger een belangrijke bron van de broeikasgassen CO₂ en N₂O. Per baggertoediening wordt er circa 4 ton CO₂ equivalenten geëmitteerd, ongeveer gelijkmatig verdeeld over CO₂ en N₂O. Deze studie toont aan dat de herkomst van bagger een belangrijke factor is voor de bemestende waarde van bagger, maar ook voor het risico op af- en uitspoeling van ongewenste stoffen naar het oppervlaktewater.

1 Inleiding

Baggertoediening in het Westelijk veenweidegebied

In het westelijk veenweidegebied zijn veel sloten, vaak is de verhouding land-oppevlaktewater ongeveer 10:1. Door afkalving van de kant, afgestorven waterplanten en oppervlakkige afstroming van (opgeloste) deeltjes groeit de baggerlaag in de sloten aan. Om de sloten op diepte te houden wordt regelmatig geschoond en gebaggerd. Het schonen van sloten is het oppervlakkig verwijderen van waterplanten uit sloten om zo de doorstroming te bevorderen. Baggeren is het verwijderen van een deel van de slootbodembodem (bagger) om de sloten op diepte te houden. Als dit niet gebeurt, groeit de sloot dicht en wordt de afvoer van water belemmerd. Het schonen van sloten gebeurt jaarlijks. Het baggeren van de sloten gebeurt minder vaak, meestal eens in de 5 jaar.

Voor het baggeren van hoofdwatgangen (weteringen, vaarten) is het waterschap of hoogheemraadschap verantwoordelijk, maar voor de perceelssloten zijn de landeigenaren (boeren) verantwoordelijk. Doorgaans wordt een loonwerker ingehuurd die met zware machines de bagger uit de sloten verwijderd. De bagger kan op het land worden gespoten, op de kant worden gezet (Figuur 1), of in (tijdelijke) depots worden verwerkt. Door het gebruik van zware machines wordt er meestal in de zomer gebaggerd wanneer de draagkracht van de bodem het grootst is.



Figuur 1. Bagger verwijdering met een baggerspuit (links) of met een baggerschep (rechts). Afbeeldingen afkomstig van www.waterbodem.nl en www.zuidholland.nl.

In het sloot sediment zit doorgaans veel stikstof (N) en fosfaat (P). Dit komt door aanvoer van afgestorven waterplanten, maar ook door erosie van de slootkant en door aanvoer vanuit de bodem zelf (bijv. van der Linden 1989 en Boers et al. 1998).

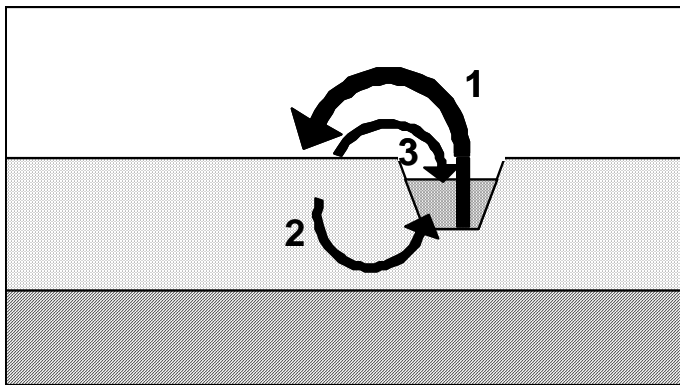
Met de bagger kunnen grote hoeveelheden nutriënten worden gemobiliseerd, ongeveer 100 kg N ha^{-1} en 10 kg P ha^{-1} (van Schaik et al., 2003). Deze nutriënten zijn beschikbaar voor gewasopname, maar kunnen ook voor uit- en afspoeling van N en P naar het oppervlaktewater. Hoewel de nutriënten dan teruggaan naar de sloot, is er een grote verandering opgetreden: in de bagger zijn de nutriënten vastgelegd en verminderd beschikbaar, nutriënten die opgebracht zijn met het baggeren en

vervolgens weer uitspoelen, zijn (meer) mobiel en dragen actiever bij aan de eutrofiëring van het oppervlaktewater. Daarnaast bevat bagger ook veel sulfaten (Jakobsen 1988) en is de pH lager dan in de bovengrond (Breeuwsma et al. 1985), waardoor mogelijk ook nutriënten in de bovengrond vrij kunnen komen. Door de hogere organische stof gehalten en de wisseling van anaërobe omstandigheden in de slootbodem en aërobe omstandigheden na het baggeren, kunnen er sterke wijzigingen in DOC (dissolved organic carbon, opgeloste organisch stof)concentraties en pH in het bodemvocht ontstaan. DOC concentraties en pH zijn een belangrijke parameter voor veel chemische (vastleggings)processen en speelt een belangrijke rol bij transport van contaminanten (m.n. zware metalen).

In deze studie wordt een verkenning uitgevoerd naar een aantal (chemische) eigenschappen van slootbagger en de invloed van bagger en bodem op de uitspoeling van nutriënten (stikstof en fosfaat).

2 Doel

Het doel van deze studie is de uitspoeling van de nutriënten (N en P) en de emissie van N_2O en CO_2 uit opgebrachte bagger vast te stellen om zodoende bagger-op-de-kant als bron van N en P emissies vast te stellen. Het onderzoek gaat uit van een schematische weergave van de problematiek zoals weergegeven in Figuur 2. Waarbij er drie processen worden onderscheiden: Het opbrengen van de bagger (1), uitspoeling van de nutriënten door de bodem (2) en oppervlakkige afspoeling van nutriënten over het maaiveld (3). Dit onderzoek richt zich op het vaststellen van N en P uit-en afspoeling via route 2.



Figuur 2 Schematische weergave van nutriëntencyclus als gevolg van baggeren.

3 Aanpak

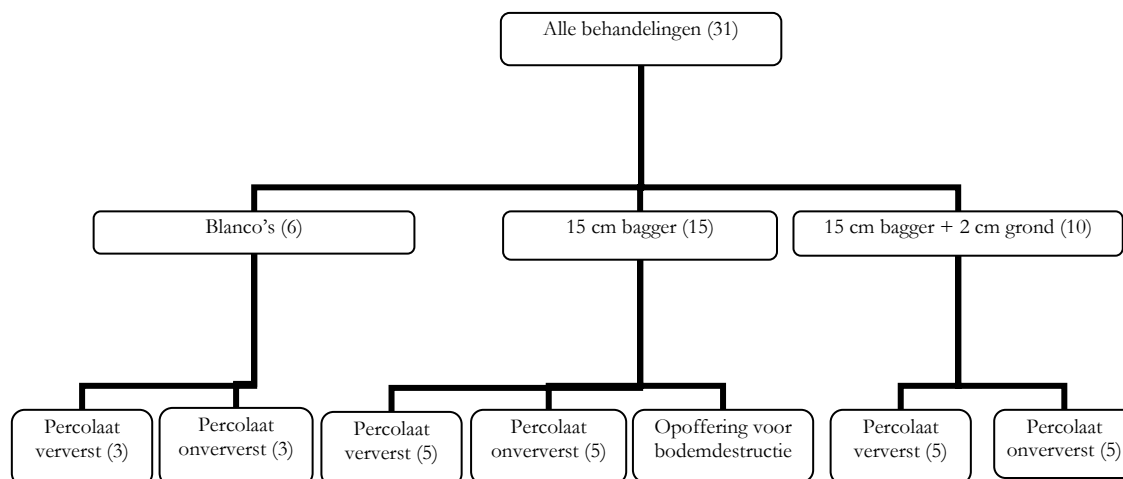
In september 2007 is op één locatie, en in juni 2008 is op twee locaties slootbagger verzameld uit veenweidegebied in West-Nederland (Vlietpolder in gemeente Kaag en Braassem, en Zegveld in gemeente Woerden). De bagger is vervoerd naar Wageningen en aangebracht in lysimeters die in de buitenlucht werden geplaatst (Figuur 3).



Figuur 3. Experimentele opstelling bij Alterra (links) en gevulde lysimeters (rechts).

In beide gevallen is de bagger gevormd door afgestorven vegetatie en afkalving van de kant. In de Vlietpolder wordt bagger bovendien verrijkt door aanvoer van N en P uit een eutrofe veenlaag (van Beek et al., 2007). In Zegveld wordt bagger voornamelijk gevormd door afkalving van de kant en is er geen of weinig sprake van verrijking uit de ondergrond.

Lysimeters zijn in 2007 gevuld met 2 of 15 cm, en in 2008 met 2 of 10 cm bagger, en een aantal lysimeters is gevuld met diezelfde hoeveelheden bagger met onderin een laag grond van 2 cm. Hiervoor is gekozen omdat de uitspoeling uit bagger-op-de-kant naar het slootwater deels via de bodem gaat en deels oppervlakkig afspoelt (Figuur 2). Om naast andere parameters ook nitraat te bepalen in het percolaat is in 2007 gekozen om het percolaat dagelijks te verwijderen bij een deel van de lysimeters. In 2008 is kwik (Hg) toegediend om denitrificatie tegen te gaan. Nitraat kan namelijk snel omgezet worden en om die reden is bij de bemonstering alleen vers percolaat (d.w.z. < 48 uur) geanalyseerd. Uit de andere lysimeters is het percolaat niet verwijderd en kan een deel van het nitraat gedurende de tijd zijn omgezet. Naar verwachting is het verschil tussen beide bemonsteringsmethoden gering omdat in 2007 doorgaans na elke regenbui is bemonsterd. De proefopzet is schematisch weergegeven in Figuur 4.



Figuur 4. Schematische proefopzet. Nummers tussen () geven aantallen herhalingen weer.

Tabel 1 geeft een omschrijving van de verschillende behandelingen.

Tabel 1 Behandelingen in experimenten in 2007 en 2008. Het doel is (A) regenwater opvangen gedurende 1 a 2 dagen of (B) Regenwater opvangen gedurende bepaalde perioden (C) Om op bepaalde tijdstippen op te offeren voor analyse van de bagger.

nr	beschrijving	bagger*	grond*	doel	Aantal lysimeters	Codes
2007						
1.1	Blanco (lege emmers)	0	0	A	2	1.1
1.2	Blanco (lege emmers)	0	0	B	3	1.2
2	15 cm bagger Vlietpolder	7300	0	A	5	2.1 t/m 2.5
3	15 cm bagger Vlietp + 2 cm grond Vlietp.	7300	700	A	5	3.1 t/m 3.5
4	15 cm bagger Vlietpolder	7300	0	B	5	4.6 t/m 4.10
5	15 cm bagger Vlietp + 2 cm grond Vlietp.	7300	700	B	5	5.6 t/m 5.10
6	15 cm bagger Vlietpolder	7300	0	C	5	6.1 t/m 6.5
2008						
1	10 cm bagger Vlietpolder	4970	0	B	3	1.1 t/m 1.3
2	2 cm bagger Vlietploder	0	1200	B	3	2.1 t/m 2.3
3	10 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.	5530	1100	B	3	3.1 t/m 3.3
4	2 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.	1300	1100	B	3	4.1 t/m 4.3
5	2 cm bodem Vlietpolder	0	1100	B	3	5.1 t/m 5.3
6	10 cm bagger Zegveld	5700	0	B	3	6.1 t/m 6.3
7	2 cm bagger Zegveld	0	1300	B	3	7.1 t/m 7.3
8	10 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld	6400	1140	B	3	8.1 t/m 8.3
9	2 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld	1400	1140	B	3	9.1 t/m 9.3
10	2 cm bodem Zegveld	0	1140	B	3	10.1 t/m 10.3
11	Blanco (lege emmers)	0	0	B	3	11.1 t/m 11.3

* het gewicht is per emmer ingewogen en is per laag verschillend ivm tapse vorm emmers

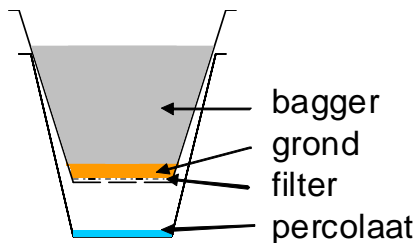
4 Materiaal en Methoden

4.1 Uitspoeling N en P

4.1.1 Proef 2007

Op 3 september 2007 (=dag 0) is van één locatie baggerslib bemonsterd uit een sloot bij een bekend veehouderijbedrijf in de Vlietpolder. De bagger is verkregen van een laag van 5 à 10 cm dik die op een relatief harde bodem lag van de sloot. Het waterpeil in de sloot was 40 cm. De hoogte van de slootwaterpeil was 50 cm beneden maaiveld. Een bodemmonster (0- 10 cm –mv) is genomen op twee meter afstand van de sloot. Het bodemmonster diende voor analyse en voor gebruik in de proef. Een slootwatermonster voor chemische analyse is genomen van het bovenste water in de sloot.

De bagger werd overgebracht in lysimeters van 10L met een geperforeerde bodem. De bodem was afgedekt met filterdoek (poriëngrootte 5 µm). Percolatiewater werd opgevangen in een reservoir (Figuur 5). De minimale (verticale) afstand tussen de lysimeters en het reservoir was 10 cm. De lysimeters werden gevuld met mengmonsters bagger en geplaatst in de buitenlucht in een omheinde locatie in Wageningen. Grond en bagger werd voorafgaand en tweemaal gedurende het experiment gewogen.



Figuur 5. Schematische weergave van lysimeter.

Ongeveer na iedere 10 mm neerslag werden monsters genomen. Monsters van dezelfde behandelingen werden samengevoegd tot één mengmonster. Hierdoor werden per bemonstering 3 monsters (blanco, bagger, bagger+grond) geanalyseerd. Omdat nitraat doorgaans snel wordt omgezet, zijn er twee verschillende bemonsteringstechnieken toegepast: 1) waarbij het percolaat regelmatig werd verversd en 2) waarbij het cumulatief opgevangen percolaat werd bemonsterd (Tabel 1, Figuur 4).

Bij aanvang en gedurende de proef is bodemvocht uit de bagger bemonsterd na centrifugeren. Op 5 september zijn de lysimeters gevuld (=dag 2). Het percolaat van de eerste dag na het vullen van de lysimeters (=dag 3) betrof drainagewater uit de bagger en was niet ontstaan na neerslag. Bij aanvang van de proef is tevens het bodemvocht uit het grondmonster geanalyseerd. Alle analyses zijn uitgevoerd bij het

4.1.2 Proef 2008

Op 23 en 25 juni 2008 zijn 15 plastic bakken gevuld met baggerslib uit een sloot in de Vlietpolder (gemeente Kaag en Braassem; coördinaten RD 100579 464209) en een 4 meter brede sloot nabij Zegveld (gemeente Woerden; coördinaten RD 118398 461112) respectievelijk. De locatie in de Vlietwetering is identiek aan de locatie uit proef A. Het materiaal is met een schepemmer uit de eerste 20 a 30 cm bagger in de sloot gehaald. De waterdiepte van de sloot in de Vlietpolder was 40 cm, en de sloot in Zegveld was 30 cm diep. Tevens zijn monsters genomen van het slootwater en grondmonsters (0-10 cm -mv) op enkele meters afstand van de sloot. Het bovenstaande water in de bakken met bagger is op locatie bemonsterd. Alle bagger, grond en watermonsters zijn na een reistijd van 1 uur in de koelcel bewaard.

Op 26 juni is de bagger overgebracht naar de in proef 2007 (4.1.1) beschreven lysimeters van 10L. Alvorens dit te doen is de bagger in een grote kuip gemengd. Afwijkend van proef 2007, zijn in 2008 alle behandelingen in triplo uitgevoerd. Percolaatmonsters van elke lysimeter zijn geanalyseerd zodat per behandeling (1 t/m 11, zie Tabel 2) drie watermonsters per meetmoment zijn geanalyseerd. De hele proef bestond uit 33 lysimeters. Na elke bemonstering van percolaat is 2 ml HgCl_2 ($15,7 \text{ g Hg L}^{-1}$) toegediend aan de lysimeters om NO_3 omzetting door denitrificatie te voorkomen. Hierdoor konden in 2008 (in tegenstelling tot proef 2007) cumulatief worden verzameld.

Tijdens de proef stond bij behandeling 1 (10 cm bagger Vlietpolder) gedurende de eerste twee bemonsteringsmomenten water bovenin de lysimeter. Alleen bij de eerste monsternamen (na 35 dagen) was de hoeveelheid percolaat bij behandeling 1 kleiner dan de andere behandelingen.

4.1.3 Weergave resultaten

In de rapportage wordt de uitspoeling van stoffen uit bagger op verschillende manieren weergegeven:

1. De concentraties in het percolaat om concentraties in verschillende behandelingen te kunnen vergelijken
2. De gemiddelde concentraties in het percolaat om het effect onafhankelijk van laagdikten van behandelingen te kunnen vergelijken.
3. De gemiddelde uitspoeling uit de lysimeters per materiaal in de lysimeter (U) volgens: $U = cV M^{-1}$ (mg kg^{-1}), waarbij c (mg L^{-1}) de concentratie in het percolaat is, V (L) volume van het percolaat en M (kg) de hoeveelheid bagger en/of grond in de lysimeter.
4. De gemiddelde uitspoeling uit de lysimeters per hectare (E) volgens: $E = cV A^{-1}$ (mg kg^{-1}), waarbij A (ha) de oppervlakte van de lysimeter is.

4.2 Gasvormige emissies

De gasvormige emissies uit bagger zijn vastgesteld voor de locatie Vlietpolder. In een laboratoriumproef werden de emissies van lachgas (N₂O) en koolstof (CO₂) uit grond en bagger bepaald. Hiertoe werden drie behandelingen ingezet: i) alleen grond, ii) alleen bagger en iii) bagger en grond. Iedere behandeling bestond uit veldvochtige grond of veldvochtige bagger, waarvan teruggerekend 100 g droog materiaal is gebruikt per behandeling. De behandelingen werden geïncubeerd bij 15 °C en zijn op veldvochtgehalte gehouden, te weten 29% voor de grondmonsters en 81% voor de baggermonsters. Na 1, 3, 7, 14, 28, 60, 120 en 200 dagen werden de emissies van N₂O en CO₂ gemeten m.b.v. fotoakoestische analyses (van Groenigen et al. 2004).

De emissie van N₂O (E_{N_2O-N} , g/ha/d) en CO₂ (E_{CO_2} , g/ha/d) werd berekend volgens:

$$E = \frac{(C_t - C_0) \cdot V}{Mv \cdot \rho \cdot \Delta t \cdot M} \cdot A \cdot \beta$$

Waarin C de concentratie op tijdstip t is (µl/L), V het volume van de headspace (ml), Mv het molair volume (24,5 L/mol), ρ de dichtheid N in N₂O (28 g/mol), en de dichtheid van CO₂ (44 gram/mol), Δt het tijdsverschil tussen twee metingen (d), M het drooggewicht van de grond (g), A de baggeraanvoer (g/ha) en β een conversie factor van kmol naar gram. De baggeraanvoer was geschat op 180 ton per hectare (van Schaik et al., 2003).

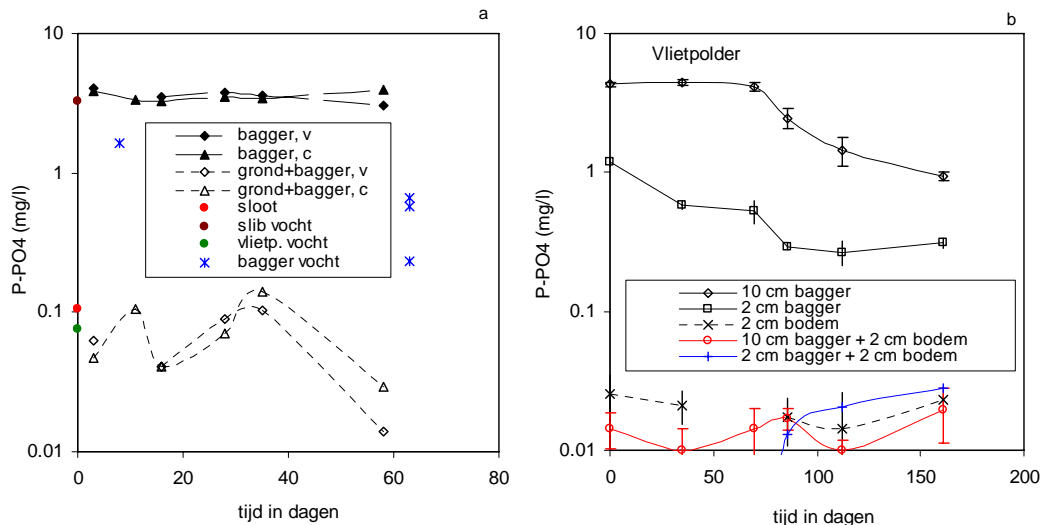
5 Resultaten en Discussie

5.1 Uitspoeling van N en P

Fosfaat

Alle meetresultaten van het experiment in 2007 en 2008 zijn gegeven in respectievelijk Bijlage 3 en 4. Een samenvatting van de experimenten in 2007 en 2008 zijn gegeven in resp. Bijlage 5 en 6. De resultaten van het experiment in 2007 zijn in detail gegeven in Alterra rapport 1703 en de figuren worden ter vergelijking met het experiment in 2008 hier getoond in Bijlage 7. Figuren van de concentraties en uitspoeling als functie van de tijd in het experiment van 2008 staan in Bijlage 8. In de onderstaande tekst worden de resultaten kort besproken en geïnterpreteerd.

De fosfaatconcentraties bij alleen bagger zijn hoog (3 - 4 mg P-PO₄ L⁻¹) in beide proeven. De proef van 2008 is langer doorgezet en fosfaatconcentraties dalen na 60 dagen maar blijven hoog tot het einde van de proef na 160 dagen (0,3 - 1 mg P-PO₄ L⁻¹). De fosfaatconcentraties bij 10 cm bagger zijn hoger dan bij 2 cm bagger (Figuur 6b). De fosfaatconcentraties waren laag (<0,1 mg P-PO₄ L⁻¹) in het slootwater, bodemvocht uit grond van de Vlietpolder (Figuur 6a), en in het percolaat van de behandelingen met bagger + grond (Figuur 6a,b).



Figuur 6 Verloop van fosfaatconcentraties in percolaat en bodemvocht in proef uit 2007 (a) en percolaat in proef uit 2008 (b), beide met bagger en grond uit Vlietpolder.

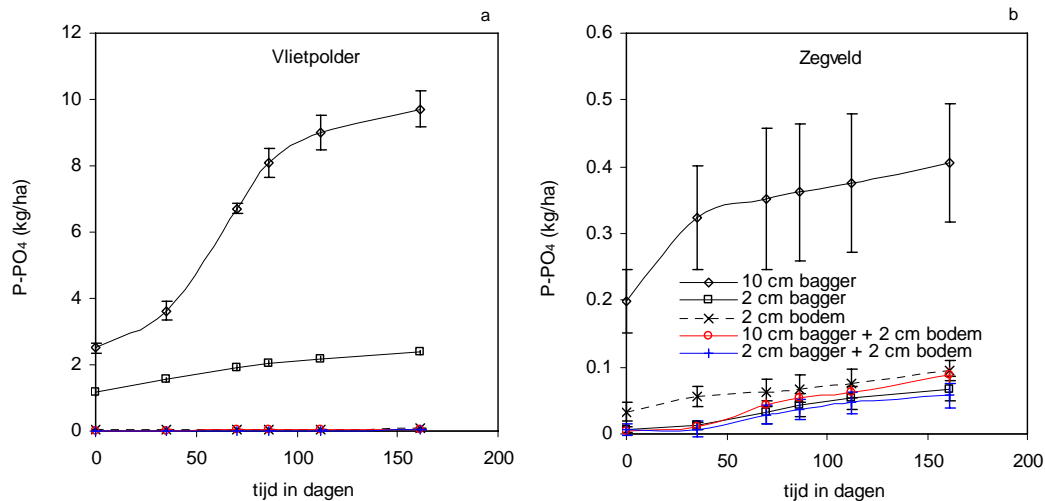
De resultaten zijn voor fosfaat samengevat in Tabel 2. Gegeven zijn de gewogen gemiddelde concentraties, de cumulatieve uitspoeling per hoeveelheid materiaal (bagger+grond), en de uitspoeling uit de lysimeters uitgedrukt per oppervlak. Vanwege de beleidsrelevantie is voor hectaren gekozen. De hoge gemiddelde fosfaatconcentratie van ongeveer 3 mg l⁻¹ P-PO₄ bij bagger uit de Vlietpolder leidt een uitspoeling van bijna 100 mg P per kg bagger. Ten opzicht van de totale hoeveelheid fosfor van 1600 mg per kg bagger (Tabel 3) is dat relatief veel. De

uitspoeling uitgedrukt per oppervlakte eenheid is 10 kg P ha^{-1} bij Vlietpolderbagger. De gift bij 10 en 2 cm Vlietpolderbagger is resp. 169 en 41 kg ha^{-1} (Tabel 2). De gift en de uitspoeling zijn relevant gezien de fosfaatgebruiksnorm van $44 \text{ kg P ha}^{-1} \text{ j}^{-1}$. De uitspoeling van P is te onderscheiden in totaal P (meetbaar via ICP-AES) en molybdeenreactief P oftewel *ortho* P (P in de vorm van PO_4). Het verschil tussen beide is hoofdzakelijk organisch P. Dit onderscheid tussen de vormen van P is relevant want de uitspoeling van *ortho* P is veel lager ($0,07$ à $0,10 \text{ mg/kg}$) dan totaal P ($0,53$ à $0,59 \text{ mg/kg}$) uit resp. de Vlietpolder en Zegveldgrond.

Tabel 2 Samenvatting totale P gift via bagger, en P uitspoeling in experiment van 2008 na 161 dagen: betreft gewogen gemiddelde concentraties, emissie per kg materiaal in lysimeter en emissie per hectare. Fosfor is bepaald als in percolaat als totaal P en als $\text{PO}_4\text{-P}$: beide zijn uitgedrukt in P.

Locatie	Vlietpolder					Zegveld					blanco
behandeling	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
bagger (cm)	10	2	10	2		10	2	10	2		
grond (cm)			2	2	2			2	2	2	
tot. P gift via bagger (kg/ha)	169	41	189	44		156	36	175	38		
P (mg/l)	2.94	0.70	0.09	0.09	0.14	0.19	0.06	0.08	0.08	0.15	0.033
P- PO_4 (mg/l)	2.76	0.61	0.01	0.01	0.02	0.12	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
P (mg/kg*)	98	108	1	2	4	5	9	1	2	6	
P- PO_4 (mg/kg*)	92	93	0.2	0.3	0.6	3.5	2.6	0.4	0.5	1.0	
P (kg/ha)	10	2.8	0.32	0.32	0.53	0.63	0.23	0.25	0.28	0.59	0.14
P- PO_4 (kg/ha)	10	2.4	0.05	0.04	0.07	0.41	0.07	0.09	0.06	0.10	0.05

In Figuur 7 is de cumulatieve uitspoeling van fosfaat weergegeven als functie van de tijd. Uit de Vlietpolderbagger spoelt in 161 dagen veel meer fosfaat dan uit de Zegveldbagger (10 resp. $0,6 \text{ kg P/ha}$ bij 10 cm bagger)(zie ook Tabel 2). Bij een dunnere laag bagger (2 cm) spoelt minder uit de bagger, resp. $2,8$ bij Vlietpolder en $0,2 \text{ kg P/ha}$ bij Zegveld (zie behandeling 2 en 7 in Tabel 2). De uitspoeling van P uit de Vlietpolderbagger (resp. 10 en 3 kg P/ha bij 10 of 2 cm bagger) is hoog ten opzichte van de grond (zie behandeling 1,2 en 5 in Tabel 2) uit de Vlietpolder ($0,5 \text{ kg/ha}$). Dit is niet het geval bij de bagger uit Zegveld. Bij 10 cm bagger ($0,63 \text{ kg P/ha}$) en bij 2 cm bagger ($0,23 \text{ kg P/ha}$) is de uitspoeling nauwelijks hoger of zelfs lager dan uit 2 cm grond ($0,59 \text{ kg P/ha}$) (zie behandeling 6, 7 en 10 in Tabel 2).



Figuur 7 Cumulatieve fosfaatemissie in proef uit 2008 bij Vlietpolder (a) en Zegveld (b). Let op het verschil emissies in figuur a en b.

De hoeveelheid P die uitspoelt uit bagger hoeft niet te leiden tot te veel uitspoeling naar de ondergrond want in de lysimeters met 2 cm grond onder 10 en 2 cm bagger is de uitspoeling van P na 161 dagen zelfs iets lager (0,3 kg P/ha) dan de uitspoeling uit alleen 2 cm grond (0,5 kg P/ha) (zie Figuur 7 en Tabel 2). De ondergrond blijft in het lysimetersysteem voldoende aeroob om *ortho*-fosfaat uit de bagger te kunnen binden.

De hoeveelheid P die uitspoelt uit de Vlietpolderbagger is zoals gezegd aanzienlijk (98 à 108 mg P kg⁻¹ bij resp. 10 en 2 cm bagger) en is circa 6% van het totaalgehalte (1599 mg kg⁻¹). De hoeveelheid P die bij Zegveldbagger uitspoelt (0,6 à 0,2 mg kg⁻¹ bagger bij resp. 10 en 2 cm bagger) is met zo'n 0,4% van het totaal gehalte klein. Dit alles is in lijn met de hogere P verzadigingsgraad (α) van 47% bij Vlietpolder en t.o.v. 23% bij bagger uit Zegveld. De aanvoer van P uit de ondergrond in de Vlietpolder is duidelijk zichtbaar in de hogere verzadigingsgraad. Het verschil, tussen de uitspoeling bij 10 cm en 2 cm bagger geeft echter aan dat niet alleen de P verzadigingsgraad de concentratie en de uitspoeling bepaald. Bovendien is bij de bagger uit de Vlietpolder in 2007 geen hogere P verzadiging bepaald. De bagger is in 2008 in dezelfde vaart bemonsterd maar op een andere locatie waar meer bagger aanwezig was.

Tabel 3 P gehalten (mg kg⁻¹)* en fosfaatverzadiging ($\alpha=200P/(Fe+Al)$ in %) van bagger en grond in experiment van 2008 (gemiddelden van drie metingen).

Locatie	Vlietpolder				Zegveld			
	P totaal	P-AR	Pox	α	P totaal	P-AR	Pox	α
bagger	1599	1533	918	47%	1350	1155	665	23%
bodem	1232	1157	794	21%	2159	1925	1114	19%

* zie Bijlage 1 voor methoden: P-totaal extractie met H₂SO₄-H₂O₂-Se, P-AR extractie met *Aqua Regia*, P ox extractie met oxaalzuur.

Stikstof

De concentraties nitraat in het slootwater en in het eerste percolaat van de proef in 2007 waren beneden de detectiegrens van 0,03 mg N-NO₃ L⁻¹ terwijl de nitraatconcentratie in het uitgeslingerde bodemvocht van de bemonsterde bodem hoog was (22 mg N L⁻¹; zie Bijlage 7). De ammoniumuitspoeling is vaak kleiner dan de aanvoer vanuit de lucht (=blanco). De ammonium-, nitraat- en N-totaalconcentraties in het percolaat variëren gedurende de proefperiode (zie Bijlage 7 & 8). Uiteindelijk zijn de verschillen in uitspoeling (Tabel 4) van N-totaal tussen de verschillende lysimeters niet groot. De bagger is initieel anaeroob, waardoor eventueel gevormd nitraat ogenblikkelijk wordt gedenitrificeerd (omgezet in N₂). De uitgespoelde stikstofhoeveelheden zijn gering t.o.v. de totale stikstofgift via bagger (Tabel 4).

Tabel 4 Samenvatting van totale N gift via bagger, en N uitspoeling in experiment van 2008 na 161 dagen: betreft gewogen gemiddelde concentraties, emissie per kg materiaal in lysimeter en emissie per hectare.

Locatie	Vlietpolder					Zegveld					blanco
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
behandeling											
bagger (cm)	10	2	10	2		10	2	10	2		
grond (cm)			2	2	2			2	2	2	
tot. N gift via bagger (kg/ha)	1529	369	1701	400		2174	496	2441	534		
N-NO ₃ (kg/ha)	4	4	3	9	8	1	2	4	11	13	3
N-NH ₄ (kg/ha)	11	4	2	2	3	3	4	2	2	2	7
N _{ts} (kg/ha)	26	14	14	21	26	9	10	13	21	31	12

Extrapolatie naar uitspoeling per jaar

De uitspoeling van de uitspoeling naar een jaarlijkse vrucht is gedaan op basis van de verhouding tussen het gemiddelde neerslag in Nederland (790 mm) en de gemiddelde hoeveelheid percolaat bij de blanco. Uitgaande van de hoeveelheid percolaat uit de lysimeter met bagger in 2007 was de jaarlijkse uitspoeling uit Vlietpolderbagger (minus neerslag): 90 kg N ha⁻¹ j⁻¹ en 28 kg P ha⁻¹ j⁻¹ (zie Tabel 5). Uitgaande van het experiment in 2008, dat veel langer duurde dan het experiment uit 2007, was de jaarlijkse uitspoeling uit Vlietpolderbagger lager (minus neerslag): 72 kg N ha⁻¹ j⁻¹ en 16 kg P ha⁻¹ j⁻¹ (Tabel 6). De uitspoeling uit Zegveldbagger was voor stikstof klein (niet te onderscheiden van neerslag) en 1,0 kg P ha⁻¹ j⁻¹. Bij dunnere lagen bagger, 2 cm in plaats van 10 cm bagger is, is de uitspoeling per hectare vanzelfsprekend veel lager: 4 i.p.v. 16 kg bij de Vlietpolderbagger en 0,4 i.p.v. 1,0 P ha⁻¹ j⁻¹ bij Zegveldbagger.

In het geval van de Vlietpolder betreft de gift (Tabel 3 en 4) en de uitspoeling relevante hoeveelheden ten opzichte van de huidige stikstofgebruiksnorm van 265 à 300 kg N ha⁻¹ en ten opzichte van de huidige fosfaatgebruiksnorm van 44 kg P ha⁻¹ j⁻¹ (is 100 kg P₂O₅ ha⁻¹) op grasland op veen.

Tabel 5 Cumulatief uitgespoelde hoeveelheden (kg ha^{-1}) uit experiment in 2007. Geëxtrapoleerd naar één hectare en één jaar (excl 1^e dag) via: een factor 21 (in 56 dagen 55 mm neerslag; per jaar 792 mm). Berekend op basis van percolaat zonder de eerste dag.

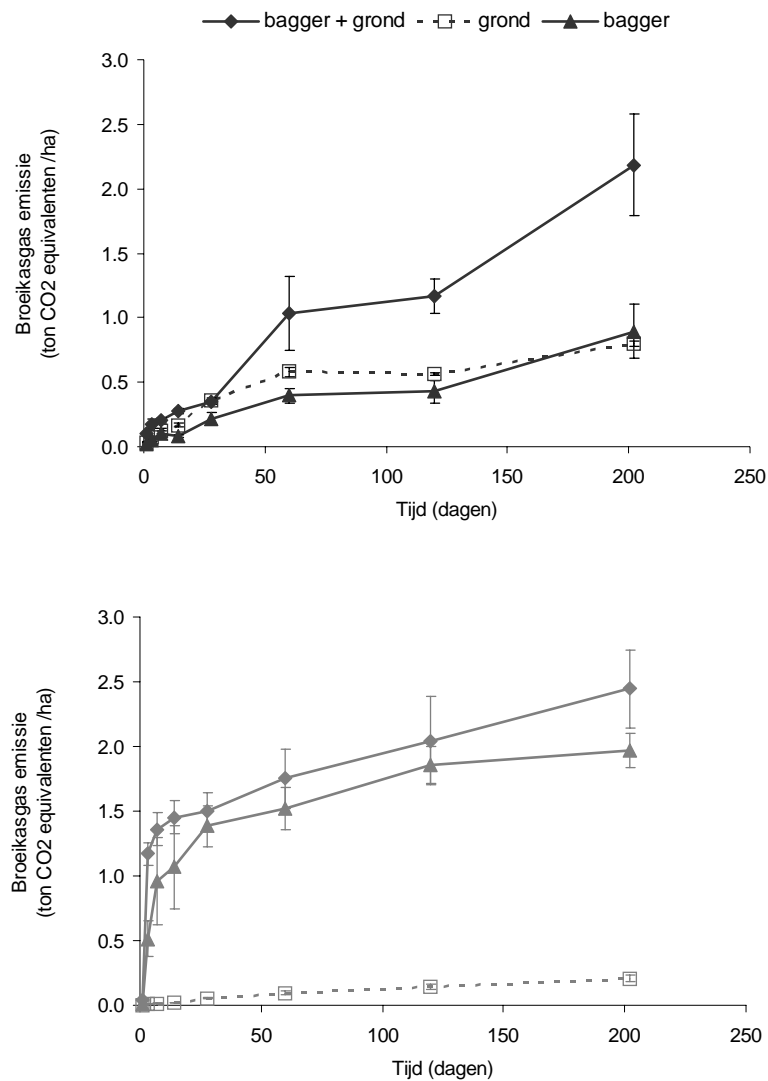
	In 1 jaar per hectare				
	DOC	N-NO3	N-NH4	N org	P
blanco	51	5	14	8	
Bagger vlietp.	571	17	35	38	28
bagger+grond	905	18	20	74	0,6

Tabel 6 Cumulatief uitgespoelde hoeveelheden (kg ha^{-1}) uit experiment in 2008 geëxtrapoleerd naar 1 jaar.

	In 1 jaar per hectare				
	DOC	N-NO3	N-NH4	N org	P
Blanco	44	5	10	3	0.2
10 cm bagger Vlietpolder	164	7	16	16	16
2 cm bagger Vlietpolder	93	6	7	8	4
10 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.	165	4	4	13	0.5
2 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.	186	14	3	15	0.5
2 cm bodem Vlietpolder	306	13	4	23	0.8
10 cm bagger Zegveld	129	2	4	8	1.0
2 cm bagger Zegveld	78	3	5	6	0.4
10 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld	123	6	4	9	0.4
2 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld	148	17	4	12	0.4
2 cm bodem Zegveld	300	21	3	24	0.9

5.2 Emissie van CO₂ en N₂O

De emissies van broeikasgassen uit bagger waren aanzienlijk: per baggeronde werd ongeveer 2,5 ton CO₂ equivalenten als N₂O en ongeveer 2.0 ton CO₂ geëmitteerd. Dit is ongeveer gelijk aan respectievelijk 6% en 20% van de gerapporteerde CO₂ en N₂O emissies voor ontwatering van veengronden (MNP, 2005), waarbij een baggerfrequentie van eens in de 5 jaar en een baggerdikte en een baggeraanvoer van 180 ton/ha is aangenomen (van Schaik et al., 2003). De aanwezigheid van bagger leidde tot een aanzienlijke stijging van emissies in vergelijking tot alleen grond, maar hoogste emissies werden gevonden in de behandelingen bagger met grond, vooral voor CO₂ (zie Figuur 8).



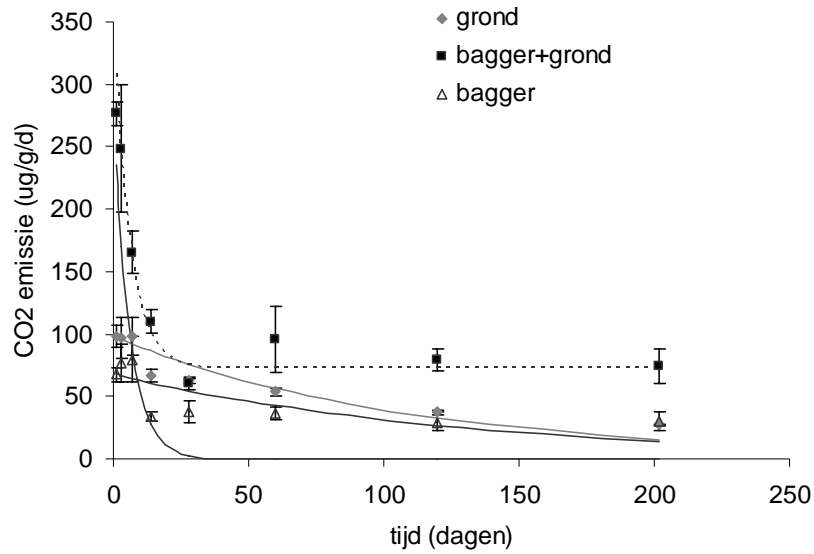
Figuur 8 Cumulatieve emissies van CO₂ (boven) en N₂O (onder) uit verschillende behandelingen in de tijd.

De afbraaksnelheid van koolstof uit de verschillende behandelingen is berekend met een eerste orde afbraak vergelijking volgens een 1 pool afbraak model. Hierbij is aangenomen dat de emissie van CO₂ volledig verklaard kan worden uit de afbraak van organische stof. Dan geldt dat de emissie gelijk is aan de verandering van de voorraad organische stof (van Groenigen en Zwart, 2007).

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (1)$$

Hierin is C de concentratie op een bepaalde tijd, t de tijd (d) en k de afbraaksnelheid (k). Figuur 9 laat zien dat de eerste orde vergelijking een goede fit geeft voor bagger en grond, maar niet voor de combinatie bagger+grond. Voor de combinatie bagger + grond is een extra parameter a toegevoegd. Vergelijking 1 wordt dan:

$$C_t = a + C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2)$$



Figuur 9 Afbraaksnelheid van de verschillende behandelingen. Lijnen geven eerste orde afbraakvergelijking aan (vergelijking 2). Gestippelde lijn is vergelijking 2.

Uit Figuur 9 komen de volgende afbraakconstanten (Tabel 7).

Tabel 7 Afbraakconstanten voor de verschillende behandelingen.

	K (d ⁻¹)	a
bagger	0.0078	n.v.t.
grond	0.0091	n.v.t.
Bagger + grond	0.1636	73.28

De CO₂ emissie bedroeg gemiddeld 12 mg/g/jaar uit bagger, 15 mg/g/jaar uit grond en 30 mg/g/jaar voor combinaties bagger met grond (niet gepresenteerd). In de bagger zit ongeveer 235 g/kg C en in de bodem ongeveer 106 g/kg C (Bijlage 2). Van de bagger wordt in 1 jaar tijd ongeveer 5% geëmitteerd. Van de grond is deze fractie veel hoger en van bagger + grond wordt de grootste fractie geëmitteerd (Tabel 8). Dit komt overeen met de resultaten uit Tabel 7.

Tabel 8 Emissiefracties eerste jaar na toediening

	Gemiddeld C gehalte (g/kg) bijlage 2)	Emissie (g/kg/j)	Fractie per jaar
Bagger	235	12	0.05
Grond	106	15	0.14
Bagger + grond	171	30	0.18

5.3 Synthese

Gedurende de experimenten is de structuur van de bagger veranderd. Het is gerijpt, waardoor de bagger veranderd in een bodem. De eerste rijping laat zich zien in de vorm van scheurvorming. Tussen de scheuren in is de bagger waarschijnlijk nog

steeds anaeroob. Na 60 dagen in experiment 2008 verdween het visueel onderscheid tussen bagger en bodem. Alleen in behandeling 1 en 2, met de Vlietpolderbagger (zie Tabel 1, 2008) percoleerde het water slecht waardoor de eerste twee maanden een laagje water aan het oppervlak van de bagger bleef liggen.

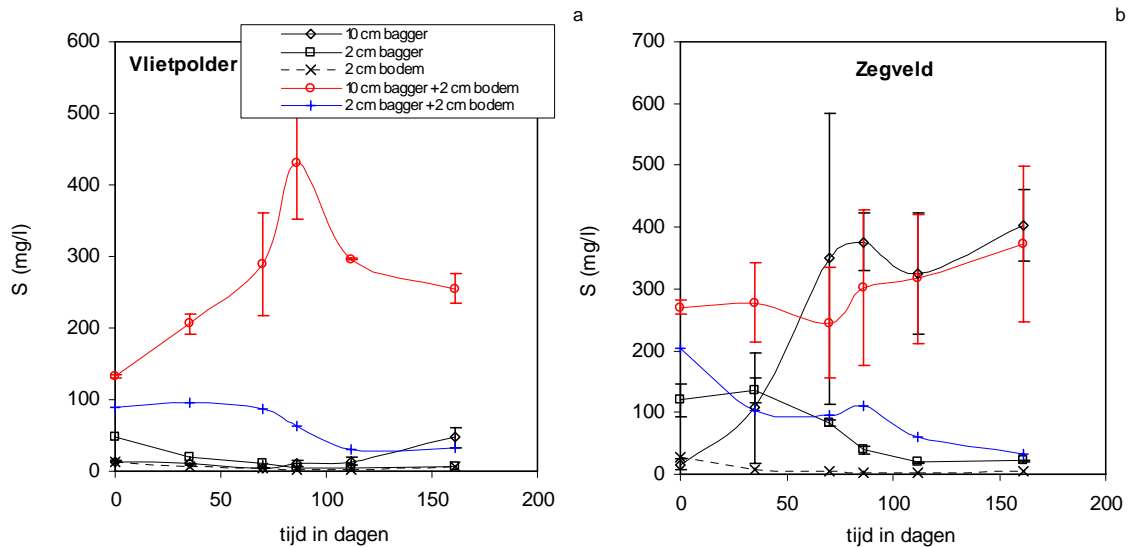
Een belangrijk effect van rijping is dat Fe(II) wordt omgezet in Fe(III). De sterke pH daling na verloop van tijd in alle lysimeters met bagger wijst hierop. Oxidatie van veel sulfide kan leiden tot een daling van de pH. Bijlage 8 (Figuur 8.8) laat zien dat in die situaties waar veel sulfaat uitspoelt, de pH veel lager wordt dan de pH van de initiële bagger. Alleen in behandeling 1 en 2 is de sulfaatuitspoeling, de pH daling en dus de oxidatie gering. De geringe oxidatie is waarschijnlijk veroorzaakt door de slechte percolatie in de eerste twee maanden. Oxidatie van ijzer (Fe) heeft belangrijke consequenties voor de vastlegging van fosfaat. Het fosfaat bindende vermogen van Fe(III) is immers veel groter. Fosfaat kan vrijkomen uit anaerobe bagger, maar wordt weer vastgelegd in aerobe grond en gerijpte aerobe bagger. De resultaten komen hier ook mee overeen. Er is weinig P uitspoeling als een onderliggende laag aerobe bodem wordt meegenomen. Tevens dalen de fosfaatconcentraties in alle lysimeters met bagger na verloop van tijd.

Een tweede gevolg van rijping is de oxidatie van organische stof. Onder anaerobe condities komt hierbij geen nitraat vrij, maar zodra er aerobie is wordt stikstof aanwezig in de organische stof omgezet in nitraat. Dit proces vindt plaats in de gerijpte bagger, maar ook in de oorspronkelijke bodem. Omdat de gebruikte bodem al veel organische stof bevatten zijn bij deze experimenten de verschillen tussen bodem en bagger relatief klein.

Tabel 9 Totaal gehalten (g kg⁻¹) van bagger en grond in experiment van 2008 (gemiddelden van drie metingen) met tussen haakjes resp. de C/N, C/S en C/P quotiënten.

Materiaal	Locatie	Vlietpolder				Zegveld			
		C	N	S	P	C	N	S	P
bagger		239	14 (17)	25 (9)	1.6(149)	279	19(15)	18(15)	1.3(207)
bodem		104	8 (13)	3 (41)	1.2 (84)	220	18(12)	5(44)	2.2(102)

Om de uitspoeling van stikstof en met name fosfaat uit bagger beter te begrijpen is de uitspoeling van Fe en S bepaald in het percolaat van de proef in 2008 en zijn de zwavelgehalten in bagger en grond bepaald. Tevens zijn de totaalgehalten van koolstof, stikstof (N), zwavel (S) en fosfor (P) bepaald in de bodem en bagger (zie Tabel 9). De bagger in de Vlietpolder bevat ten opzichte van de bodem ruwweg de dubbele hoeveelheid organische stof (C en N). In Zegveld zijn de gehalten vergelijkbaar. Opvallend is bij beide baggers de grote hoeveelheid S. In de baggers is, naast S in organische stof, naar verwachting veel S aanwezig als ijzersulfide. Het P gehalte is een combinatie van organisch en anorganisch P en kan daardoor zowel hoger (Vlietpolder) als lager (Zegveld) zijn.



Figuur 10 Gemiddelde S concentraties in percolaat bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld (in mg S/l).

Zoals hierboven is aangegeven kan er een samenhang zijn tussen de aanwezigheid van S en de uitspoeling van P. Uitspoeling van zwavel geeft aan dat er oxidatie plaats vindt en het bodemgebonden sulfide wordt omgezet in uitspoelbaar sulfaat. Het oplossen van de ijzersulfide gaat dan ook gepaard met een sterke toename in de geleidbaarheid (zie EC in Tabel 10). De mate van uitspoeling wordt vervolgens weer bepaald door de oplosbaarheid van gevormde sulfaten. De belangrijkste hiervan is CaSO_4 . In de experimenten met bagger uit Zegveld vindt de meeste uitspoeling van sulfaat plaats, en in de Vlietpolderbagger met bodem onderin de lysimeters. Niet alleen qua concentratie in het water (Figuur 10 en Tabel 10), maar ook als percentage van het aanwezige zwavel (Tabel 11). In het geval van bagger uit Zegveld spoelt zelfs tot 65% van het S wat aanwezig was in de bagger uit in 161 dagen. Bij deze experimenten is ook de minste uitspoeling van fosfaat gemeten. De hoogste uitspoeling van zwavel bij de Vlietpolder gaat ook samen met een lage uitspoeling van fosfaat. De oxidatie zoals bepaald door de hoge S uitspoeling en EC, gaat ook gepaard met een sterke verzuring. Dit is zichtbaar in de lysimeters met alleen bagger (Figuur 8.8 in Bijlage 8). In de lysimeters met bodem wordt de pH grotendeels door de bodem bepaald.

Tabel 10 Zwavel (S) uitspoeling in experiment van 2008 na 161 dagen: betreft gewogen gemiddelde concentraties.

Locatie	Vlietpolder					Zegveld					Blanco
behandeling	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
bagger (cm)	10	2	10	2		10	2	10	2		
grond (cm)			2	2	2			2	2	2	
pH	8.0	7.6	5.5	5.8	6.3	6.5	5.5	5.0	5.3	6.1	5.7
S (mg/l)	18	19	248	68	7	283	78	299	108	11	1
Fe (mg/l)	0.03	0.02	3.22	0.86	1.75	0.13	0.10	0.68	0.38	1.22	0
EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	547	232	1281	482	112	1377	505	1466	670	143	74

Tabel 11 Percentage C, N, S en P (%) dat uitspoelt in experiment van 2008 (gemiddelden van drie metingen).

Locatie	Vlietpolder					Zegveld				
behandeling	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
bagger (cm)	10	2	10	2		10	2	10	2	
grond (cm)			2	2	2			2	2	2
C	0.4	1.0	0.3	0.6	1.6	0.3	0.7	0.1	0.3	0.9
N	1.7	3.7	0.5	1.5	2.6	0.4	1.9	0.3	0.9	1.8
S	2	11	26	24	9	44	65	32	37	8
P	6.1	6.7	0.1	0.2	0.4	0.4	0.7	0.1	0.1	0.3

De uitspoeling van sulfaat kan vervolgens in de sloot weer leiden tot interne eutrofiering. In de waterbodem vindt het omgekeerde proces plaats en wordt sulfaat gereduceerd tot sulfide. Dit bindt met aanwezig Fe(II), waardoor de mogelijkheid tot binding van fosfaat in het waterbodemsysteem afneemt. In hoeverre het sulfaat uit de bagger hierbij een rol speelt hangt af van de grootte van andere sulfaatbronnen. Zoute kwel kan een aanzienlijke bron zijn.

6 Conclusies en Aanbevelingen

Uit de metingen die in dit rapport worden beschreven kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Door baggeren worden relatief (d.w.z. ten opzicht van stikstof- en fosfaatgebruiksnormen) grote hoeveelheden N en P op het land gebracht.
- Dit kan een potentieel aanzienlijke uitspoeling geven (tot 10 kg P/ha) welke gebonden kan worden in de onderliggende bodem en daarmee leidt tot een hogere bodemvruchtbaarheid.
- De dikte van de baggerlaag heeft per hectare een meer dan evenredig effect op de P uitspoeling. Uit een baggerlaag die twee keer zo dik is, spoelt meer dan twee keer zoveel uit.
- De uitspoeling van nitraat uit bagger is van dezelfde orde grootte als die van de bodem.
- Door contact met de bodem neemt de uitspoeling af. Dit wordt veroorzaakt door sorptie van fosfaat aan de bodem. Vorming van Fe(III) en aanwezigheid van Fe(III) spelen hierbij een belangrijke rol.
- De verschillen in resultaten tussen de twee onderzochte locaties zijn aanzienlijk (ongeveer een factor 2 voor N en een factor 24 voor P). Deze verschillen worden deels verklaard door de mate van P-verzadiging van de bagger. De P verzadiging van de bagger is per locatie verschillend.
- Baggeren stimuleert de emissie van CO₂ en N₂O. Geëxtrapoleerd naar veldschaal met 180 ton bagger per ha komt de gemeten CO₂ en N₂O flux neer op een emissie van resp. 2 en 2,5 ton CO₂ eq. per ha.

Aanbevelingen

1. Bagger van verschillende herkomst geeft grote verschillen in potentiële uitspoelingsfluxen. Het verdient aanbeveling om de relatie tussen herkomst van bagger en de snelheid van rijping op uitspoeling van N en P nader te onderzoeken. Als blijkt dat er gebiedsspecifieke vuistregels kunnen worden afgeleid (bijv. wel of geen kwel en trofiegraad van het veen), kunnen gerichte adviezen over baggertechnieken worden opgesteld.
2. De proeven die in dit rapport beschreven worden zijn allen uitgevoerd in het laboratorium onder geconditioneerde omstandigheden. Het wordt sterk aanbevolen om de conclusies te staven met veldwaarnemingen. De snelheden van de rijping (oxidatie) na het op de kant brengen kunnen in de praktijk sterk afwijken van de in dit rapport beschreven experiment.
3. Bagger heeft een sterk bemestende werking. Vooralsnog is dit niet meegenomen in de gebruiksnormen, noch in bemestingsvrije bufferstroken langs watergangen.
4. Deze studie toont het belang van bagger aan voor zowel waterkwaliteit als voor broeikasgasemissies. Er is echter geen vergelijk gemaakt tussen verschillende

methoden van baggertoediening: kantbaggeren of spuitbaggeren¹. Een dergelijke analyse maakt het mogelijk om handelingsperspectieven voor beter gebruik van bagger op te stellen.

¹ Kantbaggeren lijkt in eerste instantie meer risico met zich mee te brengen op uitspoeling van N en P omdat de 'bron' dicht bij het oppervlaktewater is. Echter, door kantbaggeren wordt er ook een soort walletje om het perceel gelegd waardoor oppervlakkige afspoeling af kan nemen. Bovendien wordt veel organische stof aangebracht waardoor er een denitrificatie buffer ontstaat en NO₃ wordt verwijderd uit het uitspoelingswater. Het is onduidelijk wat het netto effect is van beide methoden.

Literatuur

Boers P., W. van Raaphorst & D. van der Molen, 1998. *Phosphorus retention in sediments*. Wat. Sci. Tech. 37: 31-39.

Breeuwsma A., C. van Wallenburg & H. van Wijck, 1985. *Bodemverzuring door slootbagger in relatie tot bodemgesteldheid en waterkwaliteit*. Cultuurtechnisch tijdschrift 25: 153-160.

Jakobsen B.H., 1988. *Accumulation of pyrite and Fe-rich carbonate and phosphate minerals in a lowland moor area*. Journal of Soil Science 39: 447-455.

Kemmers, R., 2007 *Desorptie en adsorptie van fosfaat na vernatting van veengrond uit het Hunzèdal*. Alterra rapport 1575, Wageningen.

Van Beek C.L., 2007. *Nutrient Losses from Grasland on Peat Soil*. Ph.D Thesis. Wageningen University, Wageningen.

Van der Linden M.J.H.A., 1989. *Release of sedimentary nitrogen and phosphorus in polder ditches of a low-moor peat area*. Hydrobiological Bulletin 23: 125-134.

van Groenigen J.W., G.J. Kasper, G.L. Velthof, A. van den Pol-van Dasselaar & P.J. Kuikman, 2004. Nitrous oxide emissions from silage maize fields under different mineral nitrogen fertilizer and slurry applications. Plant and Soil 263: 101-111.

Van Schaik F.H., C.L. van Beek & K. van Houwelingen, 2003. *Waterbodem en baggerproef in de Vlietpolder*. Hoogheemraadschap van Rijnland.

van Groenigen J.W. & K.B. Zwart, 2007. Koolstof en stikstof mineralisatie van verschillende soorten compost. Een laboratorium studie. Alterra rapport 1503.

Bijlage 1 Beschrijving van gebruikte analysemethoden

Matrix	SWV	Apparaat	RvA accreditatie	Element
Grond vochtbepaling (VEP)				vocht (20-105 °C)
Grond bodemvocht uitslinteren	E0002	centrifuge	-	
Grond colloid malen 50 µm			-	
Grond drogen 40°C			-	
Grond zeven 2 mm			-	
Grond destructie H ₂ SO ₄ - H ₂ O ₂ -Se (<i>P en N totaal</i>)	E1407	SFA-Nt/Pt	ja	Nt en Pt
Grond destructie HNO ₃ -HCl (<i>P en S AR: Aqua Regia</i>)	E1307	ICP-AES Thermo		P en S
Grond Gloeiverlies	E0100	moffeloven	ja	Organische stof (105-550 °C)
Grond Kurmies	E1413	spectrofotometer	-	C
Grond extractie 0,01 M CaCl ₂	E0104 E1301 E1409 E2508	pH meter ICP-AES Varian SFA-CaCl ₂ SFA-TOC	ja - ja	pH P en S Nt, NH ₄ , NO ₃ , PO ₄ DOC
Grond extractie ammonium- oxalaatoxaalzuur	E1351	ICP-AES Varian	-	Al, Fe, Mn, P
Water/percolaat/bodemvocht	E1417 E2507 E0103 E0120 E1304	SFA-CaCl ₂ SFA-TOC pH meter EC ICP-AES Thermo	ja - ja ja ja	Nt, NH ₄ , NO ₃ , PO ₄ DOC pH EC Fe, S, P

SWV: standaardwerkvoorschrift

Bijlage 2 Gehalten stikstof, fosfaat en organische stof in bodem, sloot en bagger

Totaalgehalten, bij aanvang experiment en na beëindiging

monstercode	Nt	Pt	P	S	org. stof	Kurmies C	Vochtgehalte
	Destructie		AR**				
	g/kg	mg/kg	mg kg ⁻¹		%	g/kg	%

Bij aanvang experiment in 2007

vlietpolder bagger 2007	12.7	654			40.8	301	84.2
vlietpolder grond 2007	11.8	1845			29.9	179	44.9

Na beëindiging

Bagger 6.1 uit experiment 11 sept 2007	8.9	571			29.4	198	75.8	
Bagger 6.2 experiment 2 nov 2007	boven *	12.3	633			36.2	199	72.9
	midden	10.5	560			39.7	162	77.7
	onder	11.4	595			34.2	185	73.4

Bij aanvang experiment in 2008

vlietpolder grond 2008	8.6	1287	1229	2751	24.3	106	29.6
	8	1216	1158	2414	24	100	28.8
	8.2	1192	1084	2448	23.5	106	28.8
vlietpolder bagger 2008	13.4	1411	1394	23981	37.7	221	84.2
	14.7	1618	1474	24701	37.3	246	86.1
	15.2	1769	1730	27198	41.2	250	87.5
zegveld grond 2008	18.2	2177	1921	5066	44.3	229	43.9
	17.3	2115	1865	4739	44.2	215	42.8
	18.3	2186	1989	5293	46.1	216	43.9
zegveld bagger 2008	18.2	1343	1228	18038	49.7	270	86.1
	19.4	1407	1181	18982	50	283	85.8
	18.9	1299	1056	17669	52.3	284	88

Na beëindiging

Bagger Vlietpolder, mengm. nr.1.1, 1.2, 1.3	14.9	1428	1460	23770	39.8	203	74.3
Bagger Vlietpolder, mengm. 2.1, 2.2, 2.3	15.9	1534	1689	25585	41.1	226	59
Grond Vlietpolder, mengm. 5.1, 5.2, 5.3	7.71	1092	1201	2455	21.5	98.3	42.7
Bagger Zegveld, mengm. 6.1, 6.2, 6.3	16.5	1041	1063	12506	49.6	221	72.8
Bagger Zegveld, mengm. 7.1, 7.2, 7.3	16.8	1144	1244	9783	47.3	214	63.5
Grond Zegveld, mengm. 10.1, 10.2, 10.3	15	1751	1792	4056	41.7	147	56.6

* bovenste gedeelte van de lysimeter (2856 gram), middelste gedeelte minus de zijanten (872 gram), onderste gedeelte van de lysimeter (1712 gram). De lysimeter bevatte in totaal 5440 gram materiaal.

** AR: *Aqua Regia*

Concentraties in slootwater vooraf aan bemonstering bagger

	EC	Fe	P	S	pH	C	N-NH4	N-(NO3+NO2)	Nts	P-PO4
	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Vlietpolder 2007*	608	-	-	-	7.95	59	0.29	0	4.03	0.11
Vlietpolder 2008#	990	0.039	0.487	25	8.25	31.3	0.24	0.02	2.45	0.39
Zegveld 2008\$	494	0.106	0.089	19	9.07	33.8	0.09	0	2.4	0.05

*3-sept-2007, # 23 juni 2008, \$ 25 juni 2008.

Vervolg op volgende pagina

Ammoniumoxalaat - oxaalzuur extractie

monstercode	Al mg /kg	Fe mg /kg	Mn mg /kg	P mg /kg	Fosfaat- verzadiging
					$\square = 200P / (Al + Fe + Mn)$ mol/mol
<i>Bij aanvang experiment in 2007</i>					
Vlietpolder bagger 2007	2224	1152	217	405	0.24
Vlietpolder grond 2007	2911	10119	94	1268	0.28
Bagger 6.1 uit experiment 11 sept 2007	1256	2406	215	283	0.20

Na beëindiging

Bagger 6.2	boven *	1321	1906	238	242	0.18
uit experiment	midden	1397	2121	238	250	0.17
2 nov 2007	onder	1377	1756	234	246	0.18

Bij aanvang experiment in 2008

vlietpolder grond 2008	2400	8233	95.9	768	0.21
	2423	8357	99.8	827	0.22
	2532	8765	90.5	787	0.20
vlietpolder bagger 2008	2431	1079	326	782	0.44
	2718	1235	410	953	0.47
	2784	1301	478	1019	0.49
zegveld grond 2008	3403	13816	184	1112	0.19
	3348	13865	184	1182	0.20
	3356	13182	187	1048	0.19
zegveld bagger 2008	3414	2886	272	657	0.23
	3355	3190	277	702	0.24
	3349	3315	314	635	0.22

Na beëindiging

Bagger Vlietpolder, mengm. nr.1.1, 1.2, 1.3	2585	1366	435	805	0.41
Bagger Vlietpolder, mengm. 2.1, 2.2, 2.3	2697	2577	477	810	0.34
Grond Vlietpolder, mengm. 5.1, 5.2, 5.3	2567	9188	77.9	809	0.20
Bagger Zegveld, mengm. 6.1, 6.2, 6.3	3365	7070	272	584	0.15
Bagger Zegveld, mengm. 7.1, 7.2, 7.3	3621	9520	289	623	0.13
Grond Zegveld, mengm. 10.1, 10.2, 10.3	3385	11094	126	960	0.19

CaCl₂ extractie

monstercode	P	S	pH	N- NH ₄	N- NO ₃	Nt	P- PO ₄	C
	mg/kg	mg/kg		mg N/kg	mg N/kg	mg N/kg	mg P/kg	mg/kg
Bagger vlietpolder	8.52	578	6.59	38.6	0.9	74	5.5	687
Bodem vlietpolder	6.4	252	4.74	11.7	21	89	0.9	737
Bagger 6.1 uit experiment 11 sept 2007	3.9	2392	5.72	63.1	3.2	70	1.7	254
Bagger 6.2 uit experiment 2 nov 2007	boven *	3.3	1420	5.97	26.7	0.5	44	1997
	Midden	3.1	1796	5.86	67.1	2	108	251
	onder	3.6	1281	6.01	34.9	0.9	53	1564

Organisch P (P_{org}) kan berekend worden uit het verschil tussen P en P-PO₄ in het extract. P is totaal P gemeten met ICP-AES en P-PO₄ is via molybdaatkleuring meetbare fosfaat.

Bijlage 3 Analyseresultaten experiment in 2007

Op 3 september 2007 zijn de baggermonsters genomen. Op 5 september zijn lysimeters gevuld (=dagnr. 0).

*	dag nr	Datum be-monstering	EC $\mu\text{S/cm}$	pH	C mg/l	N-NH ₄ mg/l	N-NO ₃ mg/l	Nts mg/l	P-PO ₄ mg/l	vol. perc. L	Aantal ** n
1.1 blanco	8	11-9				1.38	0.6			1.1	3
	16	19-9	62	6.6	13	0.91	0.61	2.05	-0.001	2.2	3
	28	1-10	36	6.86	7	0.94	0.64	2.01	0	3.8	3
	35	8-10	45	6.5	5	0.9	1.1	2.4	0.0	1.7	3
	58	31-10	74	7.1	13	2.52	1.2	5.16	0.053	2.1	3
1.2 blanco	11	14-9	94	7.3	7	1.3	0.7	2.6	0.0	1.0	3
	16	19-9	104	7.21	13	0.67	0.79	2.26	-0.001	2.2	3
	28	1-10	35	6.68	9	0.76	0.63	2.01	0	3.8	3
	35	8-10	38	6.3	4	1.0	1.1	2.5	0.0	2.0	3
	58	31-10	71	7.0	11	2.64	1.3	4.88	0.058	2.0	3
2. bagger, v	3	6-9	1070	8.32	92	9.83	0.01	16.8	4.02	5.3	5
	8	11-9				5.36	0.1			1.9	5
	16	19-9	990	8.37	84	6.37	0.35	11.8	3.53	1.8	5
	28	1-10	877	8.36	69	5.07	1.72	10.8	3.77	4.3	5
	35	8-10	814	8.1	60	4.7	2.3	11.2	3.6	1.9	5
	58	31-10	814	8.2	59	0.26	5.74	10.0	3.07	1.8	5
3.grond+bagger, v	3	6-9	751	6.37	89	0.36	1.64	11.6	0.063	6.3	5
	8	11-9				2.63	0.25			1.8	5
	16	19-9	611	6.73	131	2.21	5.96	18.7	0.041	2.1	5
	28	1-10	595	7.04	130	3.33	0.59	14	0.09	4.5	5
	35	8-10	554	7.0	104	2.5	0.3	11.4	0.1	2.2	5
	58	31-10	756	6.5	52	0.96	3.85	8.2	0.014	1.6	5
4.bagger, c	3	6-9	1000	8.28	95	8.99	0.01	15.9	3.86	5.4	5
	11	14-9	960	8.7	83	4.2	0.1	9.6	3.4	2.0	5
	16	19-9	940	8.29	89	4.69	0.22	11.3	3.24	1.9	5
	28	1-10	885	8.4	74	5.1	0.52	10.1	3.51	4.4	5
	35	8-10	811	8.1	59	5.0	1.4	10.3	3.5	2.6	5
	58	31-10	824	8.1	65	1.23	12.2	17.8	3.91	1.8	5
5. grond+bagger, c	3	6-9	751	6.32	88	0.28	1.69	11.5	0.047	6.5	5
	11	14-9	557	6.9	217	2.9	0.6	20.7	0.1	2.0	5
	16	19-9	596	6.73	106	1.72	9.87	20.4	0.041	1.9	5
	28	1-10	564	6.93	87	1.79	1.48	10.3	0.07	4.6	5
	35	8-10	557	7.1	125	3.3	0.2	13.6	0.1	2.5	5
	58	31-10	763	6.4	59	1.18	3.86	8.9	0.029	1.3	5

*Behandelingen, zie ook Tabel 1 hoofdtekst.

- 1.1. blanco regenwater opgevangen bij drie lysimeters code 1.1
- 1.2. blanco regenwater opgevangen bij drie lysimeter code 1.2
- 2. bagger,v percolaat opgevangen na 1 of 2 dagen regenval bij lysimeters 2.1 t/m 2.5
- 3. grond+bagger v percolaat opgevangen na 1 of 2 dagen regenval bij lysimeters 3.1 t/m 3.5
- 4. bagger c percolaat opgevangen gedurende hele periode bij lysimeters 4.1 t/m 4.5
- 5. grond + bagger c percolaat opgevangen gedurende hele periode bij lysimeters 5.1 t/m 5.5

** aantal lysimeters, het volume percolaat betreft het volume van de 3 of 5 lysimeter samen.

Bijlage 4 Analyseresultaten experiment in 2008

Op 23 en 25 juni 2008 zijn resp. de baggermonsters genomen in de Vlietpolder en Zegveld. Op 26 juni zijn de lysimeters gevuld. Op 18 augustus is het eerste percolaat bemonsterd. Alle monsters zijn binnen 24 uur geanalyseerd. Genoemde datums in onderstaande tabel zijn analysedatums. Het laatste monster is genomen in januari 2009. Onderstaande data zijn steeds het gemiddelde van drie analyses.

Behandeling *	datum	percolaat	EC	Fe	P	S	pH	C	N-NH4	N-NO3	Nts	P-PO4
		L	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	19-8	3.83	844	0.0	4.36	13	8.5	50	0.01	5.40	8.3	4.32
2	19-8	6.42	487	0.0	1.34	48	7.7	30	2.99	0.32	5.5	1.20
3	19-8	5.40	1030	8.2	0.16	133	6.1	64	0.31	0.05	5.4	0.01
4	19-8	5.57	686	1.5	0.09	89	6.1	51	0.38	8.76	12.9	0.00
5	19-8	6.04	221	2.9	0.24	14	6.4	97	0.98	7.81	15.7	0.03
6	19-8	2.50	616	0.1	0.63	16	8.4	47	0.35	1.50	4.8	0.52
7	19-8	6.76	757	0.1	0.09	120	6.7	19	1.32	0.70	3.6	0.01
8	19-8	4.67	1503	1.9	0.09	271	5.4	39	0.44	1.71	5.5	0.01
9	19-8	5.47	1197	0.5	0.11	203	5.4	34	0.42	9.94	12.9	0.01
10	19-8	6.59	312	1.5	0.21	27	6.3	76	0.38	10.59	16.9	0.03
11	19-8	7.24	180	0.0	0.04	2	6.6	11	1.85	1.16	3.7	0.00
1	23-9	1.65	598	0.0	4.77	10	8.5	42	1.47	2.34	6.1	4.47
2	23-9	4.37	210	0.0	0.76	19	7.6	17	0.70	1.90	4.4	0.58
3	23-9	4.01	1160	6.1	0.07	206	4.9	26	0.47	0.36	2.7	0.01
4	23-9	4.06	595	0.9	0.08	96	5.8	30	0.28	0.36	3.1	0.00
5	23-9	4.28	80	2.5	0.17	6	6.4	57	0.60	0.38	5.6	0.02
6	23-9	3.30	845	0.1	0.42	107	8.1	29	0.56	0.46	3.0	0.33
7	23-9	4.44	790	0.0	0.05	136	5.9	10	0.84	1.11	2.8	0.01
8	23-9	3.40	1427	0.6	0.07	278	4.9	22	0.73	0.56	2.7	0.01
9	23-9	3.95	639	0.2	0.04	103	5.3	17	0.48	0.74	2.5	0.00
10	23-9	4.15	103	1.5	0.19	8	6.1	55	0.53	1.08	5.8	0.04
11	23-9	5.26	31	0.0	0.02	1	5.9	7	1.32	0.70	2.6	0.00
1	28-10	4.89	552	0.0	4.33	5	7.9	33	3.36	0.65	5.9	4.16
2	28-10	4.42	170	0.0	0.59	10	7.6	15	0.44	1.08	2.7	0.53
3	28-10	3.31	1377	0.6	0.06	289	5.0	22	0.75	0.20	2.3	0.01
4	28-10	3.75	563	0.5	0.05	87	5.4	29	0.66	0.26	2.9	0.00
5	28-10	3.95	72	1.3	0.09	5	6.1	47	0.62	0.23	4.1	0.00
6	28-10	4.35	1606	0.1	0.09	350	6.4	17	0.37	0.15	1.6	0.04
7	28-10	4.63	546	0.1	0.06	83	4.8	13	0.59	0.32	1.7	0.03
8	28-10	2.78	1241	0.3	0.11	245	4.7	29	1.01	0.27	2.6	0.08
9	28-10	3.73	585	0.2	0.08	95	4.9	24	0.81	0.43	2.6	0.04
10	28-10	4.10	78	1.3	0.10	6	5.7	49	0.35	0.24	4.0	0.01
11	28-10	5.45	41	0.0	0.02	1	5.4	6	1.25	0.57	2.3	0.01

Vervolg op volgende pagina

behandeling	datum	perco	EC	Fe	P	S	pH	C	N-	N-	Nts	P-
		laat							NH4	NO3		PO4
		L	µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	13-11	3.63	378	0.0	2.52	10	8.2	18	1.90	0.30	3.7	2.47
2	13-11	2.59	70	0.1	0.33	3	7.5	7	0.20	0.35	1.2	0.29
3	13-11	2.33	1743	0.2	0.05	430	5.2	15	0.43	0.11	1.6	0.02
4	13-11	2.47	414	0.3	0.07	63	5.5	19	0.43	0.11	1.9	0.01
5	13-11	2.41	51	0.9	0.08	3	6.0	32	0.39	0.09	2.7	0.02
6	13-11	2.60	1637	0.1	0.05	376	5.5	8	0.51	0.08	1.2	0.02
7	13-11	2.57	296	0.1	0.04	39	4.7	9	0.53	0.15	1.2	0.03
8	13-11	2.14	1393	0.2	0.07	302	4.8	18	0.55	0.11	1.9	0.04
9	13-11	2.34	679	0.2	0.04	112	4.9	21	0.50	0.62	2.6	0.02
10	13-11	2.52	56	0.9	0.09	3	5.8	34	0.28	0.19	2.9	0.01
11	13-11	2.76	38	0.0	0.07	1	5.2	4	0.94	0.36	1.7	0.04
1	9-12	4.21	326	0.0	1.53	14	8.1	9	1.56	0.29	2.5	1.44
2	9-12	4.08	130	0.0	0.31	5	7.6	6	0.45	1.05	2.1	0.27
3	9-12	3.86	1407	0.2	0.04	297	5.4	14	0.63	0.18	1.8	0.01
4	9-12	3.84	237	0.5	0.07	30	5.7	23	0.57	0.21	2.5	0.02
5	9-12	3.83	66	0.7	0.06	3	6.5	24	0.68	0.18	2.6	0.01
6	9-12	4.26	1497	0.1	0.05	326	5.7	7	0.55	0.10	1.2	0.02
7	9-12	4.00	175	0.1	0.03	19	4.9	8	0.54	0.28	1.3	0.02
8	9-12	3.61	1513	0.1	0.03	317	5.0	15	0.70	0.17	2.0	0.01
9	9-12	3.91	401	0.3	0.05	60	5.2	25	0.60	0.59	3.0	0.02
10	9-12	4.18	76	0.7	0.06	3	6.1	24	0.52	0.93	3.1	0.01
11	9-12	4.34	55	0.0	0.00	1	5.4	3	1.60	0.70	2.5	0.01
1	27-1	5.07	610	0.0	1.37	47	7.3	36	7.24	0.00	14.4	0.94
2	27-1	4.04	126	0.0	0.37	6	7.6	8	0.60	1.59	3.1	0.31
3	27-1	4.00	1267	0.3	0.12	255	6.2	26	1.61	3.50	8.0	0.02
4	27-1	3.94	287	1.0	0.17	32	5.8	39	1.28	2.47	8.1	0.03
5	27-1	3.96	103	1.1	0.14	6	6.4	36	0.90	1.02	4.9	0.02
6	27-1	4.47	1707	0.3	0.15	402	5.4	52	2.18	0.20	4.9	0.05
7	27-1	4.08	192	0.2	0.06	22	4.7	12	1.04	0.55	2.5	0.02
8	27-1	3.70	1623	0.3	0.12	372	5.1	28	1.45	3.91	8.0	0.05
9	27-1	3.73	295	0.8	0.13	32	5.6	41	1.36	2.99	8.7	0.02
10	27-1	4.22	100	1.1	0.20	5	6.3	44	1.04	2.18	7.9	0.03
11	27-1	4.22	36	0.0	0.05	1	5.3	3	1.61	0.66	2.7	0.01

* toelichting op behandelingen (zie ook hoofdtekst tabel 2).

1	10 cm bagger Vlietpolder
2	2 cm bagger Vlietpolder
3	10 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.
4	2 cm bagger Vlietp. + 2 cm bodem Vlietp.
5	2 cm bodem Vlietpolder
6	10 cm bagger Zegveld
7	2 cm bagger Zegveld
8	10 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld
9	2 cm bagger Zegveld + 2 cm bodem Zegveld
10	2 cm bodem Zegveld
11	Blanco (lege emmers)

Bijlage 5 Samenvatting resultaten proef in 2007

	blanco	blanco	bagger	bagger	bagger+grond	bagger+grond
	v	c	v	c	v	c
dikte laag bagger (cm)			15	15	15	15
dikte laag grond (cm)					2	2
bagger versgewicht (kg)			7.3	7.3	7.3	7.3
grond versgewicht (kg)					0.7	0.7
vochtgehalte bagger (%)			84.2	84.2	84.2	84.2
vochtgehalte grond (%)					44.9	44.9
bagger drooggewicht (kg)					1.15	1.15
grond drooggewicht (kg)					0.39	0.39
tot. vol. perc. (L)	10.7	11.0	17.0	18.1	18.5	18.8
Gemiddelde percolaatsamenstelling **						
EC (uS/cm)	46.3	61.1	836.3	916.9	600.5	643.8
pH	6.1	6.8	8.3	8.3	6.0	6.7
DOC mg/L	8.4	8.9	77.7	79.7	104.4	106.1
N-NO3 mg/L	0.8	0.9	1.3	1.6	1.8	2.3
N-NH4 mg/L	1.3	1.2	6.2	5.7	1.8	1.5
N org mg/L	0.6	0.7	5.6	5.4	9.4	9.3
Nt mg/L	2.5	1.2	13.1	12.7	13.0	13.2
P mg/L	0.01	0.01	3.7	3.6	0.07	0.07
Cumulatieve emissie *						
EC c x L/kg			2465	2879	1440	1572
pH mg/kg			24.5	26.1	14.5	16.3
DOC mg/kg			229.1	250.2	250.5	259.1
N-NO3 mg/kg			4.0	5.0	4.2	5.6
N-NH4 mg/kg			18.3	18.0	4.4	3.8
N org mg/kg			16.5	16.9	22.7	22.8
Nt mg/kg			38.8	39.9	31.3	32.2
P mg/kg			11.0	11.3	0.2	0.2
DOC kg/ha	4.6	4.9	40.0	43.7	58.4	60.4
N-NO3 kg/ha	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.3
N-NH4 kg/ha	0.7	0.7	3.2	3.1	1.0	0.9
N org kg/ha	0.3	0.4	2.9	3.0	5.3	5.3
Nt kg/ha	1.4	0.7	6.8	7.0	7.3	7.5
P kg/ha	0.01	0.01	1.9	2.0	0.04	0.04

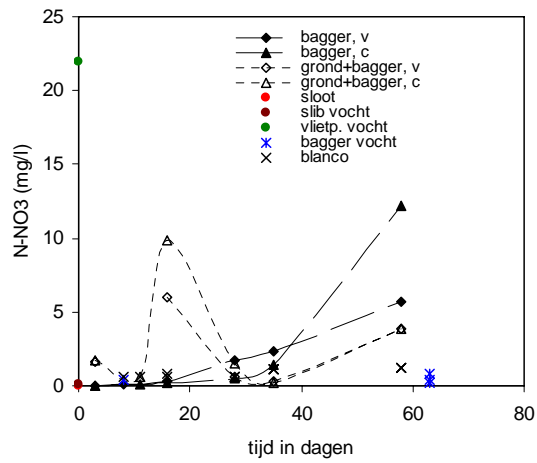
* Emissie uit lysimeters na 58 dagen, per kg materiaal in de lysimeter (bagger+grond) of per oppervlak (1 mg per 0,066 m² = 0,152 kg per hectare).

** Betreft gewogen gemiddelde.

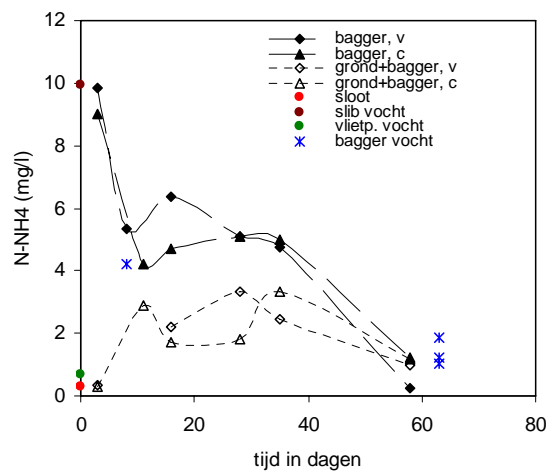
Bijlage 6 Samenvatting resultaten proef in 2008

Nr #	Vlietpolder					Zegveld					blanco
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
dikte laag bagger (cm)	10	2	10	2		10	2	10	2		
dikte laag grond (cm)			2	2	2			2	2	2	
bagger versgewicht (kg)	4.97	1.2	5.53	1.3	0	5.7	1.3	6.4	1.4	0	0
grond versgewicht (kg)	0	0	1.1	1.1	1.1	0	0	1.14	1.14	1.14	0
vochtgehalte bagger (%)	86	86	86	86		87	87	87	87		
vochtgehalte grond (%)			29	29	29			44	44	44	
bagger drooggewicht (kg ds)	0.7	0.17	0.78	0.18		0.76	0.17	0.86	0.19		
grond drooggewicht (kg ds)			0.78	0.78	0.78			0.64	0.64	0.64	
totale vol. percolaat (L)	23	26	23	24	24	21	26	20	23	26	29
Totaal P kg ha ⁻¹ bagger	169	41	189	44		156	36	175	38		
Totaal N kg ha ⁻¹ bagger	1529	369	1701	400		2174	496	2441	534		
Gemiddelde percolaatsamenstelling **											
pH	7.98	7.61	5.52	5.76	6.33	6.46	5.49	5.02	5.26	6.09	5.75
EC (µS/cm)	547	232	1281	482	112	1377	505	1466	670	143	74.7
C (mg/l)	31	16	31	34	54	26	13	26	28	50	6.5
Fe (mg/l)	0.03	0.02	3.22	0.86	1.75	0.13	0.10	0.68	0.38	1.22	0
N-NO ₃ (mg/l)	1.3	1.0	0.8	2.6	2.2	0.3	0.6	1.3	3.2	3.5	1.48
N-NH ₄ (mg/l)	3.0	1.1	0.7	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7	0.5	0.75
Nts (mg/l)	7.2	3.5	3.9	6.0	7.0	2.7	2.4	4.1	6.1	8.0	2.73
P (mg/l)	2.94	0.70	0.09	0.09	0.14	0.19	0.06	0.08	0.08	0.15	0.03
P-PO ₄ (mg/l)	2.76	0.61	0.01	0.01	0.02	0.12	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01
S (mg/l)	18	19	248	68	7	283	78	299	108	11	1.3
Cumulatieve emissie *											
EC (mmol/kg)* &	182	356	188	118	35	388	769	198	187	57	
C (mg/kg)*	1016	2395	458	835	1701	732	1934	356	770	2020	
Fe (mg/kg)*	1	2	47	21	55	4	16	9	11	49	
N-NO ₃ (mg/kg)*	42	159	11	64	70	10	86	17	89	138	
N-NH ₄ (mg/kg)*	99	172	10	15	23	22	134	11	19	21	
Nts (mg/kg)*	241	538	58	147	219	76	366	56	169	319	
P (mg/kg)*	98	108	1	2	4	5	9	1	2	6	
P-PO ₄ (mg/kg)*	92	93	0.2	0.3	0.6	3.5	2.6	0.4	0.5	1.0	
S (g/kg)*	0.61	2.89	3.64	1.66	0.22	7.97	11.8	4.04	2.99	0.43	
EC (kmol/ha)&	19	9	44	17	4	45	20	45	23	6	3
C (kg/ha)*	108	61	108	122	201	84	51	81	97	197	29
Fe (kg/ha)*	0	0	11	3	6	0	0	2	1	5	0
N-NO ₃ (kg/ha)*	4	4	3	9	8	1	2	4	11	13	3
N-NH ₄ (kg/ha)*	11	4	2	2	3	3	4	2	2	2	7
Nts (kg/ha)*	26	14	14	21	26	9	10	13	21	31	12
P (kg/ha)*	10	2.8	0.32	0.32	0.53	0.63	0.23	0.25	0.28	0.59	0.14
P-PO ₄ (kg/ha)*	10	2.4	0.05	0.04	0.07	0.41	0.07	0.09	0.06	0.10	0.05
S (kg/ha)*	65	74	859	243	26	921	312	918	377	42	6
# zie behandelingen in Tabel 2.											
* Emissie uit lysimeter na 161 dagen is uitgespoeld, per kg materiaal in de lysimeter (bagger+grond) of per oppervlak (1 mg per 0,066 m ² = 0,152 kg per hectare).**betreft gewogen gemiddelde. &In het geval van de geleidbaarheid is aangenomen dat een EC van 100 uS/cm overeenkomt met een zoutconcentratie van 1 mmol/l zodat de emissie van zout per kg materiaal en per hectare berekend kon worden.											

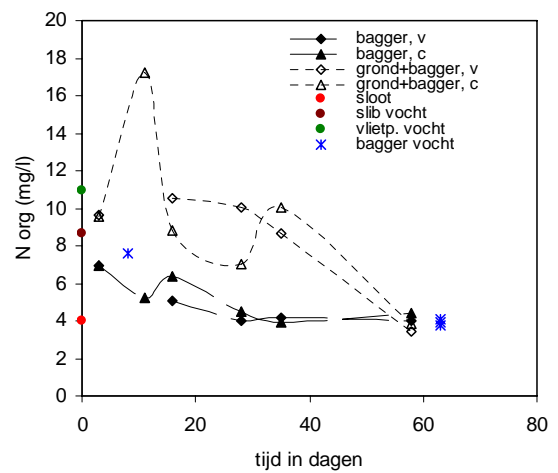
Bijlage 7 Concentraties als functie van de tijd in experiment 2007



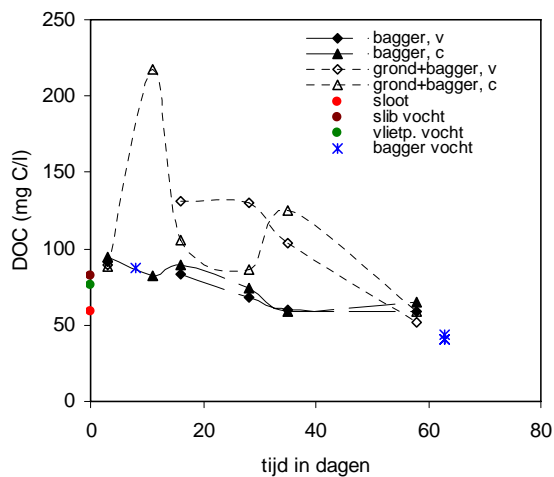
Figuur 7.1. Verloop van nitraatconcentraties in percolaat en bodemvocht; c = cumulatief, v = vers monster.



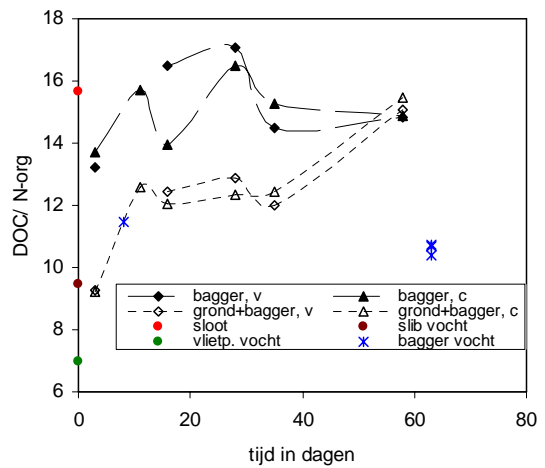
Figuur 7.2. Verloop van ammoniumconcentraties in percolaat en bodemvocht.



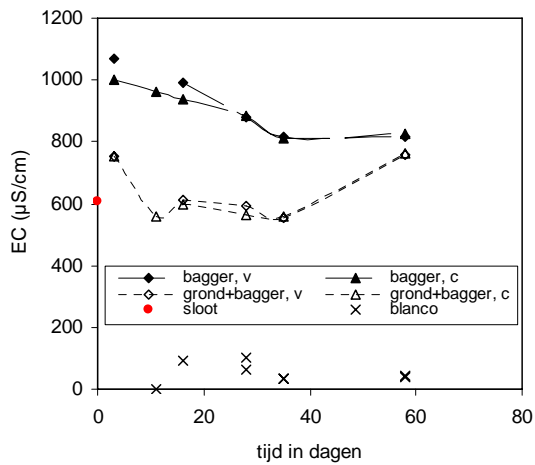
Figuur 7.3. Verloop van organische stikstofconcentraties in percolaat en bodemvocht ($N_{org} = N_{tot} - N(NH_4) - N(NO_3)$).



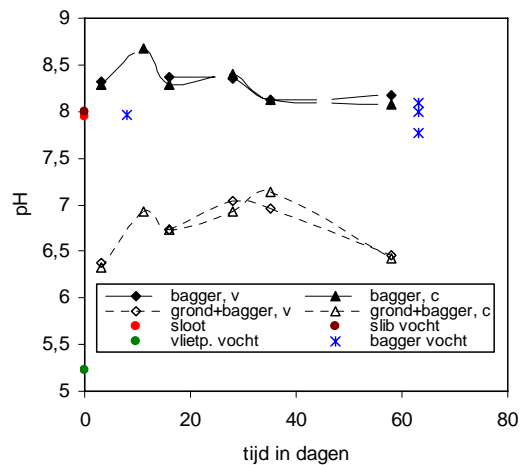
Figuur 7.4. Verloop van opgeloste organische stof (DOC) concentraties in percolaat en bodemvocht.



Figuur 7.5. Verloop van verhouding DOC en N-organisch (C/N verhouding van opgeloste organische stof) in percolaat en bodemvocht.

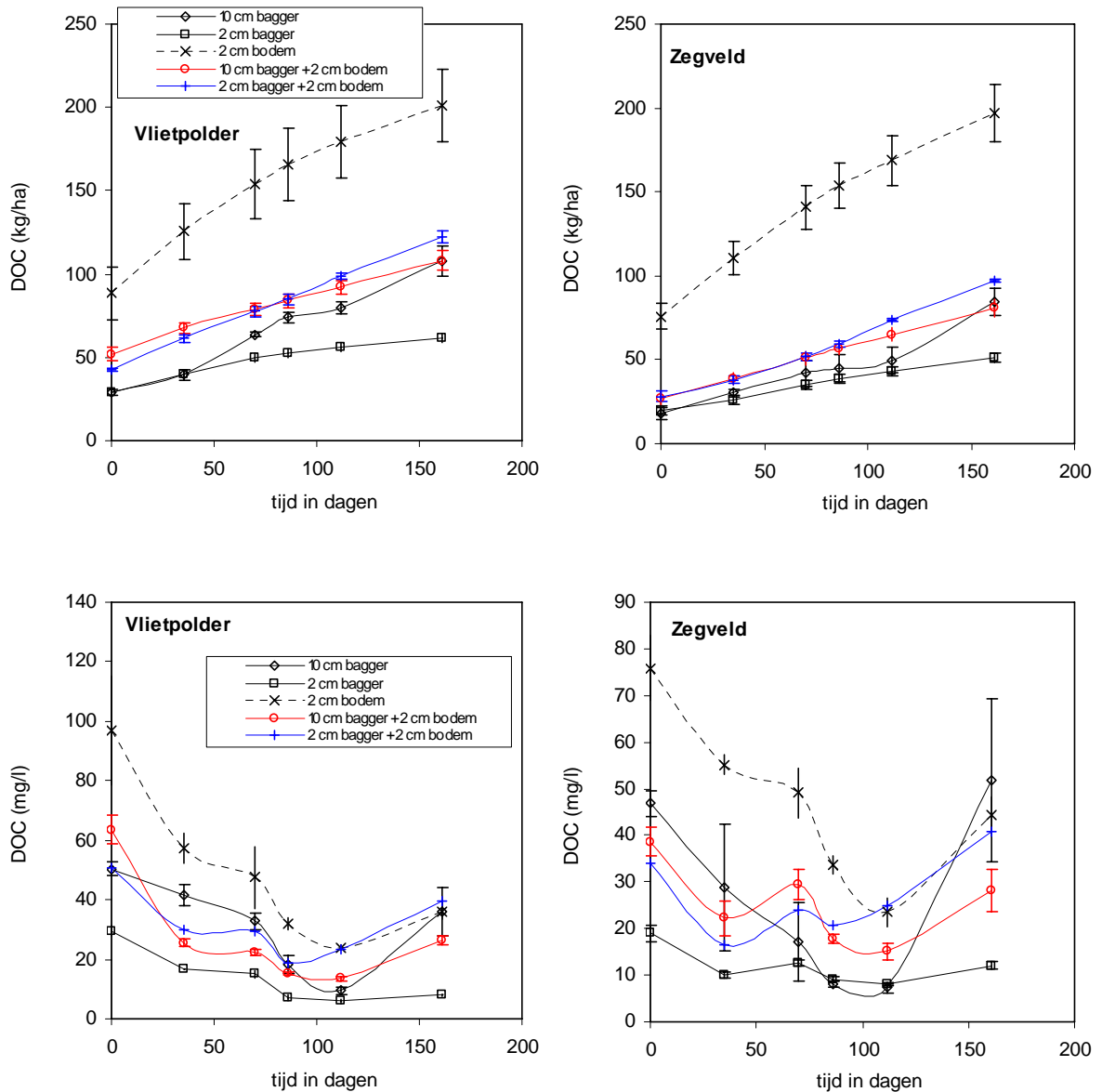


Figuur 7.6. Verloop van geleidbaarheid (EC) in percolaat en bodemvocht.

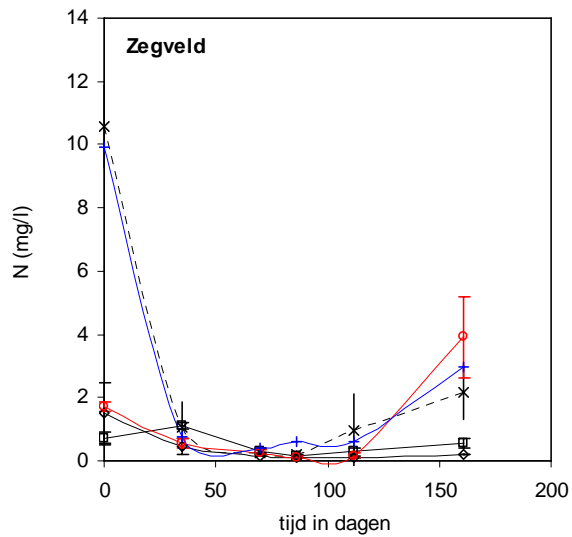
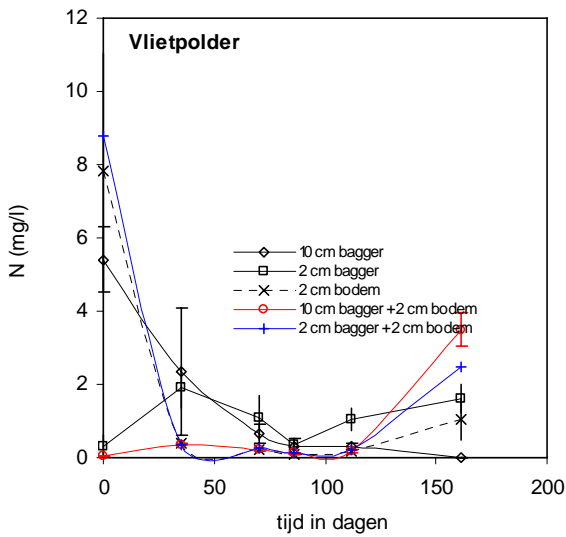
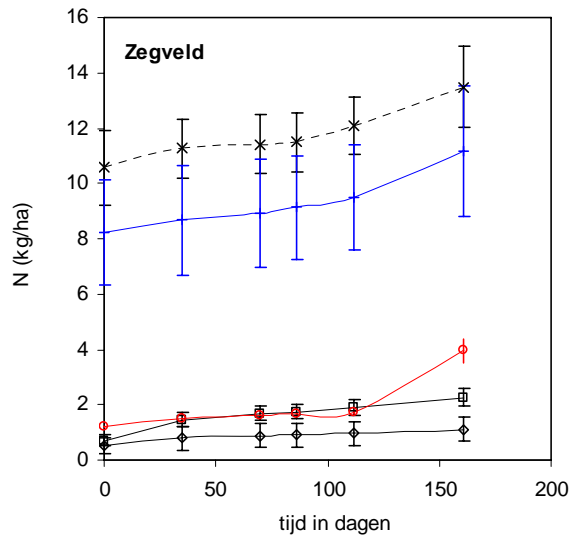
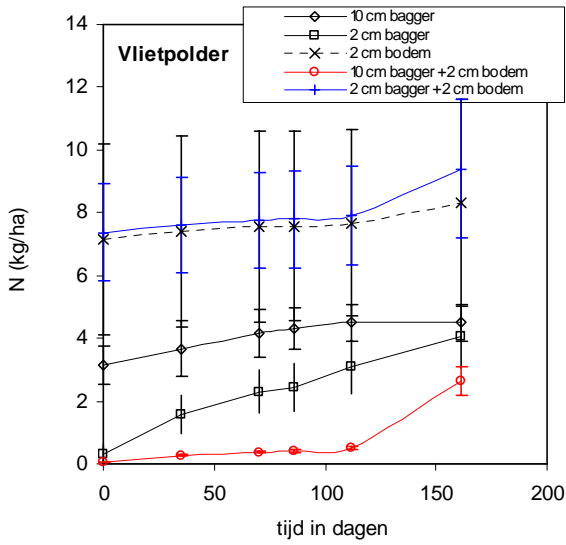


Figuur 7.7. Verloop van zuurgraad (pH) in percolaat en bodemvocht.

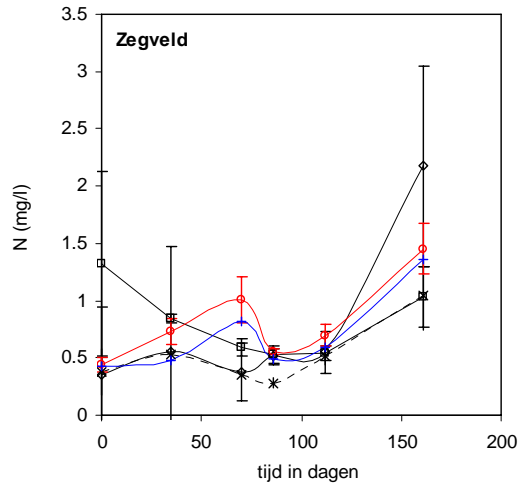
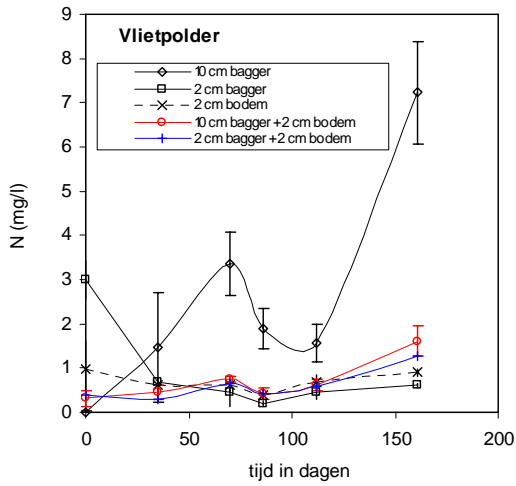
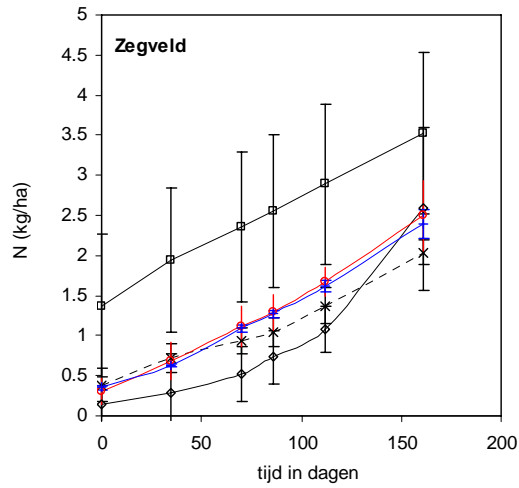
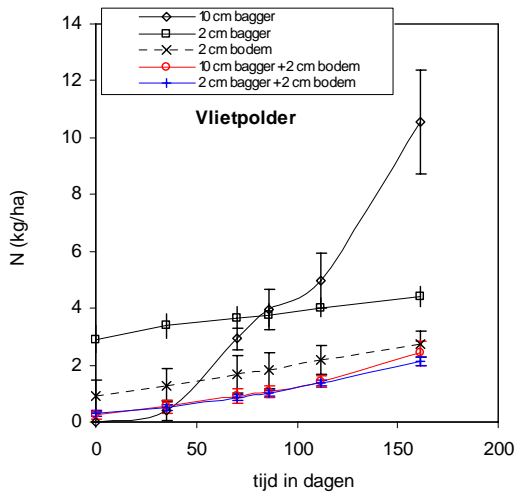
Bijlage 8 Concentraties en uitspoeling als functie van de tijd in experiment 2008



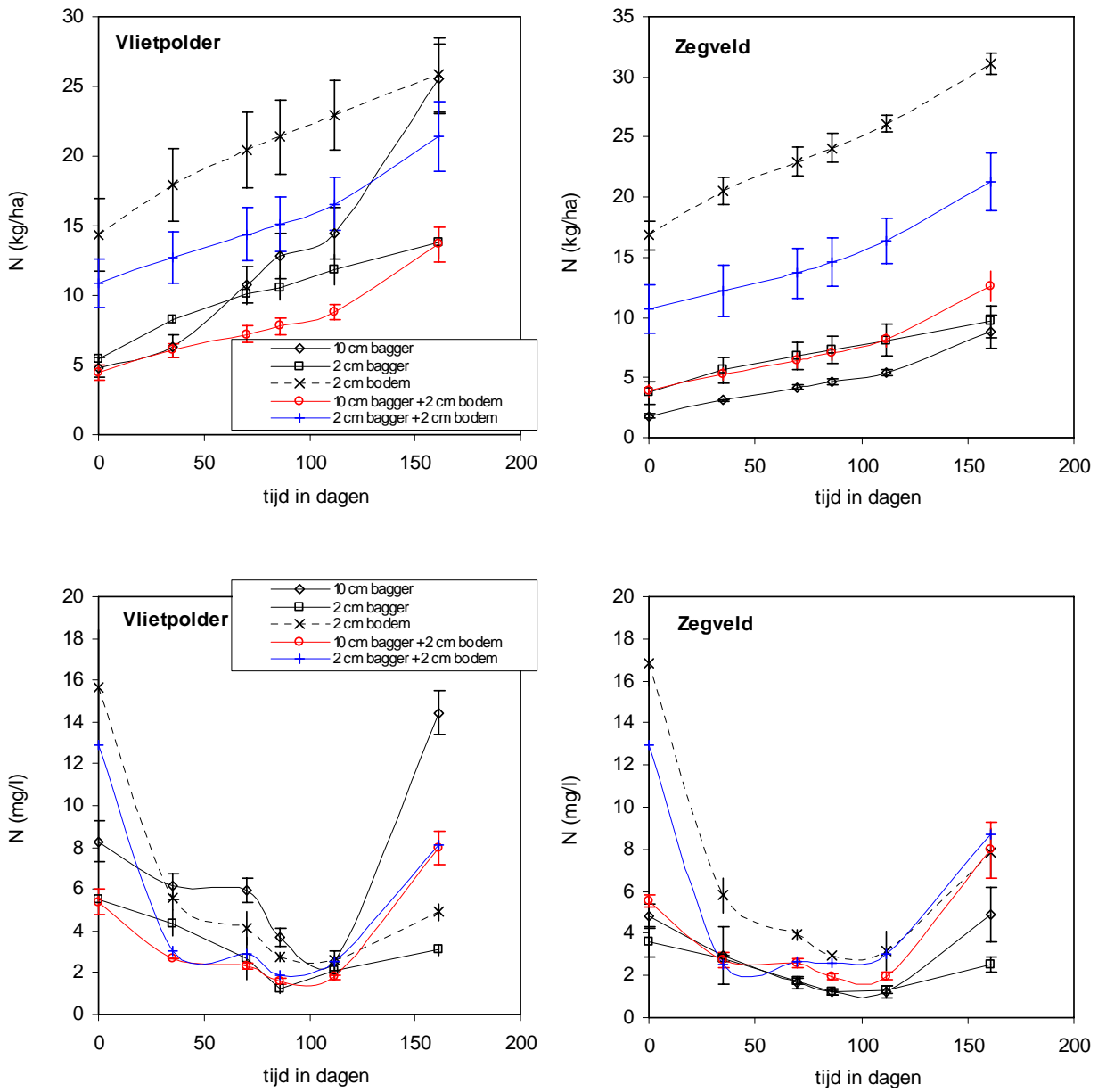
Figuur 8.1 Gemiddelde cumulatieve DOC uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg C per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (DOC in mg C/l). Verticale strepen geven de standaarddeviatie van de triplo.



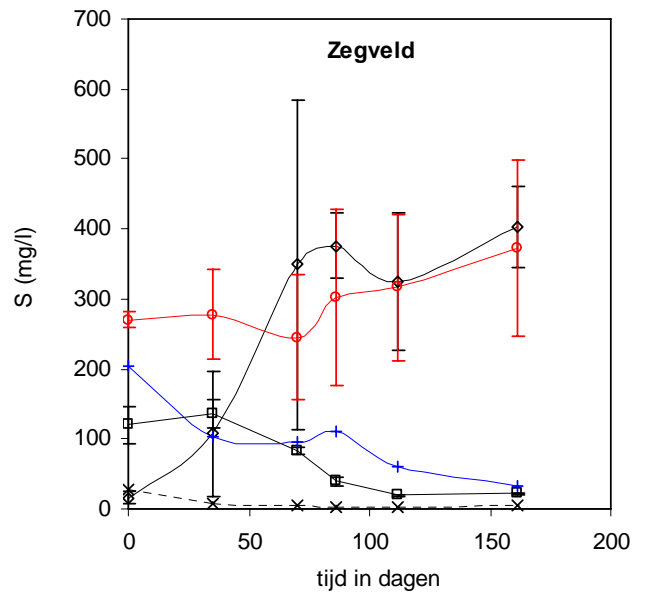
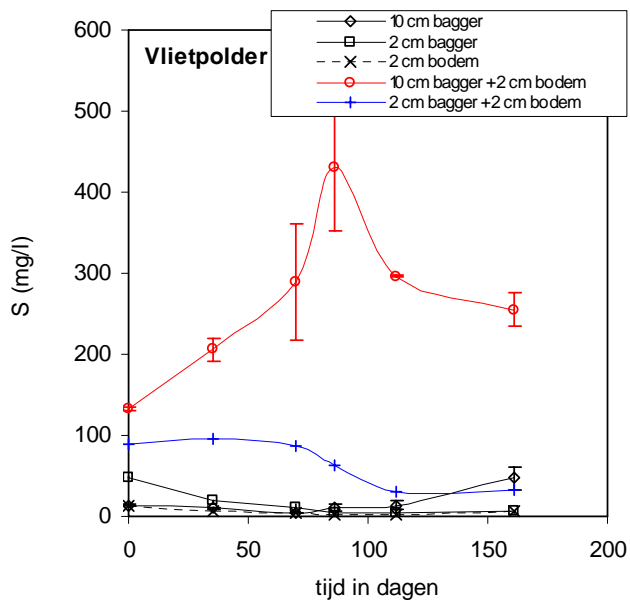
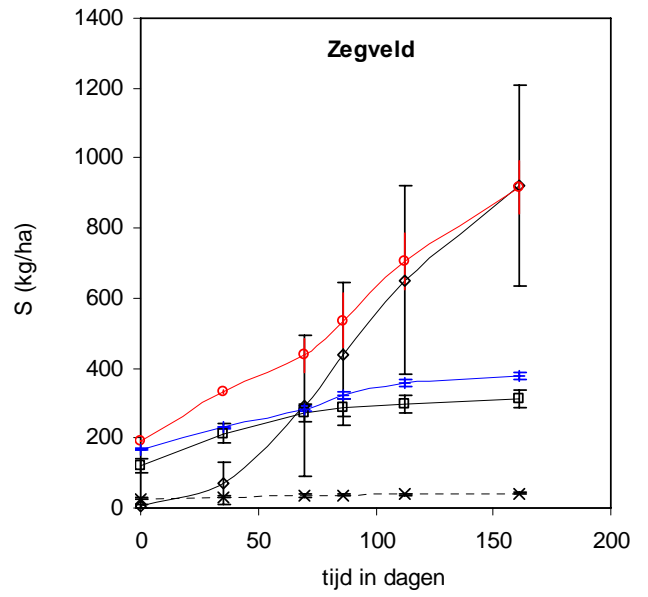
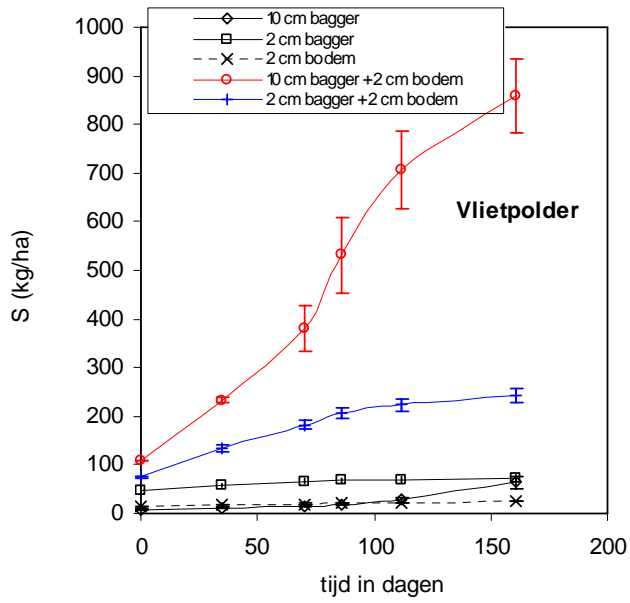
Figuur 8.2 Gemiddelde cumulatieve nitraat uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg N per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (NO_3 in mg N/l).



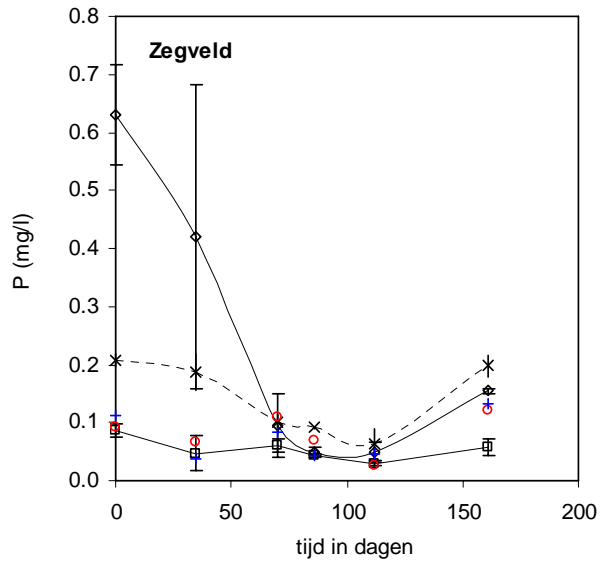
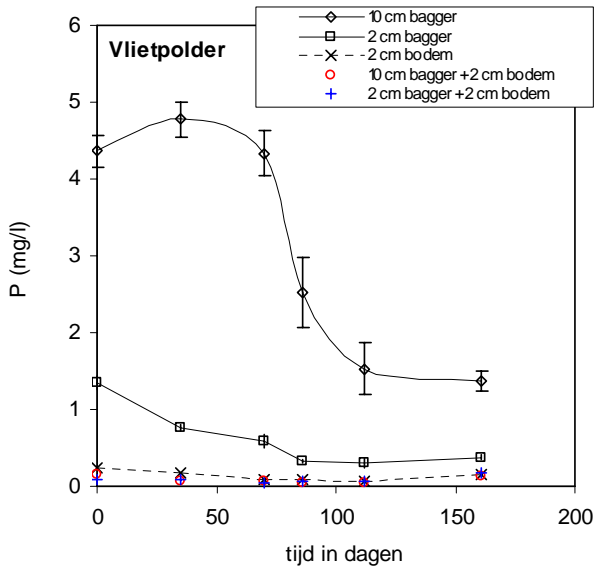
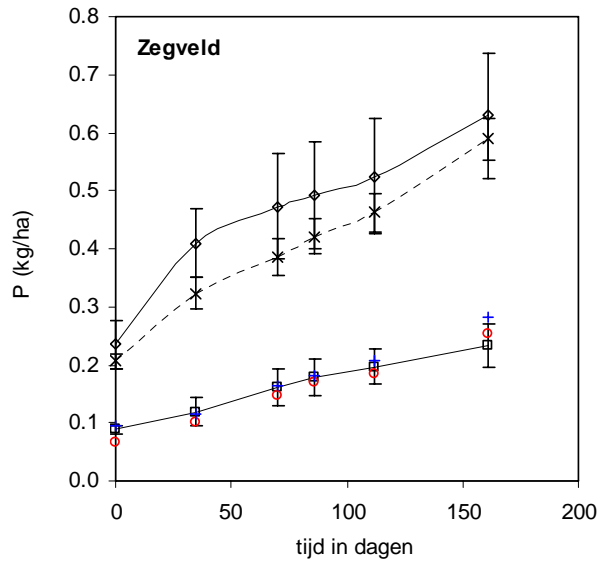
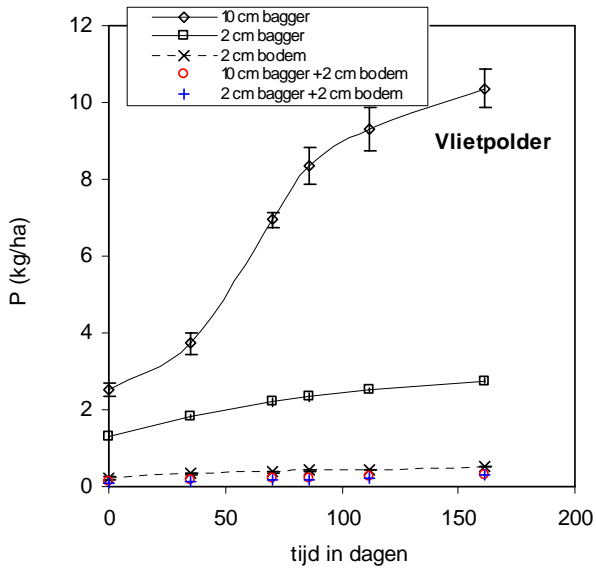
Figuur 8.3 Gemiddelde cumulatieve ammonium uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg N per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (NH_4 in mg N/l).



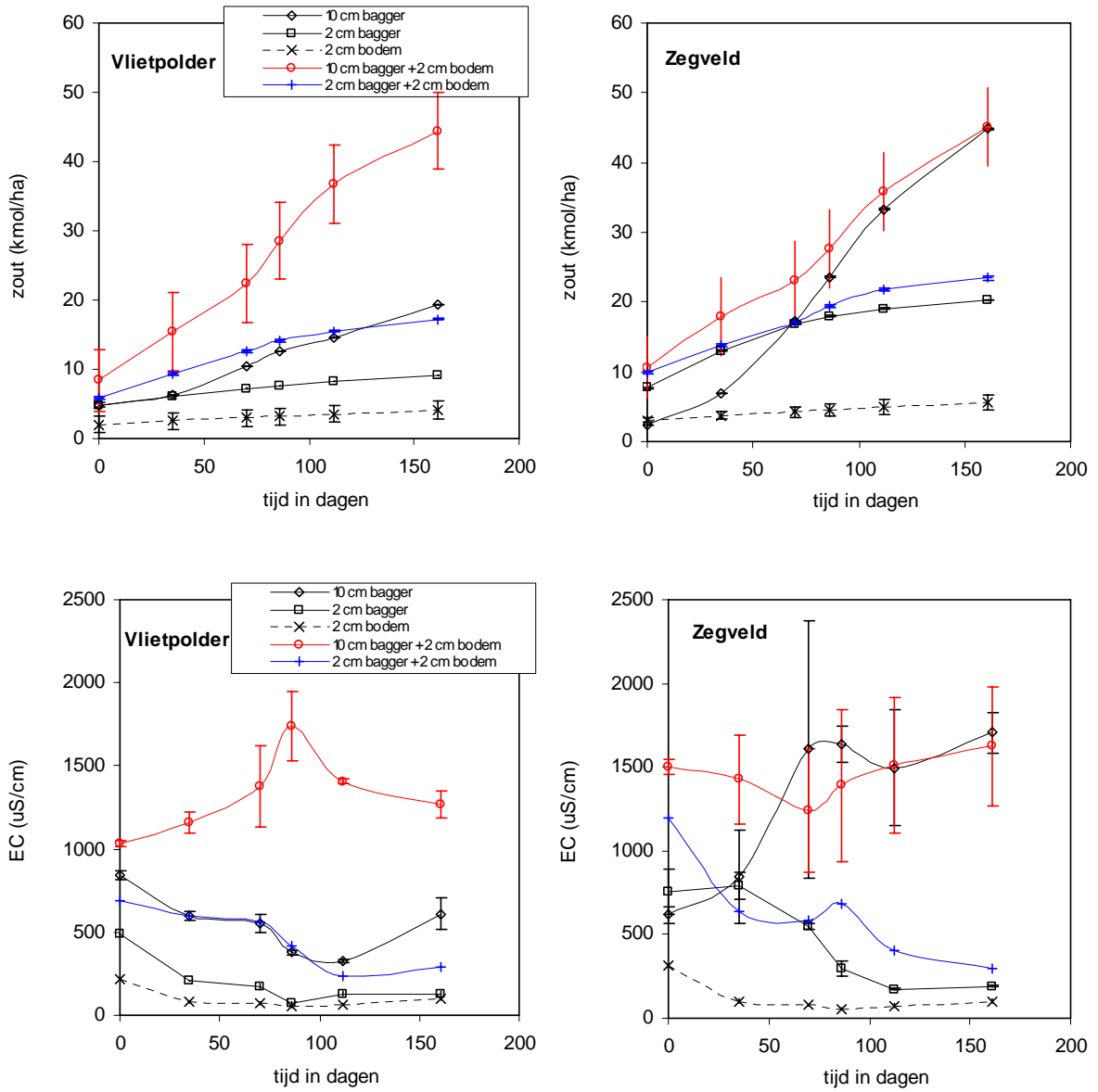
Figuur 8.4 Gemiddelde cumulatieve stikstof uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg N per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (Nt in mg N/l).



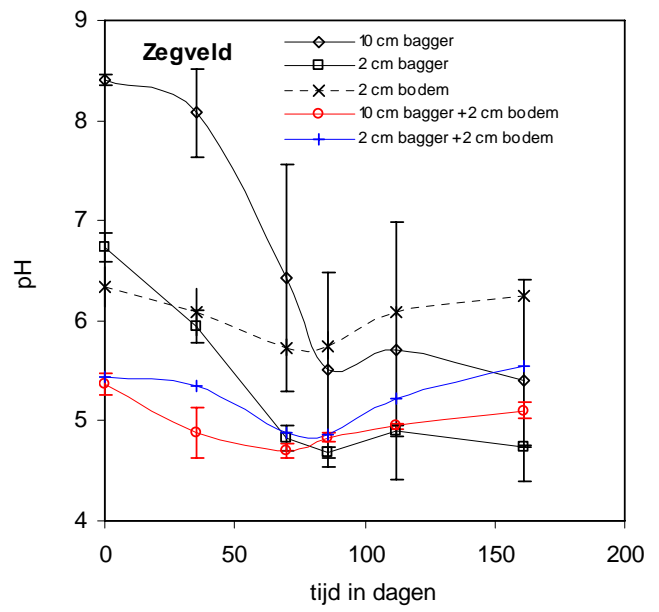
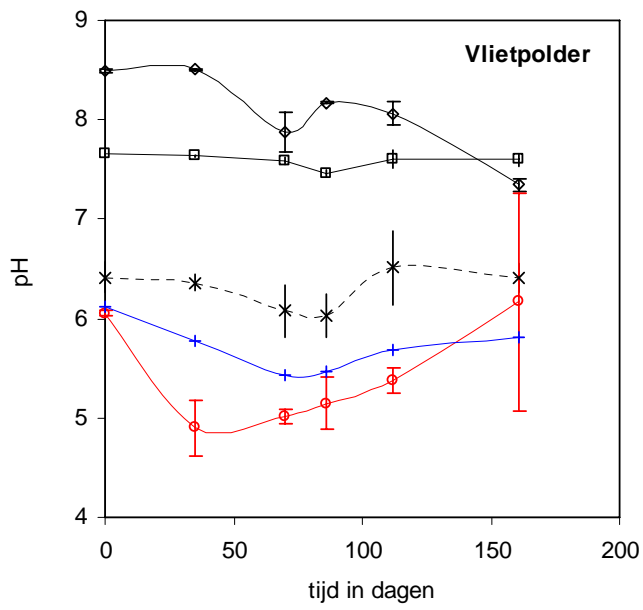
Figuur 8.5 Gemiddelde cumulatieve zwavel uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg S per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (in mg S/l).



Figuur 8.6 Gemiddelde cumulatieve fosfor uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kg P per hectare, en gemiddelde concentraties in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (in mg P/l).



Figuur 8.7 Gemiddelde cumulatieve zout uitspoeling bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld uitgedrukt in kmol zout per hectare, en gemiddelde geleidbaarheid in percolaat bij (c) Vlietpolder en (d) Zegveld (in uS/cm). Om de zoutuitspoeling in mol/ha uit te drukken is aangenomen dat een geleidbaarheid van 100 uS/cm overeenkomt met een zoutconcentratie van 1 mmol/l.



Figuur 8.8 Gemiddelde pH in percolaat bij (a) Vlietpolder en (b) Zegveld.