



Nitraatconcentraties in het drainwater in zeekleigebieden

Oriënterend onderzoek naar de oorzaken van de verhoogde nitraatconcentraties

Alterra-rapport 2360
ISSN 1566-7197

E.M.P.M. van Boekel, J. Roelsma, H.T.L. Massop, R.F.A. Hendriks, P.E. Goedhart en
P.C. Jansen

Nitraatconcentraties in het drainwater in
zeekleigebieden

Dit onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie EL&I
Projectcode [BO-12.12-002-016]

Nitraatconcentraties in het drainwater in zeekleigebieden

Oriënterend onderzoek naar de oorzaken van de verhoogde nitraatconcentraties

E.M.P.M. van Boekel¹, J. Roelsma¹, H.T.L. Massop¹, R.F.A. Hendriks¹, P.E. Goedhart² en
P.C. Jansen¹

- 1 Alterra, Wageningen UR
- 2 Biometris

Alterra-rapport 2360

Alterra Wageningen UR
Wageningen, 2012

Referaat

Boekel, E.M.P.M. van, J. Roelsma, H.T.L. Massop, R.F.A. Hendriks, P.E. Goedhart en P.C. Jansen, 2012. *Verhoogde nitraatconcentraties in het drainwater in zeekleigebieden; Oriënterend onderzoek naar de oorzaken* Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2360 100 blz.; 26 fig.; 33 tab.; 36 ref.

De gemeten nitraatconcentraties in drain- en grondwater op de LMM-bedrijven in kleigebieden zijn sinds medio jaren 90 gehalveerd. Gemiddeld liggen de nitraatconcentraties in de kleigebieden onder de nitraatnorm van 50 mg/L. Uit de geografische verdeling van de monitoringsresultaten blijkt echter dat 22% van de metingen een overschrijding laten zien en dat deze voornamelijk in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied liggen. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is onderzocht wat de mogelijke oorzaken hiervan zijn. Uit deze studie blijkt dat de verschillen in nitraatconcentraties voor een belangrijk deel verklaard worden door het landgebruik in combinatie met de hoeveelheid kwelwater op de LMM-bedrijven. Hiermee kan voor de meetjaren 2006-2008 tussen de 43% en 62% van de variatie in waargenomen nitraatconcentraties uit de drainbuizen worden verklaard. Uit de statistische analyse blijkt dat het stikstofbodemoverschot van de LMM-bedrijven in het zeekleigebied niet de gemeten gemiddelde nitraatconcentratie bij deze bedrijven verklaart.

Trefwoorden: Nitraatrichtlijn, zeekleigebieden, drainwater, stikstofbodemoverschot, Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM)

ISSN 1566-7197

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

© 2012 Alterra (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek)
Postbus 47; 6700 AA Wageningen; info.alterra@wur.nl

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

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

Alterra-rapport 2360

Wageningen, november2012

Inhoud

Woord vooraf	7
Beleidssamenvatting	9
Executive summary	13
1 Inleiding	17
1.1 Achtergrond	17
1.2 Doel	18
1.3 Leeswijzer	18
2 Werkwijze	19
2.1 Prefase	19
2.2 Fase 1	20
2.3 Fase 2	21
3 Resultaten prefase	23
3.1 Verkennende data-analyse	23
3.2 Conceptueel raamwerk	28
3.3 Discussie en vervolgstappen	32
4 Resultaten fase 1	35
4.1 Oriënterende data-analyse	35
4.2 Bedrijfsanalyse stikstofbodemoverschot	48
4.3 Discussie	52
5 Resultaten fase 2	55
5.1 Statistische analyse	55
5.1.1 Dataverzameling	55
5.1.2 Regressieanalyse	59
5.2 Modelanalyse	61
5.3 Discussie	66
6 Conclusies en aanbevelingen	69
Literatuur	71
Bijlage 1 Scheurvorming	75
Bijlage 2 Kleimineralogische samenstelling zeekleigebieden	79
Bijlage 3 Bodemtypen	83
Bijlage 4 Overzicht van de gebruikte dataset met bijbehorende diepten	85

Bijlage 5 Pyrietgehalten niet relevante topsystemen	87
Bijlage 6 Organisch stofgehalte (%) voor de verschillende stofgehalten	89
Bijlage 7 Histogram nitraatconcentraties en stikstofbodemoverschot	91
Bijlage 8 Gt-klassen LMM-bedrijven	93
Bijlage 9 Resultaten statistische analyses	95
Bijlage 10 Stikstofbalansen	99

Woord vooraf

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) heeft Alterra Wageningen UR, in samenwerking met Biometris Wageningen UR, LEI Wageningen UR, RIVM en Deltares, onderzocht wat de mogelijke oorzaken zijn van de hogere nitraatconcentraties in het drainwater in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied ten opzichte van het Noordwestelijk en Noordoostelijk zeekleigebied. Daarbij is gekeken wat de invloed is van het stikstofbodemoverschot en andere bedrijfs- en omgevingsfactoren op de nitraatconcentratieconcentratie in het drainwater.

De auteurs bedanken alle medewerkers van Alterra, Deltares, LEI en het RIVM die betrokken zijn geweest bij de opzet van het onderzoek, de bijdrage aan de verschillende onderdelen en de afronding en rapportage van het onderzoek. Wij willen ook het RIVM bedanken voor het beschikbaar stellen van de nitraatcijfers uit het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en het LEI voor het beschikbaar stellen van het stikstofbodemoverschot op de LMM-bedrijven uit de LEI-database.

Auteurs

Beleidssamenvatting

De gemeten nitraatconcentraties in drain- en grondwater op de LMM-bedrijven in kleigebieden zijn sinds medio jaren 90 gehalveerd. Gemiddeld liggen de nitraatconcentraties in de kleigebieden onder de nitraatnorm van 50 mg/L. Uit de geografische verdeling van de monitoringsresultaten blijkt evenwel dat 22% van de metingen een overschrijding laten zien en dat deze voornamelijk in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied liggen. In opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) is onderzocht wat de mogelijke oorzaken hiervan zijn.

Gezamenlijk met experts van Alterra Wageningen UR, Deltares en het RIVM is een conceptueel raamwerk opgesteld waarin mogelijke oorzaken op een rij zijn gezet. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen bedrijfsfactoren (stikstofoverschot, grond-/landgebruik) en mogelijke relevante omgevingsfactoren (bodemtype, hoeveelheid kwelwater, organisch stofgehalte, pyrietgehalte).

Voor het beantwoorden van de beleidsvraag is onderzocht in hoeverre de verhoogde nitraatconcentraties worden veroorzaakt door:

- 1) *een hoog stikstofbodemoverschot of*
- 2) *bodem- en grondwatereigenschappen (kleigehalte, kwelwater, organische stofgehalte, pyrietgehalte, etc.) of*
- 3) *grondgebruikswijze (nadruk op grasland, dan wel nadruk op bouwlandgewassen).*

Op basis van het conceptueel raamwerk is in samenspraak met de experts besloten om in eerste instantie een oriënterende data-analyse uit te voeren waarmee inzicht wordt verkregen in eventuele verschillen in omgevingsfactoren en landgebruik tussen de verschillende zeekleigebieden. Het stikstofbodemoverschot kon op basis van het beperkt aantal bedrijven in bepaalde regio's niet gepresenteerd worden (privacy overwegingen). Wel kon een statistische analyse uitgevoerd worden op de gehele dataset van LMM-bedrijven. Tot slot zijn ook de resultaten van al uitgevoerde modeloefeningen betrokken in deze studie.

Oriënterende data-analyse

De resultaten van de oriënterende data-analyse zijn in tabel A samengevat.

De verschillen tussen de zeekleigebieden zijn voor de meeste factoren groot. Uit de analyse is echter ook gebleken dat er een grote variatie is **binnen** de zeekleigebieden. Het blijft hierdoor lastig om op basis van deze oriënterende data-analyse een verklaring te geven voor de hogere gemiddelde nitraatconcentraties in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied vergeleken met de overige zeekleigebieden. Om deze reden is nagegaan of met regressieanalyses en met modelonderzoek op bedrijfsniveau met lokale omgevingsfactoren betere onderbouwde conclusies kunnen worden getrokken.

Tabel A

Overzicht van de verschillen tussen de zeekleigebieden voor verschillende parameters.

	Nitraatconcentratie (mg/l)	Dominante eigenschappen						
	Gemiddelde (25-75 percentiel)	Land- gebruik	Pyriet- gehalte	Kwel ² mm/j	Bodem- type	PAWN- bodem	Gt- klasse	OS- gehalte
Noordoostelijk zeekleigebied	14,9 (3,6 - 21,3)	Grasland (51%)	Gemiddeld	-3,7	Mn ¹ (41,5%)	15 (31,0%)	V (46,0%)	Hoog
Noordwestelijk zeekleigebied	24,5 (9,6 - 26,5)	Akkerbouw (76%)	Hoog	-18	Mn ¹ (29,3%)	15 (35,6%)	VI (29,7%)	Laag
Centraal zeekleigebied	77,7 (45,5 - 98,0)	Akkerbouw (94%)	Hoog	-172	Mn ¹ (61,6%)	16 (26,7%)	VI (46,0%)	Hoog
Zuidwestelijk zeekleigebied	46,9 (25,3 - 60,2)	Akkerbouw (89%)	Laag	-33	Mn ¹ (70,5%)	15 (36,2%)	VI (63,1%)	Gemiddeld

1) Poldervaaggronden met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm

2) Negatieve waarde is netto kwel, positieve waarde is netto wegzijging

Statistische analyse

Van de LMM-bedrijven op zeeklei zijn de bedrijfs- en omgevingsfactoren verzameld en is via een statistische analyse vastgesteld welke variabelen significant van invloed zijn op de gemiddelde nitraatconcentraties van de bedrijven. De nitraatconcentraties en de bedrijfsfactoren (stikstofbodemoverschot, landgebruik) zijn bekend en opgeslagen in de databases van het RIVM en het LEI. De omgevingsfactoren van de LMM-bedrijven zijn bepaald op basis van beschikbaar kaartmateriaal en aan de database van het LEI toegevoegd. Vervolgens zijn multiple regressieanalyses uitgevoerd ('all possible subset selection') waarbij alle variabelen als mogelijke voorspeller van de gemeten nitraatconcentraties worden beschouwd. In tabel B zijn de resultaten weergegeven voor regressiemodellen met resp. 1, 2 of 3 variabelen die in alle jaren (2006, 2007 en 2008) significant zijn. Het toevoegen van meer factoren (variabelen) resulteert niet in een duidelijk betere verklaring van de nitraatconcentratie en bovendien zijn de extra variabelen meestal niet van significante invloed.

Afhankelijk van het meetjaar kan 43% tot 62% van de verschillen in nitraatconcentraties worden toegeschreven aan de verschillen in landgebruik (% grasland en % overig) en verschillen in hoeveelheid kwelwater tussen de LMM-bedrijven. Uit de regressieanalyse blijkt ook dat er een aantal variabelen zijn waarvoor niet voor alle jaren significante relaties worden gevonden en daardoor niet in tabel B zijn opgenomen. Het gaat hierbij om de variabelen *stikstofbodemoverschot*, *organisch stofgehalte in de bodem* en het *pyrietgehalte in de ondergrond* (laag tussen 1,0 en 1,2 meter). Opvallend is dat er geen positieve, maar eerder een negatieve relatie wordt gevonden tussen het stikstofbodemoverschot op de LMM-bedrijven en de gemeten nitraatconcentratie in het drainwater.

Tabel B

Verklarende variantie (%) voor de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater voor een aantal regressiemodellen waarbij alle variabelen (= kenmerken van de LMM-bedrijven) voor alle jaren significant zijn.

Jaar	Percentage verklarende variantie (%)			
	2006	2007	2008	2006-2008
1 variabele				
% grasland	28	41	47	39
% overig ¹	21	31	37	30
Gt-klasse	25	21	29	26
PAWN-bodem	21	17	21	22
Kwel	8	6	6	8
2 variabelen				
% grasland + Kwel	38	52	57	49
% grasland + % overig	38	48	54	46
% grasland + Gt-klasse	34	46	55	45
% overig + Kwel	32	43	48	42
PAWN + Gt-klasse	41	30	46	41
% overig + Gt-klasse	30	40	49	40
3 variabelen				
% grasland + % overig + Kwel	43	56	62	54

1 akkerbouw, exclusief mais

Uit de regressieanalyse blijkt dat het percentage gras het meest significant is, gevolgd door de hoeveelheid kwelwater (P-waarden uit tabel C; hoe lager de p-waarde des te signifikanter is de invloed). Het minst significant van deze drie variabelen is het percentage overig landgebruik (akkerbouw exclusief maïs). Een variabele wordt als significant beschouwd als de P-waarde kleiner dan 0,05 is (95% betrouwbaarheid).

Tabel C

Significantie van de variabelen voor het 'beste' model.

Jaar	P-waarde ¹⁾			
	2006	2007	2008	2006-2008
% grasland	0,002	0,000	0,000	0,000
Kwel	0,019	0,001	0,001	0,000
% overig	0,022	0,013	0,006	0,000

1) Hoe kleiner de P-waarde, des te signifikanter is de parameter

Modelmatige analyse

De verschillen in nitraatconcentraties tussen de kleiregio's kan niet volledig verklaard worden door verschillen in landgebruik en de hoeveelheid kwelwater. Afhankelijk van het weerjaar kan 38% tot 57% van de variatie in nitraatconcentraties niet verklaard worden en liggen er andere oorzaken aan ten grondslag.

Om na te gaan of processen in de bodem (mineralisatie etc.) een rol kunnen spelen bij de verschillen in nitraatconcentraties zijn de resultaten van het proces-georiënteerde nutriëntenuitspoelingsmodel STONE gebruikt, dat in het kader van de evaluatie van de Meststoffenwet 2012 is ingezet voor milieu-analyses. Hiervoor zijn in eerste instantie uitsluitend de gedraineerde STONE-plots met het bodemtype zeeklei geselecteerd. Vervolgens is verder ingezoomd op STONE-plots die soortgelijke kenmerken bezitten van de beschouwde LMM-bedrijven in de zeekleigebieden.

Uit de analyse blijkt dat het modelsysteem (STONE) goed in staat is om de metingen in het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied te beschrijven. Voor het Centraal zeekleigebied worden de nitraatconcentraties echter voor drie meetseizoenen onderschat. Dit geldt zowel voor het geval waarbij alle zeekleiplots worden beschouwd, maar ook als de geselecteerde plots, met karakteristieken die beter overeenkomen voor de LMM-bedrijven, worden beschouwd.

De onderschatting van de nitraatconcentraties hangt voor een deel samen met een hogere aanvoer van kwelwater waardoor een verdunningseffect optreedt van de berekende nitraatconcentraties. Daarnaast bestaat de indruk dat het voorkomen van krimpscheuren in het Centraal zeekleigebied (vooral de Flevopolders) er preferent transport op kan treden door scheurvorming. Het gaat dan vooral om rijpingsscheuren die zijn ontstaan tijdens de drooglegging van deze polders. In het huidige modelinstrumentarium STONE zijn deze routes nog niet opgenomen, waardoor de berekende nitraatconcentraties hoogstwaarschijnlijk lager zijn dan de gemeten concentraties. Omdat de berekende nitraatconcentraties niet voor alle zeekleigebieden overeenkomen met de gemeten nitraatconcentraties, is geconcludeerd dat eerst in alle gebieden de berekeningen goed moeten gaan voordat op basis van STONE-berekeningen specifieke aanvullende conclusies mogen en kunnen worden getrokken over factoren die de nitraatconcentratie in zeekleigebieden beïnvloeden.

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat de (plaatselijk) hogere nitraatconcentraties in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied voor een aanzienlijk deel verklaard kunnen worden uit het landgebruik (aandeel gras en aandeel akker- en tuinbouw excl. maïs) en de hoeveelheid kwelwater op de betrokken bedrijven. Het stikstofoverschot lijkt op basis van de data uit de LEI- en LMM-database geen verklaring te geven voor hogere nitraatconcentratie in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied.

Mogelijkerwijs kan door inbrengen van het optreden van krimpscheuren in het modelinstrumentarium STONE uiteindelijk voor alle zeekleigebieden een goede fit gevonden worden tussen gemeten en berekende nitraatconcentraties, waardoor uiteindelijk ook nog het niet-verklaarde deel in de statistische analyse verklaard kan worden.

Als er behoefte is dat ook bij bedrijven in zeekleigebieden er geen overschrijdingen meer plaatsvinden van de nitraatconcentratie in het grondwater en drainwater, wordt aanbevolen om de LMM-bedrijven specifiek modelmatig door te rekenen (nadat het effect van krimpscheuren is ingebracht) en een validatie uit te voeren. Op basis van betrouwbare uitkomsten kan via scenariostudies vastgesteld worden wat de effectiviteit is van verschillende maatregelen. Hierbij kan gedacht worden aan bemestingsstrategieën, eventueel in combinatie met ander landgebruik, hydrologische ingrepen (wel of geen buisdrainage, meer of mindere mate van kwel, beperkt vasthouden van water om de denitrificatiecapaciteit te verhogen).

Executive summary

The nitrate concentrations in groundwater and/or water of pipe drains on the farms of the LMM monitoring network have decreased with 50% since the mid-nineties. In the sea clay region the average nitrate concentration is below the 50 mg NO₃/l EU target value. A geographical analysis of measured nitrate concentrations shows that 22% of the observed clay soils exceeds the EU target value. Most of these clay soils are situated in the South-western and Central sea clay area.

A study was conducted to investigate to what extent the higher nitrate concentrations in the South-western and Central sea clay area can be explained by:

- 1) *a high average nitrogen surplus of the soil balance of the LMM farms or*
- 2) *soil and groundwater characteristics (clay content, seepage water, organic matter content, pyrite content etc.) or*
- 3) *land use (mainly grassland or arable land).*

As a first step, a conceptual analytical framework was set up by experts from different institutes (Alterra Wageningen UR, Deltares and RIVM), in order to evaluate the effects of soil processes on nitrate concentrations. The influence of regional characteristics and land use between the different sea clay areas were also analysed (North-western, North-eastern, Central en South-western sea clay area). Secondly, a statistical analysis carried out on the dataset of the LMM farms. Recent results from model calculations that have been carried out, as part of the evaluation of Manure Act (2012), were also taken into account.

Process oriented data-analysis

In Table A the average nitrate concentration and information of relevant characteristics (as discussed in Chapter 3.2 in Dutch) in relation to nitrate leaching are presented for each clay region.

The average NO₃ concentration between the sea clay areas range from 14.9 to 77.7 mg NO₃ per litre. The analysis showed that the differences between the regional characteristics are large, however the variation of the regional characteristics within a sea clay areas were also large. Due to these high variations in characteristics within the regions it was not possible to explain the higher average nitrate concentrations in the South-western and Central sea clay area based on this regional information. Therefore, additional regression-analysis and model exercises were performed *on farm level with local* parameters.

Table A

Overview of nitrate concentrations and relevant characteristics of the regions.

	Observed nitrate concentration (mg/l)	Information of relevant characteristics of the agricultural area in the regions					
	Average (25-75 percentile)	Dominant land use	Pyrite-content	Seepage ¹ mm/j	Dominant soil-type	Hydrology	OM-content
North-eastern sea clay area	14.9 (3.6 - 21.3)	Grassland (51%) ²	Medium	-3.7	Mn ³ 15 ⁴ (41.5% (31.0%)	Moderate dry soils (46.0%)	High
North-western sea clay area	24.5 (9.6 - 26.5)	Arable land (76%) ²	High	-18	Mn ³ 15 ⁴ (29.3%) (35.6%)	Dry soils (29.7%)	Low
Central sea clay area	77.7 (45.5 - 98.0)	Arable land (94%) ²	High	-172	Mn ³ 16 ⁵ (61.6%) (26.7%)	Dry soils (46.0%)	High
South-western sea clay area	46.9 (25.3 - 60.2)	Arable land (89%) ²	Low	-33	Mn ³ 15 ⁴ (70.5%) (36.2%)	Dry soils (63.1%)	Medium

1) Negative value is upwards seepage, positive value is downwards seepages

2) Percentage of the total agricultural area

3) Marine clay soils with rust and grey spots within 50 cm

4) Homogeneous silt soils

5) Homogeneous light clay soils

Statistical analysis

The characteristics of the LMM farms were derived from the LMM databases or from maps. Multiple linear regression analyses was used to determine which characteristics significantly influence the average nitrate concentrations of farms. All characteristics were considered as possible variables which may predict measured nitrate concentrations. The results of regression models with significant variables (up to 3) for the years 2006, 2007 and 2008 are presented in Table B. Regression models with more than three variables do not results in a significant better explanation of the measured nitrate concentration. Only the variables that had a significant effect were included in Table B. Some variables were not significant for all years or were not significant at all (e.g. nitrogen surplus of the soil system, organic matter content and pyrite content).

Depending on the year in which measurements were conducted about 43% to 62% of differences in measured nitrate concentrations between the LMM farms can be attributed to differences in land use (% grassland and % arable land exclusive maize) and differences in the amount of upward seepage between the LMM farms. The most significant characteristic is the percentage of grassland, followed by the amount of upward seepage.

Based on the results of the regression analysis, it seems that there is a negative relation between the percentage of grassland and the amount of upward seepage and a positive relation between the percentage of arable land. *This means that the higher the percentage of grassland and the amount of upward seepage, the lower the nitrogen concentrations (regression coefficients not shown).*

Remarkably, there was also a negative relation found between the nitrogen surplus of the balance and the nitrate concentration in drain water (Table 15 in this report).

Table B

Percentage explained variance of the measured nitrate concentration in groundwater or drainage water for regression models in which all variables (= characteristics of the LMM farms) are significant for all years.

Year	Percentage explained variance (%)			
	2006	2007	2008	2006-2008
1 Variable				
% grassland	28	41	47	39
% arable land ¹	21	31	37	30
Gt-class	25	21	29	26
Soil type	21	17	21	22
Upward seepage	8	6	6	8
2 Variables				
% grassland + Upward seepage	38	52	57	49
% grassland + % rest	38	48	54	46
% grassland + Gt-class	34	46	55	45
% arable land + Upward seepage	32	43	48	42
Soil type + Gt-class	41	30	46	41
% arable land + Gt-Class	30	40	49	40
3 Variables				
% grassland + % arable land + Upward seepage	43	56	62	54

1 Arable land, exclusive maize

Model application

The differences in nitrate concentrations between clay areas could only partly be explained by differences in land use and the amount of upward seepage. However, 38% to 57% of the variation in nitrate concentrations could not be explained by the variation of these parameters. Obviously, other parameters also influence the variation of the nitrate concentration.

To investigate if soil processes (e.g. mineralisation) may explain an apart of the variation of nitrate concentrations, the results of the process-oriented nutrient emission model STONE was used. STONE was designed for evaluation at the national and regional scale of the effects of changes in the agricultural sector (e.g. changes in fertilizer recommendations and cropping patterns) and in policy measures (e.g. EU nitrate directive for ground water) for the leaching of nitrogen (N) and phosphorus (P) from agricultural land areas to ground water and surface waters.

The STONE model simulated well the measured nitrate concentrations in the North-eastern, North-western en South-western sea clay areas. The measured nitrate concentrations in the Central clay area however have been underestimated for all years, which may be explained by the high amount of seepage water in the (available) model application (dilution effect) and additional preferential water flows in cracked soils which may have resulted in higher nitrate concentrations in practice. Cracked soils are not yet implemented in the STONE-model, but can have a significant effect.

Conclusions

Based on this study the nitrogen surplus of the soil system of the LMM farms, based on the LEI- and RIVM-database, does not provide an explanation for the higher nitrate concentrations in the South-western and Central sea clay. In all clay regions no positive relationships were found between the average nitrogen surplus of the LMM farms and the measured average nitrate concentration of the LMM farms.

The local higher nitrate concentrations at the LMM farms in the South-western and Central sea clay area can partly be explained by the land use (percentage grassland and arable land, exclusive maize) and the amount of upward seepage water. The higher the percentage of grassland and the amount of upward seepage, the lower the nitrate concentration.

The STONE-model application can help to get a better understanding of the measured nitrate concentrations because much more processes are taken into account which cannot be used (on forehand) in statistical analysis (mineralisation, denitrification etc.). However it is recommended to incorporate the influence of cracked soils into the model before such evaluations are made, because cracked soils occur in the Central clay area and can cause additional losses of nutrients. Subsequently scenario analysis can be performed to determine the effectiveness of mitigation options. Possible mitigation options are for example fertilisation strategies in combination with a certain type of land use and hydrological measures (e.g. control drain pipes, holding water to increase the denitrification capacity).

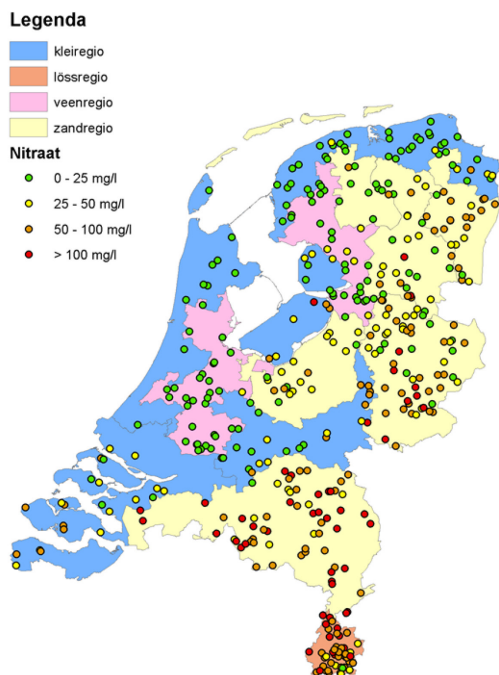
1 Inleiding

1.1 Achtergrond

De Nitraatrichtlijn (Directive 91/676/EEC) is een Europese richtlijn met als doel de waterverontreiniging die wordt veroorzaakt door nitraat uit agrarische bronnen te verminderen en de verdere verontreiniging te voorkomen. De EU hanteert hierbij de grenswaarde van 50 mg nitraat/L in grond- en oppervlaktewater. De richtlijn gebiedt lidstaten voor hun niraatuitspoelingsgevoelige gronden een actieprogramma op te stellen dat ten minste eens per vier jaar opnieuw moet worden bezien en zo nodig herzien. Nederland wees indertijd alle landbouwgronden als niraatuitspoelingsgevoelig aan.

In het vierde actieprogramma voor de periode 2010-2013 (LNV, 2009) zijn maatregelen opgenomen met als doel dat de Nitraatrichtlijn wordt bereikt. De gebruiksnormen zijn een cruciaal onderdeel van de maatregelen. In de periode 1992-2010 is de gemiddelde concentratie van nitraat in het bovenste grondwater in de zandgebieden met circa 50% afgenomen (Hooijboer en De Klijne; Van der bolt et al.; EMW, 2012). In veengebieden voldoet de kwaliteit van het grondwater in het algemeen ruim aan de nitraatnorm en ook in de kleigronden is dit gemiddeld het geval.

De kleigebieden als geheel voldoen dus aan de doelen van de nitraatrichtlijn. Hierbij moet echter in ogenschouw worden genomen dat 22% van de meetpunten nog overschrijdingen laten zien van deze norm (Hooijboer en De Klijne, 2012). Uit de geografische verdeling van de monitoringsresultaten voor nitraat (periode 2007-2010), blijkt dat deze meetpunten vooral in het Zuidwestelijk zeekleigebied (Zeeland) en het Centraal zeekleigebied (Flevoland) liggen (figuur 1, Hooijboer en Klijne, 2012).



Figuur 1

Indeling van LMM-bedrijven in klassen op basis van de gemiddelde nitraatconcentratie in het uitspoelingswater, 2007-2010 (Hooijboer en Klijne, 2012).

1.2 Doel

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie (EL&I) heeft Alterra een onderzoek uitgevoerd naar mogelijke oorzaken van de hogere nitraatconcentraties in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied.

Voor het beantwoorden van de beleidsvraag is onderzocht in hoeverre de verhoogde nitraatconcentraties worden veroorzaakt door:

- 1) *een hoog stikstofbodemoverschot of*
- 2) *bodem- en grondwatereigenschappen (kleigehalte, kwelwater, organische stofgehalte, pyrietgehalte, etc.), of*
- 3) *grondgebruikswijze (nadruk op grasland dan wel nadruk op bouwlandgewassen).*

1.3 Leeswijzer

- In hoofdstuk 2 worden de verschillende fases van het onderzoek besproken en wordt de werkwijze per fase beschreven.
- De resultaten van de verschillende fases komen achtereenvolgens in hoofdstuk 3 (prefase), hoofdstuk 4 (fase 1) en hoofdstuk 5 (fase 2) aan de orde. Aan het einde van elk hoofdstuk worden de resultaten bediscussieerd en worden aanbevelingen geformuleerd.
- In hoofdstuk 6 worden de conclusies en aanbevelingen weergegeven waarbij een antwoord wordt gegeven op de beleidsvraag.
- De beleidssamenvatting van deze studie is te vinden voor deze inleiding.

2 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd in 2010-2012 en is onderverdeeld in een aantal fases. De fases zijn weer verder onderverdeeld in verschillende activiteiten (tabel 1). De invulling van de verschillende fases en onderliggende onderdelen zijn in de loop van het onderzoek regelmatig aangepast en bijgesteld. In dit hoofdstuk worden de verschillende fases en activiteiten nader toegelicht.

Tabel 1

Overzicht van de fases en bijbehorende activiteiten in het onderzoek.

Fase	Activiteiten	Omschrijving
Prefase	A: Verkennende data-analyse	Verkennende data-analyse van de gemeten nitraatconcentraties op LMM-bedrijven in de zeeleigebieden
	B: Opstellen conceptueel raamwerk	Systeemverkenning van bronnen en processen die van invloed zijn op nitraatconcentraties in grond- en drainwater
	C: Discussiebijeenkomst	Bespreken resultaten prefase en invulling fase 1 met experts van Alterra, Deltares en PBL
Fase 1	A: Oriënterende data-analyse	Oriënterende data-analyse van relevante, regionale kenmerken van de zeeleigebieden
	B: Bedrijfsanalyse stikstofbodemoverschot	Analyse stikstofbodemoverschot in relatie tot de gemeten nitraatconcentraties op de LMM-bedrijven
Fase 2	A: Statistische analyse	Verzamelen regionale kenmerken van de LMM-bedrijven en uitvoeren van een statistische analyse
	B: Modelmatige analyse	Analyse van berekende nitraatuitspoeling per regio met het STONE-instrumentarium

2.1 Prefase

De prefase van het project bestaat uit twee onderdelen:

- Verkennende data-analyse van de gemeten nitraatconcentraties op de LMM-bedrijven die onderdeel uitmaken van het Landelijk Meetnet effecten Mestbeleid (LMM) en gelegen zijn in zeeleigebieden in Nederland (Noordwestelijk, Noordoostelijk, Centraal en Zuidwestelijk zeeleigebied).
- Opstellen van een conceptueel raamwerk waarin mogelijke factoren bediscussieerd worden die van invloed (kunnen) zijn op de nitraatconcentraties in drain- en grondwater in zeeleigebieden.

Verkennende data-analyse

De gemeten nitraatconcentraties op de LMM-bedrijven in het Zuidwestelijk en Centraal zeeleigebied geven aanleiding om aanvullend onderzoek uit te voeren naar een verklaring waardoor de hogere nitraatconcentraties (kunnen) worden veroorzaakt. Voordat mogelijke oorzaken worden onderzocht is een verkennende data-analyse uitgevoerd van de gemeten nitraatconcentraties op de LMM-bedrijven voor de periode 1996-2008.

Er worden vier regio's onderscheiden:

- Zuidwestelijk zeeleigebied (Zeeland).
- Centraal zeeleigebied (Flevoland).
- Noordwestelijk zeeleigebied (Noord-Holland).
- Noordoostelijk zeeleigebied (Groningen/Friesland).

Conceptueel raamwerk

De relatief hoge nitraatconcentraties in het grondwater en/of drainwater voor het Zuidwestelijk en Centraal zeeleigebied, vergeleken met andere zeeleigebieden, kan mogelijk worden verklaard door verschillen in gebiedskenmerken.

In het conceptueel raamwerk is een systeemverkenning beschreven van processen die in zeeleigonden een rol kunnen spelen voor de totstandkoming van de nitraatconcentraties in grond- en drainwater.

Discussiebijeenkomst

Nadat de data-analyse van de LMM-gegevens en het opstellen van het conceptueel raamwerk is afgerond, is een discussiebijeenkomst georganiseerd met experts van Alterra, Deltares en het RIVM. Het doel van de bijeenkomst was:

- Overeenstemming te bereiken over het conceptueel raamwerk.
- Identificeren van de relevante stikstofbronnen.
- Identificeren van processen en lokale factoren die van belang zijn.
- Definitieve invulling fase 1.

2.2 Fase 1

Fase 1 bestaat uit twee onderdelen:

- Oriënterende data-analyse van de verschillen in relevante, regionale kenmerken van de onderscheiden zeeleigebieden.
- Analyse van het stikstofbodemoverschot in relatie tot de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater op de LMM-bedrijven in de zeeleigebieden.

Inventariseren en analyseren (regionale) factoren

Tijdens de discussiebijeenkomst met experts van Alterra, RIVM en Deltares zijn een aantal relevante, regionale factoren benoemd die op voorhand niet uitgesloten kunnen worden voor de verklaring van de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater/grondwater op de LMM-bedrijven. Aanbevolen is om alle factoren nader te onderzoeken, waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. In fase 1 wordt gestart met een oriënterende data-analyse om inzicht te krijgen of er verschillen zichtbaar zijn in relevante, regionale kenmerken van de verschillende zeeleigebieden.

Statistische analyse van het stikstofbodemoverschot en nitraatconcentraties

Een aanvullend onderdeel van fase 1 is nagaan of er een significante relatie is tussen het stikstofbodemoverschot en de gemeten nitraatconcentratie op bedrijfsniveau. Hiervoor wordt een statistische regressieanalyse uitgevoerd, waarbij gebruik gemaakt is van het stikstofbodemoverschot (op bedrijfsniveau) zoals die door het LEI zijn vastgesteld voor de LMM-meetlocaties (bronLEI-gegevens) en de nitraatconcentraties (bedrijfsgemiddeld) uit de RIVM-database (bron RIVM/LMM). De resultaten van de statistische analyse is van belang voor de verdere invulling van fase 2 van het onderzoek.

Beslismoment. Als uit fase 1 blijkt dat het stikstofbodemoverschot *niet* afdoende verklarend is voor de gemeten nitraatconcentraties op de LMM-bedrijven, wordt fase 2 ingezet.

2.3 Fase 2

In fase 2 is verder ingezoomd op de relatie tussen de kenmerken van de LMM-bedrijven en de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater. Fase 2 bestaat uit twee onderdelen:

- Dataverzameling en statistische analyse op bedrijfsniveau.
- Modelmatige analyse.

Dataverzameling en statistische analyse

Om een betrouwbare statistische analyse te maken van de relaties tussen nitraatconcentraties en de kenmerken van de LMM-bedrijven is het noodzakelijk dit te doen op basis van de ruwe data, dus op bedrijfsniveau. Het probleem met de LMM-gegevens is dat niet alle kenmerken lokaal zijn bepaald. Het verdient de aanbeveling om de benodigde kenmerken lokaal (dus op LMM-percelen) te verzamelen in combinatie met nitraatmetingen op het betreffende perceel. Het opzetten van een dergelijk meetplan was echter gezien de doorlooptijd van het project en de bijbehorende kosten niet haalbaar en daarom werd een andere aanpak gekozen.

De kenmerken van de LMM-bedrijven zijn bepaald op basis van verschillende databestanden en kaarten. Deze kenmerken zijn vervolgens in een database opgeslagen en gebruikt voor een statistische regressieanalyse. In de analyse is gekeken naar de relatie tussen nitraatconcentraties enerzijds en de Gt-klasse, bodemtype, hoeveelheid kwelwater, organische stofgehalte en pyrietgehalte anderzijds voor de periode 2006-2008. Naast bovengenoemde kenmerken is ook het landgebruik als verklarende variabele meegenomen. Doel van de analyse is inzicht krijgen of er een significant verband is tussen de gemeten nitraatconcentraties en de kenmerken van de bedrijven.

Modelanalyse

Niet alle relevante routes en processen kunnen worden geïdentificeerd op basis van (veld)metingen alleen (bijvoorbeeld mineralisatie). Niet alle relevante variabelen kunnen worden gemeten, hetzij niet op de juiste locatie, hetzij niet op het juiste moment. In fase 2 van het project wordt het modelinstrumentarium STONE (Wolf et al., 2003) ingezet om de noodzakelijke interpretatie van de metingen te kunnen maken.

De modelanalyse wordt in twee stappen uitgevoerd. In stap 1 worden de modelresultaten (nitraatconcentratie in drainwater) voor de onderscheiden kleiregio's getoetst aan de metingen op de LMM-bedrijven. Vervolgens kan op basis van de modelresultaten geanalyseerd worden of er verschillen tussen de regio's zichtbaar zijn. In stap 2 worden de unieke combinaties (landgebruik, bodem en hydrologie) van de LMM-bedrijven in de regio's gekoppeld aan karakteristieke STONE-rekeneenheden. De resultaten van deze geselecteerde rekeneenheden worden vervolgens weer getoetst aan metingen en geanalyseerd op verschillen tussen de regio's.

3 Resultaten prefase

De resultaten van de verkennende data-analyse zijn beschreven in paragraaf 3.1, waarna in paragraaf 3.2 het conceptueel raamwerk wordt besproken. De discussie en aanbevelingen voor de vervolgfase komen in paragraaf 3.3 aan de orde.

3.1 Verkennende data-analyse

In de prefase van het onderzoek is een verkennende analyse uitgevoerd van de gemeten nitraatcijfers op de LMM-bedrijven voor de periode 1996-2008 voor de verschillende zeekelegebieden in Nederland:

- Zuidwestelijk zeekelegebied (Zeeland en delen van Zuid-Holland en Noord-Brabant).
- Centraal zeekelegebied (Flevoland).
- Noordwestelijk zeekelegebied (Noord-Holland).
- Noordoostelijk zeekelegebied (Friesland, Groningen).

In de verkennende data-analyse zijn het Noordwestelijk en Noordoostelijk zeekelegebied samengevoegd (Noordelijk zeekelegebied).

Selectie LMM-bedrijven

Voor de verkennende data-analyse zijn alle waarnemingen van monitoringsprogramma's geselecteerd voor bedrijven in de kleiregio's met als voorwaarde dat de waterbemonstering in het winterhalfjaar heeft plaatsgevonden. Hierdoor zijn ook bedrijven geselecteerd die in het rivierkelegebied liggen en dus buiten het onderzoeksgebied vallen. Een overzicht van het aantal bedrijven in de kleigebieden en de fractie van het bedrijfsareaal dat uit zeekele bestaat is in tabel 2 weergegeven.

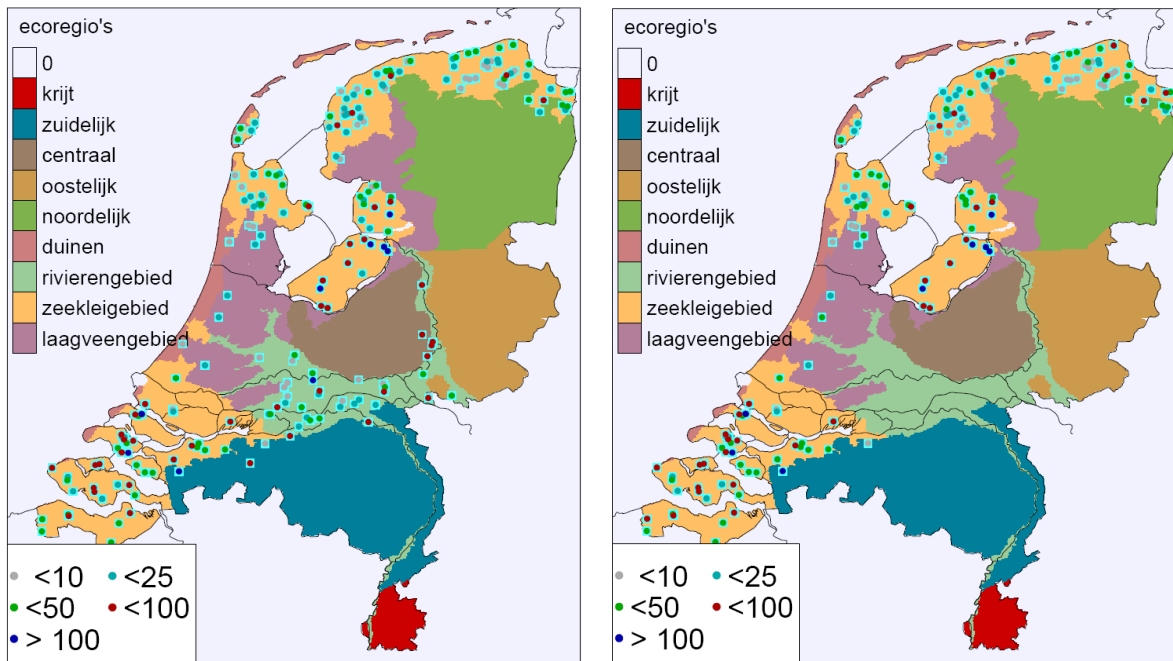
Tabel 2

Aantal bedrijven in de kleigebieden met bijbehorende fractie zeekele van het bedrijfsareaal.

Fractie zeekele	Aantal bedrijven	
	Totaal	Selectie
< 10%	50	-
10-50%	7	7
50-60%	2	2
60-70%	6	6
70-80%	6	6
80-90%	12	12
> 90%	127	127
Onbekend	2	-
Totaal	212	160

Er zijn in totaal 212 bedrijven geselecteerd in de kleigebieden (inclusief rivierklei). Voor de verkennende analyse zijn alleen de bedrijven geselecteerd waarvoor het bedrijfsareaal uit meer dan 10% zeelei bestaat, waardoor 160 bedrijven overbleven.

In figuur 2 zijn de locaties van de bedrijven weergegeven in de kleiregio's vóór de selectie (links) en ná de selectie (rechts). Hieruit blijkt dat de selectie op basis van de fractie zeelei een goede methode is. Voornamelijk bedrijven in het rivierkleigebied zijn uit de database gefilterd.

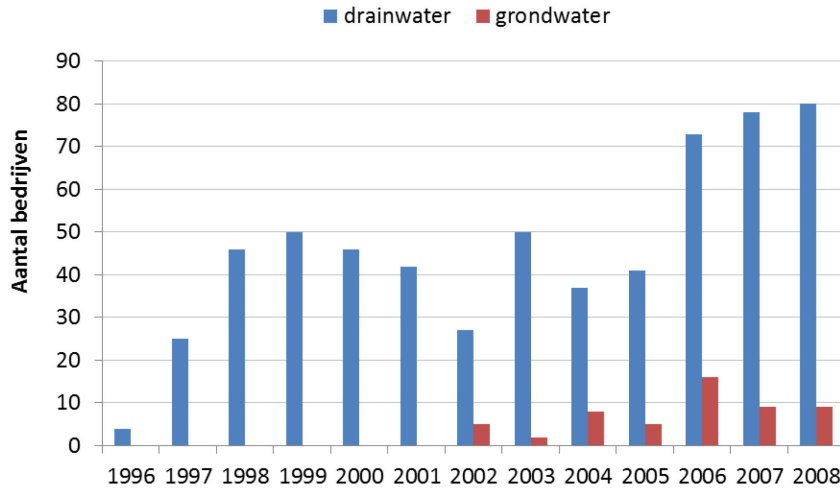


Figuur 2

LMM-bedrijven die deelnemen aan een van de kleiprogramma's in de periode 1996-2008.

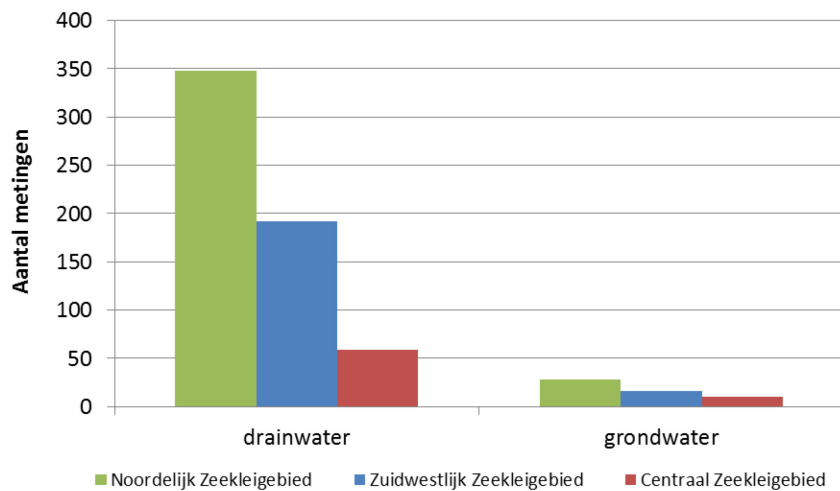
LMM-bedrijven met minimaal 10% zeelei binnen het bedrijfsareaal en die deelnemen aan een van de kleiprogramma's in de periode 1996-2008.

Van een bedrijf is óf het drainwater óf het grondwater in een jaar bemonsterd. Het kan voorkomen dat het ene jaar grondwater is bemonsterd en in een ander jaar het drainwater. Op een bedrijf wordt een grondwaterbemonstering uitgevoerd als minder dan 25% van de drainbuizen actief is. De grondwaterbemonstering is pas in 2002 begonnen en betreft (veel) minder bedrijven dan de drainwaterbemonstering (figuur 3).



Figuur 3
Aantal bedrijven waarvan drainwater of grondwater is bemonsterd voor de periode 1996-2008.

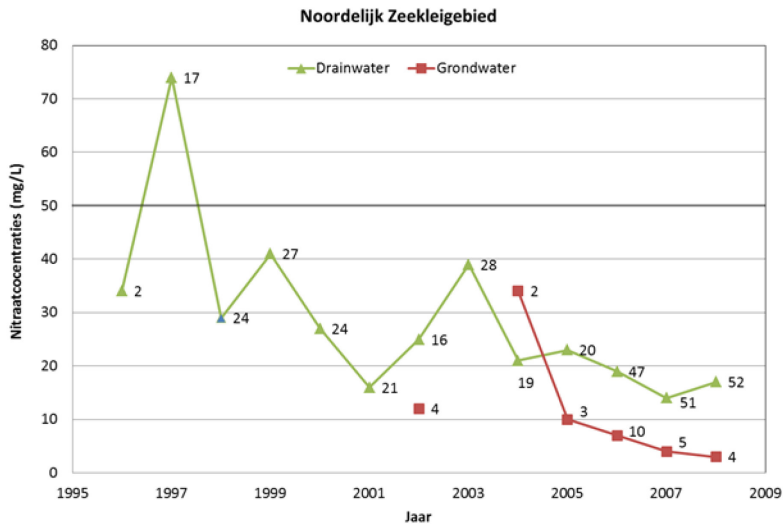
Het aantal bedrijven met drainwaterbemonstering en grondwaterbemonstering is voor het Noordelijk zeeleigebied groter dan voor de overige kleigebieden, het aantal geselecteerde bedrijven in het Centraal zeeleigebied is het laagst (figuur 4).



Figuur 4
Totaal aantal nitraatmetingen in de periode 1996-2008 in het drainwater- en grondwater die zijn uitgevoerd in het Noordelijk, Zuidwestelijk en Centraal zeeleigebied.

Nitraatconcentraties

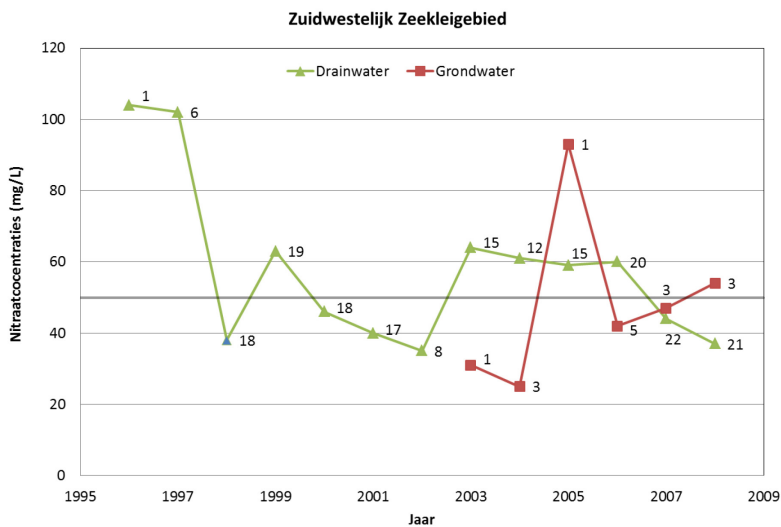
Het verloop van de gemiddelde nitraatconcentraties vanaf 1996 t/m 2008 is geanalyseerd voor de verschillende zeeleigebieden, waarbij onderscheid is gemaakt tussen de nitraatconcentraties voor drainwater en grondwater (figuren 5 t/m 7). De getallen boven de 'markers' geven het aantal bedrijven weer. De nitraatconcentraties zijn **niet** gecorrigeerd voor weerseffecten.



Figuur 5

Gemiddelde nitraatconcentratie (mg/L NO_3^-) voor de bedrijven in het Noordelijk zeekleigebied (Groningen, Friesland en Noord-Holland) voor de periode 1996-2008 voor zowel drainwater als grondwater, inclusief het aantal waarnemingen.

De gemiddelde nitraatconcentraties van het drainwater op de LMM-bedrijven voor het Noordelijk zeekleigebied laten een afnemende trend zien vanaf 1996 en liggen, met uitzondering van 1997, onder de norm van 50 mg/L. De nitraatconcentraties in het grondwater zijn over het algemeen lager dan in het drainwater (met uitzondering van 2004).

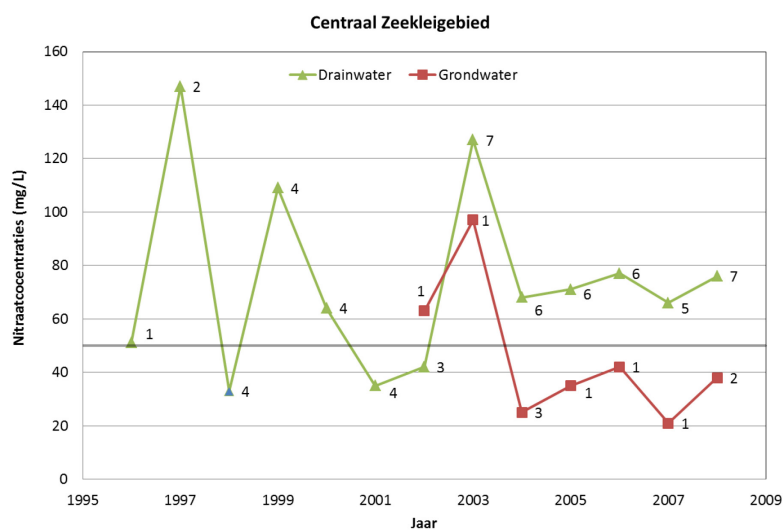


Figuur 6

Gemiddelde nitraatconcentratie (mg/L NO_3^-) voor het Zuidwestelijk zeekleigebied (Zeeland) voor de periode 1996-2008 voor zowel drainwater als grondwater, inclusief het aantal waarnemingen.

De nitraatconcentraties van het drainwater op de LMM-bedrijven in het Zuidwestelijk zeekleigebied variëren grofweg tussen de 30 en 70 mg/L voor de periode 1998-2008. In 1996 en 1997 zijn de gemiddelde nitraatconcentraties ruim 100 mg/L. Het aantal bedrijven voor de betreffende jaren is echter wel beperkt, respectievelijk één en zes bedrijven. De nitraatconcentraties in het grondwater zijn sinds 2003 toegenomen en

zijn in 2008 en 2009 hoger dan de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater. Ook hier moet opgemerkt worden dat het aantal bedrijven waar het grondwater is bemonsterd beperkt is en dat niet gecorrigeerd is voor weereffecten.



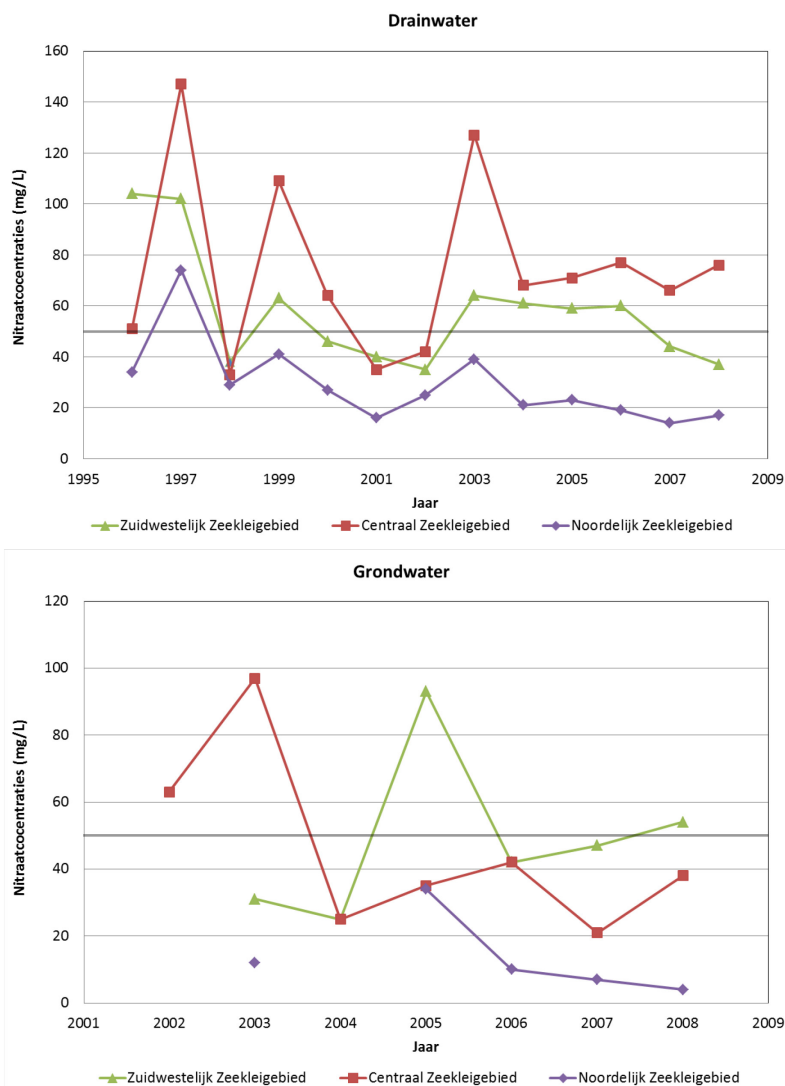
Figuur 7

Gemiddelde nitraatconcentratie (mg/L NO₃) voor het Centraal zeekleigebied (Flevoland) voor de periode 1996-2008 voor zowel drainwater als grondwater, inclusief het aantal waarnemingen.

De nitraatconcentraties van het drainwater op de LMM-bedrijven in het Centraal zeekleigebied variëren in 1996 en 2004 tussen 30 en 150 mg/L. Na 2004 is de variatie kleiner (65-80 mg/L).

De nitraatconcentraties in het grondwater zijn over het algemeen lager dan in het drainwater (met uitzondering van 2002). Ook hier geldt de opmerking dat het aantal bedrijven beperkt is en dat de nitraatcijfers niet zijn gecorrigeerd voor weereffecten.

De gemiddelde nitraatconcentraties voor het drainwater en grondwater voor de verschillende zeekleigebieden zijn vervolgens met elkaar vergeleken (figuur 8).



Figuur 8
 Gemiddelde nitraatconcentratie (mg/L NO₃) in het drainwater voor de periode 1996-2008 (bovenste figuur) en het grondwater (onderste figuur) voor de periode 2002-2008.

De gemiddelde nitraatconcentraties in zowel het drainwater als in het grondwater is voor het Noordelijk zeekleigebied lager dan voor het Centraal en Zuidwestelijk zeekleigebied. De hoogste nitraatconcentraties voor het drainwater worden gemeten in het Centraal zeekleigebied, in het Zuidwestelijk zeekleigebied worden de hoogste nitraatconcentraties in het grondwater gevonden.

3.2 Conceptueel raamwerk

De resultaten uit de verkennende data-analyse geven aanleiding tot een nadere analyse waardoor de verschillen in nitraatconcentraties in het drainwater/grondwater tussen de zeekleigebieden worden veroorzaakt. Om deze vraag te kunnen beantwoorden is het noodzakelijk om inzicht te krijgen welke bronnen en processen invloed (kunnen) hebben op nitraatconcentraties in het drainwater/grondwater. In deze paragraaf worden deze bronnen en processen beschreven.

Bronnen + processen

Aanvoer (stikstof) en vorming van nitraat

De belangrijkste aanvoerpost van stikstof op landbouwgronden is via de bemesting. Op basis van onderzoek uit 2008 (Van Boekel et al., 2008) is gebleken dat circa 15-19% van het stikstofbodemoverschot uitspoelt naar grond- en oppervlaktewater.

Een tweede bron van stikstof is de kwel. Via kwelwater kan via diepgelegen stroombanen ammonium worden aangevoerd. Deze kwel wordt doorgaans rechtstreeks naar het oppervlaktewater of via drains naar het oppervlaktewater afgevoerd. Omdat aerobe condities langs deze route vaak ontbreken, treedt er geen nitrificatie op waardoor de verwachting is dat kwel geen significante bron van nitraat vormt. Andere bronnen van stikstof zijn atmosferische depositie en de aanvoer via oppervlaktewater (infiltratiewater).

Nalevering vanuit de bodem

Naast de aanvoer van stikstof via de bemesting, kwel, depositie en infiltratiewater is ook afbraak van organisch materiaal (mineralisatie) een bron. Mineralisatie is het proces waarbij organische verbindingen in of op de bodem door micro-organismen worden omgezet in anorganische (minerale) verbindingen. De omzetting van organisch stikstof naar nitraat vindt plaats via twee stappen. In een eerste stap (*N-mineralisatie*) wordt organisch stikstof omgezet in ammonium (NH_4^+). Onder aerobe omstandigheden wordt ammonium (via nitriet (NO_2^-)) omgezet in nitraat. Het proces van de omzetting van ammonium in nitraat wordt nitrificatie genoemd.

Afvoer (stikstof) en afbraak van nitraat

Stikstof kan op verschillende manieren uit het systeem verdwijnen: door opname van het gewas, door omzetting in andere stoffen (afbraak) en de 'fysieke' afvoer naar grond- en oppervlaktewater.

Afbraak van nitraat (denitrificatie) is een biogeochemisch proces dat onder anaerobe omstandigheden plaatsvindt en waarbij verschillende typen bodembacteriën betrokken zijn. Deze bodembacteriën kunnen hun energievoorziening halen uit de oxidatie van organische stof (veen, organische mest) of anorganische stoffen zoals pyriet (FeS_2).

Het potentieel van de bodem om nitraat via denitrificatie af te breken wordt dus mede bepaald door het voorkomen van organisch materiaal en/of pyriet. Of dit potentieel ten volle benut kan worden hangt vervolgens af van de hydrologische processen die het transport van stoffen door de bodem bepalen. Een langzame afvoer geeft meer kans aan denitrificatie dan snelle afvoer via preferente stroombanen.

De 'fysieke' afvoer van stikstof (waaronder nitraat) onder landbouwgronden wordt mede bepaald door hydrologie (fluxen, positie en lengte van de stroombanen) en de diepte waar het nitraat zich bevindt. De hydrologie en het voorkomen van nitraat worden sterk beïnvloed door de fysische bodemgesteldheid, profielopbouw en de toegepaste drainagemiddelen.

Factoren

In het volgende onderdeel wordt een overzicht gegeven van de **belangrijkste** factoren die van invloed kunnen zijn op de nitraatconcentraties in drainwater/grondwater. De lijst met factoren is dan ook niet compleet, lokaal en regionaal kunnen ook andere bronnen, factoren en processen een rol spelen.

De factoren zijn hierbij grofweg ingedeeld naar bedrijfsfactoren en omgevingsfactoren.

Bedrijfsfactoren

De bedrijfsfactoren die van invloed kunnen zijn op de nitraatconcentraties in het drainwater/grondwater hebben voornamelijk betrekking op de bedrijfsvoering:

- Bemestingsintensiteit (stikstofoverschot) en nutriëntentoestand in de huidige landbouwpercelen.
- Landgebruik (akkerbouw versus grasland).
- Mate en tijdstip van beweiden (najaarsbeweiding).
- Voorkomen en kenmerken van het drainagesysteem (drainbuizen).

Bemestingsintensiteit en nutriëntentoestand

Het niveau van de bemesting (stikstofoverschot) aan het einde van het groeiseizoen bepaalt voor een belangrijk deel het risico op uit- en afspoeling naar grond- en oppervlaktewater. Op de kleigronden werd met name in het verleden een deel van de mestgift in het najaar uitgereden. Een deel van de stikstof die wordt aangewend en niet door het gewas wordt opgenomen, hoopt zich op in de bodem (toename organische stofvoorraad). Gedurende de winterperiode kan een deel worden omgezet in nitraat via de genoemde processen en vervolgens uitspoelen naar grond- en/of oppervlaktewater.

Als de bodemhydrologie wordt gedomineerd door preferente stroombanen, bijvoorbeeld door macroporiën in zware kleibodems, is het mogelijk dat het nitrificatieproces geen kans krijgt en de stikstof in de vorm van organisch N en/of ammonium het bodemsysteem verlaat naar grond- en oppervlaktewater. Opgemerkt moet worden dat ook denitrificatie hierdoor geen kans krijgt en het reeds aanwezige nitraat ook uitspoelt. Daarnaast is de nitrificatiecapaciteit sterk afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, grondwaterstand en de bodemtemperatuur, waardoor er tussen de jaren forse verschillen kunnen ontstaan.

Landgebruik

De fractie van het stikstofoverschot op de bodembalans die uitspoelt naar het grond- en oppervlaktewater (uitspoelingsfactor) verschilt per bodemgebruik en grondsoort (Fraters et al., 2007). Uit dit onderzoek blijkt dat de uitspoelingsfactor voor kleibouwland een factor 3 hoger ligt dan voor kleigrasland.

Voorkomen en kenmerken van drainage

De grondwaterstand voor gedraineerde percelen is over het algemeen laag en kan hierdoor een negatief effect hebben op de waterkwaliteit omdat bij lagere grondwaterstanden de denitrificatiecapaciteit lager is dan bij hogere grondwaterstanden.

De diepte en afstand van de drainagemiddelen bepaalt mede de stroombanen (afvoer naar grond- of oppervlaktewater) en de verblijftijden van het neerslagoverschot. Bij kortere reistijden en reisafstanden naar een drain vindt er onderweg minder omzetting (bijvoorbeeld denitrificatie) en buffering plaats. De drainafstand en diepte van de drainbuizen is mede afhankelijk van de aard van de bodem. In zandige bodems, maar ook in de gescheurde kleigronden van Flevoland is bijvoorbeeld de drainafstand groter dan in de overige kleigebieden (C.R. Meinardi, RIVM, 1997).

Omgevingsfactoren

Naast de bedrijfsfactoren zijn ook de omgevingsfactoren van invloed op de nitraatconcentraties in drainwater/grondwater.

Neerslagoverschot

De nitraatconcentratie in het drainwater (mg/L) wordt primair bepaald door de hoeveelheid aanwezig nitraat NO₃ (mg) en de hoeveelheid water (L). Bij een gelijkblijvende hoeveelheid nitraat en in afwezigheid van andere processen zullen droge condities dus leiden tot hogere concentraties en natte condities tot lagere concentraties (verduunningseffect). Voor een goede vergelijking van nitraatconcentraties tussen de zeeleigebieden, maar ook tussen de jaren, moet dus gecorrigeerd worden voor het neerslagoverschot.

Bodemfysische eigenschappen

Het 'transport' van water door de bodem met bijbehorende nutriëntenconcentraties wordt bepaald door de bodemfysische eigenschappen. Deze kunnen worden beschreven door de waterretentiekarakteristiek (pF-curve) en de doorlatendheidskarakteristiek. De pF-curve geeft de relatie tussen het vochtgehalte en de vochtspanning in onverzadigde gronden. De doorlatendheidskarakteristiek geeft de relatie tussen de

onverzadigde doorlatendheid en de vochtspanning. Deze eigenschappen worden vooral bepaald door de textuur van de bodem, het organisch stofgehalte en de dichtheid.

Een extreem aspect hiervan is het bestaan van rijpings- en/of krimpscheuren die van maaiveld lopen tot de diepte van de drainbuizen (Van den Akker et al., 2010 en 2011), of in geval van ontbreken van drainbuizen, als een netwerk in het driedimensionale vlak naar sloten.

Door deze scheuren kan water met opgeloste stoffen preferent en zeer versneld worden afgevoerd naar drainagemiddelen. Lutumgehalte, samenstelling van de kleimineralen, organische stof- en kalkgehalte, storende lagen en diepte van ontwatering hebben hier invloed op (Van den Akker et al., 2010). In bouwland is de bovenste 30-50 cm door ploegen verstoord waardoor scheuren niet beginnen aan maaiveld maar onder de geploegde laag. Ook dan hebben scheuren nog een groot versnellend effect op de waterafvoer naar drainagemiddelen. Voor de bovenlaag fungeren scheuren dan als een soort drain op 30-50 cm diepte (Groen, 1997). Hierdoor kunnen drainafstanden in gronden met krimpscheuren veel groter zijn dan in gronden zonder scheuren. Bijvoorbeeld 48 m in een grond met rijpingsscheuren (Groen, 1997) tegenover 8-18 m in een grond zonder grote rijpingsscheuren (Vos et al., 2005). Voor een uitgebreidere toelichting over de krimpscheuren wordt naar bijlage 1 verwezen.

Als de bodemfysische eigenschappen tussen de zeekleigebieden verschillen, heeft dit een effect op de waterretentie-eigenschappen en de doorlatendheid, met als extreme consequentie grote rijpingsscheuren. Deze leiden weer tot verschillen in denitrificatiecapaciteit en daarmee het risico op de uitspoeling van nitraat via het drainwater.

Pyriet

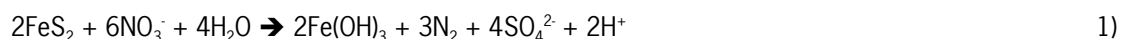
Het mineraal pyriet (FeS_2) is in de Nederlandse ondergrond op vele plaatsen aanwezig.

De vorming en het voorkomen van pyriet hangt samen met het grondwatersysteem en de geologische opbouw van de ondergrond. Pyriet komt voornamelijk voor in:

- de diepe ondergrond en kwelgebieden waarbij klei en veen aanwezig is;
- fluviale afzettingen met een hoog organisch stofgehalte (maximaal enkele gewichtpercentages);
- mariene afzettingen.

In zandige infiltratiegebieden zijn de omstandigheden voor pyrietvorming niet ideaal, hier zal dan ook (vrijwel) geen pyriet voorkomen.

Het voorkomen van pyriet in de ondergrond kan invloed hebben op de hoeveelheid nitraat dat beschikbaar is voor uitspoeling naar het grond- en oppervlaktewater. Onder anaerobe omstandigheden kan nitraat door pyriet worden gereduceerd volgens reactievergelijking 1 en wordt het risico op de uitspoeling van nitraat verminderd.



Kwel

De invloed van kwel op de waargenomen nitraatconcentraties in het drainwater is niet goed bekend. Via kwelwater kan er via diepgelegen stroombanen ammonium worden aangevoerd. Deze kwel wordt doorgaans rechtstreeks naar het oppervlaktewater of via drains naar het oppervlaktewater afgevoerd. Omdat vaak aerobe condities langs deze route ontbreken, treed er geen nitrificatie op waardoor de verwachting is dat kwel geen significante bron van nitraat vormt.

Hoeveelheid organisch stof

Het effect van de aanwezigheid van organische stof in de bodem is tweeledig en wordt mede bepaald door of de organische stof in een anaerobe laag voorkomt of in een aerobe laag.

Als de voorraad organische stof in landbouwpercelen voornamelijk in aerobe lagen voorkomt, treedt mineralisatie van de organische stof op, de gemineraliseerde nutriënten kunnen vervolgens uitspoelen naar het grond- en oppervlaktewater. Als de voorraad organische stof in anaerobe lagen voorkomt, kan dit een positief effect hebben op de denitrificatie van nitraat waardoor de uitspoeling van nitraat zal afnemen. Het effect van de aanwezigheid van hoge organische stofvoorraden (bijvoorbeeld veenlaagjes) is dus mede afhankelijk van de diepte en de hydrologische omstandigheden (anaerobe of aerobe).

Verdeling afvoer over de ontwateringscomponenten

De afvoer van het neerslagoverschot (neerslag minus verdamping) wordt niet alleen via de drains afgevoerd. Een deel van het neerslagoverschot zal ook via de bodem naar de sloten worden afgevoerd. De verhouding tussen de drainafvoer en de totale afvoer hangt sterk af van de lokale situatie. Bij hoofdzakelijk kleiige bodems vindt de afvoer voornamelijk via de drainbuizen plaats. Vooral in zandige (zavelige) bodems stroomt een deel van de afvoer door de bodem naar de sloten. Voor diepe zandige bodems kan dit aandeel meer dan 50% zijn. Kleigronden kunnen door ontwatering gescheurd zijn, waardoor de doorlatendheid van de bodem zal toenemen (rijping). Hierdoor kan het aandeel van de drainafvoer ten opzichte van de totale afvoer afnemen. De verwachting is echter dat de afname beperkt zal zijn, omdat het grootste gedeelte nog steeds via de drainbuizen wordt afgevoerd.

Naast het neerslagoverschot kunnen de drains en sloten ook kwel uit diepere lagen afvoeren. De kwel kan regionale kwel zijn, maar ook de afvoer van lokale stromingen in het grondwater. Als de kleilaag dikker dan 3,0m is, kan er vanuit gegaan worden dat er geen kwelwater in de drains terecht zal komen. Bij dunnere kleilagen kan dit echter wel het geval zijn. (Meinardi et al., 1997). De aard en de hoeveelheid van het kwelwater hangt per geval af van de lokale situatie, die per boerderij en per perceel kan verschillen.

Gt-klasse

Denitrificatie vindt plaats onder anaerobe omstandigheden. De denitrificatiecapaciteit van natte gronden is hierdoor groter dan voor droge gronden, waardoor het risico op nitraatuitspoeling voor percelen met een hoge grondwaterstand lager is. Als de grondwaterstand echter te hoog is, kan dit leiden tot afspoeling van stikstof over het maaiveld naar het oppervlaktewater.

Samenvattend

In deze paragraaf zijn de bronnen, transportroutes en processen besproken die een rol kunnen spelen bij de uitspoeling van nitraat naar grond- en drainwater. Sommige bronnen hebben alleen in theorie een invloed (ammonium via kwel aangevoerd levert geen bijdrage aan nitraat; pyriet dieper in het bodemprofiel draagt niet bij aan denitrificatie), andere factoren hebben een meerduidige werking. Natuurlijke voorkomens van organisch materiaal (zoals veenlaagjes) kunnen boven de grondwaterspiegel onder aerobe omstandigheden via mineralisatie bijdragen aan de nitraatuitspoeling, terwijl het onder anaerobe omstandigheden bijdraagt aan de denitrificatie. Hydrologische processen zorgen enerzijds voor de versnelde afvoer van nitraat naar het oppervlaktewater, en anderszins voor anaerobe condities waardoor denitrificatie kan plaatsvinden.

3.3 Discussie en vervolgstappen

Discussiepunten

Drainwater versus grondwater

Uit de resultaten van de verkennende data-analyse blijkt dat de nitraatconcentraties in het grondwater over het algemeen lager zijn dan de nitraatconcentraties in het drainwater. Het verschil in nitraatconcentraties tussen drainwater en grondwater ligt niet alleen aan de herkomst van het water,

maar kan waarschijnlijk worden verklaard door bijvoorbeeld bodemtype en landgebruik, die sterk gecorreleerd zijn aan drainagemiddelen. Daarnaast is er ook een verschil in bemonsteringsdiepte: grondwater wordt gemiddeld dieper ten opzichte van de grondwaterspiegel bemonsterd dan drainwater en kan daardoor een sterkere denitrificatie hebben ondergaan. Bij de vergelijking van nitraatconcentraties tussen de zeeleigebieden moet dan ook rekening worden gehouden met de manier van bemonstering (grondwater versus drainwater).

Regio-indeling.

In de verkennende data-analyse zijn het Noordwestelijk en Noordoostelijk zeeleigebied samengevoegd tot één regio (Noordelijk zeeleigebied). De motivatie hierachter is dat in beide zeeleigebieden de nitraatconcentraties laag (dus niet normoverschrijdend) zijn. Tijdens de bijeenkomst met experts is deze indeling ter discussie gesteld. De argumentatie daarvoor is dat er een mogelijk verschil is in kleimineralogie tussen beide gebieden dat resulteert in andere waterretentie-eigenschappen. Dit heeft vervolgens weer effect op de denitrificatiecapaciteit en het risico op de uitspoeling naar grond- en oppervlaktewater.

Vervolgstappen

De resultaten van de verkennende data-analyse geven aanleiding tot een nadere analyse van de nitraatconcentraties voor de onderscheiden zeeleigebieden. In de volgende fase van het onderzoek wordt onder andere onderzocht of verschillen in gemeten nitraatconcentraties tussen de zeeleigebieden significant zijn. Omdat het aantal metingen in het **grondwater** beperkt zijn en 'pas' vanaf 2002 gemeten zijn, worden deze metingen in het vervolg van het onderzoek **buiten beschouwing gelaten**.

Tijdens de bijeenkomst met experts is gebleken dat op voorhand geen van de factoren die in het conceptueel raamwerk zijn beschreven zonder meer kunnen worden uitgesloten. Aanbevolen is om deze factoren nader te onderzoeken, waarbij van grof naar fijn wordt gewerkt. In fase 1 wordt gestart met een oriënterende data-analyse om inzicht te krijgen of er verschillen zichtbaar zijn tussen de verschillende zeeleigebieden. In fase 1 wordt, naar aanleiding van de discussie met de experts, ook aandacht besteed aan de vraag of er verschillen in kleimineralogie tussen de regio's verwacht kunnen worden, in het bijzonder het verschil tussen mariene en lagunaire klei.

4 Resultaten fase 1

4.1 Oriënterende data-analyse

Uit de discussiebijeenkomst met expert is aangegeven dat voor het verklaren van de verschillen in nitraatconcentraties tussen de zeekleigebieden op voorhand geen factoren uitgesloten kunnen worden. In dit hoofdstuk worden de resultaten van de oriënterende data-analyse gepresenteerd.

Landgebruik

Stikstofverliezen kunnen afhankelijk zijn van het soort gewas dat geteeld wordt. Om inzicht te krijgen of er verschillen zijn in geteelde gewassen tussen de zeekleigebieden zijn de informatielagen van het modelinstrumentarium STONE gebruikt om het landgebruik te inventariseren.

Het landgebruik in het modelinstrumentarium STONE is geclassificeerd in vier groepen: grasland, maïs, akkerbouw (en overige landbouw) en natuur. De verdeling voor de drie landbouwgewassen in de vier zeekleigebieden is in tabel 3 weergegeven.

Tabel 3

Percentage landgebruik in de vier zeekleigebieden.

Landgebruik/regio	Zeekleigebieden			
	Noordoostelijk	Noordwestelijk	Zuidwestelijk	Centraal
Grasland	51%	24%	9%	5%
Maïs	1%	<1%	2%	1%
Akkerbouw	48%	76%	89%	94%

Uit deze inventarisatie blijkt duidelijk dat er een verschil is in het landgebruik tussen de vier onderzochte zeekleigebieden. Het Noordoostelijk zeekleigebied kent het laagste percentage akkerbouw, terwijl het Centraal zeekleigebied het hoogste percentage akkerbouw kent.

Kleimineralogie

Om inzicht te krijgen of er aanwijzingen zijn voor verschillen in kleimineralogie tussen de verschillende zeekleigebieden is een beperkte literatuurstudie uitgevoerd. Voor Friesland/Groningen (Waddengebied), West-Friesland en Zeeland (Schorren) is literatuur gevonden (Favejee, 1951 en Breeuwsma, 1985). Voor de Flevopolders geeft Groen (1997) informatie over de kleimineralogie van de bodems. In het onderzoek van Favejee is de mineralogische samenstelling van slib uit de Noordzee, Waddenzee, de estuaria van Zeeland en rivierklei (Eems, Weser, Elbe en Rijn) onderzocht. Breeuwsma heeft de kleimineralogie van zeeklei (uitgezonderd zeeklei in de Flevopolders), rivierklei (Maas en Rijn) en beekklei (Oost-Nederland) geanalyseerd. Naast de kleimineralogie is in het onderzoek van Breeuwsma ook gekeken naar de gehalten 'vrije oxiden' (SiO_2 , Al_2O_3 en Fe_2O_3). In bijlage 2 zijn de resultaten van de onderzoeken van Favejee en Breeuwsma weergegeven.

Uit de analyse van Favejee is gebleken dat er geen duidelijk onderscheid gemaakt kan worden tussen het slib van de Waddenzee, Ooster- en Westerschelde, de Noordzeebodem en het zwevende stof uit de getijdeninlaten. De resultaten laten wel zien dat er een duidelijk verschil is tussen het mariene en fluviatiele slib.

Breeuwsma geeft in zijn rapport alleen de mineralogische samenstelling van de zeeklei van Friesland/Groningen. De mineralogische samenstelling voor Zeeland en West-Friesland is niet besproken.

De resultaten voor de vrije oxiden geven aan dat de zeeklei uit Friesland/Groningen, West-Friesland en Zeeland goed vergelijkbaar zijn en duidelijk verschillen van rivierklei en beekklei.

Naast de kleimineralogie is ook de herkomst van het sediment onderzocht. De uitkomsten hiervan zijn allemaal hetzelfde; de zanden en het slib hebben een mariene herkomst en zijn vanuit de Noordzee door de getijdeninlaten in de Waddenzee naar binnen gebracht en niet door de rivieren de Ems, Weser, Elbe of de Rijn. Van Straaten (1954) geeft aan dat dit ook het geval is met de zanden in de estuaria van Holland en Zeeland. Het slib langs de kust heeft hierbij een uniforme samenstelling.

Groen (1997) geeft aan dat de drie belangrijkste kleimineralen in de Flevopolders illiet (60%), kaoliniet (20%) en montmorilloniet (20%) zijn. Hij stelt dat de eerste twee geen zwel- en krimpgedrag vertonen als ze zijn gerijpt. Alleen montmorilloniet zou zulk gedrag vertonen. Bronswijk en Vermeer (1990) toonden echter aan dat kleien in de Flevopolders, vooral die in de bovengrond, wel zwellen en krimpen.

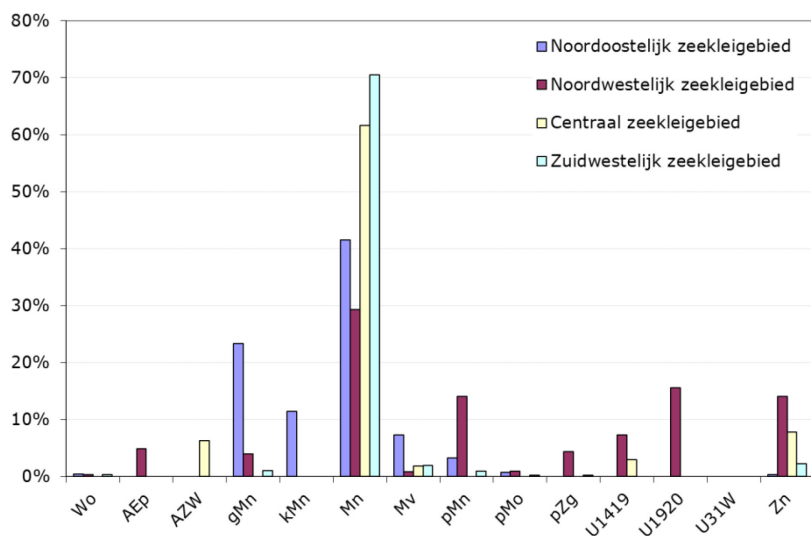
Op basis van de beperkte, beschikbare literatuur moeten we ervan uitgaan dat er geen verschillen bestaan tussen kleimineralogische samenstelling van de zeeklei in Friesland/Groningen, West-Friesland (Noord-Holland) en Zeeland. De verwachting is dat er geen grote verschillen zijn met Flevoland, met als uitzondering de vorming van krimpscheuren.

Grondsoort/bodemtype

Om inzicht te krijgen in eventuele verschillen in grondsoort/bodemtype zijn twee verschillende kaartmaterialen gebruikt, namelijk de bodemkaart 1:50.000 en een afgeleide van de bodemkaart (PAWN-bodemeenheden).

1:50.000 bodemkaart

Op basis van de bodemtype (kolom Code) in de bodemkaart 1: 50.000 zijn bodemtypen geselecteerd die minimaal 4% van het areaal zeeklei beslaan (figuur 9 en tabel 4). Voor een uitleg van de codes wordt verwezen naar bijlage 3.



Figuur 9
Bodemtypen (bodemkaart 1: 50000) met meer dan 4% areaal in de zeelegebieden.

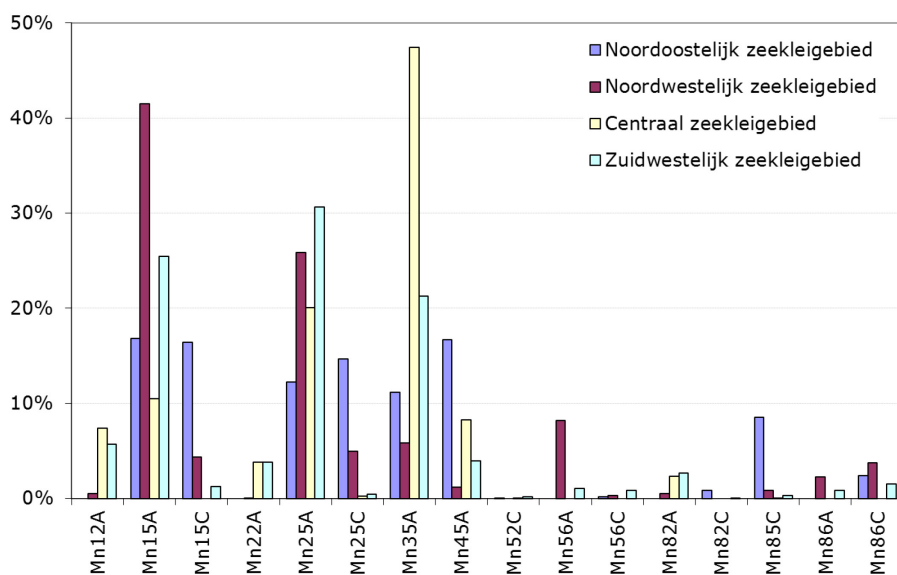
Tabel 4
Percentage voorkomen van de dominante bodemtypen (> 10%) voor de verschillende zeelegebieden.

Regio	Dominante bodemtypen						
	Mn	gMn	kMn	pMn	pMo	U1920	Zn
Noordoostelijk zeelegebied	41.5%	23.4%	11.4%	3.3%	0.7%		0.3%
Noordwestelijk zeelegebied	29.3%	4.0%		14.1%	0.9%	15.6%	14.1%
Centraal zeelegebied	61.6%			0.0%			7.8%
Zuidwestelijk zeelegebied	70.5%	1.0%	0.0%	0.9%	0.2%		2.3%

Het type Mn (*poldervaaggronden met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm*) is in alle zeelegebieden het dominante bodemtype. Dit geldt met name voor het Centraal en Zuidwestelijk zeelegebied (> 60%). In het Noordoostelijk zeelegebied is naast type Mn ook het type gMn (*knippig, poldervaaggrond dominant, > 20%*). In het Noordwestelijk zeelegebied is de variatie in bodemtype groter dan voor de overige gebieden.

De Mn-gronden kunnen verder worden opgesplitst (figuur 10) op basis van de hoeveelheid kalk (kalkrijk (A), kalkarm (B) en kalkloos (C)). Daarnaast wordt een onderscheid gemaakt op basis van het lutumgehalte in de bouwvoor:

- Lichte zavel (1) → 8-17% lutum
- Zware zavel (2) → 17,5-25% lutum
- Lichte klei (3) → 25-35% lutum
- Zware klei (4) → > 35% lutum



Figuur 10
 Procentuele verdeling van de Mn-bodentypen in de zeelegebieden.

Tabel 5
 Percentage voorkomen van de dominante bodentypen Mn (> 10%) voor de verschillende zeelegebieden.

Regio	Dominante bodentypen					
	Mn15A	Mn15C	Mn25A	Mn25C	Mn35A	Mn45A
Noordoostelijk zeelegebied	16.8%	16.4%	12.2%	14.7%	11.2%	16.7%
Noordwestelijk zeelegebied	41.5%	4.3%	25.9%	5.0%	5.8%	1.2%
Centraal zeelegebied	10.5%	0.0%	20.0%	0.2%	47.4%	8.3%
Zuidwestelijk zeelegebied	25.4%	1.3%	30.6%	0.4%	21.2%	4.0%

Over het algemeen zijn de Mn-gronden in alle kleigebieden overwegend kalkrijk (tabel 5). Uitzondering hierop zijn de kleigronden in het Noordoostelijk zeelegebied. Deze zijn voor een groot deel ook kalkloos (C).

Het Noordwestelijk zeelegebied bestaat voor meer dan 40% uit kalkrijke, lichte zavelgronden. In het Centraal zeelegebied liggen voornamelijk kalkrijke lichte kleigronden. In het Zuidwestelijk zeelegebied komen zowel kalkrijke lichte zavelgronden (25%), kalkrijke zware zavelgronden (31%) als kalkrijke lichte kleigronden (21%) voor.

PAWN-bodemeenheden

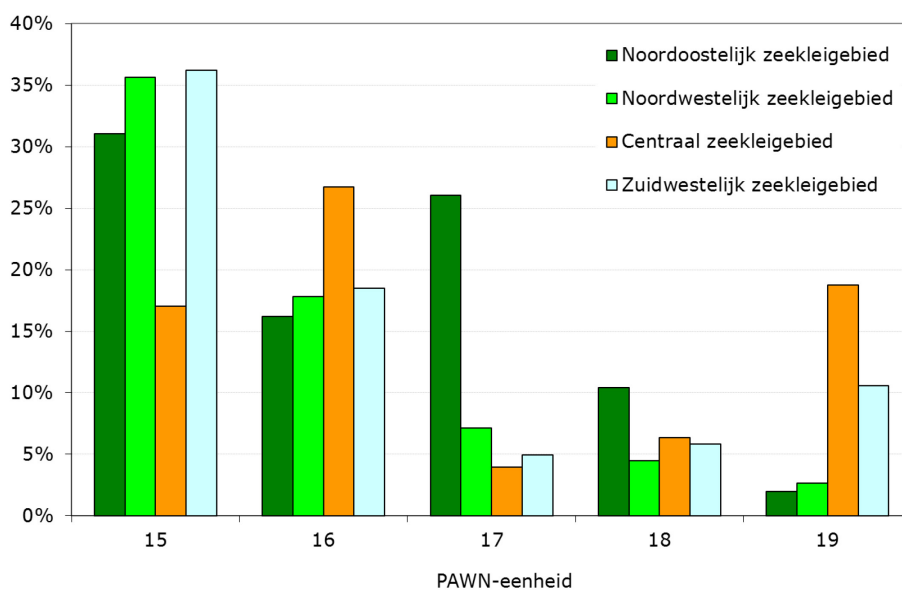
Op basis van de 1:50.000 bodemkaart is een vertaling gemaakt naar 21 bodemfysische eenheden (PAWN-bodemeenheden, Klijn, 1997). Deze vertaling is gebaseerd op de vertaling van de bodemkaart 1:250.000 in bodemfysische eenheden (Wösten et al., 1988), die in de WSV-schematisatie is toegepast. In totaal zijn er zeven bodemfysische eenheden die betrekking hebben op kleigronden (tabel 6).

Tabel 6

Kenmerken van de PAWN-bodemseenheden 15 t/m 21.

Bodemfysische eenheid	Beschrijving
15	Homogene zavelgronden
16	Homogene, lichte kleigronden
17	Kleigronden met een zware tussenlaag of ondergrond
18	Kleigronden op veen (drech(vaag)gronden)
19	Klei op fijn zand
20	Klei op grof zand
21	Leemgronden

De procentuele verdeling van de voorkomende PAWN-bodemseenheden voor de verschillende zeekleigebieden zijn in figuur 11 en tabel 7 weergegeven. Uit de figuur blijkt dat in het Zuidwestelijk zeekleigebied en het Centraal zeekleigebied (inclusief Wieringermeer) een opvallend hoog percentage van de eenheid 19 (klei op fijn zand) voorkomt. Daarnaast is het opvallend dat PAWN-bodemseenheid 15 (homogene zavelgronden) het meest dominante bodemtype is voor de zeekleigebieden, m.u.v. het Centraal zeekleigebied (inclusief Wieringermeer).



Figuur 11

Procentuele verdeling van PAWN-bodemseenheden over de vier onderscheiden regio's binnen zeekleigebieden en droogmakerijen.

Tabel 7

Percentage voorkomen van de dominante PAWN-bodemtype voor de verschillende zeekelegebieden.

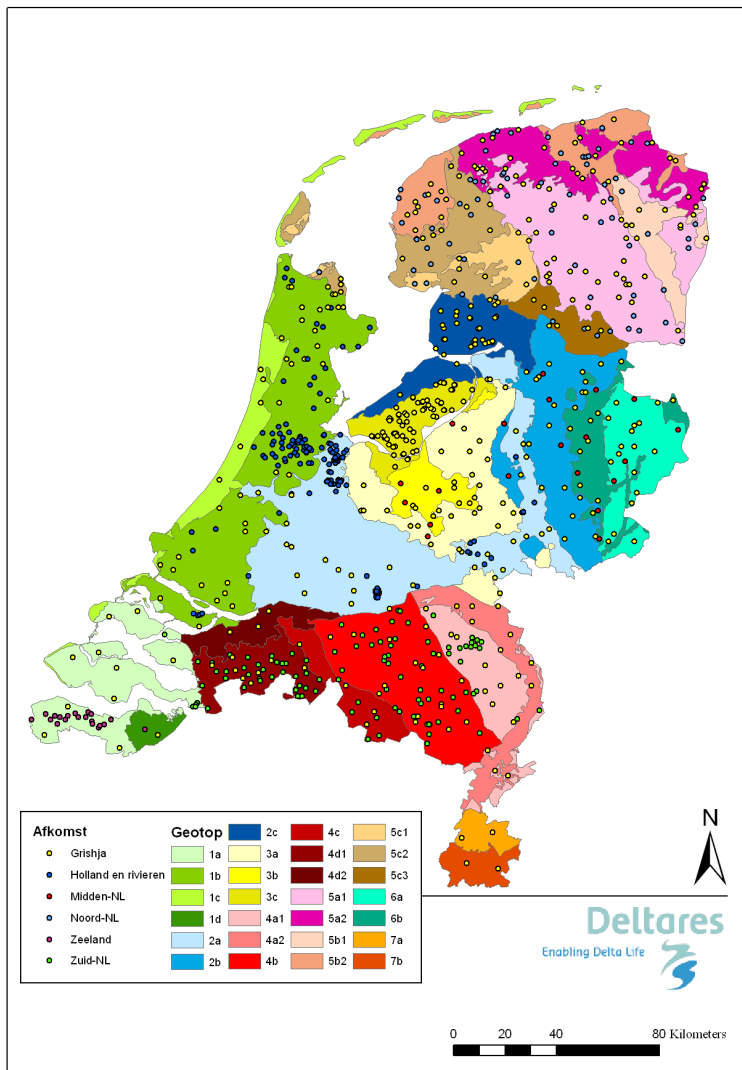
Regio	Dominante bodemtypen					
	15	16	17	18	19	20
Noordoostelijk zeekelegebied	31.0%	16.2%	26.1%	10.4%	2.0%	0.0%
Noordwestelijk zeekelegebied	35.6%	17.8%	7.1%	4.5%	2.6%	0.2%
Centraal zeekelegebied	17.0%	26.7%	3.9%	6.4%	18.8%	0.0%
Zuidwestelijk zeekelegebied	36.2%	18.5%	4.9%	5.8%	10.6%	0.0%

Pyriet

Selectie van geochemische data

De analyse van de aan- of afwezigheid van pyriet in de laag één tot twee meter onder het maaiveld is door Deltares uitgevoerd en vastgelegd in een rapport (Van Kempen, Griffioen, 2011). In deze paragraaf wordt een **samenvatting** gegeven van de methode en resultaten. Voor een uitgebreide beschrijving wordt naar het rapport verwezen.

In Nederland wordt voor de regionale bepaling van geochemische informatie uitgegaan van een indeling in een aantal zogenaamde geotopgebieden (figuur 12, Vermooten et al., 2005).



Figuur 12
Gebruikte datasets in de verschillende geotopgebieden.

Voor het bepalen van de pyrietgehalten zijn geochemische data over de Nederlandse ondergrond gebruikt die in de loop van de tijd gedurende meerdere onderzoeken zijn verzameld (figuur 12). In bijlage 4 is een overzicht gegeven van de gebruikte dataset uitgesplitst per geotopgebied en de maximale diepte waarover gegevens beschikbaar zijn. Het totale aantal meegenomen monsters ligt boven de 8000. Als echter een selectie wordt gemaakt waarbij gekeken is naar de diepte (1-2m-mv) en waarvoor pyrietgehalten bepaald kunnen worden, blijven er 597 monsters over.

Stap 1

Voordat de pyrietgehalten voor de kleigebieden bepaald kunnen worden is nagegaan of het aantal monsters statistisch gezien voldoende is om een 'landsdekkende' schatting van pyrietgehalten te maken. Hiervoor worden alle monsters ingedeeld in eenheden op basis van geotopgebied en lithologie (zand, klei/leem en veen).

Op deze manier worden maximaal 75 verschillende eenheden (exclusief de geotopgebieden 7a en 7b) onderscheiden (tabel 8).

Voor 25% van de eenheden zijn geen gegevens beschikbaar over het voorkomen van pyriet. Voor nog eens 23% zijn er te weinig gegevens om een statistische verantwoorde schatting te maken. Voor de overige eenheden kunnen de pyrietgehalten bepaald worden met enige zeggingskracht.

Vervolgstappen

Om een betere schatting te maken van de pyrietgehalten is de dataset als volgt geoptimaliseerd:

- 1) Er is gekeken of gebieden samengevoegd kunnen worden met vergelijkbare ondiepe geologie zodat de statistieken op meer monsters gebaseerd zouden zijn (stap 2).
- 2) Er is gekeken welke gebieden het meest relevant zijn voor dit onderzoek en daarom prioriteit moeten krijgen bij de optimalisatie (stap 3).
- 3) Er is gekeken of het mogelijk is monsters van grotere diepten te gebruiken die binnen de Holocene afzettingen vallen (stap 4).

Tabel 8

Aantal eenheden (combinatie geotopgebieden en lithologie) voor de verschillende stappen dat gebruikt kan worden om een 'landelijke' schatting te kunnen maken van de pyrietgehalten in de ondergrond (1-2m-mv).

Betrouwbaarheid	Aantal monsters	Aantal eenheden (geotopgebied + lithologie)			Percentage		
		Stap 1	Stap 2	Stap 3	Stap 1	Stap 2	Stap 3
Geen data	-	19	17	-	25%	23%	-
Laag	1 - 4	17	13	1	23%	17%	7%
Voldoende	5 - 9	13	14	5	17%	19%	33%
Hoog	> 10	26	31	9	35%	41%	60%
Totaal		75	75	15	100%	100%	100%

Het combineren van gebieden (stap 2) resulteert in betere resultaten, als echter alleen gekeken wordt naar de relevante gebieden (stap 3) blijkt dat bijna alle gebieden, m.u.v. één eenheid, in de betrouwbaarheidsklasse voldoende of hoog liggen. In stap 4 is gekeken of monsters van één tot vijf meter diepte uit Holocene afzettingen gebruikt kunnen worden om de pyrietgehalten op één tot twee meter diepte te bepalen. Diepteprofielen wezen echter uit dat dit niet verdedigbaar was.

Op basis van de resultaten is besloten om de pyrietgehalten te bepalen aan de hand van de gecombineerde gebieden, waarbij het criterium is gehanteerd dat per eenheid minimaal van vijf monsters beschikbaar moeten zijn.

Schattingen van het pyrietgehalten

Op basis van de beschikbare data zijn voor de verschillende eenheden pyrietgehalten berekend op basis van onderstaand formule 2:

$$\text{Pyriet} = M_{\text{FeS}_2} / 2M_s S \quad 2)$$

waarbij de variabele S staat voor het zwavelgehalte en M_x de molmassa van de verbinding.

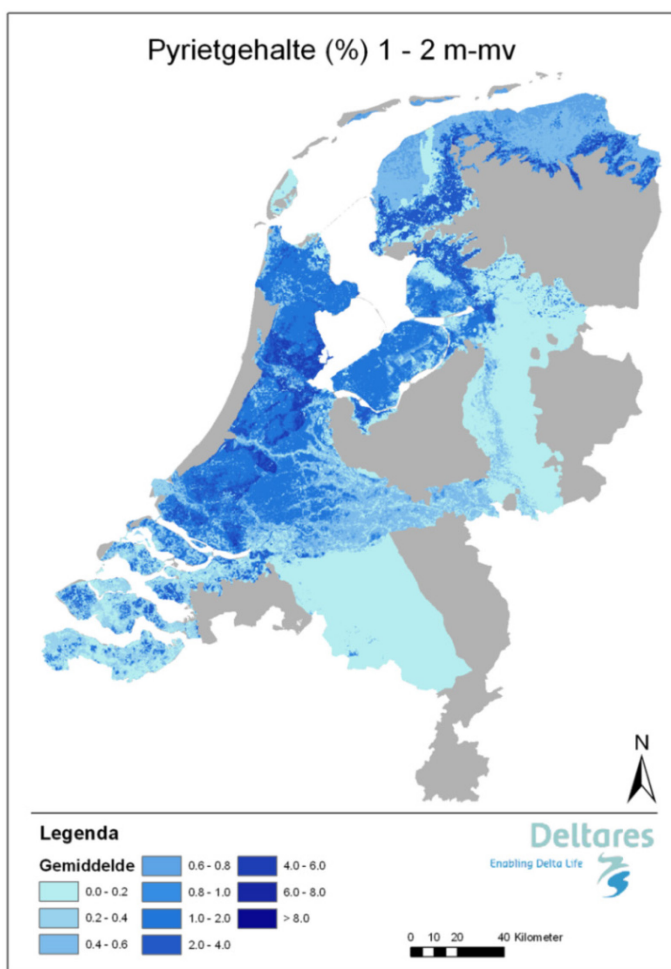
De gemiddelde pyrietgehalten voor de relevante eenheden (klei-eenheden) zijn in tabel 9 weergegeven, waarbij met kleuren de betrouwbaarheid is aangeven (groen = hoog, geel = voldoende, oranje = laag). In bijlage 5 zijn de gemiddelde pyrietgehalten ook voor de niet relevante gebieden weergegeven.

Tabel 9

Aantal monsters en de gemiddelde pyrietgehalten voor de ondergrond (1-2m-mv) voor een aantal topsystemen in de kleigebieden.

Topsysteem	Aantal monsters			Gemiddelde		
	Klei/Leem	Veen	Zand	Klei/Leem	Veen	Zand
1a, 1d, 4d2	15	2	6	0,41	1,88	0,27
1b	14	11	8	1,26	4,95	0,40
2c, 3c	45	34	11	0,98	2,64	0,21
5a2, 5b2	39	9	19	0,40	2,64	0,82
5c2	7	10	9	0,09	4,70	0,09

Door de geschatte pyrietgehalten per eenheid te vermenigvuldigen met de veen-, zand- en kleifracties van deze eenheden, kan het waarschijnlijke pyrietgehalten op 1 - 2m onder maaiveld berekend worden per gridcel van 250*250 en ruimtelijk worden weergegeven (figuur 13).



Figuur 13

Schatting van het pyrietgehalte op 1 - 2 m onder maaiveld op basis van het gemiddelde van de beschikbare data.

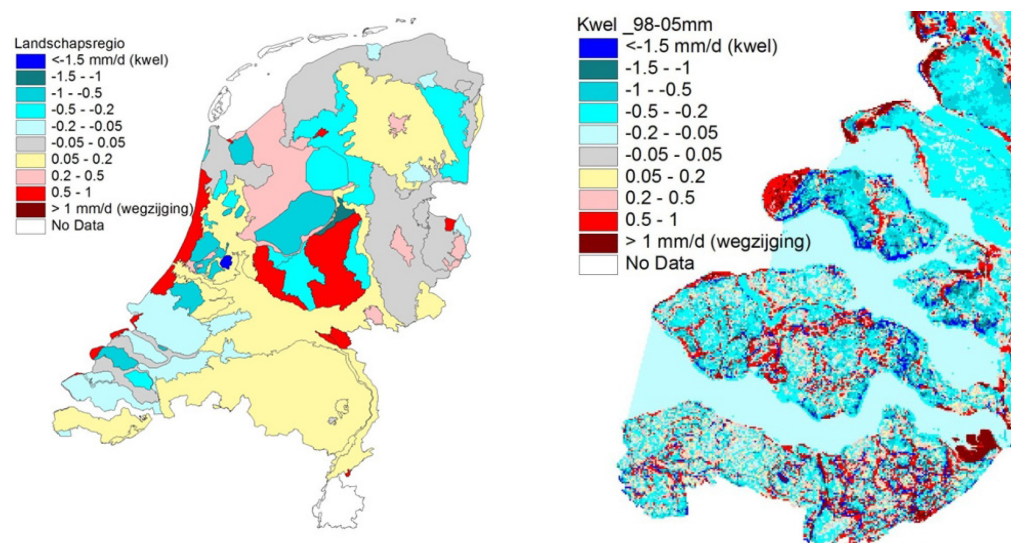
In het Zuidwestelijk zeekleigebied zijn de pyrietgehalten op 1 - 2 meter diepte over het algemeen lager dan het in Noordoostelijk zeekleigebied. Deze zijn weer lager dan de pyrietgehalten in het Centraal zeekleigebied en grote delen van het Noordwestelijk zeekleigebied.

De hoogste pyrietgehalten komen in Noord-Holland voor in gebieden waar relatief veel veen zit. Ook in Groningen, Friesland en Overijssel kan men in de veenrijke gebieden de hoogste pyrietgehalten verwachten.

Omdat er minder veen voorkomt in de Holocene deklaag van Zeeland zijn de te verwachten pyrietgehalten hier lager dan in de andere delen van het land. Dit hangt samen met de ontstaansgeschiedenis van Zeeland versus de rest van Holoceen Nederland. Zuidwestelijk Nederland is in het Holoceen voor een groot deel van de tijd estuarien gebied geweest met de monding van de Schelde, Maas en ook nog de Rijn. In grote delen van Holoceen Nederland is meestal wel een periode geweest waarin actieve veenvorming voor kwam behalve voor het Fries/Gronings Waddengebied en de aanverwante inlandige strook.

Kwel

De gemiddelde kwelflux voor de verschillende zeekleigebieden kan bepaald worden door gebruik te maken van de NHI-kwelkaart (98-05, <http://www.bosatlasvannederlandwaterland.nl/>, <http://www.nhi.nu/>). De kleigebieden bestaan uit meerdere vlakken, per vlak is de gemiddelde kwel bepaald en weergegeven (figuur 14 en tabel 10).



Figuur 14

Gemiddelde kwel per landschapsregio (links) en detail van de kwelkaart voor Zeeland (rechts).

Tabel 10

Kwelflux (mm/d) voor de verschillende regio's.

Regio	Min	Max	Gemiddelde	STD
Noordoostelijk zeekleigebied	-20.07	10.51	-0.01	0.37
Noordwestelijk zeekleigebied	-36.90	6.72	-0.05	0.45

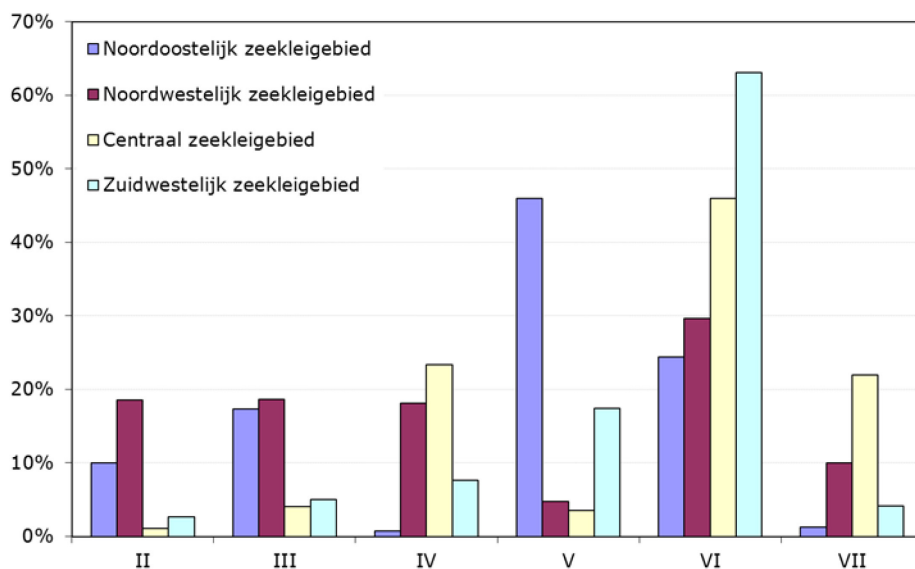
Centraal zeeleigebied	-44.30	47.20	-0.47	1.84
Zuidwestelijk zeeleigebied	-26.84	30.36	-0.09	0.87

Indien er sprake is van kwel wordt dit met een negatieve waarden weergegeven, een positieve waarde geeft aan dat er sprake is van wegzijging. In alle zeeleigebieden is sprake van netto kwel (negatieve waarde). De spreiding in de flux (kwel/wegzijging) is echter groot. In alle zeeleigebieden is zowel sprake van kwel als van wegzijging.

De gemiddelde kwel in het Noordwestelijke zeeleigebied en Noordoostelijk zeeleigebied is lager dan voor de overige zeegebieden. De gemiddelde kwel voor het Centraal zeeleigebied is het hoogst. Zoomen we nader in op het Zuidwestelijk zeeleigebied, dan wordt de grote variatie in kwelwaarden duidelijk. Het is dus zeer bepalend waar het monster is genomen, of er sprake is van grote of geringe kwel of mogelijk zelfs wegzijging (kreekruggen).

Gt-klasse

Op basis van de 1:50.000 bodemkaart is ook de verdeling van de Gt-klasse bepaald (figuur 15). Opvallend is het hoge percentage Gt-klasse V (46%) in het Noordoostelijk zeeleigebied. Ook het hoge percentage Gt-klasse VI in het Zuidwestelijk (ruim 63%) en het Centraal zeeleigebied (46%) valt op. De Gt-klasse zijn vervolgens op basis van de GHG geclusterd tot drie categorieën (tabel 11).



Figuur 15
Verdeling van de Gt-klassen voor de verschillende zeeleigebieden.

Tabel 11
Indeling van de Gt-klassen in de clusters 'nat', 'matig droog' en 'droog'.

Cluster	Gt-klassen
Nat	I, II, III en V
Matig droog	IV en VI
Droog	VII

Voor het Noordoostelijk zeeleigebied is categorie 'nat' dominant (> 73%), de categorie 'matig droog' is dominant voor de overige zeeleigebieden, hoewel de categorie 'nat' ook in het Noordwestelijk zeeleigebied veel voorkomt (42%). In het Centraal zeeleigebied is het percentage dat in categorie 'droog' valt (22%), hoger dan voor de overige zeeleigebieden (tabel 12).

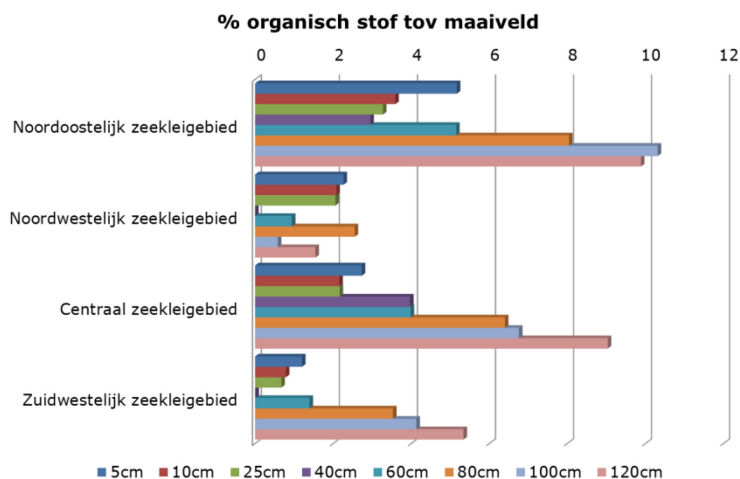
Tabel 12

Verdeling van de Gt-klassen (en cluster van Gt-klassen) binnen de verschillende zeeleigebieden.

Regio	Gt-klassen					
	II	III	IV	V	VI	VII
Noordoostelijk zeeleigebied	10.0%	17.4%	0.7%	46.0%	24.4%	1.3%
Noordwestelijk zeeleigebied	18.6%	18.6%	18.2%	4.8%	29.7%	10.0%
Centraal zeeleigebied	1.1%	4.0%	23.4%	3.5%	46.0%	21.9%
Zuidwestelijk zeeleigebied	2.6%	5.0%	7.6%	17.4%	63.1%	4.1%
	Nat		Matig droog		Droog	
Noordoostelijk zeeleigebied	73,4		25,1		1,3	
Noordwestelijk zeeleigebied	42,0		47,9		10,0	
Centraal zeeleigebied	8,6		69,4		21,9	
Zuidwestelijk zeeleigebied	25,0		70,7		4,1	

Organische stof

Organisch materiaal draagt onder aerobe omstandigheden bij aan de stikstofbelasting (mineralisatie). Onder anaerobe omstandigheden draagt organisch materiaal juist bij aan de denitrificatie (energie voor organismen). De Vries (1999) heeft de laagopbouw van de eenheden van de Bodemkaart van Nederland (1: 50.000), gekarakteriseerd naar relevante fysisch chemische kenmerken waaronder het organisch stofgehalte. De gegevens hebben betrekking op het bodemprofiel tot 1,20 m en er is rekening gehouden met het bodemgebruik. Voor deze karakterisering is gebruik gemaakt van gegevens in het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) en van de informatie in de toelichtingen van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1:50.000.



Figuur 16

Gemiddeld organisch stofgehalte over het bodemprofiel voor vier zeekleigebieden.

De laagste organisch stofgehalten worden gevonden in het Noordwestelijk zeekleigebied, deze zijn gemiddelde over het bodemprofiel < 2,5%, met 1,5% op 120 cm -mv (figuur 16). In het Noordoostelijk, Centraal en Zuidwestelijk zeekleigebied zien we een toename van het organisch stofgehalte met de diepte. Op 120 cm-mv is het organisch stofgehalte ca. 10% in het Noordoostelijk zeekleigebied, in het Centraal zeekleigebied ca. 9% en in het Zuidwestelijk zeekleigebied 5%.

We kunnen concluderen dat er voor het organisch stofgehalte op 120 cm-mv drie groepen zijn te onderscheiden, *laag* (1.5%, Noordwestelijk zeekleigebied), *midden* (ca. 5%, Zuidwestelijk zeekleigebied) en *hoog* (9-10%, Noordoostelijk en Centraal zeekleigebied). In bijlage 6 is de ruimtelijke verdeling voor Nederland weergegeven voor de lagen 5, 10, 25, 40, 60, 80, 100 en 120cm-mv).

Samenvattend

Voor een compleet overzicht zijn de resultaten van de oriënterende data-analyse bij elkaar gezet (tabel 13). De resultaten van de kleimineralogie zijn hier niet meegenomen, omdat op basis van de (beperkte) literatuur verwacht mag worden dat er geen verschillen zijn in kleimineralogie tussen de zeekleigebieden.

Tabel 13

Overzicht van de verschillen in de belangrijkste kenmerken tussen de zeekleigebieden.

	Dominante eigenschappen						
	Landgebruik	Pyrietgehalte	Kwel ² mm/j	Bodemtype	PAWN- bodem	Gt-klasse	Organisch stofgehalte
Noordoostelijk zeekleigebied	Grasland (51%)	Midden	-3,7	Mn ¹ (41,5%)	15 (31,0%)	V (46,0%)	Hoog
Noordwestelijk zeekleigebied	Akkerbouw (76%)	Hoog	-18	Mn ¹ (29,3%)	15 (35,6%)	VI (29,7%)	Laag
Centraal zeekleigebied	Akkerbouw (94%)	Hoog	-172	Mn ¹ (61,6%)	16 (26,7%)	VI (46,0%)	Hoog
Zuidwestelijk zeekleigebied	Akkerbouw (89%)	Laag	-33	Mn ¹ (70,5%)	15 (36,2%)	VI (63,1%)	Midden

1) Poldervaaggronden met roest en grijze vlekken beginnend binnen 50 cm

2) Negatieve waarde is netto kwel, positieve waarde is netto wegzijging

- De gemiddelde pyrietgehalte in het Zuidwestelijk zeekleigebied zijn laag vergeleken met de overige zeekleigebieden. De gemiddeld hoogste pyrietgehalten komen voor in het Noordwestelijk en Centraal zeekleigebied. Uit de analyse blijkt ook dat in gebieden waar veen in de ondergrond voorkomt, hogere pyrietgehalten worden gevonden;
- In alle zeekleigebieden vindt **netto** kwel plaats. De gemiddelde **netto** kwel in het Centraal zeekleigebied (172 mm/jaar) is hoger dan de gemiddelde kwel in de andere gebieden (4-33 mm/jaar). Binnen een gebied is de variatie groot (ook wegzijgingsgebieden);
- In alle gebieden is het bodemtype Mn dominant. Met name in het Centraal en Zuidwestelijk zeekleigebied is dit het geval (> 60%). Als het bodemtype verder wordt onderverdeeld op basis van het lutumgehalte (zavel versus klei) blijkt dat in het Zuidwestelijk zeekleigebied het lutumgehalte lager is (bijna 60% zavel) dan in het Centraal zeekleigebied (bijna 60% klei);

- De dominante PAWN-bodem is 15 (homogene zavelgronden) en 16 (homogene, lichte kleigronden). Dit is in overeenstemming met het bodemtype op basis van de 1:50.000 bodemkaart. Uit de analyse blijkt echter ook dat PAWN-bodem 19 (klei op fijn zand) in het Centraal en Zuidwestelijk zeekleigebied relatief meer voorkomt dan in de andere zeekleigebieden;
- Het Noordoostelijk zeekleigebied heeft, als de GHG als uitgangspunt wordt genomen, over het algemeen een drogere Gt-klasse dan de andere zeekleigebieden.
- Het organisch stofgehalte in het Noordoostelijk en Centraal zeekleigebied op ca. 120 cm-mv is hoger dan voor het Zuidwestelijk zeekleigebied. De laagste organisch stofgehalten worden gevonden voor het Noordwestelijk zeekleigebied.

Uit de resultaten blijkt dus dat er verschillen zijn in de (afzonderlijke) gebiedskenmerken van de zeekleigebieden. Echter ook binnen de zeekleigebieden zijn de verschillen groot. Het blijft hierdoor lastig om op basis van deze oriënterende data-analyse een verklaring te geven voor de hogere nitraatconcentraties in het Zuidwestelijk en Centraal zeekleigebied vergeleken met de overige zeekleigebieden. Aanvullende analyses op bedrijfsniveau zijn hiervoor noodzakelijk.

4.2 Bedrijfsanalyse stikstofbodemoverschot

Om te bepalen of er een significante relatie is tussen het stikstofbodemoverschot en gemeten nitraatconcentraties op bedrijfsniveau is een statistische regressieanalyse uitgevoerd op de LEI/RIVM database. Hiervoor is gebruik gemaakt van het stikstofbodemoverschot (op bedrijfsniveau) zoals die door het LEI zijn vastgesteld voor de LMM meetlocaties (bron: LEI-gegevens) en de nitraatcijfers (bedrijfs gemiddeld) uit de RIVM-database (bron RIVM/LMM).

Met het stikstofbodemoverschot op het bedrijf wordt het volgende bedoeld:

Het overschot aan stikstof op de bodem balans per hectare cultuurgrond. Voor stikstof wordt dit overschot berekend als het overschot op de bedrijf balans (som van alle aanvoer minus som van alle afvoer) plus de aanvoer van stikstof via depositie en mineralisatie en N-binding (vlinderbloemigen) minus N in berekende ammoniakemissie uit stal en opslag, bij weiden en bij toediening van mest.

Selectie

Voordat de regressieanalyse is uitgevoerd zijn de relevante bedrijven uit de database geselecteerd. Hierbij zijn de volgende selectiecriteria gebruikt:

- LMM-bedrijven in de zeekleigebieden (dus exclusief rivierklei) die vervolgens verder zijn onderverdeeld in vier regio's:
 - Zuidwestelijk zeekleigebied: Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland
 - Centraal zeekleigebied: Flevoland
 - Noordoostelijk zeekleigebied: Groningen en Friesland
 - Noordwestelijk zeekleigebied: Noord-Holland
- Meettype:
 - Drainwater
- Planjaren 2006-2008 (met meetcampagnes in de aansluitende winterperioden (2006/2007, 2007/2008 en 2008/2009).

Nitraatconcentraties

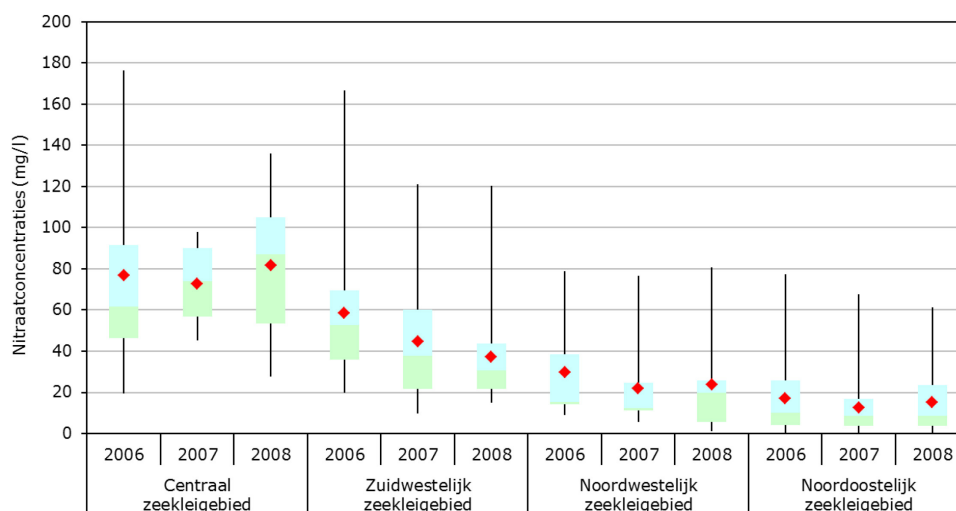
Na de selectieprocedure zijn in totaal 83 bedrijven geanalyseerd. Voor 67 bedrijven zijn waarnemingen beschikbaar in de drie jaren 2006-2008, voor tien bedrijven zijn waarnemingen beschikbaar in twee jaren en voor zes bedrijven in slechts één jaar (tabel 14).

Tabel 14

Aantal bedrijven in de verschillende zeelegebieden die gebruikt zijn voor de statistische analyses.

Regio	Aantal bedrijven		
	2006	2007	2008
Centraal zeeleigebied	6	4	6
Zuidwestelijk zeeleigebied	21	21	20
Noordwestelijk zeeleigebied	6	9	10
Noordoostelijk zeeleigebied	40	42	42

De gemeten nitraatconcentraties (mg/L) van het drainwater op de LMM-bedrijven zijn in figuur 17 weergegeven waarbij de zogenoemde haardraden de minimale en maximale gemeten nitraatconcentraties weergegeven, de 25 en 75 percentielen door de rechthoeken (groen en blauw respectievelijk) en de gemiddelde nitraatconcentratie (rode stip).



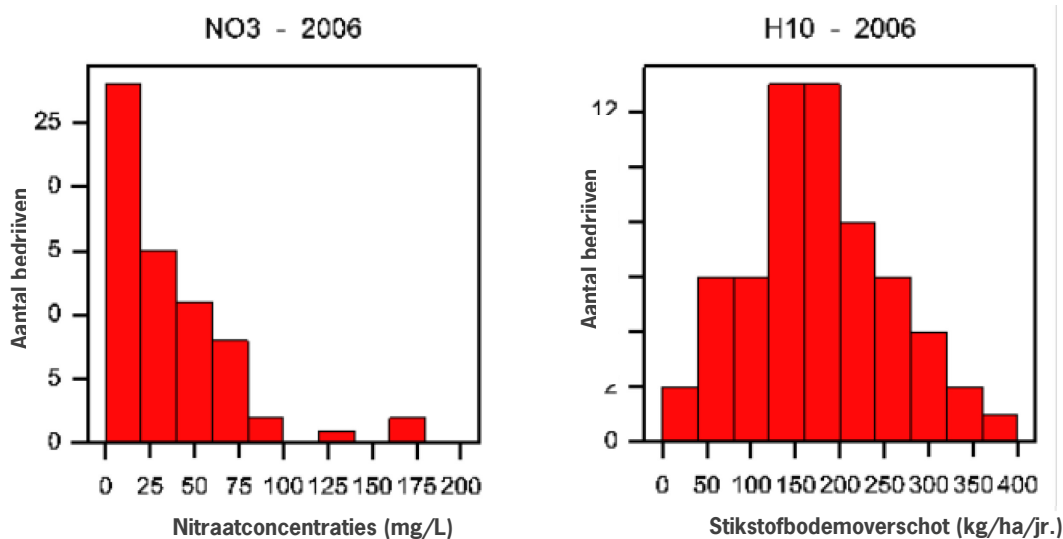
Figuur 17

Spreiding van de gemeten nitraatconcentraties (mg/l) op de LMM-bedrijven voor de verschillende zeelegebieden.

De gemiddelde nitraatconcentraties in het Centraal zeeleigebied liggen in alle jaren boven de 50 mg/L. In het Zuidwestelijk zeeleigebied liggen de gemiddelde nitraatconcentraties alleen in 2006 boven de norm van 50 mg/L, in 2007 en 2008 liggen de gemiddelde nitraatconcentraties onder de norm. De gemiddelde nitraatconcentraties voor het Noordwestelijk en Noordoostelijk zeeleigebied hebben dezelfde orde van grootte en zijn lager dan voor het Centraal- en Zuidwestelijk zeeleigebied.

Regressieanalyse

De histogrammen van de nitraatconcentraties in het drainwater voor het jaar 2006/2007 voor de LMM-bedrijven in het Zuidwestelijk, Centraal en Noordoostelijk zeeleigebied zijn in figuur 18 weergegeven. Om het aantal statistische runs te beperken is ervoor gekozen om het Noordwestelijk zeeleigebied niet mee te nemen. Bovendien is het aantal metingen in het Noordwestelijk zeeleigebied ook beperkt.



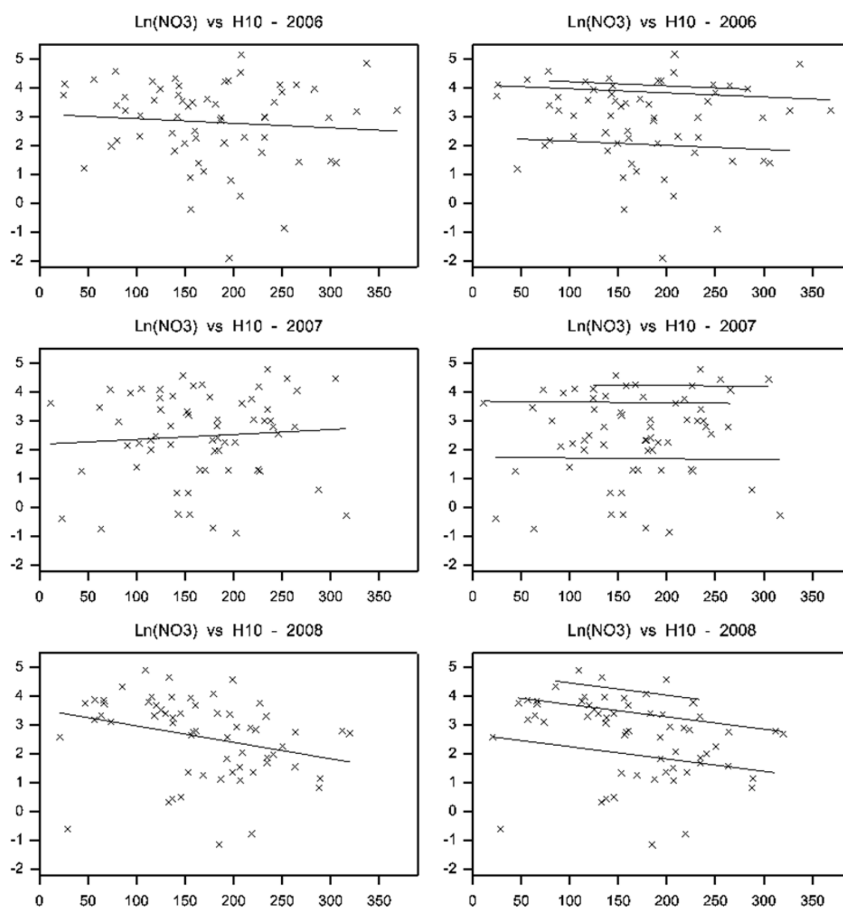
Figuur 18

Verdeling van de nitraatconcentraties voor LMM-bedrijven in het Zuidwestelijk, Centraal en Noordoostelijk zeeleigebied in het planjaar 2006.

In beide figuren geeft de y-as het aantal bedrijven weer dat in een bepaalde klasse (x-as) valt, waarbij de linker figuur de verdeling van de nitraatconcentraties (mg/l) weergeeft en de rechterfiguur het stikstofbodemoverschot op bedrijfsniveau. Uit figuur 18 blijkt dat de nitraatconcentraties scheef verdeeld zijn naar links, het stikstofbodemoverschot is gelijkmatig verdeeld. De verdeling van de nitraatconcentraties en stikstofbodemoverschot voor de overige planjaren (2007 en 2008) is ongeveer gelijk aan 2006 en zijn in bijlage 7 weergegeven.

Voordat de relatie tussen de gemiddelde nitraatconcentraties en het stikstofbodemoverschot op de LMM-bedrijven wordt bepaald, zijn de nitraatconcentraties zoals gebruikelijk log getransformeerd (de natuurlijke logaritme is hiervoor gebruikt). Hiermee wordt bereikt dat de regressieanalyse zich richt op verhoudingen van concentraties in plaats van verschillen. Daarnaast wordt na log-transformatie beter voldaan aan een belangrijke veronderstelling van regressie, namelijk homogeniteit van varianties. Het stikstofbodemoverschot is vrij symmetrisch verdeeld en wordt verder niet getransformeerd.

De relatie tussen de nitraatconcentraties en stikstofbodemoverschot is met en zonder het regio-effect bepaald (figuur 19). Met het regio-effect wordt bedoeld dat de relaties tussen stikstofbodemoverschot en nitraatconcentraties per dataset van een regio worden beschouwd. Het verschil tussen deze, in dit geval drie, relaties wordt het regio-effect genoemd.



Figuur 19

Regressierelatie tussen Log NO_3 (y-as) en het stikstofbodemoverschot (x-as) per jaar, waarbij links het regio-effect niet is meegenomen, rechts is het regio-effect wel meegenomen.

Tabel 15

Resultaten van de statistische analyse waarbij de relatie tussen het regio-effect en het stikstofbodemoverschot enerzijds en de gemeten nitraatconcentraties anderzijds zijn bepaald.

Jaar	p-waarden Regio-effect	Estimate Stikstofbodemoverschot	p-waarden
2006	< 0,001	-0.00143	0,43
2007	< 0,001	-0.00029	0,895
2008	< 0,001	-0.00426	0,032

Uit de analyse (tabel 15) blijkt dat het regio-effect steeds zeer significant is (p-waarden < 0,001). De relatie tussen het stikstofbodemoverschot en de gemeten nitraatconcentraties zijn voor 2006 en 2007 niet significant (p-waarden > 0,05), in 2008 wordt wel een significante relatie gevonden ($p = 0,032$), deze is echter **negatief**. Een negatieve relatie tussen het stikstofbodemoverschot en de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater is procesmatig niet te verklaren is en wordt daarom verworpen.

Op basis van de analyse worden de volgende conclusies getrokken:

- De nitraatconcentraties in het Noordoostelijk zeeleigebied zijn significant lager dan de nitraatconcentraties in het Zuidwestelijk en het Centraal zeeleigebied. De verschillen tussen het Zuidwestelijk en het Centraal zeeleigebied zijn **niet** significant.
- Uit de resultaten blijkt dat het stikstofbodemoverschot op bedrijfsniveau **niet** verklarend is voor de gemeten nitraatconcentraties in de zeeleigebieden.

4.3 Discussie

Oriënterende data-analyse

Om de kenmerken van de zeeleigebieden in beeld te brengen is gebruik gemaakt van verschillende bronbestanden (tabel 16).

Tabel 16

Overzicht van de bronbestanden die gebruikt zijn voor de oriënterende data-analyse.

Omgevingsfactor	Bronnen
Kleimineralogie	Literatuurstudie
Pyrietgehalten	Geochemische data van de ondergrond (TNO)
Kwelflux	NHI-kwelkaart
Bodemtype	1:50.000 bodemkaart PAWN-bodemkaart (afgeleide van de bodemkaart)
Gt-klasse	1:50.000 bodemkaart
Hoeveelheid organische stof	Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) 1:50.000 Bodemkaart

Bij het interpreteren van de verschillen moeten de volgende punten in ogenschouw worden genomen:

- Er is geen literatuur gevonden waarin de kleimineralogie van alle zeeleigebieden op dezelfde wijze zijn bekeken. In het onderzoek van Favejee (1951) en Breeuwsma (1985) is het Centraal zeeleigebied niet meegenomen, waardoor het lastig is om aan te geven of de klei-mineralogie afwijkt van de andere zeeleigebieden. Omdat juist in het Centraal zeeleigebied de hoogste nitraatconcentraties in het drainwater worden gemeten, is dit van belang.
- Niet alle bronnen uit de lijst zijn landsdekkende bestanden. Met name voor het bepalen van de pyrietgehalten is dit aan de orde. Het aantal gegevens over de pyrietgehalte in de ondergrond op een diepte van 1-2m-mv is voor een aantal kleigebieden beperkt. Om een betere schatting te maken is de dataset geoptimaliseerd.

Bedrijfsanalyse stikstofbodemoverschot

Uit de resultaten van de regressie analyse blijkt dat er geen significante **positieve** relatie is gevonden tussen het stikstofbodemoverschot en nitraatconcentraties in drainwater op bedrijfsniveau. Bij de interpretatie van de gegevens moet het volgende in ogenschouw worden genomen:

- Omdat het aantal metingen in het Noordwestelijk zeeleigebied beperkt zijn en omdat de nitraatconcentraties laag zijn, is besloten om dit zeeleigebied niet mee te nemen. Dit is een arbitraire keuze geweest.
- Het aantal bedrijven voor het Centraal zeeleigebied is beperkt.

- Bij het stikstofbodemoverschot wordt *geen* rekening wordt gehouden met de *aard* van het stikstofbodemoverschot. De verhouding van de input (verhouding mest-N en kunstmest-N) kan sterk verschillen tussen regio's en bedrijven.
- De mate waarin het stikstofbodemoverschot uitspoelt verschilt van gewas tot gewas. De uitspoeling bij klei-bouwland is ongeveer een factor 3 groter dan bij klei-grasland (Fraters et al., 2007). Het landgebruik moet dus ook in ogenschouw worden genomen.
- Daarnaast is er een vermoeden dat de mate van beweiding ook invloed heeft op de mate waarin het stikstofbodemoverschot uitspoelt (Bouman en Fraters, 2011).

5 Resultaten fase 2

5.1 Statistische analyse

Uit fase 1 blijkt dat er *geen* significante **positieve** relatie is gevonden tussen het stikstofbodemoverschot op bedrijfsniveau en de gemiddelde nitraatconcentraties in het drainwater op de LMM-bedrijven, waardoor fase 2 is ingezet.

Uit de oriënterende data-analyse blijkt dat er duidelijke verschillen zijn in de hoeveelheid kwelwater, pyrietgehalte, bodemtype, Gt-klasse en organische stofgehalte tussen de zeekelegebieden, maar dat er ook binnen de zeekelegebieden veel variatie voorkomt. Op basis van de (beperkte) literatuur, kan er van uitgegaan worden dat er geen verschillen bestaan tussen de kleimineralogische samenstelling van zeelei in Friesland/Groningen, West-Friesland (Noord-Holland), Zeeland en Flevoland.

Om een betrouwbare statistische analyse te maken van de relaties tussen nitraatconcentraties en de kenmerken van de LMM-bedrijven is het noodzakelijk dit te doen op basis van de ruwe data, dus op bedrijfsniveau. Het wordt aanbevolen om de kenmerken lokaal (dus op LMM- percelen) te verzamelen in combinatie met nitraatmetingen op het betreffende perceel. Het opzetten van een dergelijk meetplan is echter gezien de doorlooptijd van het project en de bijbehorende kosten niet haalbaar. In fase 2 zijn, met uitzondering van de kleimineralogie, de kenmerken voor de LMM-bedrijven bepaald op basis van de bodemkaart, de pyrietkaart, NHI-kwelkaart en een kaart met de voorraad organische stof op verschillende diepten. De omgevingsfactoren van de LMM-bedrijven zijn in een database opgeslagen en gebruikt voor een statistische analyse. In de regressieanalyse is gekeken naar de relatie tussen nitraatconcentratie enerzijds en de grondwatertrap, bodemtype, kwel, hoeveelheid organische stof en pyriet anderzijds voor de periode 2006-2008. Naast bovengenoemde variabele is ook het landgebruik als variabele meegenomen.

Voor het verzamelen van de bedrijf- en omgevingskenmerken van de LMM-bedrijven zijn meerdere informatiebronnen gebruikt. Een aantal kenmerken kunnen echter op verschillende manieren geclusterd worden. In deze paragraaf worden de verschillende informatiebronnen/clustermethoden kort beschreven, wordt aangegeven welke informatiebron/clustering is toegepast en worden de resultaten weergegeven.

5.1.1 Dataverzameling

Grondwatertrappen

Voor het bepalen van de grondwatertrappen zijn twee informatiebronnen beschikbaar:

- 1) Grondwatertrappen per bedrijf zoals vastgelegd in de RIVM-database;
- 2) Grondwatertrappen per bedrijf op basis van de 1:50.000 bodemkaart.

Voor beide informatiebestanden zijn per LMM-bedrijf de dominante grondwaterklassen (dus de klassen met de hoogste fractie) bepaald en verder onderverdeeld in drie categorieën: nat (I-III*, V en V*), midden (IV en VI) en droog (VII-VIII).

Tabel 17

Grondwaterkarakteristiek (nat, midden, droog) van de LMM-bedrijven op basis van de LEI/RIVM-database en op basis van de 1:50.000 bodemkaart.

Gt-klasse	RIVM-database		1:50.000 bodemkaart	
	Aantal bedrijven	Percentage	Aantal bedrijven	Percentage
Nat	42	62%	40	59%
Midden	24	35%	26	38%
Droog	2	3%	-	-
Onbekend	-	-	2	3%
Totaal	68	100%	68	100%

In totaal worden 68 bedrijven meegenomen (tabel 17). Op basis van de RIVM-database liggen 42 bedrijven (62%) in de categorie 'nat'. De overige bedrijven hebben voornamelijk Gt IV of Gt VI (35%). Twee bedrijven vallen in de categorie 'droog'. Als gebruik gemaakt wordt van de 1:50.000 bodemkaart zijn de verschillen minimaal (paar procent).

Grondsoort/Bodemtype

Voor het bepalen van het (dominante) bodemtype per bedrijf kan gebruik gemaakt worden van twee informatie bronnen:

- 1) 1:50.000 bodemkaart.
- 2) Indeling op basis van de PAWN-bodemkaart.

Bodemkaart (1:50.000)

Op basis van de 1:50.000 bodemkaart worden in totaal 37 bodemtypen onderscheiden (bijlage 3). Omdat het aantal bedrijven per bodemtype beperkt is, is ervoor gekozen om deze 37 bodemtypen onder te verdelen in klassen. Hierbij zijn twee opties bekeken:

- 1) De bedrijven worden onderverdeeld in zes klassen op basis van grondsoort (zand, veen, moerig, klei en overig), waarbij de zeekleigronden zijn onderverdeeld in mariene klei en knippige klei (tabel 18, bijlage 3).
- 2) De bedrijven worden onderverdeeld in drie categorieën waarbij klasse 1, 2, 3 en 6 uit clustering 1 worden samengevoegd (tabel 18).

Tabel 18

Dominante bodemtype op de LMM-bedrijven dat op basis van de 1:50.000 bodemkaart, waarbij zes en drie klassen worden onderscheiden.

Klasse	Categorie	Bodemtype	Aantal bedrijven			Percentage		
			2006	2007	2008	2006	2007	2008
1	1	Zandgronden	4	3	3	6,0%	4,5%	4,4%
2	1	Moerige- en enkeerdgronden	1	1	1	1,5%	1,5%	1,5%
3	1	Veen- en drechtvaaggronden	4	4	4	6,0%	6,0%	5,9%
4	2	Mariene klei	34	35	35	50,7%	52,2%	51,4%
5	3	Knippige klei	18	20	20	26,9%	29,9%	29,4%
6	1	Overig (cluster)	4	4	4	6,0%	6,0%	5,9%
x	x	Onbekend	2	-	1	3,0%	-	1,5%

Totaal	67	67	68
---------------	-----------	-----------	-----------

Ruim 50% van de bedrijven heeft mariene klei als dominante bodemtype, ca., 30% heeft knippige klei als dominante bodemtype.

PAWN-bodem

Naast de indeling op basis van de bodemkaart is per bedrijf de dominante PAWN-bodem bepaald. Er worden in totaal 23 PAWN-bodems onderscheiden. Ook hiervoor geldt dat het noodzakelijk/wenselijk is om een aantal PAWN-bodems samen te voegen (tabel 19).

Tabel 19

Dominante PAWN-bodemeenheden op de LMM-bedrijven op basis van de 1:50.000 bodemkaart, waarbij zeven klassen worden onderscheiden.

Klasse	PAWN-bodemeenheid	Omschrijving	Aantal bedrijven		
			2006	2007	2008
1	1-13	Zand en veengronden	7	6	7
2	15	Homogene zavelgronden	24	25	24
3	16	Homogene, lichte kleigronden	9	10	9
4	17	Kleigronden met een zware tussenlaag of ondergrond	16	19	19
5	18	Kleigronden op veen (drechtvaaggronden)	4	3	3
6	19	Klei op zandgronden	3	3	4
7	22-23	Water en verhard	2	1	1
x	onbekend	-	2	-	1
Totaal			67	67	68

De PAWN-bodemeenheden 14, 20 en 21 komen op de LMM-bedrijven niet voor. De bodemfysische eenheden 22 en 23 worden verder niet meegenomen, omdat deze staan voor respectievelijk open water en stedelijk gebied.

Voor de uiteindelijke regressieanalyse zijn PAWN-bodemeenheden 17 en 18 samengevoegd, omdat type 18 te weinig waarnemingen heeft. De PAWN-bodemeenheden 1 t/m 13 (veen- en zandgronden) worden samengenomen als zijnde geen kleigronden.

De keuze tussen de indeling op basis van de bodemkaart of op basis van de PAWN-bodems is gebaseerd op de resultaten van een regressieanalyse, uitgevoerd met de 'All possible subset selection' waarbij beide variabelen als mogelijke voorspeller van de gemeten nutriëntenconcentraties zijn beschouwd, inclusief en exclusief het Regio-effect (tabel 20).

Tabel 20

Resultaten van de statistische analyses waarbij de relatie tussen de gemeten nitraatconcentratie in het drainwater en het bodemtype op de LMM-bedrijven is onderzocht. Het bodemtype is bepaald op basis van de 1:50.000 bodemkaart of op basis van de PAWN-bodems.

Jaar	2006		2007		2008	
	Adjusted ¹ %	P-waarde	Adjusted ¹ %	P-waarde	Adjusted ¹ %	P-waarde
Bodemtype						
Bodemkaart	28,18	0,000	23,66	0,001	28,61	0,000
PAWN-Bodemkaart	21,27	0,002	17,14	0,005	21,21	0,002
Bodemkaart + Regio-effect	47,14	0,077	47,33	0,047	45,49	0,063
PAWN-Bodemkaart + Regio-effect	53,27	0,017	47,96	0,100	50,72	0,009

¹ De term adjusted geeft aan welk percentage (%) van de variatie in nitraatconcentraties verklaard kan worden

Als alleen het bodemtype als verklarende variabele wordt meegenomen (exclusief het regio-effect), is het percentage verklarende variantie voor indeling op basis van de 1:50.000 bodemkaart ongeveer 7% hoger dan de indeling op basis van de PAWN-bodemkaart (tabel 20). Het bodemtype op basis van de 1:50.000 bodemkaart verklaart, afhankelijk van het jaar, 24 tot 29% van de variatie in nitraatconcentraties. Op basis van de PAWN-bodemkaart is dit tussen 17-21%. Beide variabele zijn significant. Als ook het regio-effect wordt meegenomen, is het percentage verklarende variantie voor beide variabele hoger, 45-47% op basis van de 1:50.000 bodemkaart en tussen 47-53% voor de PAWN-bodemkaart.

De variabele op basis van de 1:50.000 bodemkaart is echter niet significant in 2006 en 2008, in 2007 is deze voor de PAWN-bodemkaart niet significant. Op basis van bovenstaande resultaten is gekozen voor de optie waarbij de het bodemtype bepaald is op basis van de PAWN-bodemkaart.

Kwel

Voor het bepalen van de hoeveelheid kwelwater op de LMM-bedrijven is gebruik gemaakt van de NHI-kwelkaart (98-05, <http://www.bosatlasvannederlandwaterland.nl/>, <http://www.nhi.nu>). Voor de regressieanalyse is vervolgens gerekend met de gemiddelde kwelflux (mm/dag). Hierbij moet in ogenschouw genomen worden dat de kwelflux binnen een bedrijf kan variëren van een negatieve waarde (kwel) naar een positieve waarde (wegzijging).

Organische stof

De informatie over het organische stofgehalten zijn afgeleid uit de Bodemkaart van Nederland (1: 50.000) en de documentatie bij deze kaart (F. de Vries, 1993 en 1999). Per bodemeenheid zijn zogenaamde profielschetsen opgesteld waarbij informatie uit het Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) is geselecteerd. De profielschetsen geven een beschrijving van de laagopbouw tot 120 cm diepte. Ze bevatten per horizont informatie over de modale (50-percentiel, P50), minimum (P10) en maximum (P90) waarde voor het organisch stofgehalte, lutumgehalte, leemgehalte, zandgrofheid (M50) en de pH. Daarnaast worden ook de modale waarden voor het kalkgehalte, ijzergehalte, C/N-quotiënt en de dichtheid gegeven.

Pyriet

Voor het bepalen van de gemiddelde pyrietgehalten is gebruik gemaakt van de pyrietkaart die in fase 1 (paragraaf 4.1.1) is vervaardigd.

Landgebruik

Aanvullend op bovenstaande omgevingsfactoren zijn ook analyses uitgevoerd waarbij onderzocht is of er een significante relatie gevonden kan worden tussen het landgebruik en de gemeten nitraatconcentraties. Voor het bepalen van het landgebruik op de LMM-bedrijven zijn twee opties mogelijk:

- 1) Uitgaande van het bedrijfstype (akkerbouw, melkvee, hokdier, overig en niet-LMM);
- 2) Uitgaande van het dominante landgebruik op basis van het percentage (grasland, mais, akkerbouw).

De keuze voor één van beide opties is, evenals bij de grondsoort, bepaald door gebruik te maken van een regressieanalyse (tabel 21).

Tabel 21

Resultaten van de statistische analyses waarbij de relatie tussen de gemeten nitraatconcentratie in het drainwater en het landgebruik (bedrijfstype versus landgebruik) op de LMM-bedrijven is onderzocht.

Jaar	2006		2007		2008	
	Adjusted ¹ %	P-waarde	Adjusted ¹ %	P-waarde	Adjusted ¹ %	P-waarde
landgebruik						
Regio-effect	45,22	0,000	43,18	0,000	43,18	0,000
Bedrijfstype	15,91	0,003	17,94	0,001	32,95	0,000
Landgebruik	20,78	0,000	31,04	0,000	36,47	0,000
Bedrijfstype + Regio-effect	53,09	0,007	52,34	0,002	58,90	0,000
Landgebruik + Regio-effect	52,31	0,004	59,31	0,000	60,61	0,000

¹ De term adjusted geeft aan welk percentage (%) van de variatie in nitraatconcentraties verklaard kan worden.

De variabele landgebruik is voor beide opties significant, ook als het regio-effect wordt meegenomen. Op basis van de resultaten is gekozen voor landgebruik op basis van het areaal grasland, mais en akkerbouw en niet het bedrijfstype.

5.1.2 Regressieanalyse

De regressieanalyse is uitgevoerd met 'all possible subset selection'. Hierbij worden **alle** mogelijke regressiemodellen aangepast en gesorteerd op basis van het percentage verklarende variantie voor de verschillende jaren (bijlage 9). De 'beste' modellen waarvoor geldt dat **alle** variabelen in **alle** jaren **significant** zijn, zijn weergegeven in tabel 22.

Tabel 22

Verklarende variantie (%) voor de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater voor een aantal regressiemodellen waarbij alle variabelen (= kenmerken van de LMM-bedrijven) voor alle jaren significant zijn.

Jaar	Percentage verklarende variantie (%)			
	2006	2007	2008	2006-2008
1 variabele				
% grasland	28	41	47	39
% overig	21	31	37	30
Gt-klasse	25	21	29	26
PAWN-bodem	21	17	21	22
Kwel	8	6	6	8
2 variabelen				
% grasland + Kwel	38	52	57	49
% grasland + % overig	38	48	54	46
% grasland + Gt-klasse	34	46	55	45
% overig + Kwel	32	43	48	42
PAWN + Gt-klasse	41	30	46	41
% overig + Gt-klasse	30	40	49	40
3 variabelen				
% grasland + % overig + Kwel	43	56	62	54

1 De term adjusted geeft aan welk percentage (%) van de variatie in nitraatconcentraties verklaard kan worden.

Uitgaande van het percentage verklarende variantie geeft het model met het % grasland, % overig (akkerbouw, excl. mais) en de hoeveelheid kwelwater de 'beste' resultaten. Afhankelijk van het jaar kan 43% tot 62% van de variatie in gemeten nitraatconcentraties verklaard worden door deze drie factoren. Op basis van de p-waarden voor dit model (tabel 23), blijkt dat het % grasland het meest significant is, gevolgd door de hoeveelheid kwelwater.

Tabel 23

Resultaten van de statistische analyses voor het 'beste' model.

Jaar	P-waarde			
	2006	2007	2008	2006-2008
% grasland	0,002	0,000	0,000	0,000
Kwel	0,019	0,001	0,001	0,000
% overig	0,022	0,013	0,006	0,000

De resultaten laten ook zien dat de variabelen *stikstofbodemoverschot*, *organisch stofgehalte* en het *pyrietgehalte* in bovenstaande tabel ontbreken. Dit betekent dat er *geen* model 'gevonden' wordt waarvoor geldt dat de variabelen in **alle** drie de jaren significant zijn, voor de afzonderlijke jaren kunnen deze variabelen echter wel significant zijn (zie bijlage 9).

Conclusies

Op basis van de regressieanalyse worden de volgende conclusies getrokken:

- er zijn geen aanwijzingen dat verschillen in stikstofbodemoverschot, organische stofgehalte en het pyrietgehalte een verklaring geeft voor de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater en dus de verschillen in nitraatconcentraties tussen de LMM-bedrijven;
- Het 'beste' model is het model met de variabelen % grasland, % overig en de kwelflux (54% verklarende variantie voor de jaren 2006-2008). Binnen dit model is het % grasland het meest significant, gevolgd door de hoeveelheid kwelwater en dan het % overige gewassen.

5.2 Modelanalyse

Om verder inzicht te krijgen waardoor verschillen in nitraatcijfers worden veroorzaakt kan het model STONE worden gebruikt. De berekende nitraatuitspoeling met STONE moeten hiervoor echter eerst getoetst worden aan de gemeten nitraatuitspoeling op de LMM-bedrijven. De analyse van de berekende nitraatuitspoeling met het modelinstrumentarium STONE is in twee stappen uitgevoerd.

In de eerste stap zijn de rekenresultaten gebruikt van alle rekeneenheden met het bodemtype zeeklei en aanwezigheid van drainbuizen liggende in het Noordoostelijk zeekleigebied (Friesland en Groningen), Noordwestelijk zeekleigebied (Noord-Holland), Centraal zeekleigebied (Flevoland) en het Zuidwestelijk zeekleigebied (Zeeland, Zuid-Holland en Noord-Brabant) (figuur 20).

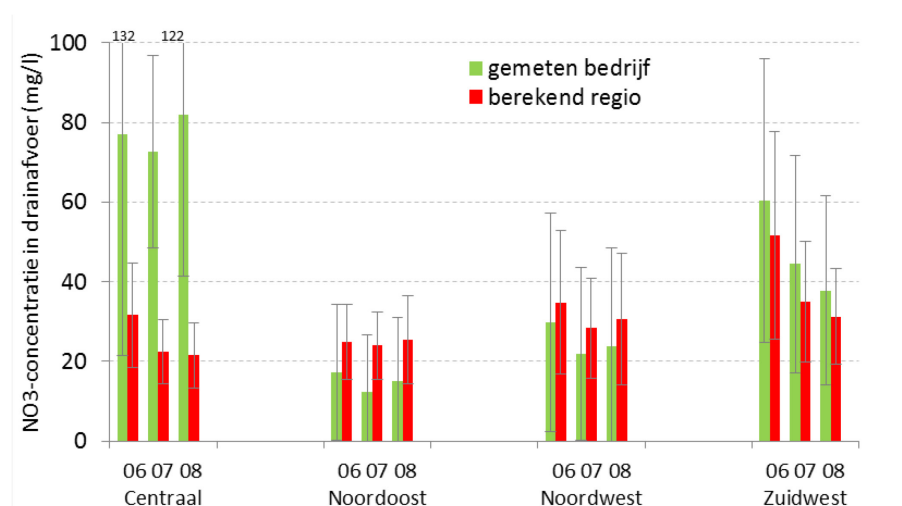


Figuur 20

Ligging van de rekeneenheden van STONE met bodemtype zeeklei en aanwezigheid van drainbuizen.

Per zeekleigebied zijn voor de drie meetseizoenen (oktober 2006 - maart 2007; oktober 2007 - maart 2008; oktober 2008 - maart 2009) de berekende nitraatconcentraties in drainwater bepaald. De gesimuleerde nitraatconcentraties zijn bepaald door per tijdstip van tien dagen (tijdstapgrootte van het modelinstrumentarium STONE) de gesimuleerde nitraatvracht uit de drainbuizen te delen door de gesimuleerde waterflux uit de drainbuizen voor die tijdstippen dat er een waterflux aanwezig is. Deze berekende nitraatconcentraties zijn vergeleken met de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater (figuur 21) op de LMM-bedrijven.

Hierbij zijn de gemeten nitraatconcentraties weergegeven als het gemiddelde van de bemonsterde bedrijven in een regio. Bij een volledige representatieve steekproef van de bedrijven in een zeekleigebied, komt het bedrijfsgemiddelde overeen met het regio-gemiddelde. In deze steekproef zal dit niet het geval zijn. Zeker in het Centraal zeekleigebied zal door de geringe omvang van bemonsterde bedrijven (4 - 6 bedrijven) de kans dat een bedrijf afwijkt van het regionaal gemiddelde het bedrijfsgemiddelde sterk kunnen beïnvloeden.



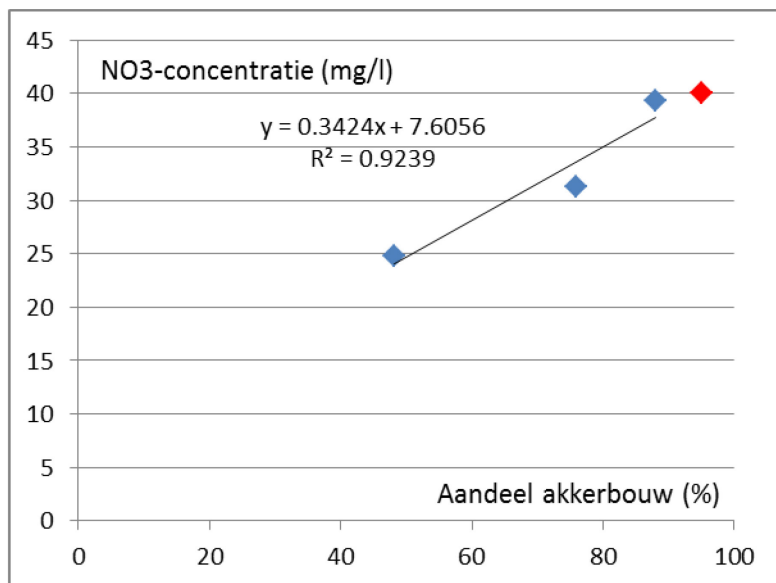
Figuur 21

Gemeten en berekende nitraatconcentraties in drainwater voor de vier zeekleigebieden en drie meetjaren, inclusief spreiding.

Op basis van de vergelijking van de berekende en gemeten nitraatuitspoeling blijkt dat voor het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied het modelsysteem goed in staat is om de metingen te beschrijven (figuur 21). Voor het Noordoostelijk kleigebied overschat het model de metingen, maar de gemeten en berekende cijfers liggen binnen elkaars grenzen van onzekerheid. Voor het Centraal zeekleigebied echter wordt voor alle drie meetseizoenen de nitraatconcentraties door het model onderschat.

Op basis van de modelinvoer is vervolgens bekeken voor een verklaring voor de verschillen in nitraatconcentraties in het drainwater. Op basis van de statistische analyse uit paragraaf 5.1.1 blijkt dat o.a. het landgebruik een verklarende factor kan zijn voor de gemeten nitraatconcentraties. Van het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied is het aandeel akkerbouw het laagst in het Noordoostelijk zeekleigebied (48%) en het hoogst in het Zuidwestelijk zeekleigebied (88%).

Op basis van deze drie zeekleigebieden is er een duidelijke relatie tussen het aandeel akkerbouwgronden en de nitraatconcentraties in de drainbuizen (figuur 22). Het aandeel akkerbouw in Centraal zeekleigebied (95%) is hoger dan voor het Zuidwestelijk zeekleigebied. Uitgaande van de regressielijn (figuur 22) zou bij een dergelijk aandeel akkerbouwgronden een gemiddelde berekende nitraatconcentratie van 40 mg/L worden verwacht. Uit de berekeningen blijkt echter dat de nitraatconcentraties in het Centraal zeekleigebied lager uitvallen (gemiddeld over de drie seizoenen: 25 mg/L).



Figuur 22

Relatie tussen het aandeel akkerbouw en de nitraatconcentratie in de drainbuizen voor het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied voor stap 1 van de modelanalyse. De rode punt is de verwachte nitraatconcentratie bij het aandeel akkerbouw van regio Centraal zeekleigebied.

Om een verklaring te vinden voor de (te lage) berekende nitraatconcentraties in het Centraal zeekleigebied zijn de modelresultaten voor centraal vergeleken met de rekenresultaten voor het Zuidwestelijk zeekleigebied.

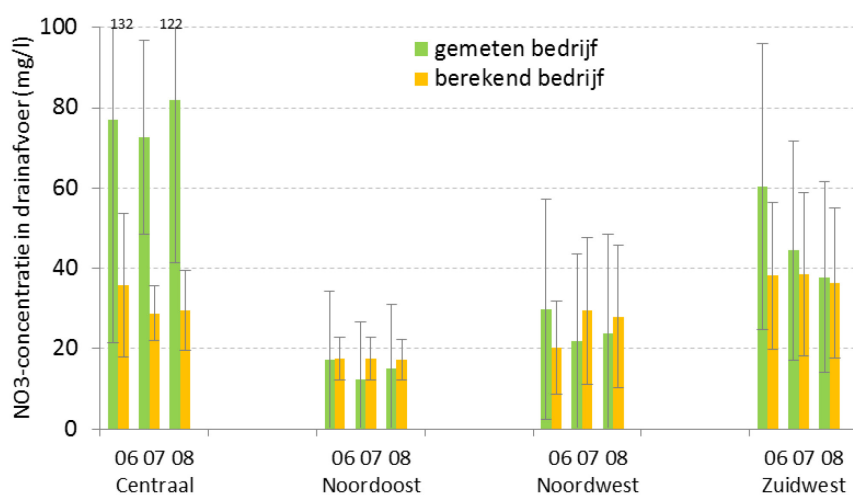
Op basis van nitraatvrachten (zie bijlage 10) is de uitspoeling in het Centraal zeekleigebied gelijk aan het Zuidwestelijk zeekleigebied, (beiden 23 kg/ha NO₃-N). De gemiddelde waterflux in het Centraal zeekleigebied is echter hoger (onder meer door een hogere kwelflux), waardoor de nitraatconcentraties lager zijn (verduunningseffect).

Het 'verduunningseffect' van de hogere kwelflux in het Centraal zeekleigebied verklaart wel de lagere nitraatconcentraties vergeleken met het Zuidwestelijk zeekleigebied, maar niet het verschil tussen de berekende nitraatconcentraties en de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater. Op basis van de berekende nitraatuitspoeling (25 mg/L) voor het Centraal zeekleigebied is gemiddeld over de drie meetseizoen het verschil met de gemeten nitraatconcentraties ruim 50 mg/L (gemeten nitraatconcentratie van ca. 78 mg/L). Ook de verwachte nitraatconcentraties op basis van het percentage akkerbouw (40 mg/L) is te laag (ruim 35 mg/L).

Een mogelijke verklaring is dat bij de berekeningen in stap 1 alle zeekleigebieden in de gehele regio in beschouwing worden genomen, terwijl bij de metingen alleen de gemiddelde waarde op bedrijfsniveau worden meegenomen. Deze afwijking in schaalniveau kan debet zijn aan de verschillen tussen de gemeten en de berekende waarden.

In stap 2 zijn op basis van de kenmerken van de bedrijven op zeeklei, liggende in één van de vier regio's, rekenen eenheden gekoppeld met dezelfde kenmerken. De kenmerken waarop geselecteerd is zijn:

- Aanwezigheid van buisdrainage.
- Hydrologie (grondwatertrap of grondwaterklasse: nat, midden, droog).
- Bodemtype (PAWN-bodem eenheid).
- Landgebruik (grasland, maïs of akkerbouw).



Figuur 23

Gemeten en berekende nitraatconcentraties in drainwater voor de vier zeekleigebieden en drie meetjaren.

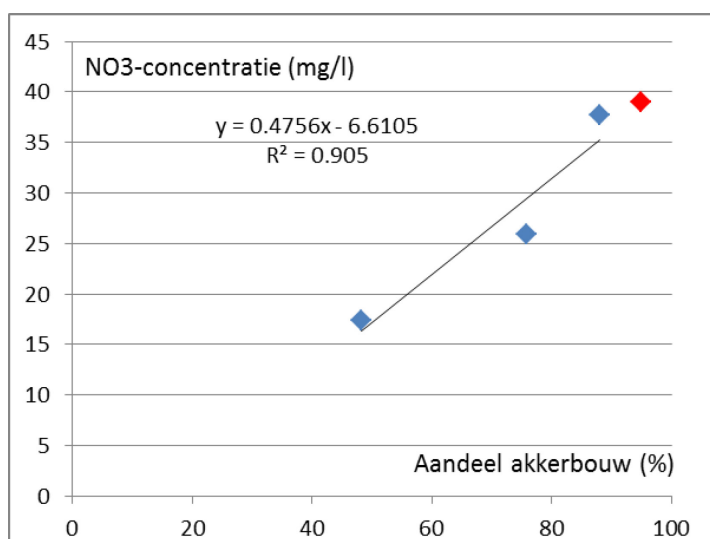
Op basis van de berekende nitraatconcentraties op bedrijfsniveau blijkt dat voor de meeste jaren de afwijking met de metingen kleiner is dan op basis van het regionaal niveau (figuur 23 en tabel 24). Alleen voor het Zuidwestelijk zeekleigebied treedt er gemiddeld een verslechtering op (vooral voor jaar 2006). De afwijking tussen gemeten nitraatconcentraties en berekende nitraatconcentraties voor het Centraal zeekleigebied blijft ook bestaan op het niveau van bedrijfsgemiddelden (tabel 24). Wel is het verschil kleiner geworden ten opzichte van de berekeningen op regionaal niveau.

Tabel 24

Gemeten en berekende nitraatconcentraties (mg/l) in drainwater voor stap 1 (regio) en 2 (bedrijf) voor de zeekleigebieden.

Kleiregio/jaar	Gemeten (bedrijf) (in mg/l)	Berekend(regio) (in mg/l)	Afwijking (positief=overschatting)	Berekend (bedrijf) (in mg/l)	Afwijking (positief=overschatting)
Noordoost					
2006	17,2	25,0	7,8 (45%)	17,5	0,3 (2%)
2007	12,4	23,9	11,5 (93%)	17,5	5,1 (41%)
2008	15,2	25,4	10,2 (67%)	17,2	2,0 (13%)
Gemiddeld	14,9	24,8	9,9 (66%)	17,4	2,5 (17%)
Noordwest					
2006	29,8	34,8	5,0 (17%)	20,3	-9,5 (-32%)
2007	21,8	28,3	6,5 (30%)	29,4	7,6 (35%)
2008	23,7	30,6	6,9 (29%)	27,9	4,2 (18%)
Gemiddeld	25,1	31,3	6,2 (25%)	25,9	0,8 (3%)
Centraal					
2006	76,9	31,6	-45,3 (-59%)	35,8	-41,1 (-53%)
2007	72,7	22,4	-50,3 (-69%)	28,8	-43,9 (-60%)
2008	81,8	21,5	-60,3 (-74%)	29,6	-52,2 (-64%)
Gemiddeld	77,2	25,2	-52,0 (-67%)	31,4	-45,8 (-59%)
Zuidwest					
2006	60,4	51,7	-8,7 (-14%)	38,1	-22,3 (-37%)
2007	44,5	35,0	-9,5 (-21%)	38,5	-6,0 (-13%)
2008	37,7	31,3	-6,4 (-17%)	36,4	-1,3 (-3%)
Gemiddeld	47,5	39,3	-8,2 (-17%)	37,7	-9,8 (-21%)

Ook voor stap 2 is de relatie tussen het aandeel akkerbouw en de berekende nitraatconcentraties weergegeven (figuur 24).

**Figuur 24**

Relatie tussen het aandeel akkerbouw en de nitraatconcentratie in de drainbuizen voor het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied voor stap 2 van de modelanalyse. De rode punt is de verwachte nitraatconcentratie bij het aandeel akkerbouw van regio Centraal zeekleigebied.

Op basis van het percentage akkerbouw in het Centraal zeekleigebied (95%) wordt een nitraatconcentratie verwacht van 39 mg/L). Ook uit stap 2 blijkt dus dat de waargenomen nitraatconcentratie op de LMM-bedrijven in het Centraal zeekleigebied hoger is dan op basis van modelberekeningen of op basis van het aandeel akkerbouw berekend/verwacht mag worden.

De hoge nitraatconcentratie in het Centraal zeekleigebied kan dus maar voor een deel worden verklaard door het hoge aandeel akkerbouw en moet dus een andere oorzaak hebben. Voor het Centraal zeekleigebied (vooral de Flevopolders) is bekend dat er preferente transportroutes zijn door scheurvorming in de kleigronden. Het gaat dan vooral om rijpingsscheuren die zijn ontstaan tijdens de drooglegging van deze polders (zie 3.1.2 'Bodempysische eigenschappen'). In bijlage 1 wordt de ontstaansgeschiedenis van krimp-scheuren en het effect op de nitraatuitspoeling nader toegelicht. In het huidige modelinstrumentarium STONE zijn deze routes nog niet opgenomen.

5.3 Discussie

In fase 2 is via een regressieanalyse onderzocht om er relaties zijn tussen de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater en de omgevingsfactoren op bedrijfsniveau en het landgebruik. Voor het verzamelen van de omgevingsfactoren van de LMM-bedrijven zouden deze idealiter op de bedrijven verzameld moeten worden in combinaties met nitraatmetingen. In verband met de doorlooptijd van het project en de bijbehorende kosten is dit niet haalbaar en is ervoor gekozen om de omgevingsfactoren van de LMM-bedrijven te bepalen door gebruik te maken van verschillende databestanden (tabel 25).

Tabel 25

Overzicht van de bronbestanden die gebruikt zijn voor het bepalen van de omgevingsfactoren van de LMM-bedrijven.

Omgevingsfactor	Bronnen
Pyrietgehalten	Pyrietkaart
Kwelflux	NHI-kwelkaart
Bodemtype	1:50.000 bodemkaart PAWN-bodemkaart (afgeleide van de bodemkaart)
Gt-klasse	1:50.000 bodemkaart
Hoeveelheid organische stof	Bodemkundig Informatie Systeem (BIS) 1:50.000 Bodemkaart

Het schaalniveau waarop de verschillende databestanden betrekking hebben (landelijk), sluit niet (voldoende) aan op het schaalniveau waarop deze toegepast worden (bedrijven). Het is hierdoor mogelijk dat de 'werkelijke' omgevingsfactoren op de bedrijven afwijken van de toegekende omgevingsfactoren. Bij het interpreteren van de resultaten van de regressieanalyse moet hiermee rekening worden gehouden. Daarnaast moet rekening gehouden worden met het feit dat er vraagtekens gezet kunnen worden bij de toepasbaarheid van de LMM-meetnet voor het beantwoorden van de kennisvragen omdat de LMM-meetnet voor een ander doel is opgezet.

Het aantal deelnemende bedrijven in regio Centraal is significant kleiner dan voor de andere regio's. In hoeverre dit de regressie- en modelresultaten beïnvloedt is vooralsnog niet duidelijk. Zo kan de

gemiddelde nitraatuitspoeling in regio Centraal sterk worden beïnvloedt door 'toevallige' uitschieters van één of enkele bedrijven in deze regio.

Uit de modelanalyse is gebleken dat de gesimuleerde nitraatuitspoeling op regionaal niveau in grote lijnen dezelfde trend vertoont als de metingen op bedrijfsniveau binnen de regio, maar dat er een afwijking is tussen de gesimuleerde en gemeten nitraatconcentraties. Deze afwijking tussen gemeten en berekende nitraatuitspoeling neemt af als de modelanalyse op bedrijfsniveau wordt uitgevoerd. Dit geeft aan dat de gemiddelde nitraatuitspoeling van de deelnemende bedrijven afwijkt van de gemiddelde nitraatuitspoeling van alle bedrijven op zeeklei in de vier onderzochte zeekleigebieden.

6 Conclusies en aanbevelingen

In deze studie is onderzocht in hoeverre de verhoogde nitraatconcentraties in het Centraal en Zuidwestelijk zeekleigebied ten opzichte van andere zeekleigebieden kunnen worden veroorzaakt door:

- 1) *een hoger stikstofbodemoverschot of*
- 2) *bodem- en grondwatereigenschappen (kleigehalte, kwelwater, organische stofgehalte, pyrietgehalte, etc.), of*
- 3) *grondgebruikswijze (nadruk op grasland dan wel nadruk op bouwlandgewassen).*

Uit de resultaten van een enkelvoudige regressieanalyse blijkt dat er voor de jaren 2006-2008 geen significante, positieve relatie tussen de gemeten nitraatconcentraties in het drainwater en het stikstofbodemoverschot op bedrijfsniveau gevonden wordt. Als een multiple regressieanalyse wordt uitgevoerd, is het stikstofbodemoverschot ook niet verklarend voor de verschillen in nitraatconcentraties tussen de LMM-bedrijven.

Op basis van de multiple regressieanalyse blijkt dat, afhankelijk van het meetjaar, 43% tot 62% van de verschillen in nitraatconcentraties tussen de LMM-bedrijven significant verklaard kunnen worden door verschillen in landgebruik (% grasland en % overig) en de hoeveelheid. Op basis van de regressiecoëfficiënten blijkt dat het percentage grasland het meest significant is, gevolgd door de hoeveelheid kwelwater. Het minst significant van deze drie variabelen is het percentage overig landgebruik (akkerbouw exclusief maïs).

Naast het 'beste' model zijn er ook statistische relaties waarbij de variabelen *grondsoort en Gt-klasse* significant zijn voor alle jaren. De verklarende variantie voor de verschillen in gemeten nitraatconcentraties zijn wel lager, dus uiteindelijk slechtere verbanden. De variabelen *stikstofbodemoverschot, organisch stofgehalte in de bodem* en het *pyrietgehalte* in de laag tussen 1,0 en 1,2 meter komen in geen enkele statistische relatie voor als zijnde significant voor alle jaren. Voor een afzonderlijk jaar is het mogelijk dat de variabele wel significant is.

Modelanalyse

Om na te gaan of bepaalde processen in de bodem (mineralisatie etc.) een rol kunnen spelen ter verklaring van de verschillen in nitraatconcentraties zijn de resultaten van het proces georiënteerde nutriëntenuitspoelingsmodel STONE gebruikt dat voor nationale beleidsevaluaties wordt ingezet.

Het model STONE blijkt goed in staat om de metingen in het Noordoostelijk, Noordwestelijk en Zuidwestelijk zeekleigebied te beschrijven. Voor het Centraal zeekleigebied wordt echter voor de drie meetseizoenen de nitraatconcentraties onderschat.

De onderschatting van de nitraatconcentraties met STONE hangt voor een deel samen met een hogere aanvoer van kwelwater waardoor een verdunningseffect optreedt van de berekende nitraatconcentraties. Daarnaast bestaat de indruk dat het voorkomen van krimpscheuren in het Centraal zeekleigebied (met name de Flevopolders) er preferent transport op kan treden door scheurvorming in de kleigronden. Het gaat dan vooral om rijpingsscheuren die zijn ontstaan tijdens de drooglegging van deze polders.

In het huidige modelinstrumentarium STONE zijn deze routes nog niet opgenomen, waardoor de berekende nitraatconcentraties lager zijn dan de gemeten concentraties.

Vervolgonderzoek

Als er behoefte is er voor te zorgen dat ook bij bedrijven in zeekleigebieden er geen overschrijdingen meer plaatsvinden van de nitraatconcentratie in het grondwater en drainwater, wordt aanbevolen om de LMM-bedrijven specifiek modelmatig door te rekenen (nadat het effect van krimpscheuren is ingebracht) en een validatie uit te voeren. Op basis van betrouwbare uitkomsten kan via scenariostudies vastgesteld worden wat de effectiviteit is van verschillende maatregelen. Hierbij kan gedacht worden aan bemestingsstrategieën eventueel in combinatie met ander landgebruik, hydrologische ingrepen (wel of geen buisdrainage; meer of mindere mate van kwel; beperkt vasthouden van water om de denitrificatiecapaciteit te verhogen).

Literatuur

Akker, J.J.H. van den, T. Hoogland, A. Roelevink en A.A. Veldhuizen, 2010. Verbetering watersysteemmodellering. Kleischeuren. Rapport HKV [lijn in water](#).

Akker, J.J.H. van den, T. Hoogland, H. Hakvoort en F. Stoppelenburg, 2011. Berging in kleischeuren in de Flevopolders. Wageningen. Alterra-rapport 1816. Stromingen 16 (2011), nummer 3: 15-31.

Baak, J.A., 1936. Regional petrology of the Southern North Sea. Thesis Leiden. Veenman & Zonen, Wageningen 128 pp.

Boekel, E.M.P.M. van, L.V. Renaud, F.J.E. van der Bolt en P. Groenendijk, 2008. Bronnen van nutriënten in het landelijk gebied; Analyse van de bijdrage van landbouw aan oppervlaktewaterkwaliteit met STONE 2.3 resultaten. Wageningen. Alterra-rapport 1816.

Bolt, F.J.E. van der, O.F. Schoumans (eds.), E.M.P.M. van Boekel, P. Bogaart, H.P. Broers, B. van der Griff, C.H.G. Daatselaar, W. van Dijk, P. Groenendijk, A. van den Ham, A.E.J. Hooijboer, A. de Klijne, R.L.M. Schils en T.P. Tol-Leenders, 2012. Ontwikkeling van de bodem- en waterkwaliteit. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex post. Wageningen, Alterra, Alterra-rapport 2318.

Boumans, L.J.M. en B. Fraters, 2011. Nitraatconcentraties in het bovenste grondwater van de zandregio en de invloed van het mestbeleid. Visualisatie afname in de periode 1992 tot 2009. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport.

Breeuwsma, A., 1985. Kleimineralogische en chemische karakteristieken van zeeklei, rivierklei en beekklei. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1869, 34 pp.

Bronswijk, J.J.B., and J.J. Evers-Vermeer. 1990. Shrinkage of Dutch clay soil aggregates. Neth. J. Agric. Sci. (38):175-194.

Crommelin, R.D., 1940. De herkomst van het zand in de Waddenzee. Tijdschr. Kon. Nederl. Aarde. Gen., LVII, pp. 347-361.

Crommelin, R.D., 1943. De herkomst van het waddenslib met korrelgrootte boven 10 micron. Verhand. Geol. Mijnbouwk. Gen. Nederl. en Kolon., Geol. Ser., XIII, pp. 299-333.

Favejee, J.Ch.L., 1951 The origin of the 'Wadden'mud. Meded. Landbouwhogeschool 51, pp. 113-141.

Fraters, B., L.J.M. Boumans T.C. van Leeuwen, J.W. Reijs, 2007. De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven, RIVM rapport 680716002/2007, RIVM.

Groen, K.P., 1997. Pesticide Leaching in Polders: Field and Model Studies on Cracked Clays and Loamy Sand; Proefschrift, Universiteit Wageningen, 1997.

Hendriks, R.F.A., K. Oostindie en W. Hamminga, 1997. Uitspoeling van stikstof bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw. Wageningen, Staring Centrum rapport 594.

Hendriks, R.F.A., K. Oostindie en W. Hamminga, 1999. Simulation of bromide tracer and nitrogen transport in a cracked clay soil with the FLOCR/ANIMO model combination. *J. Hydrol.*, 215: pp. 94-115.

Hooijboer, A.E.J. en A. de Klijne, 2012. Waterkwaliteit op Landbouwbedrijven. Evaluatie Meststoffenwet 2012: deelrapport ex post. Bilthoven, RIVM, RIVM-Rapport 680123001.

Kempen C. en J. Griffioen, 2011. Pyriet in de Nederlandse zeekleigebieden, 1-2 m onder maaiveld. Deltares, rapport 1202900-000.

Klijn, 1997. Vertaaltabel bodem voor MOZART-SMART-DEMNAT, T2178. Delft, Waterloopkundig Laboratorium.

Larsson, M.H. en N.J. Jarvis, 1998. A Dual-Porosity Model to Quantify Macropore Flow Effects on Nitrate Leaching. *JEQ*, Vol. 28 No. 4, pp. 1298-1307.

LNV, 2005. Derde Nederlandse Actieprogramma (2004-2009) inzake de Nitraatrichtlijn. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

LNV, 2009. Vierde Nederlandse Actieprogramma betreffende de Nitraatrichtlijn (2010-2013). Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Den Haag.

Meinardi C.R. en G.A.P.H. van den Eertwegh, 1997. Onderzoek aan drainwater in de kleigebieden van Nederland; Deel II: Interpretatie van de gegevens. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Bilthoven, RIVM Rapport 714801013.

MNP, 2007. Werking van de Meststoffenwet 2006. Publicatienummer 500124001, Milieu en Natuurplanbureau, Bilthoven.

Nitrate Directive, 91/676/EC. Nitraatrichtlijn.

RIVM, 2008. Agricultural practice and water quality in the Netherlands in 1992-2006 period. RIVM report 680716003/2008.

Smelt, J.H., R.F.A. Hendriks, L.J.T. van der Pas, A.M. Matse, A. van den Toorn, K. Oostindië en O.M. van Dijk-Hooijer, 2003. Transport of water, bromide ion, nutrients and the pesticides bentazone and imidacloprid in a cracking, tile-drained soil at Andelst, the Netherlands. Alterra report 289, Alterra, Wageningen, the Netherlands.

Straaten, L.M.J.U. van, 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. *Leidse Geologische Mededelingen*, XIX, pp1-110.

Tiktak, A., J.J.T.I. Boesten, R.F.A. Hendriks en A.M.A. van der Linden, 2010. Losses of plant protection products from tile-drained soils in the Netherlands. Development of a PEARL scenario. RIVM Report 607407003/2010. Bilthoven.

Tiktak, A., R.F.A. Hendriks en J.J.T.I. Boesten, 2012. Simulation of movement of pesticides towards drains with a preferential flow version of PEARL. Pest Management Science Volume 68, Issue 2, pages 290 - 302, February 2012.

Vermooten, J.S.A., L. Vasak, J. Griffioen, G.T. Klaver, R.W. Vernes en H.J.T. Weerts, 2005. Afbakening van het topsysteem voor de kartering van de reactiviteit van de Nederlandse ondergrond. TNO-rapport NITG 05-121-A.

Vos, S.F., S.A. Kroes en K. Kooistra, 2005. Drainage in Fryslân: Inventarisatie van de drainagesituatie in Friesland van nu en in de toekomst. Rapport 0152953-drainageWsFryslan-050405, Oranjewoud.

Vries, F. de, 1999. Karakterisering van Nederlandse gronden naar fysisch-chemische kenmerken. Staring Centrum, Wageningen. Rapport 654.

Vries, F. de, 1994. Een fysisch-chemische karakterisering van de bodemeenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 50 000 met onderscheid naar grondgebruik. Rapport 286, DLO-Staring Centrum, Wageningen.

Vries, F. de, 1993. Een fysisch-chemische karakterisering van de eenheden van de Bodemkaart van Nederland, schaal 1: 250 000. DLO-Staring Centrum, Wageningen. Rapport 265.

Wolf J., A.H.W.Beusen, P. Groenendijk, T. Kroon, R. Rötter, H. van Zeijts, 2003. The integrated modeling system STONE for calculating emissions from agriculture in the Netherlands. Environmental Modelling & Software 18: pp. 597-617.

Wösten, J.H.M., F. de Vries, J. Denneboom en A.F. van Holst, 1988. Generalisatie en bodemfysische vertaling van de bodemkaart van Nederland, 1:250.000, ten behoeve van de PAWN-studie. Stichting voor Bodemkartering, Wageningen. Rapport 2055.

Bijlage 1 Scheurvorming

Het voorkomen van netwerken van grote rijpingsscheuren in de Flevopolders is bekend,, terwijl dat in de andere kleigebieden niet zo is, heeft waarschijnlijk te maken met de ontstaansgeschiedenis van de kleibodems in de Flevopolders. Deze zijn ontstaan door sedimentatie onder water waardoor na droogvallen van de IJsselmeerpolders de slibodem een zeer lage dichtheid en hoog water- en organisch stofgehalte (o.a. verslagen veen) had. Hierdoor werden na verdere ontwatering grote krimpscheuren gevormd die zeer stabiel zijn (Van den Akker et al., 2011). Toch worden deze scheuren geleidelijk kleiner, o.a. door het verdwijnen van de organische stof door afbraak. Tegenwoordig is waarschijnlijk berijding met zware machines een belangrijke oorzaak van versneld minder worden van de scheuren (mondelinge mededeling Jan van den Akker). Deze vermindering is onder andere te merken door de behoefte aan kleinere drainafstanden: de grond wordt minder extreem doorlatend. In veel kleigronden in Nederland komen rijpings- en krimpscheuren voor (Tiktak et al., 2010). Echter door hun grotere ouderdom zijn extreme scheuren als in de Flevopolders waarschijnlijk grotendeels verdwenen.

Scheurvormige macroporiën in kleigronden bevorderen de afvoer van overtollig water aanzienlijk. De verzadigde doorlatendheid van de bodemmatrix van middelzware tot zware kleigronden is zeer gering in de orde van millimeters tot hooguit een centimeter per dag. Door netwerken van scheuren die tot aan de slootwand lopen of tot de diepte van de drains is het mogelijk dat deze kleigronden adequaat kunnen worden ontwaterd. Meestal gaat het dan om drainbuizen.

Bij krimpscheuren zwellen de scheuren in natte tijden weer grotendeels dicht als de matrix verzadigd raakt. Meestal blijven dan haarscheuren bestaan die drainage mogelijk houden. Dit vergt drainafstanden in de orde van 10-20 meter. Bij de rijpingsscheuren in de Flevopolders gaat het echter om permanente scheuren met doorlatendheden van 300-500 m per dag, wat extreem hoog is en waardoor drainafstanden zeer groot kunnen zijn tot wel 48 m (Groen, 1997). Overtollig neerslagwater met opgeloste stoffen kan hiermee snel en effectief worden afgevoerd naar de sloot.

Stoffen moeten dan wel eerst in dat water terechtkomen. In het geval van macroporiën - scheuren maar ook wortel- en regenwormgangen - die van maaiveld tot de drainbuizen lopen, bestaat kortsluiting tussen het bodemoppervlak en de drains. Water zal dan vooral in geval van overschrijding van de infiltratiecapaciteit van de bodemmatrix over het oppervlak naar de macroporiën stromen. Tijdens dat proces moeten stoffen in het water worden opgenomen om in de macroporiën terecht te komen. Ook kunnen de bovenste centimeters verzadigd raken en kan water via dat laagje stoffen opnemen en naar de macroporiën stromen.

Stoffen die gevoelig zijn voor deze vorm van preferent transport zijn aanwezig bovenop het maaiveld of zijn geconcentreerd in de bovenste cm's van het bodemprofiel, zoals net toegediende meststoffen of bestrijdingsmiddelen (bv. Hendriks et al., 1997; Hendriks et al., 1999; Larsson, 1998; Smelt et al., 2003; Tiktak et al., 2012). Zijn stoffen al grotendeels opgenomen in de wat diepere bodem door transport via de matrix met percolerend neerslagwater, dan zijn ze voor een belangrijk deel afgeschermd tegen sneltransport via macroporiën. Over de bodem stromend neerslagwater kan dan geen stoffen opnemen en dat resulteert in *bypass* van 'schoon' water, zonder de betreffende stoffen.

Vooraf stikstofvormen komen in aanmerking voor dit mechanisme. Smelt et al. (2003) vonden aanwijzingen voor dit proces in een gedraineerde, macroporeuze middelzware klei in Andelst

(Gelderland) voor nitraat, maar voor fosfaat en bestrijdingsmiddelen juist sterke aanwijzingen voor preferent transport via macroporiën. Ook (Larsson, 1998) vond voor stikstofuitspoeling dat macroporiën kunnen leiden tot *bypass* van regenwater met lage concentraties, eerder dan bewijs voor preferent transport van nitraat. Oorzaak van dit verschillende gedrag van stoffen bij preferent watertransport via macroporiën die van maaiveld tot drain lopen is waarschijnlijk de mate waarin ze gebonden worden aan de bodemmatrix. Stoffen die sterk binden blijven langer beschikbaar in de bovenste centimeters van de bodem om meegevoerd te kunnen worden met naar macroporiën stromend neerslagwater.

De situatie in de Flevopolders is principieel een andere: de bovenste 35 cm is geploegd waardoor de voormalige structuur van het rijpingsscheurennetwerk volledig is verdwenen (Groen, 1997). Deze bovenste laag bestaat vaak uit lichte tot zware zavel die wel enig scheurgedrag vertonen maar waarvan de aggregaten en kluitjes toch relatief klein zijn (mondelinge mededeling Jan van den Akker). Ook kan er op een diepte van 35-40 cm een slecht doorlatende ploegzool voorkomen die zorgt voor een opbouw van water onderin de bouwvoor (Groen, 1997). Gevolg daarvan is dat door de bovenste laag naar beneden percolerend water groot contact heeft met de bodem, waardoor volop uitwisseling tussen bodem en water van stoffen kan plaatsvinden. Groen (1997) kon daardoor voor kleigronden in de Flevopolders de uitspoeling van een aan maaiveld toegediende bromidetracer goed simuleren met een model waarin het transport door de bovenste laag met een klassieke CDE (Convection Dispersion Equation) benadering werd gesimuleerd en het sneltransport via de rijpingsscheuren met een denkbeeldige drain net onder de bovenste laag met een drainafstand van 0,3 m en daardoor een zeer kleine drainageweerstand.

Dit bromideconcept doorvertalen naar nitraat geeft het volgende beeld: de bouwvoor met stikstof uit bemesting en plantenresten wordt adequaat gedraineerd door het netwerk van rijpingsscheuren en daardoor goed doorlucht. Hierdoor kunnen de zuurstofvragende processen stikstofmineralisatie en nitrificatie redelijk optimaal stikstofverbindingen omzetten in nitraat. Door de grote uitwisseling tussen naar beneden percolerend water en bodemstructuren kan dit water nitraat opnemen uit de bodem. Het afvoeren van het nitraatrijke water door het netwerk van scheuren naar de drains gaat zeer snel met relatief weinig contact met de bodem door het grote volume van de scheuren. Omzetting van nitraat door denitrificatie kan daardoor maar zeer beperkt optreden. Op deze wijze is het mogelijk dat in de Flevopolders daar waar rijpingsscheuren (nog altijd) voorkomen nitraat met hoge concentraties uitspoelt via de drains.

Referenties

Akker, J.J.H. van den, T. Hoogland, H. Hakvoort en F. Stoppenburg, 2011. Berging in kleisheuren in de Flevopolders. Wageningen. Alterra-rapport 1816. Stromingen 16 (2011), nummer 3: 15-31.

Groen, K.P., 1997. Pesticide Leaching in Polders: Field and Model Studies on Cracked Clays and Loamy Sand; Proefschrift, Universiteit Wageningen, 1997

Hendriks, R.F.A., K. Oostindie en W. Hamminga, 1997. Uitspoeling van stikstof bij voorjaars- en najaarstoediening van dierlijke mest in een kleigrond in akkerbouw. Wageningen, Staring Centrum rapport 594.

Hendriks, R.F.A., K. Oostindie en W. Hamminga, 1999. Simulation of bromide tracer and nitrogen transport in a cracked clay soil with the FLOCR/ANIMO model combination. J. Hydrol., 215: 94-115.

Larsson, M.H. en N.J. Jarvis, 1998. A Dual-Porosity Model to Quantify Macropore Flow Effects on Nitrate Leaching. *JEQ*, Vol. 28 No. 4, *p. 1298-1307*

Smelt, J.H., R.F.A. Hendriks, L.J.T. van der Pas, A.M. Matser, A. van den Toorn, K. Oostindië en O.M. van Dijk-Hooijer, 2003. Transport of water, bromide ion, nutrients and the pesticides bentazone and imidacloprid in a cracking, tile-drained soil at Andelst, the Netherlands. Alterra report 289, Alterra, Wageningen, the Netherlands.

Tiktak, A., J.J.T.I. Boesten, R.F.A. Hendriks and A.M.A. van der Linden, 2010. Losses of plant protection products from tile-drained soils in the Netherlands. Development of a PEARL scenario. RIVM Report 607407003/2010. Bilthoven.

Tiktak, A., R.F.A. Hendriks en J.J.T.I. Boesten, 2012. Simulation of movement of pesticides towards drains with a preferential flow version of PEARL. *Pest Management Science* Volume 68, Issue 2, pages 290 - 302, February 2012.

Bijlage 2 Kleimineralogische samenstelling zeekleigebieden

Inleiding

Met behulp van de literatuur, geselecteerd voor een review van de geochemie van de Nederlandse ondergrond en nieuwe zoekopdrachten op Google en in Omega (zoekprogramma van bibliotheek van Universiteit Utrecht), is gekeken of er literatuur bestaat over de kleimineralogie van de zeekleigebieden. Er is literatuur gevonden over de herkomst en mineralogische samenstelling van het slib afgezet op schorren in Zeeland en het Waddengebied (Favejee, 1951, verwerkt in tabel 25) en de zeeklei in Friesland/Groningen, West-Friesland en Zeeland (Breeuwsma, 1985, verwerkt in tabel 26).

Kleimineralogie

Op basis van de beperkte literatuur wordt ervan uitgegaan dat de zeekleigebieden (Friesland/Groningen en Zeeland) eenzelfde herkomst en samenstelling hebben als de klei in de Wadden en de Zeelandse schorren (Favejee, 1951). Breeuwsma (1985) geeft in de tabel wel de kleimineralogische samenstelling van de zeeklei van Friesland/Groningen, maar niet die West-Friesland en Zeeland. In zijn rapport wordt steeds gesproken over de verschillen tussen zeeklei en rivier- en beekklei, en dit suggereert dat de zeeklei uit de geanalyseerde gebieden (Friesland/Groningen, West-Friesland en Zeeland) een uniforme samenstelling heeft in tegenstelling tot de rivier- en beekklei.

In tabel 26 (Breeuwsma, 1985) is een compilatie van een aantal deelonderzoeken van rivier- en zeeklei weergegeven. Hierbij is naast de kleimineralen ook gekeken naar de gehalten aan 'vrije oxiden' SiO₂, Al₂O₃ en Fe₂O₃, kwarts en veldspaten. De kleimineralen in de lutumfractie werden bepaald op basis van vier röntgendiffractie curven (luchtdroog, behandeld met glycerine en verhitting op 350 en 450°C). Hierdoor kon ook de aanwezigheid van de wissellaagmineralen (zoals smectiet-illiet, illiet-chloriet, e.d.) aangetoond worden. In het onderzoek werden 55 zeekleimonsters uit Friesland/Groningen, West-Friesland en Zeeland bekeken. In vergelijking met Favejee (1951) is in de zeeklei ook smectiet en chloriet aangetoond, dit komt omdat het protocol van Favejee (1951) door Breeuwsma (1985) uitgebreid is met drie andere metingen (naast luchtdroog ook behandeld met glycerine, verhitting op 350 en 450°C). In het rapport van Breeuwsma (1985) wordt steeds gesproken over de verschillen tussen zeeklei en rivierklei, dit suggereert dat de zeeklei een uniforme samenstelling heeft in tegenstelling tot de rivier- en beekklei.

De resultaten voor de vrije oxiden geven aan dat de zeeklei uit Friesland/Groningen, West-Friesland en Zeeland goed vergelijkbaar zijn en duidelijk verschillen van de rivier- en beekkleien. Het vrije ijzer in zeeklei is duidelijk lager en het silicaat gehalte hoger (tabel 26). De zoute kleien uit een getijdenafzetting in zowel de kleiner dan 2µm en vooral de kleiner dan 0.4µm fractie hebben een veel hoger ijzer gehalte dan de zoete kleien uit getijden afzettingen (tabel 27).

Herkomst en samenstelling van marien slib en zand

Voor de herkomst van het sediment zijn niet alleen de < 0.5 µm, 0.5-2 µm en 2-10 µm fracties bestudeerd met XRD analyses door Favejee (1951), maar ook de 10-40 µm fracties van het slib bekeken door microscopisch herkenning (Crommelin, 1943).

Daarnaast is ook de herkomst van het zand uit het Waddengebied onderzocht met de zware mineralenmethode volgens Edelman (Baak, 1936 en Crommelin, 1940).

De uitkomsten van deze onderzoeken zijn allemaal hetzelfde: de zanden en het slib hebben een mariene herkomst en zijn vanuit de Noordzee door de getijdeninlaten in de Waddenzee naar binnen gebracht en niet door de rivieren de Ems, Weser en Elbe of de Rijn. Van Straaten (1954) geeft aan dat dit het ook het geval is met de zanden in de estuaria van Holland en Zeeland. Het slib langs de Nederlandse kust heeft hierbij een uniforme samenstelling.

De mineralogische samenstelling van het onderzochte slib uit de Noordzee, Waddenzee en de estuaria van Zeeland is weergegeven in tabel 25 (Favejee, 1951). Het grootste gedeelte van de $< 0.5\mu\text{m}$ en de $0.5\text{-}2\ \mu\text{m}$ fracties bestaat uit illiet en kwarts en de $2\text{-}10\ \mu\text{m}$ fractie bestaat ook vooral uit kwarts. De hoeveelheid kwarts neemt af met de korrelgrootte, terwijl de hoeveelheid illiet toeneemt. De rest bestaat uit kaoliniet, montmorilloniet, carbonaten, muscoviet, veldspaten, ijzercomponenten en organisch materiaal. Er kan geen duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen het slib van de Waddenzee, Ooster- en Westerschelde, de Noordzeebodem en het zwevende stof uit de getijdeninlaten. Tabel 25 laat wel zien dat er een duidelijk verschil is tussen het mariene en fluviatiele slib. Het fluviatiele slib is armer in montmorilloniet en laat sterk wisselende percentages kaoliniet en kwarts zien.

Conclusie

Op grond van de beperkte, beschikbare literatuur, moeten we ervan uitgaan dat er geen verschillen bestaan tussen de kleimineralogische samenstelling van de zeeklei in Friesland/Groningen, West-Friesland (Noord-Holland) en Zeeland.

Referenties

Baak, J.A., 1936. Regional petrology of the Southern North Sea. Thesis Leiden. Veenman & Zonen, Wageningen 128 pp.

Breeuwsma, A., 1985. Kleimineralogische en chemische karakteristieken van zeeklei, rivierklei en beekklei. Stichting voor Bodemkartering, rapport nr. 1869, 34 pp.

Crommelin, R.D., 1940. De herkomst van het zand in de Waddenzee. Tijdschr. Kon. Nederl. Aarde. Gen., LVII, 347-361.

Crommelin, R.D., 1943. De herkomst van het waddenslib met korrelgrootte boven 10 micron. Verhand. Geol. Mijnbouwk. Gen. Nederl. en Kolon., Geol. Ser., XIII, pp. 299-333.

Favejee, J.Ch.L., 1951. The origin of the 'Wadden' mud. Mededeling Landbouwhogeschool 51, pp. 113-141.

Straaten, L.M.J.U. van, 1954. Composition and structure of recent marine sediments in the Netherlands. Leidse Geologische Mededelingen, XIX, pp. 1-110.

Tabel 26

Mineralogische samenstelling van de fracties < 0.5 µm, 0.5-2 µm en 2-10 µm van verschillende soorten slib (Favejee, 1951).

I : recent waddenslib van landwinnings langs de Groningse Kust

II : slib uit zeewater in de getijdeninlaten van de Waddenzee

III : monsters uit de bodem van de Noordzee, Z en ZE van de Doggersbank en in de Duitse Bocht

IV : slib uit rivier water, a) Eems, b) Weser, c) Elbe, d) Rijn

V : oude kleibanen in de Waddenzee

VI : slib uit de Waddenzee, a) mosselbanken, b) slib met schelpenfragmenten, c) mosselpellets

VII: slib van het Wantij, ten zuiden van Schiermonnikoog

VIII: slib van Schorren in Zeeland

Herkomst slib		Fractie < 0.5µm				Fractie 0.5-2µm				Fractie 2-10µm				
		illiet	kaol.	montm.	kwarts	illiet + musc.	kaol.	montm.	kwarts	illiet + musc.	kaol.	montm.	kwarts	Veld spaat
Waddenzee	I	± 80	5-10	± 10	± 4	50-60	5-10	5-10	± 30					
Waddenzee	Vla	80-90	5-10	± 5	± 4									
Waddenzee	Vlb	80-90	± 5	5-10	24	50-60	± 10	5-10	25-30	± 30	± 5	± 5	50-60	± 5
Waddenzee	Vlc	80-90	± 5	3-5	± 6	± 60	± 5	± 5	± 30					
Waddenzee	VII	± 80	5-10	5-10	± 6	± 60	5-10	± 5	± 30					
Waddenzee	V	± 80	5-10	5-10	± 4	± 60	5-10	± 5	± 25	± 60	5-10	± 5	± 50	5-10
Waddenzee	II	80-90	5-10	± 5	4-6	± 60	5-10	± 5	± 30	20-30	± 5	± 5	± 60	5-10
Noordzee	III	80-90	5-10	3-5	± 2	± 50	± 15	5-10	± 30	± 20	± 10	± 5	± 50	± 10
Zeeland	VIII	80-90	± 5	5-10	24	± 60	± 10	5-10	± 25					
Rivierklei	IVa	> 95	-	< 3	< 1	> 90	< 1	< 3	> 50	> 50	< 1	< 3	> 90	< 1
Rivierklei	IVb	± 90	3-5	< 3	± 5	± 60	± 5	± 5	30-40	± 30	3-5	< 3	± 60	± 5
Rivierklei	IVc	70-80	5-10	< 3	± 15									
Rivierklei	IVd	80-90	± 10	< 3	± 5	40-50	± 10	± 5	± 40					

Tabel 27

Mineralogische samenstelling in (gewicht procenten) van de lutumfracties van de belangrijkste Holocene kleiafzettingen in Nederland, na verwijdering van humus, carbonaten en sulfiden (Breeuwsma, 1985).

Afzetting	Kleimineralen					"Vrije" Oxiden ³			Kwarts	Veldspaten
	Kaolinet ²	Illiet ¹	Vermiculiet ¹	Smectiet ¹	Chloriet ¹	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃		
Rivierklei										
Rijn-uitewaarden	5-10	35-40	10-20	10-15	5-10	3,43	1,44	4,30	5-10	<5
Rijn-subatlantisch	5-10	30-40	10-20	15-20	<5	4,69	2,24	3,32	5-10	<5
Rijn-subboraal	5-10	30-35	5-10	30-35	<5	4,76	1,84	3,48	5-10	<5
Maas	5-10	30-35	5-10	30-35	<5	3,88	1,66	3,89	5-10	<5
'Beekklei, Oost-Nederland'	5-10	<10	<5	50-80	0-20 ⁴	5-20	2,45	3,40	5-10	<5
Zeeklei										
Zoete-getijdenafzettingen	5-10	35-40	10-20	10-15	5-10	2,57	1,33	3,25	5-10	<5
Zoute-getijdenafzettingen						4,61	1,07	3,06	5-10	<5
Friesland/Groningen	5-10	30-40	<5	30-40	<5	7,12	1,16	2,52	5-10	<5
West-Friesland						7,39	0,62	2,16	5-10	<5
Zeeland						5,52	1,03	2,81	5-10	<5

- 1) De schatting heeft betrekking op het totaal aantal lagen in kleimineralen. Smectiet en ook vermiculiet komen alleen voor als componenten van wissellaag mineralen met illiet. Bij chloriet is dit voor een deel het geval.
- 2) Langs chemische weg bepaald, na koken met 0,5 N loog.
- 3) Langs chemische weg bepaald. Bij SiO₂ en Al₂O₃ na koken met N loog, bij Fe₂O₃ na behandeling met een dithioniet-citraat-bicarbonaat mengsel.
- 4) Secundaire chloriet.

Tabel 28

Chemische samenstelling (in gewichtpercenten) van twee representatieve monsters van een zoute en zoete klei uit getijdenafzettingen (Breeuwsma, 1985). X: in het bulk monster is het ijzer verwijderd; XX: inclusief FeO.

Element	Fractie < 2µm ^X		Fractie <0.4µm ^X	
	W23 zout	W30 zoet	W23 zout	W30 zoet
SiO ₂	47,3	46,4	53,2	52,8
Al ₂ O ₃	19,7	23,0	19,6	21,9
Fe ₂ O ₃	7,10	4,34	12,0	7,54
FeO	0,55	0,84	Niet bepaald	Niet bepaald
MgO	3,32	3,69	4,57	4,53
K ₂ O	3,22	3,52	2,21	2,72

Bijlage 3 Bodemtypen

Indeling in zes klassen weergegeven: 1 (zandgrond), 2 (moerige grond en enkeerdgrond), 3(veengrond en drechtvaaggrond), 4 (mariene klei), 5 (klei knippig) en 6 (cluster)

Tabel 29

Bodemtypen met bijbehorende code en omschrijving volgens de bodemkaart 1:50.000, geclusterd naar de verschillende klassen.

Bodemtypen	Code	Omschrijving	Aantal	Klasse
cHn	cHn	laarpodzol	1	1
gMn	gMn	knippig, poldervaaggrond	13	5
Hn	Hn	veldpodzol		1
hV	hV	voopveen		3
kV	kV	vaardveen	1	3
Mn	Mn	poldervaaggrond	37	4
Mv	Mv	drechtvaaggrond	4	3
pV	pV	weideveen		3
pZn	pZn	gooreerdgrond		1
zEZ	zEZ	zwarte enkeerdgrond	1	2
Zn	Zn	vlakvaaggrond	3	1
zWp	zWp	moerige podzolgrond		2
kMn	kMn	knipgrond, poldervaaggrond	9	5
Mo	Mo	niet-gerijpt slibvaaggrond		4
pMn	pMn	zeeklei, leek-/woudeerdgrond	5	4
kWz	kWz	moerige eerdgrond zavel- of kleidek	1	4
U15T	Mn	poldervaaggrond	1	6
Sn	Sn	vlakvaaggrond		1
U370				6
U5354	Mn			6
U0708			2	6
Wo	Wo	niet gerijpt zavel of klei, plaseerdgrond	2	4
U4849	Mn		1	6
U1419				6
U37W	Zd			6
U09T				6
pMo	pMo	niet gerijpt, tochteerdgrond		4
U2425			1	6
U4248	Aem	geëgaliseerde zeekleigronden met plaatselijk veen		6
Aep	Aep	geëgaliseerde en verwerkte zeekleigronden, gerijpt	2	4
U1318	Hn		1	6
U2021				6
vWp	vWp	moerige podzolgrond		2
U1920	pMo	niet-gerijpt	1	6
U07W	Mo	niet-gerijpt		6
U43W	nMo	niet-gerijpt		6
AZW	AZW	zeekleigronden Wieringermeer		6

Bijlage 4 Overzicht van de gebruikte dataset met bijbehorende diepten

Tabel 30

Per geotopgebied de gebruikte dataset en de maximale diepte van de gegevens.

Geotopgebied	Gebruikte dataset(s)	Diepte
1a (Zeeland)	gegevens Gunnink + dataset van Van der Veer (2006) + dataset Bakker et al. (2007)	tot 51 m-mv
1b (Holland)	gegevens Van Gaans et al. (2007)	tot 37 m-mv
1c (duinen)	5 ondiepe monsters uit dataset Van der Veer (2006)	tot 1,1 m-mv
1d (Zeeland)	gegevens Gunnink (drie boringen) + één ondiep monster uit dataset van Van der Veer (2006)	tot 30 m-mv
2a	gegevens Van Gaans et al. (2007)	tot 37 m-mv
2b/3a/3b	gegevens toetsdiepte nitraat (midden Nederland)*	tot 8 m-mv
2c	gegevens Van der Veer (2006)	tot 1,1 m-mv
3c	gegevens Van der Veer (2006)	tot 1,1 m-mv
4a1, 4a1, 4b, 4c, 4d1, 4d2	gegevens Bakker et al. (2007), Klein en Griffioen (2008)	< 50 m-mv
4a2, 4d2	gegevens Van der Veer (2006)	tot 1,1 m-mv
5a1, 5a2, 5b1, 5b2, 5c1, 5c2	gegevens Klein en Griffioen (2010)	tot 36 m-mv
6a, 6b	gegevens toetsdiepte nitraat (midden Nederland)*	tot 8 m-mv
7a, 7b	worden buiten beschouwing gelaten (löss-krijtgebied)	-

* Voor het onderzoek van toetsdiepte nitraat (Groenendijk et al., 2008) zijn in Midden- en Oost Nederland nieuwe boringen gezet en de monsters zijn geanalyseerd. Van deze gegevens is gebruik gemaakt.

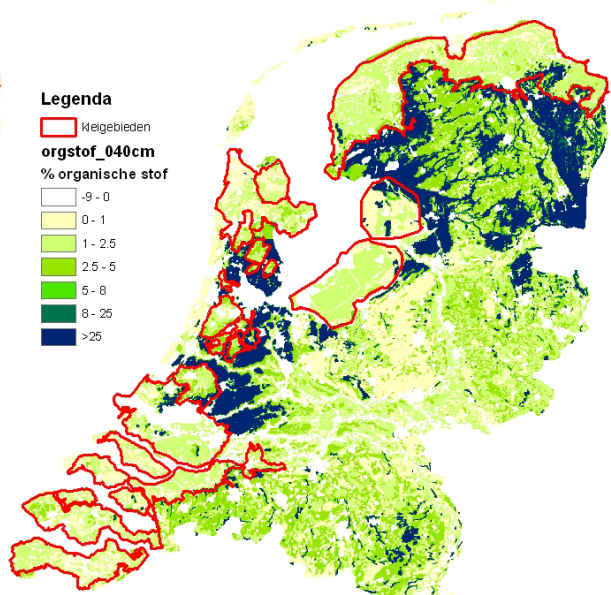
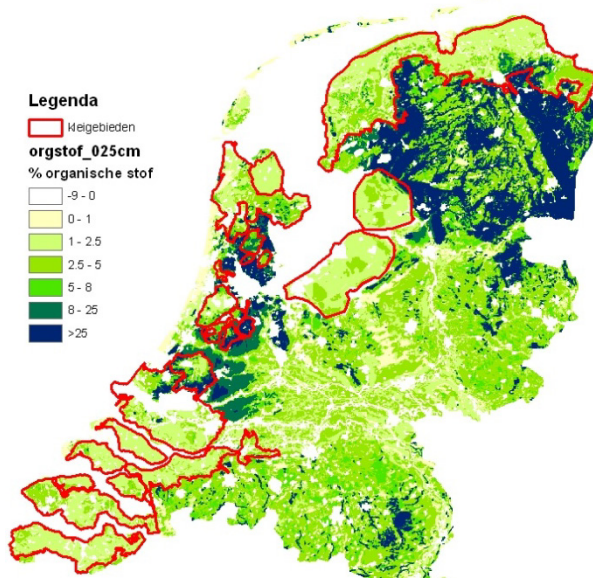
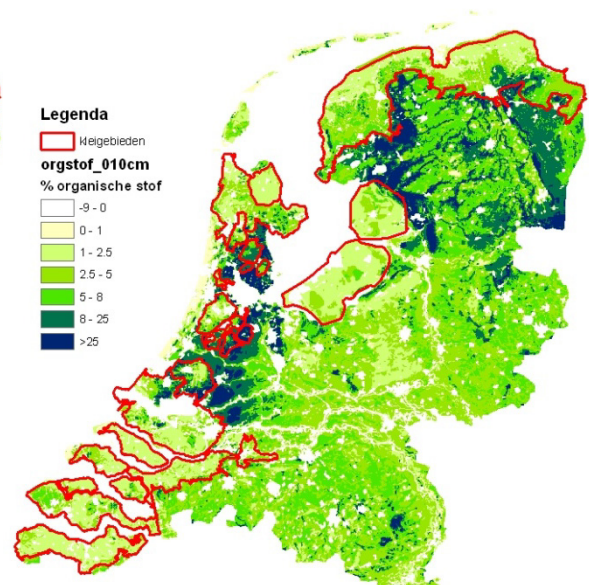
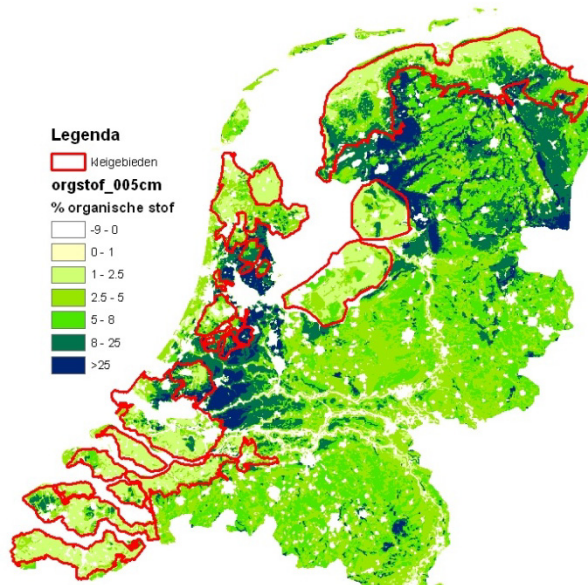
Bijlage 5 Pyrietgehalten niet relevante topsystemen

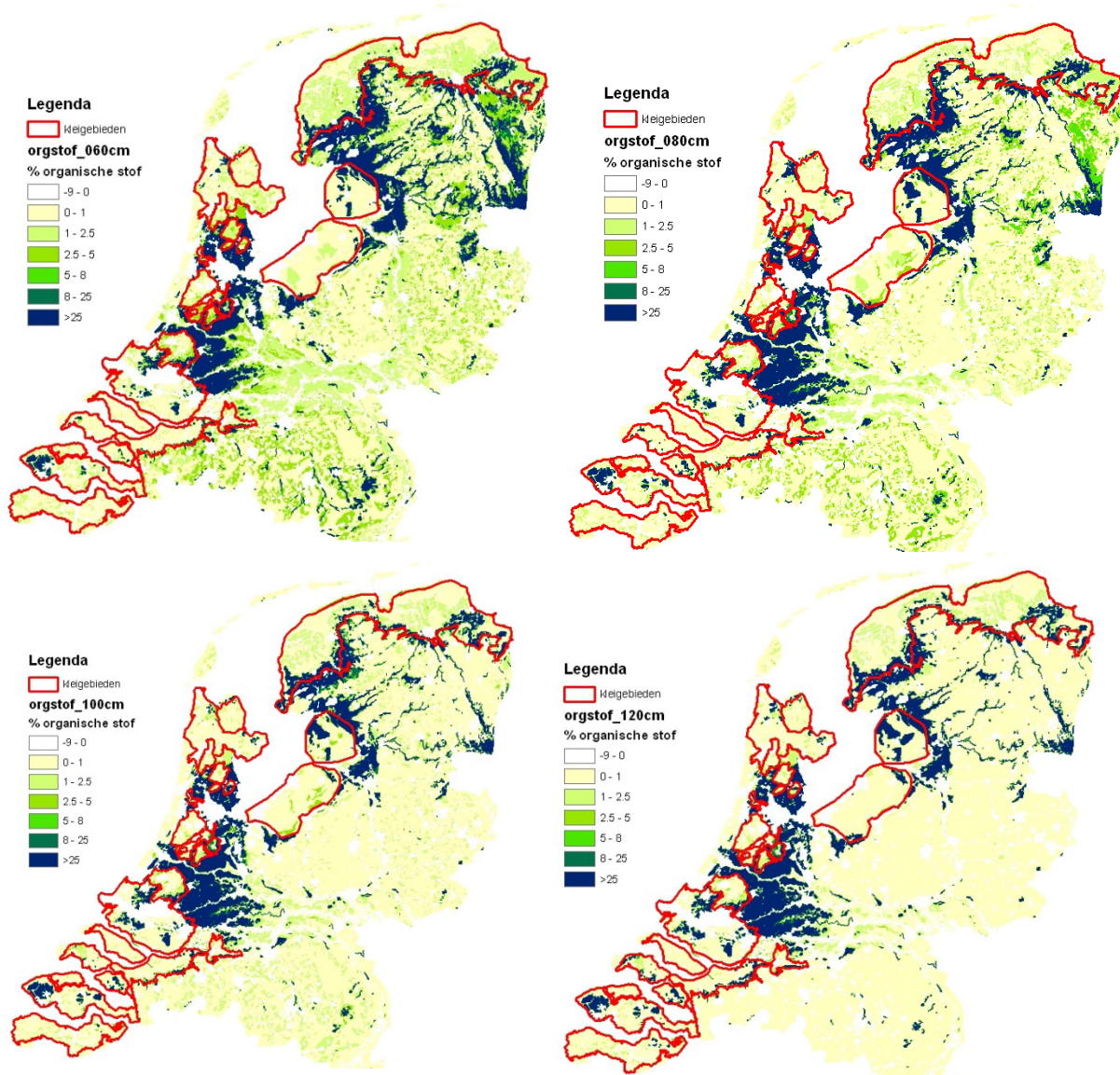
Tabel 31

Aantal gebruikte monsters en hun gemiddelde pyrietwaarden voor de diepte 1-2m-mv.

Topsysteem	Aantal monsters			Gemiddelde		
	Klei/Leem	Veen	Zand	Klei/Leem	Veen	Zand
1a, 1d, 4d2	15	2	6	0,41	1,88	0,27
1b	14	11	8	1,26	4,95	0,40
1c	1	-	4	0,04	-	0,04
2a	67	29	27	0,55	1,61	0,22
2b	1	1	18	0,09	0,45	0,09
2c, 3c	45	34	11	0,98	2,64	0,21
3a	-	-	7	-	-	0,09
3b	-	-	10	-	-	0,09
4a1	2	-	11	0,42	-	0,09
4a2	3	-	8	0,04	-	0,06
4b	12	8	36	0,11	1,37	0,06
4c	-	-	6	-	-	0,04
4d1	24	-	55	0,05	-	0,06
5a1	25	-	33	0,09	-	0,09
5a2, 5b2	39	9	19	0,40	2,64	0,82
5b1	-	4	4	-	1,90	0,12
5c1	5	-	13	0,09	-	0,09
5c2	7	10	9	0,09	4,70	0,09
5c3	1	-	14	0,04	-	0,09
6a	-	-	12	-	-	0,09
6b	1	-	8	0,09	-	0,10

Bijlage 6 Organisch stofgehalte (%) voor de verschillende stofgehalten

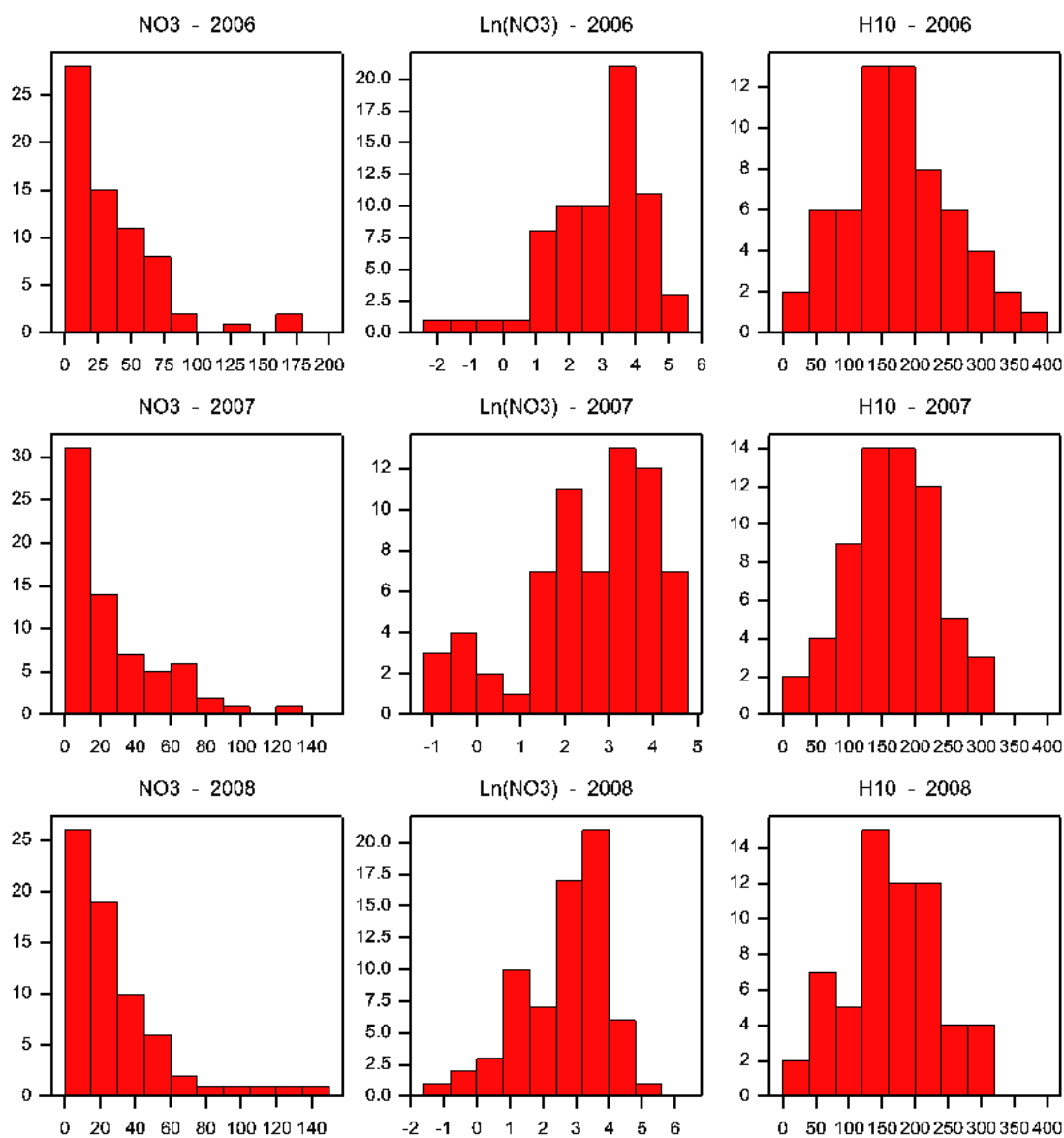




Figuur 25

Organisch stofgehalte voor de lagen 5, 10, 25, 40, 60, 80, 100 en 120cm-mv in Nederland.

Bijlage 7 Histogram nitraatconcentraties en stikstofbodemoverschot



Figuur 26

Histogrammen van de NO₃-concentratie op oorspronkelijke schaal en op Log-schaal, en histogrammen van het stikstofbodemoverschot H10 apart voor de jaren 2006, 2007 en 2008.

Bijlage 8 Gt-klassen LMM-bedrijven

Tabel 32

Gt-klasse voor de LMM-bedrijven op basis van de 1:50.000 bodemkaart en de RIVM-database.

	1:50.000 bodemkaart	I	II	II*	III	III*	IV	V	V*	VI	VII	VIII	VIII*
	Onbekend	Nat					Midden				Droog		
RIVM- database													
I		-	-	-	-	-							
II		-	9	-	3	-							
II*		-	-	-	-	-							
III		-	3	-	6	-							
III*		-	-	-	-	-				2			
IV							5	-	-	-			
V	5				6		-	54	-	-			
V*					3		-	3	29	3			
VI	1						-	-	2	64			
VII							3			1	-	-	-
VII*											-	-	-
VIII											-	-	-
Totaal	6		12		18		8	57	31	71			

Tabel 33

Aantal LMM-bedrijven binnen de cluster 'nat', 'midden' en 'droog'

	Nat	Midden	Droog	Onbekend
Nat	21	2	-	-
Midden	9	160	-	6
Droog	-	4	-	-

Uit de tabel volgt dat voor 167 bedrijven (82%) de dominante Gt-klasse voor beiden methoden exact overeenkomt. Als niet gekeken wordt naar de Gt-klasse, maar naar de categorieën (droog, midden en nat) komen 89% van de bedrijven overeen. Voor 21 bedrijven zijn verschillen gevonden, waarvan zes bedrijven een onbekende Gt-klasse heeft (op basis van de overlay). Voor de analyse is uiteindelijk gebruik gemaakt van de indeling die volgt uit de RIVM-database.

Bijlage 9 Resultaten statistische analyses

Resultaten 'All possible subset selecton' voor verschillende factoren in 2006

Best subsets with 1 term

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
45.22	15.62	3	.000	-	-	-	-	-	-	-	-
25.09	40.10	3	-	-	-	-	.000	-	-	-	-
21.27	45.21	5	-	-	-	.002	-	-	-	-	-
20.78	45.13	2	-	-	.000	-	-	-	-	-	-
15.91	51.27	3	-	.003	-	-	-	-	-	-	-
8.01	60.95	2	-	-	-	-	-	-	.019	-	-
<0.00	72.92	2	-	-	-	-	-	-	-	.766	-
<0.00	73.12	2	-	-	-	-	-	-	-	-	.967

Best subsets with 2 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
53.27	9.63	7	.000	-	-	.017	-	-	-	-	-
53.09	7.94	5	.000	.007	-	-	-	-	-	-	-
52.31	7.92	4	.000	-	.004	-	-	-	-	-	-
48.18	13.69	5	.000	-	-	-	.089	-	-	-	-
44.49	17.26	4	.000	-	-	-	-	-	-	.594	-
44.47	17.29	4	.000	-	-	-	-	-	.610	-	-
44.29	17.50	4	.000	-	-	-	-	.760	-	-	-
44.25	17.55	4	.000	-	-	-	-	-	-	-	.817

Best subsets with 3 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
58.72	4.56	8	.000	-	.008	.025	-	-	-	-	-
57.66	6.78	9	.000	-	-	.008	.035	-	-	-	-
57.33	7.13	9	.000	.042	-	.073	-	-	-	-	-
53.11	10.75	8	.000	-	-	.015	-	-	-	.367	-
52.66	11.24	8	.000	-	-	.017	-	-	-	-	.549
52.63	9.41	6	.000	.316	.482	-	-	-	-	-	-
52.34	9.74	6	.000	.007	-	-	-	.667	-	-	-
52.34	11.59	8	.000	-	-	.021	-	-	.861	-	-

Best subsets with 4 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
59.88	5.47	10	.000	-	.062	.013	.191	-	-	-	-
58.74	5.60	9	.000	-	.005	.021	-	.315	-	-	-
58.72	5.63	9	.000	-	.005	.019	-	-	.321	-	-
58.21	8.30	11	.000	.278	-	.039	.233	-	-	-	-
57.92	6.49	9	.000	-	.013	.027	-	-	-	.781	-
57.88	6.54	9	.000	-	.011	.037	-	-	-	-	.877
57.43	8.07	10	.000	-	-	.007	.039	-	-	.394	-
57.16	8.35	10	.000	.030	-	.060	-	.373	-	-	-

Resultaten 'All possible subset selecton' voor verschillende factoren in 2007

Best subsets with 1 term

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
43.18	26.38	3	.000	-	-	-	-	-	-	-	-
31.04	43.67	2	-	-	.000	-	-	-	-	-	-
21.04	58.48	3	-	-	-	-	.000	-	-	-	-
17.94	62.97	3	-	.001	-	-	-	-	-	-	-
17.14	64.06	5	-	-	-	.005	-	-	-	-	-
6.39	80.01	2	-	-	-	-	-	-	.027	-	-
0.31	88.97	2	-	-	-	-	-	-	-	-	.279
<0.00	90.51	2	-	-	-	-	-	-	-	.457	-

Best subsets with 2 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
59.31	3.99	4	.000	-	.000	-	-	-	-	-	-
52.34	14.76	5	.000	.002	-	-	-	-	-	-	-
46.96	23.69	7	.000	-	-	.100	-	-	-	-	-
44.73	24.13	3	-	-	.000	-	-	-	.000	-	-
43.77	26.14	4	.000	-	-	-	-	-	-	.208	-
43.18	27.59	5	.000	-	-	-	.374	-	-	-	-
43.09	27.11	4	.000	-	-	-	-	-	-	-	.344
42.86	27.43	4	.000	-	-	-	-	-	.414	-	-

Best subsets with 3 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
60.92	3.78	6	.000	.121	.001	-	-	-	-	-	-
60.05	7.01	8	.000	-	.000	.294	-	-	-	-	-
59.57	4.62	5	.000	-	.000	-	-	.245	-	-	-
58.79	5.72	5	.000	-	.000	-	-	-	.603	-	-
58.76	5.76	5	.000	-	.000	-	-	-	-	.634	-
58.62	5.95	5	.000	-	.000	-	-	-	-	-	.845
58.12	7.63	6	.000	-	.000	-	.838	-	-	-	-
53.49	16.58	9	.000	.012	-	.263	-	-	-	-	-

Best subsets with 4 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
62.09	6.44	10	.000	.096	.001	.236	-	-	-	-	-
60.44	6.49	8	.000	.080	.000	-	.521	-	-	-	-
60.38	5.54	7	.000	.124	.001	-	-	-	-	.628	-
60.36	5.58	7	.000	.129	.001	-	-	-	.653	-	-
60.36	5.58	7	.000	.219	.001	-	-	.653	-	-	-
60.29	5.67	7	.000	.121	.001	-	-	-	-	-	.739
59.84	8.30	9	.000	-	.000	.369	-	.400	-	-	-
59.75	8.41	9	.000	-	.000	.263	-	-	-	.440	-

Resultaten 'All possible subset selecton' voor verschillende factoren in 2008

Best subsets with 1 term

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
43.18	26.38	3	.000	-	-	-	-	-	-	-	-
31.04	43.67	2	-	-	.000	-	-	-	-	-	-
21.04	58.48	3	-	-	-	-	.000	-	-	-	-
17.94	62.97	3	-	.001	-	-	-	-	-	-	-
17.14	64.06	5	-	-	-	.005	-	-	-	-	-
6.39	80.01	2	-	-	-	-	-	-	.027	-	-
0.31	88.97	2	-	-	-	-	-	-	-	-	.279
<0.00	90.51	2	-	-	-	-	-	-	-	.457	-

Best subsets with 2 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
59.31	3.99	4	.000	-	.000	-	-	-	-	-	-
52.34	14.76	5	.000	.002	-	-	-	-	-	-	-
46.96	23.69	7	.000	-	-	.100	-	-	-	-	-
44.73	24.13	3	-	-	.000	-	-	-	.000	-	-
43.77	26.14	4	.000	-	-	-	-	-	-	.208	-
43.18	27.59	5	.000	-	-	-	.374	-	-	-	-
43.09	27.11	4	.000	-	-	-	-	-	-	-	.344
42.86	27.43	4	.000	-	-	-	-	-	.414	-	-

Best subsets with 3 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
60.92	3.78	6	.000	.121	.001	-	-	-	-	-	-
60.05	7.01	8	.000	-	.000	.294	-	-	-	-	-
59.57	4.62	5	.000	-	.000	-	-	.245	-	-	-
58.79	5.72	5	.000	-	.000	-	-	-	.603	-	-
58.76	5.76	5	.000	-	.000	-	-	-	-	.634	-
58.62	5.95	5	.000	-	.000	-	-	-	-	-	.845
58.12	7.63	6	.000	-	.000	-	.838	-	-	-	-
53.49	16.58	9	.000	.012	-	.263	-	-	-	-	-

Best subsets with 4 terms

Adjusted	Cp	Df	Regio	Land1	Land2	nPAWN	fgw3	H10	kwel	lnos	lnpyr
62.09	6.44	10	.000	.096	.001	.236	-	-	-	-	-
60.44	6.49	8	.000	.080	.000	-	.521	-	-	-	-
60.38	5.54	7	.000	.124	.001	-	-	-	-	.628	-
60.36	5.58	7	.000	.129	.001	-	-	-	.653	-	-
60.36	5.58	7	.000	.219	.001	-	-	.653	-	-	-
60.29	5.67	7	.000	.121	.001	-	-	-	-	-	.739
59.84	8.30	9	.000	-	.000	.369	-	.400	-	-	-
59.75	8.41	9	.000	-	.000	.263	-	-	-	.440	-

Bijlage 10 Stikstofbalansen

Noordoostelijk zeekleigebied

INPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N	OUTPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N
Atm. Depositie		11	6	Gewasopname		233	147
Bemesting	75	157	67	Bruto mineralisatie	285		
Gewasresten	154			Nitrificatie		180	
Incorporatie	40			Denitrificatie			85
Netto mineralisatie		245		Maaiveldafspoeling	0	0	0
Nitrificatie			180	Afvoer naar:			
Infiltratie van:				- 5 ^e niveau	0	0	1
- 3 ^e niveau	0	0	0	- drainbuizen	1	0	12
- 2 ^e niveau	0	0	0	- 3 ^e niveau	0	0	0
- 1 ^e niveau	0	0	0	- 2 ^e niveau	0	0	1
Kwel	0	1	0	- 1 ^e niveau	0	0	0
				Wegzijging	0	0	0
Totaal INPUT	268	414	253	Totaal OUTPUT	287	414	249
Voorraadverandering vaste deel / complex					0	0	
Voorraadverandering opgeloste deel					-19	0	4

Noordwestelijk zeekleigebied

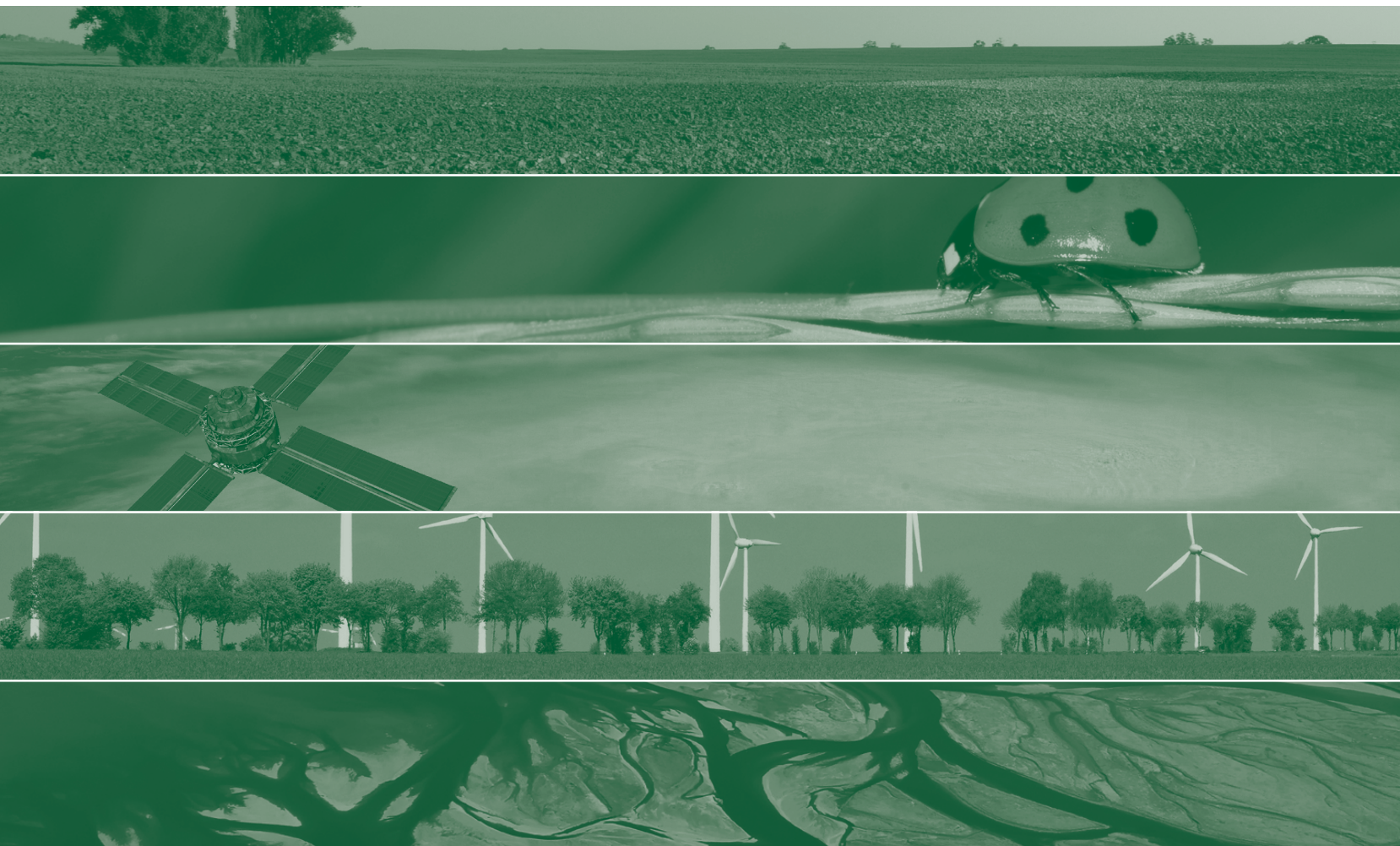
INPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N	OUTPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N
Atm. Depositie		9	8	Gewasopname		156	133
Bemesting	48	132	71	Bruto mineralisatie	208		
Gewasresten	110			Nitrificatie		160	
Incorporatie	33			Denitrificatie			78
Netto mineralisatie		175		Maaiveldafspoeling	0	0	0
Nitrificatie			160	Afvoer naar:			
Infiltratie van:				- 5 ^e niveau	0	0	1
- 3 ^e niveau	0	0	0	- drainbuizen	2	9	20
- 2 ^e niveau	0	0	0	- 3 ^e niveau	0	0	0
- 1 ^e niveau	0	0	0	- 2 ^e niveau	0	2	1
Kwel	1	17	2	- 1 ^e niveau	0	3	1
				Wegzijging	0	0	0
Totaal INPUT	193	332	241	Totaal OUTPUT	211	332	239
Voorraadverandering vaste deel / complex					-1	0	
Voorraadverandering opgeloste deel					-18	0	2

Centraal zeeleigebied

INPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N	OUTPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N
Atm. Depositie		10	8	Gewasopname		98	140
Bemesting	43	123	71	Bruto mineralisatie	168		
Gewasresten	69			Nitrificatie		179	
Incorporatie	25			Denitrificatie			98
Netto mineralisatie		143		Maaiveldafspoeling	0	0	0
Nitrificatie			179	Afvoer naar:			
Infiltratie van:				- 5 ^e niveau	0	0	1
- 3 ^e niveau	0	0	0	- drainbuizen	2	4	23
- 2 ^e niveau	0	0	0	- 3 ^e niveau	0	1	0
- 1 ^e niveau	0	0	0	- 2 ^e niveau	0	1	0
Kwel	2	9	1	- 1 ^e niveau	0	1	0
				Wegzijging	0	0	1
Totaal INPUT	140	286	258	Totaal OUTPUT	172	286	268
Voorraadverandering vaste deel / complex					0	0	
Voorraadverandering opgeloste deel					-32	0	-10

Zuidwestelijk zeeleigebied

INPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N	OUTPUT (kg.ha ⁻¹ N)	Org-N	NH4-N	NO3-N
Atm. Depositie		10	9	Gewasopname		106	138
Bemesting	47	130	71	Bruto mineralisatie	176		
Gewasresten	68			Nitrificatie		180	
Incorporatie	31			Denitrificatie			97
Netto mineralisatie		145		Maaiveldafspoeling	0	0	0
Nitrificatie			180	Afvoer naar:			
Infiltratie van:				- 5 ^e niveau	0	0	1
- 3 ^e niveau	0	0	0	- drainbuizen	1	2	23
- 2 ^e niveau	0	0	0	- 3 ^e niveau	0	0	0
- 1 ^e niveau	0	0	0	- 2 ^e niveau	0	1	2
Kwel	1	6	1	- 1 ^e niveau	0	2	1
				Wegzijging	0	0	0
Totaal INPUT	147	291	260	Totaal OUTPUT	178	291	266
Voorraadverandering vaste deel / complex					0	0	
Voorraadverandering opgeloste deel					-30	0	-6



Alterra is onderdeel van de internationale kennisorganisatie Wageningen UR (University & Research centre). De missie is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen UR bundelen negen gespecialiseerde en meer toegepaste onderzoeksinstituten, Wageningen University en hogeschool Van Hall Larenstein hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 40 vestigingen (in Nederland, Brazilië en China), 6.500 medewerkers en 10.000 studenten behoort Wageningen UR wereldwijd tot de vooraanstaande kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen natuurwetenschappelijke, technologische en maatschappijwetenschappelijke disciplines vormen het hart van de Wageningen Aanpak.

Alterra Wageningen UR is het kennisinstituut voor de groene leefomgeving en bundelt een grote hoeveelheid expertise op het gebied van de groene ruimte en het duurzaam maatschappelijk gebruik ervan: kennis van water, natuur, bos, milieu, bodem, landschap, klimaat, landgebruik, recreatie etc.

Meer informatie: www.alterra.wur.nl