



Opdrachtgever:  
Vlaamse Landmaatschappij, Afdeling Mestbank  
Gulden-Vlieslaan 72, 1060 Brussel

---

## Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm

---

### Eindrapport

Fase 1: Statistische analyse van de beschikbare nitraatresidumetingen van de VLM

Consortium	
<b>KULeuven</b> Departement Aard- en Omgevingswetenschappen Celestijnenlaan 200e, 3001 Leuven	 DEPARTEMENT AARD- EN OMGEVINGSWETENSCHAPPEN K.U.LEUVEN
<b>Bodemkundige Dienst van België vzw</b> W. de Croylaan 48, 3001 Leuven-Heverlee	 <b>Bodemkundige Dienst van België</b> vzw
Onderaannemer	
<b>Forschungszentrum Jülich GmbH</b> Agrosphere Institute, ICG-4 D52425 Jülich, Duitsland	 <b>JÜLICH</b> FORSCHUNGSZENTRUM

## **Consortiumleden:**

### **Departement Aard- en Omgevingswetenschappen, K.U.Leuven**

Koen Van Overtveld, Philippe Van De Vreken, Luk Peeters, Okke Batelaan, Jos Van Orshoven, Jan Vanderborcht en Jan Diels.

### **Bodemkundige Dienst van België**

Davy Vandervelpen, Mia Tits, Annemie Elsen, Jan Bries en Hilde Vandendriessche.

### **Agrosphere Institute, Forschungszentrum Jülich**

Petra Kuhr, Jan Vanderborcht en Frank Wendland

## **Stuurgroepleden:**

Koen Cochez (VLM), Karl Cordemans (VLM), Koen Desimpelaere (VLM), Sofie Ducheyne (VLM), Tom D'heygere (VMM), Ralf Eppinger (VMM), Bruno Fernagut (VLM), Els Lesage (VLM), Hari Neven (LNE), Joost Salomez (LNE-ALBON), Dirk Van Gijsegheem (LV-AMS), Kor Van Hoof (VMM).

## **Wijze van citeren:**

Tits, M., Van Overtveld, K., Van De Vreken, P., Vandervelpen, D., Peeters, L., Batelaan, O., Van Orshoven, J., Vanderborcht, J., Elsen, A., Bries, J., Vandendriessche, H., Kuhr, P., Wendland, F., Diels, J. (2010) Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en grondwater ter evaluatie van de nitraatstikstofresidu-norm. Eindrapport fase 1, studie uitgevoerd in opdracht van de Vlaamse Landmaatschappij door het Departement Aard- en Omgevingswetenschappen (K.U.Leuven), de Bodemkundige Dienst van België en het Agrosphere Institute, Forschungszentrum Jülich. 157 pp.



## Inhoudstafel

<b>LIJST VAN GEBRUIKTE AFKORTINGEN</b>	<b>4</b>
<b>SAMENVATTING</b>	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
<b>SUMMARY</b>	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
<b>INLEIDING</b>	<b>6</b>
<b>1 GEBRUIKTE GEGEVENSBRONNEN</b>	<b>13</b>
1.1 Algemeen	13
1.2 Dataset nitraatresidumetingen Mestbank (VLM)	13
1.3 Dataset nitraatresidumetingen Beheerovereenkomsten Water (VLM)	14
1.4 Dataset nitraatresidumetingen BDB	14
1.5 Dataset Bedrijfsgegevens (VLM)	14
1.6 Dataset Landbouwpercelen (VLM)	15
1.7 Dataset Weersgegevens	15
1.8 Dataset Bodemkaart	17
<b>2 ALGEMENE BESCHRIJVING DATASETS</b>	<b>18</b>
2.1 Afhankelijke variabelen	18
2.2 Onafhankelijke variabelen	19
2.2.1 Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS)	22
2.2.2 Landbouwstreek	23
2.2.3 Teelten algemeen	24
2.2.4 Gewasgroep	24
2.2.5 Nateelt(groep)	25
2.2.6 Bodembedekking bij staalname	26
2.2.7 Staalnamedag, Dagen na oogst, Dagen na zaai	27
2.2.8 Bodemtextuur	27
2.2.9 Bodemdrainage	28
2.2.10 pH en C-gehalte	29
2.2.11 Derogatie	29
2.2.12 Bedrijftype	29

2.2.13	Weergegevens	30
2.2.14	Bemestingsnormen	33
2.2.15	Oppervlakte perceel	34
2.2.16	Oppervlakte bedrijf	34
2.2.17	Organische bemesting	34
2.2.18	N-bemestingsindicatoren	34
2.2.19	Geschatte N-bemesting	35
<b>3</b>	<b>BESCHRIJVENDE ANALYSE VAN DE DATASETS (EXPLORATIEVE STATISTIEK)</b>	<b>38</b>
<b>3.1</b>	<b>Basisvereisten voor variantieanalyse en log-transformatie</b>	<b>39</b>
<b>3.2</b>	<b>Overzicht van de enkelvoudige effecten (eenweg-analyses) op basis van de totale datasets</b>	<b>43</b>
<b>3.3</b>	<b>Correlaties tussen parameters</b>	<b>48</b>
<b>3.4</b>	<b>Analyse per parameter</b>	<b>51</b>
3.4.1	Effect van de Gewasgroep (hoofddeelt) op het totaal nitraatresidu	51
3.4.2	Effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS)	54
3.4.3	Effect van de Nateelt op het totaal nitraatresidu	59
3.4.4	Effect van de Bodembedekking bij staalname op het totaal nitraatresidu	61
3.4.5	Effect van het tijdstip van de staalname op het totaal nitraatresidu	64
3.4.6	Effect van de Landbouwstreek op het totaal nitraatresidu	74
3.4.7	Effect van de Bodemtextuur op het totaal nitraatresidu	77
3.4.8	Effect van de Bodemdrainageklasse op het totaal nitraatresidu	80
3.4.9	Effect van de pH-KCl op het totaal nitraatresidu	82
3.4.10	Effect van het C-gehalte op het totaal nitraatresidu	84
3.4.11	Effect van Derogatie op het totaal nitraatresidu	85
3.4.12	Effect van het Bedrijftype op het totaal nitraatresidu	90
3.4.13	Effect van het Weer op het totaal nitraatresidu	92
3.4.14	Effect van de Bemestingsnormen op het totaal nitraatresidu	94
3.4.15	Effect van de Perceelsoppervlakte op het totaal nitraatresidu	95
3.4.16	Effect van de Bedrijfsoppervlakte op het totaal nitraatresidu	95
3.4.17	Effect van de Organische bemesting op het totaal nitraatresidu	95
3.4.18	Effect van enkele N-bemestingsindicatoren op het totaal nitraatresidu	100
3.4.19	Effect van de geschatte Toegepaste N-bemesting uit dierlijke en andere organische mest op het totaal nitraatresidu	101
3.4.20	Effect van de verlengde uitrijregeling op het totaal nitraatresidu	101
<b>3.5</b>	<b>Specifieke problematiek van de groentenpercelen</b>	<b>104</b>
<b>3.6</b>	<b>Variabiliteit binnen percelen</b>	<b>105</b>
3.6.1	Effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname op de variabiliteit van het nitraatresidu	107

3.6.2	Effect van de Landbouwtreek op de variabiliteit van het nitraatresidu	108
3.6.3	Effect van de Bodemtextuur op de variabiliteit van het nitraatresidu	109
3.6.4	Effect van de Gewasgroep op de variabiliteit van het nitraatresidu	110
<b>3.7</b>	<b>Evolutie van de nitraatgehalten op perceelsniveau</b>	<b>111</b>
3.7.1	Mestbankcontrolemetingen en opvolgstalen	112
3.7.2	Metingen in percelen met BO Water	113
<b>3.8</b>	<b>Besluiten van de beschrijvende analyse van de nitraatresidu-datasets</b>	<b>116</b>
3.8.1	Welke factoren hebben al dan niet een significante invloed op de hoogte van het nitraatresidu en welke zijn de eventuele interacties tussen deze factoren?	117
3.8.2	Zijn er significante verschillen tussen de resultaten bekomen op derogatiepercelen, percelen onder beheersoptie of percelen met kans op overbesteding?	122
3.8.3	Analyse van de specifieke problematiek van de groentepercelen	123
3.8.4	Analyse van de variabiliteit van het nitraatresidu binnen percelen	123
3.8.5	Analyse van de evolutie van het nitraatresidu binnen een perceel	124
3.8.6	Effect van de verlengde uitrijregeling op het nitraatresidu	124
<b>4</b>	<b>VOORSPELLEND MANCOVA-MODEL</b>	<b>125</b>
4.1	<b>Gevolgd strategie voor het opstellen van een voorspellend MANCOVA-model</b>	<b>125</b>
4.2	<b>Resultaten van de voorspellende MANCOVA-modellen</b>	<b>128</b>
4.2.1	Gewasgroep Gras	128
4.2.2	Gewasgroep Maïs	132
4.2.3	Gewasgroep Granen	136
4.2.4	Gewasgroep Suikerbieten	140
4.2.5	Gewasgroep Aardappelen	144
4.2.6	Globaal MANCOVA-model voor de totale dataset MB	147
4.3	<b>Semivariogramanalyse en kartografische voorstelling</b>	<b>149</b>
4.4	<b>Besluit van het voorspellend MANCOVA-model</b>	<b>156</b>

## Lijst van gebruikte afkortingen

BDB	Bodemkundige Dienst van België vzw
BO	Beheerovereenkomst; 'Data(set) BO' verwijst naar nitraatresidumetingen in percelen met Beheerovereenkomst Water
BO Water	Beheerovereenkomst Water
BPJS	Bemestingspraktijk in het jaar van staalname
dl	Detectielimiet
ET	Evapotranspiratie; $ET_0$ = de maximale evapotranspiratie van een gezond en gesloten grasbestand
GebruikNDA	gebruik van dierlijke mest en andere meststoffen N op bedrijfsniveau (kg N/ha)
GebruikNTot	Gebruik van alle meststoffen N op bedrijfsniveau (kg N/ha)
GIS	Geografisch Informatie Systeem
LbStreek	Landbouwstreek
MB	Mestbank; 'Data(set) MB' verwijst naar controlemetingen van het nitraatresidu door de Mestbank
MAP	Mest Actie Plan
N	Nitraatresidu; N1, N2, N3 en NT verwijzen respectievelijk naar het nitraatresidu in de eerste bodemlaag (0-30 cm), de tweede bodemlaag (30-60 cm), de derde bodemlaag (60-90 cm) en het totale bodemprofiel (0-90 cm)
$N_t$	Getransformeerd nitraatresidu: $\log(N+1)$ ; $N1_t$ , $N2_t$ , $N3_t$ en $NT_t$ verwijzen respectievelijk naar het getransformeerd nitraatresidu in de eerste bodemlaag (0-30 cm), de tweede bodemlaag (30-60 cm), de derde bodemlaag (60-90 cm) en het totale bodemprofiel (0-90 cm)
$NT_{tObs}$	Getransformeerde gemeten waarde van het totaal nitraatresidu
$NT_{tPred}$	voorspelde waarde voor het getransformeerd totaal nitraatresidu
$NT_{tRes}$	Residuele waarde voor het getransformeerd totaal nitraatresidu (= verschil tussen de voorspelde en de gemeten waarde)
$NT_{tPred}$	Teruggetransformeerde voorspelde waarde voor het totaal nitraatresidu: $\exp(NT_{tPred})-1$
NandereBedrijf	Aangifte andere meststoffen N op bedrijfsniveau (kg N/ha)
NBemesting	Geschatte N-bemesting uit dierlijke mest (kg N/ha)
NkunstBedrijf	Aangifte kunstmestgebruik N op bedrijfsniveau (kg N/ha)
NormN	Stikstofbemestingsnorm; NormNTot = totale stikstofbemestingsnorm; NormNDier = stikstofbemestingsnorm uit dierlijke mest; NormNOrg = stikstofbemestingsnorm uit andere organische mest; NormNKunst = stikstofbemestingsnorm uit kunstmest
Noverschot	Bedrijfsmatig overschot alle meststoffen N (kg N/ha)
OppBedrijf	Oppervlakte bedrijf (ha)

OppPerc	Oppervlakte perceel (m <sup>2</sup> )
ProdNDierBedrijf	Dierlijke stikstofproductie op bedrijfsniveau (kg N/ha)
SNDag	Staalnamedag
Temp	Gemiddelde temperatuur; TempAugOkt = gemiddelde temperatuur in de drie maanden vóór de staalname (van augustus t/m oktober); TempSepOkt = gemiddelde temperatuur in het najaar (van september t/m oktober)
VLM	Vlaamse Landmaatschappij
VMM	Vlaamse Milieumaatschappij
Vochtbalans	= neerslagoverschot: verschil tussen de neerslag en de evapotranspiratie; VochtbalansAprSep = vochtbalans tijdens het groeiseizoen (van april t/m september); Vochtbalans3j = vochtbalans tijdens de groeiseizoenen van de laatste 3 jaren; VochtbalansAugOkt = vochtbalans in de drie maanden vóór de staalname (van augustus t/m oktober); VochtbalansJunSep = vochtbalans in de zomer (van juni t/m september); VochtbalansSepOkt = vochtbalans in het najaar (van september t/m oktober)



## Samenvatting

Deze studieopdracht heeft als doel het evalueren en differentiëren van de huidige nitraatstikstofresidu-norm en de nitraatstikstofresidu-richtwaarde aan de hand van een evaluatie van historische nitraatstikstofresidumetingen en het leggen van de link tussen nitraatstikstofresiduwwaarden en nitraatconcentraties gemeten in het oppervlakte- en grondwater.

Deze studie bestaat uit drie fasen, waarbij in een eerste fase de nitraatresidumetingen van de VLM worden geëvalueerd en op basis hiervan voorspellende modellen worden opgesteld. Deze modellen worden gebruikt in fase twee van het onderzoek om het nitraatresidu te schatten van niet bemonsterde percelen. In een tweede fase worden procesfactoren bepaald voor oppervlaktewater en grondwater. Een procesfactor is een empirische „black box” factor die alle processen omvat die plaatsvinden tussen de nitraatuitspoeling uit het bodemprofiel (vertrekkende van het nitraatresidu in het najaar) en de gemeten nitraatconcentraties in oppervlaktewater of grondwater. Deze procesfactoren leggen dus een link tussen de uitspoeling uit het bodemprofiel en de waterkwaliteitsmetingen in het oppervlaktewater of het grondwater. Een derde fase van dit onderzoek spitst zich toe op het op basis van de wetenschappelijke aannames in deze studie vertalen van deze nieuwe procesfactoren naar maximale nitraatresidu's opdat de grenswaarde van de Europese nitraatrichtlijn (50 mg nitraat per liter water) niet wordt overschreden.

In **fase 1** van het onderzoek analyseerden we de beschikbare nitraatresidumetingen van percelen met een beheersovereenkomst water (BOW; 2000-2008) en van controlemetingen uitgevoerd door de Mestbank (2004-2008). Het gemiddeld nitraatresidu bedroeg bij de BOW 64.8 kg/ha, en bij de controlemetingen 87.2.

Zowel bij de BOW als bij de controlemetingen vertoonde het nitraatresidu een dalende trend over de jaren heen. Deze trend wordt toegeschreven aan het effect van de “Bemestingspraktijk in het jaar van stalname” (BPJS). Dit effect kan beschouwd worden als een combinatie van de verscherping van de bemestingsnormen in de loop der jaren en de progressieve implementatie ervan in de praktijk (soms met terugwerkende kracht), een toenemende aandacht van de landbouwers voor de bemesting en een betere opvolging van de bemestingsadviezen.

In totaal werd de invloed van zevenendertig variabelen op het nitraatresidu statistisch geanalyseerd. Een aantal van deze variabelen werden gebruikt om per gewasgroep een voorspellend MANCOVA-model op te stellen om nitraatresidu's te schatten voor niet-bemonsterde percelen of jaren. De belangrijkste variabelen voor de voorspelling van het nitraatresidu zijn de hoofdteelt van het perceel, de bemestingspraktijk in het jaar van stalname, de landbouwstreek, de nateelt, de dag van stalname (welke tussen 1 oktober en 15 november gelegen is) en, in mindere mate, de weersomstandigheden en het bedrijfstype.

**Fase 2** van dit onderzoek spitste zich toe op het bepalen van procesfactoren voor zowel oppervlaktewater als voor grondwater, alsook op de ruimtelijke differentiatie ervan. De empirische procesfactor kenmerkt de mate van verdunning en afbraak van nitraat, vanaf het moment dat het nitraat de wortelzone op 90 cm onder het maaiveld verlaat tot op het moment dat het ofwel in het oppervlaktewater ofwel in het grondwater terecht komt en gemeten wordt. Bij lage procesfactoren ( $\approx 1$ ) zal het nitraat dat de wortelzone verlaat in een bijna gelijke concentratie in het oppervlakte- of grondwater terug te vinden zijn, daar waar bij hoge procesfactoren het nitraat verdund en/of afgebroken wordt en dus in een lagere concentratie terug te vinden is in het oppervlakte- of grondwater.

Voor de bepaling van de **procesfactor oppervlaktewater** werd, voor 50 MAP-meetpunten oppervlaktewater, het afstroomgebied berekend in een GIS-omgeving. Daarna werd, voor elk perceel binnen deze afstroomgebieden, de nitraatconcentratie onderaan de wortelzone bepaald door de nitraatuitspoeling over de winterperiode (1 november - 31 maart) te berekenen uit het nitraatresidu aan de hand van een analytisch uitspoelingsmodel. Door de concentraties onderaan de wortelzone van elk perceel te middelen naar hun oppervlakteaandeel werd per afstroomgebied een gemiddelde nitraatconcentratie bekomen. Deze werd op zijn beurt gedeeld door de gemiddelde nitraatconcentratie gemeten in de ontvangende waterloop van dat afstroomgebied. Op deze manier werd voor elk afstroomgebied een procesfactor berekend. De mediane procesfactor oppervlaktewater bedraagt 3.3, maar varieert regionaal. De variatie in deze procesfactoren kan deels worden verklaard door de dominante bodemtextuur van het afstroomgebied en de redoxpotentiaal van de onderliggende aquifer. Deze variabelen werden gebruikt om een voorspellend model op te stellen, waarmee gebiedsdekkende uitspraken konden worden gedaan voor de procesfactor oppervlaktewater.

Voor het bepalen van de **procesfactor grondwater** werd voor 525 meetpunten van het freatisch meetnet het intrekgebied berekend. Dit intrekgebied is een ellipsvormig gebied stroomopwaarts van het meetpunt, waarvan met een bepaalde statistische zekerheid het water afkomstig is dat als neerslag in de bodem dringt en via grondwaterstroming de filter van het meetpunt bereikt. Voor elk perceel binnen de intrekgebieden van deze meetpunten, werd de gemiddelde nitraatconcentratie onderaan de wortelzone berekend uit de nitraatresidu's en gemiddeld over het intrekgebied. Deze gemiddelde nitraatconcentratie werd gekoppeld aan de gemiddelde nitraatconcentratie gemeten in het grondwater, met inachtname van de reistijd. De verhouding van de twee concentraties gaf de procesfactor grondwater. Uit de statistische analyse bleek dat er geen differentiatie van de procesfactoren grondwater kon worden verricht op basis van de beschikbare gegevens. De mediane procesfactor grondwater bedraagt 2.1.

Tenslotte werden gebiedsdekkend voor Vlaanderen gecombineerde procesfactoren voorgesteld, door in elk gebied de strengste van de twee procesfactoren (gedifferentieerde procesfactor oppervlaktewater en mediane procesfactor grondwater) toe te passen. Deze keuze vloeit voort uit de gedachte dat zowel het oppervlaktewater als het grondwater moeten voldoen aan de Europese nitraatrichtlijn.

In **fase 3** van het onderzoek werden deze gecombineerde procesfactoren vertaald naar maximale nitraatresidu's op basis van de resultaten van een eerdere studie (N-(eco)<sup>2</sup>) in combinatie met de aannames in deze studie. Deze maximale nitraatresidu's zijn afhankelijk van de bodemtextuur van het landbouwperceel, het verbouwde gewas (effect gewasrest) en het gebruik van een groenbemester na de hoofdteelt. Via betere landbouwpraktijken, zoals een aangepaste vruchtwisseling, een beredeneerde bemesting op basis van grondontleding en bemestingsadvies en het gebruik van groenbemesters, en begeleidende maatregelen kan verdere vooruitgang worden geboekt op de reeds dalende trend van de nitraatresidu's.

## Summary

The aim of this study is to evaluate and differentiate the current nitrate residue standard based on a review of historical nitrate nitrogen residue measurements and to link the values of the nitrate residue to the nitrate concentrations measured in surface waters and groundwater.

This study consists of three phases. In a first phase the nitrate measurements of the VLM are evaluated and models for the prediction of the nitrate residue are constructed. These models are used in phase two of the study to assess the nitrate residue in unsampled plots. In a second phase process factors for surface water and groundwater were calculated. A process factor is an empirical "black box" factor that includes all processes that occur between the leaching of nitrate from the soil profile (starting from the nitrate residue in the fall) and the measured nitrate concentrations in surface water or groundwater. These process factors thus impose a link between the nitrate leached out of the soil on the one side and the water quality measurements in surface water or groundwater on the other side. A third phase of this research focuses on translating this new process factors to maximum nitrate residues based on the scientific assumptions of the study in order to comply with the European Nitrates Directive (50 mg per litre of water).

In **phase 1** of the study, we analyzed the available nitrate residue measurements for parcels with a "management agreement water" (BOW; 2000-2008) and of control measurements performed by the "Mestbank" (2004-2008). The average nitrate residue was 64.8 kgN/ha for the parcels with a "management agreement water" and 87.2 kgN/ha for the control measurements.

Both the residues of the "BOW" and the control measurements show a significant decrease over the years. This decrease is due to the effect of the "manuring practice in the year of sampling". This is a combined effect of lower manuring limits and the gradual adoption of these limits in practice, increased attention of the farmers to manuring practices and a better follow up of manuring/fertilization advices.

Thirty-seven variables were found to have a significant impact on the level of the nitrate residue. These variables were used to construct a predictive MANCOVA model to estimate the nitrate residues for unsampled parcels or years. The key variables for the prediction of the nitrate residue are the main crop of the plot, the practice of fertilization in the year of sampling, the agricultural region, the after-crop, the sampling day (which is between October 1 and November 15) and to a lesser extent, the weather and the type of farm.

**Phase 2** of this research focused on determining process factors for both surface water and groundwater, as well as the spatial differentiation of these factors. The empirical process factor characterizes the degree of dilution and degradation of nitrate from the moment that the nitrate leaches out of the root zone at 90 cm below the surface until the moment that it reaches the

surface water or the groundwater (where it is being measured). Low process factors ( $\approx 1$ ) mean that the nitrate leached out of the root zone will be found in an almost equal concentration in the surface water or groundwater, whereas high process factors mean that the nitrate is diluted and/or denitrified and thus that a lower concentration will be measured in surface water or groundwater.

To determine the **process factors** for surface water, a catchment area was determined in a GIS environment for each of the 50 MAP-sample points (which are all chosen in small streams). Then, for each parcel within the catchment, the mean nitrate concentration below the root zone was determined, by calculating the nitrate leaching over the winter period (November 1 to March 31) by means of an analytical nitrate leaching model. The average nitrate concentration below the root zone of each catchment was calculated as a weighted mean over the surface area of each parcel. This average nitrate concentration was in turn divided by the mean nitrate concentration measured in the discharge at the outlet of the catchment. In this way, a process factor was calculated for each of the 50 catchments. The median surface process factor is 3.3, but it varies regionally. The variation in these process factors can be explained partly by the dominant soil texture of the catchment and the redox potential of the underlying aquifer. These variables were used to construct a predictive model, which can be used to make area-covering predictions regarding the process factor for surface waters in Flanders.

To determine the **process factor for groundwater**, the recharge area was determined for 525 sampling points of the phreatic monitoring network. This contributing area is an elliptical region upstream of the sampling point, from which the water, measured in the sampling point originates. The water infiltrates in the soil from precipitation and after recharging the groundwater will flow through the filter of the regarded measuring point. For each parcel within the contributing area of these points, the average nitrate concentration below the root zone was calculated from the nitrate residues. This average nitrate concentration below the root zone was linked to the average nitrate concentration measured in the groundwater, taking into account the travel time of the groundwater. The ratio of the two concentrations defines the process factor for groundwater. A statistical analysis showed that no differentiation of the process factors groundwater could be made based on the available data. The median process factor for groundwater is 2.1.

Finally, combined process factors were proposed for Flanders by adopting the lowest of the two process factors (differentiated process factor for surface water and median process factor for groundwater). The justification for this approach is based on the need to meet the EU Nitrates Directive standard for both surface water and groundwater.

In **phase 3** of the research, these combined factors are translated into maximum nitrate residues based on the results of an earlier study (N-(eco)<sup>2</sup>, 2002) in combination with the assumptions of

this study. These maximum nitrate residues depend on the soil texture of the parcel, the current crop (crop residue effect) and the use of a green manure crop after the main crop.

A further decline of the current measured nitrate residues can be expected if better fertilization practices and accompanying measures are taken.

## Inleiding

De studieopdracht ‘Bepalen van procesfactoren voor oppervlaktewater en voor grondwater aan de hand van de nitraatstikstofresidu-metingen en de metingen van de waterkwaliteit met het oog op het evalueren en differentiëren van de huidige nitraatstikstofresidu-norm’ heeft als doel (i) via een statistische analyse na te gaan wat de invloed is van verschillende factoren op de gemeten nitraatresiduwaarden (ii) het opstellen van voorspellende MANCOVA modellen om nitraatresidu’s voor verschillende gewasgroepen te schatten (iii) het evalueren en differentiëren (naar relevante teeltgroepen, bodemtypes als zand, zandleem, leem en klei en grondwaternitraatgevoeligheid van Hydrogeologisch Homogene Zones (HHZ-zones) van de huidige nitraatstikstofresidunorm en de nitraatstikstofresidu-richtwaarde aan de hand van een evaluatie van historische nitraatstikstofresidumetingen, en (iv) het leggen van de link tussen nitraatstikstofresiduwaarden en waterkwaliteit gemeten in het oppervlakte- en grondwater als basis voor een verscherpte onderbouwing van de nitraatresidunorm.

De procesfactor is een soort empirische (of ‘black box’) factor die alle processen omvat die plaatsvinden tussen de nitraatuitloging uit het bodemprofiel (vertrekkende van het nitraatresidu in het najaar) en de gemeten nitraatconcentraties in oppervlaktewater of in grondwater. De procesfactor(en) leggen een link tussen de uitspoeling uit het bodemprofiel en de waterkwaliteitsmetingen in het oppervlaktewater of het grondwater.

De opdracht is opgedeeld in 3 fasen. In een **eerste fase** wordt een statistische analyse van de beschikbare nitraatresidumetingen uitgevoerd teneinde de beïnvloedende factoren op het nitraatresidu statistisch te begroten. Hierna worden aan de hand van deze factoren voorspellende modellen opgesteld om voor niet bemonsterde percelen of jaren het nitraatresidu te schatten.

In een **tweede fase** worden procesfactoren berekend voor oppervlaktewater en grondwater. De modellen uit fase 1 worden gebruikt om voor verschillende percelen de nitraatresidu’s te schatten, en via een uitspoelingsmodel de nitraatuitspoeling te bepalen over de winterperiode. Deze nitraatconcentraties worden vergeleken met de nitraatconcentraties in oppervlaktewater en grondwater om de procesfactoren te bepalen. Via een statistische analyse wordt nagegaan wat de belangrijkste factoren zijn die de procesfactor verklaren om zo voor Vlaanderen gebiedsdekkende procesfactoren te voorspellen.

In een laatste (**derde**) fase worden gedifferentieerde nitraatstikstofresidu’s voorgesteld die rekening houden met deze procesfactoren voor oppervlaktewater en voor grondwater.

Het onderzoek startte op 1 januari 2009.

In dit deel zijn de resultaten en besluiten van **fase 1** van het onderzoek opgenomen.

## **1 Gebruikte gegevensbronnen**

### **1.1 Algemeen**

Voor dit deel van de opdracht werd in eerste instantie gebruik gemaakt van de gegevens die door de opdrachtgever (de VLM) werden aangeleverd. Naast deze gegevens werd tevens gebruik gemaakt van de databanken van de Bodemkundige Dienst van België waarin, met betrekking tot een groot deel van dezelfde percelen als deze van de VLM, bijkomende gegevens beschikbaar zijn. Dit laat toe om bij de analyse en de interpretatie van de nitraatresidumetingen bijkomende relevante parameters in rekening te brengen, waarvoor in de databank van de VLM geen basisgegevens aanwezig zijn. Daarnaast werden een aantal bijkomende gegevens vergaard of gegenereerd die toelieten de analyse te verfijnen door het in rekening brengen van weerseffecten en van de impact van het bodemtype.

Alle basisgegevens voor de statistische analyse werden samengebracht in een relationele Access-databank, waarbij de koppeling tussen de verschillende datasets op basis van één of meerdere variabelen steeds duidelijk aangegeven werd.

In de volgende paragrafen worden de verschillende gegevensbronnen kort overlopen.

### **1.2 Dataset nitraatresidumetingen Mestbank (VLM)**

Mestbank-nitraatresidumetingen worden in opdracht van Mestbank opgemeten voornamelijk (maar niet uitsluitend) vanuit controleoogpunt op de toepassing van derogatie en vanuit een bepaald risicoperspectief van landbouwbedrijven (d.w.z. op percelen gelegen in risicogebieden oppervlaktewater en, in een beperkt aantal gevallen, op percelen waar een overschrijding van de nitraatresidunorm verwacht werd). Daarom vormt de dataset geen representatieve steekproef van de populatie van landbouwers. Hiermee dient bij de interpretatie van de gegevens rekening gehouden te worden.

In tegenstelling tot de nitraatresidumetingen op percelen met Beheerovereenkomst Water (zie 1.3) worden deze gegevens op perceelsniveau doorgegeven: voor grote percelen zijn er meerdere staalnames en analyses die vervolgens per perceel herrekend werden.

De dataset bevat 35916 nitraatresidumetingen uitgevoerd over de periode 2004 t/m 2008.

Naast de nitraatresidugegevens per bodemlaag en totaal, werd per perceel informatie aangeleverd met betrekking tot staalnametijdstip (jaar, datum), ligging van het perceel (X-Y-coördinaat, gemeente provincie, landbouwstreek), perceelsoppervlakte, gewas (hoofdteelt en eventueel nateelt), ligging in risicogebied en al dan niet toepassing van verlengde uitrijregeling.



### **1.3 Dataset nitraatresidumetingen Beheerovereenkomsten Water (VLM)**

Nitraatresidumetingen in het kader van de Beheerovereenkomst Water zijn verplicht voor elk perceel waar Beheerovereenkomst Water toegepast wordt.

De dataset bevat 173022 nitraatresidumetingen uitgevoerd over de periode van 2000 t/m 2008.

Deze data werden door de VLM op staalnameniveau doorgegeven. Voor grotere percelen (> 2 ha) zijn er dus meerdere records voor een zelfde combinatie van landbouwer- (relatie-) en perceelsnummer.

Naast de nitraatresidugegevens per bodemlaag en totaal, werd per staal informatie aangeleverd met betrekking tot staalnametijdstip (jaar, datum), ligging van het perceel (X-Y-coördinaat, gemeente provincie, landbouwstreek), perceelsoppervlakte en gewas (hoofdteelt en eventueel nateelt).

### **1.4 Dataset nitraatresidumetingen BDB**

Een belangrijk deel van de nitraatresidumetingen van 1.2 en 1.3 werden in de praktijk uitgevoerd door de BDB, die deze gegevens bewaart in een eigen BDB-databank (Oracle). Deze dataset bevat, naast de nitraatresidugegevens, de perceelsoppervlakte en de datum van staalname, ook nog bijkomende informatie, zoals meer gedetailleerde gewasgegevens (voortteelt, hoofdteelt, nateelt, toestand van het gewas op het moment van staalname), informatie over organische bemesting in percelen met BO Water, ammoniummetingen op alle bodemlagen en pH- en C-metingen van de bovenste 30 cm enkel in percelen met BO Water.

Enerzijds worden deze data gebruikt om ontbrekende gegevens i.v.m. perceelsoppervlakte en gewas in de VLM-datasets aan te vullen en anderzijds om het effect van de bijkomende parameters (pH, C-gehalte, ammoniumgehalte, gewastoestand bij staalname en organische bemesting) op het nitraatresidu af te leiden.

### **1.5 Dataset Bedrijfsgegevens (VLM)**

De dataset Bedrijfsgegevens werd door de VLM aangeleverd voor de periode 2000 t/m 2008 en bevat, per jaar, voor alle Vlaamse landbouwbedrijven informatie over de bedrijfsoppervlakte (totaal en per gewas), de stikstof- en fosfaatproductie, het stikstof- en fosfaatgebruik, het stikstof- en fosfaatoverschot en het aantal dieren op het bedrijf (runderen, varkens, pluimvee, andere).

Deze bedrijfsgegevens werden, bij gebrek aan bemestingsgegevens op perceelsniveau, vooral gebruikt als informatiebron voor het inschatten van de bemestingspraktijken op de percelen waarop het nitraatresidu bepaald werd.

## 1.6 Dataset Landbouwpercelen (VLM)

De dataset Landbouwpercelen werd door de VLM aangeleverd onder de vorm van GIS-bestanden (shapefiles en attribuentabellen in .dbf-formaat), voor de periode van 2000 t/m 2008. Deze dataset bevat, per jaar, van alle landbouwpercelen in Vlaanderen informatie over de ligging (X-Y-coördinaten, gemeente, provincie, landbouwstreek), de perceelsoppervlakte en de hoofdteelt. Voor sommige jaren bevat de dataset ook informatie over de voortteelt en de eventuele nateelt, over de toepassing van derogatie of een beheerovereenkomst en (enkel voor 2008) over de ligging van het perceel in bepaalde thematische zones (bvb. grond- of oppervlaktewaterwingebied, fosfaatverzadigd gebied, enz.). De informatie in deze dataset werd vooral gebruikt om eventuele ontbrekende gegevens in de nitraatresidu-datasets (MB en BO) aan te vullen en om bijkomende informatie m.b.t. derogatie en bemestingsnormen af te leiden.

## 1.7 Dataset Weersgegevens

De actuele weersomstandigheden spelen een rol in de opbouw van het nitraatresidu via:

- hun impact op de stikstofmineralisatie in het najaar: hogere temperaturen en voldoende vocht bevorderen de stikstofmineralisatie en zorgen dus voor een hoger nitraatresidu; de temperatuur- en neerslaggegevens van de laatste maanden vóór de residumeting zijn hier van belang;
- hun impact (in mindere mate) op de najaarsuitspoeling van nitraten: hogere neerslaghoeveelheden zorgen ervoor dat de aanwezige nitraatstikstof sneller uitspoelt en zorgen dus voor een lager nitraatresidu; de neerslaggegevens van de laatste maanden vóór de residumeting zijn hier van belang;
- hun impact op de gewasopbrengst: vochttekort en lagere temperaturen tijdens het groeiseizoen kunnen lagere opbrengsten en dus lagere stikstofopname uit het profiel tot gevolg hebben; het nitraatresidu kan dan hoger liggen; de weersgegevens over het gehele groeiseizoen (periode afhankelijk van de teelt) zijn hier van belang.

Vanuit het Metagri-netwerk werden de dagelijkse temperatuur- (maximum en minimum) en neerslaggegevens verzameld van 29 weerstations in of kort bij Vlaanderen voor de periode van 2000 t/m 2008. Van deze stations werden er uiteindelijk 12 geselecteerd, nl. enkel die stations die voor de periode van 2000 t/m 2008 min of meer over volledige gegevens beschikten (d.w.z. minstens 350 neerslagwaarnemingen per jaar).

In 15 stations werd de dagelijkse referentie-evapotranspiratie ( $ET_0$  = de maximale evapotranspiratie van een gezond en gesloten grasbestand) volgens het Penman-Monteith-model (FAO) berekend voor de periode 2000-2008.

8 Van de 12 geselecteerde stations van het Metagri-netwerk kwamen overeen met stations waar ook vochtmetingen werden uitgevoerd zodat de  $ET_0$ -waarden bepaald konden worden. Voor de andere 4 stations van het Metagri-netwerk werden de  $ET_0$ -waarden van het dichtstbijzijnde station gebruikt.

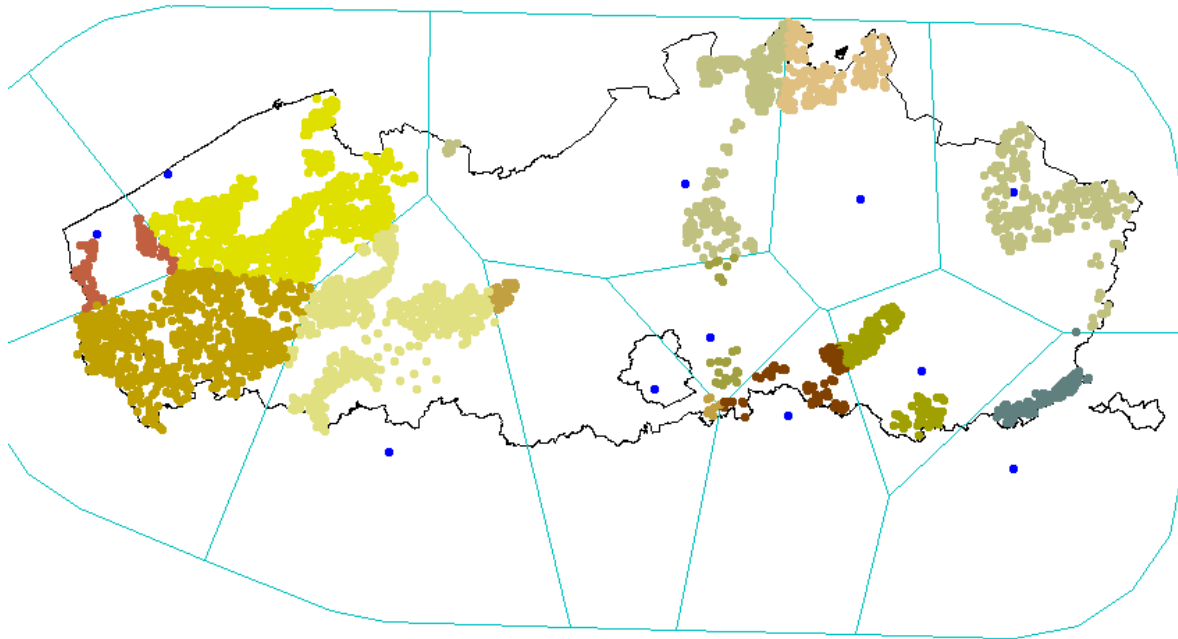
De  $ET_0$ -waarden in de dataset waren niet altijd volledig. Ontbrekende waarden in bepaalde stations werden aangevuld met de overeenkomstige waarden uit het dichtstbijzijnde station. Indien voor een bepaalde datum in geen enkel station een meting beschikbaar was werd de ontbrekende waarde bekomen door het gemiddelde te nemen van de meting van de dag voordien en de dag nadien.

In Tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de geselecteerde weerstations en metingen.

**Tabel 1 - Overzicht van de geselecteerde weerstations en metingen.**

Nr station	Neerslag & Temperatuur	$ET_0$
10	Koksijde	Koksijde
20	Middelkerke	Middelkerke
80	Deurne	Deurne
90	Geel	Kleine Brogel
110	Kleine Brogel	Kleine Brogel
160	Ieper	Middelkerke
190	Anvaing	Ukkel
200	Melsbroek	Melsbroek
210	Ukkel	Ukkel
220	Beauvechain	Beauvechain
240	Gorseem	Beauvechain
290	Bierset	Bierset

De ruimtelijke koppeling van de weersgegevens aan de nitraatresidumetingen gebeurde GIS-matig: aan elke nitraatresidumeting werd één van de geselecteerde weerstations gekoppeld via de afbakening van Thiessen-polygonen rond elk weerstation. De afgebakende Thiessen-polygonen worden voorgesteld in Figuur 1. Bij wijze van voorbeeld worden in deze figuur ook de nitraatresidustaalnames voor de controlemetingen door de Mestbank in 2004 weergegeven.



**Figuur 1 - Afbakening van Thiessen-polygonen rond de 12 geselecteerde weerstations en toekenning van de nitraatresidu controlemetingen van de Mestbank in 2004 aan de verschillende polygonen.**

## 1.8 Dataset Bodemkaart

De bodemgegevens werden GIS-matig bepaald via koppeling van de percelen aan de digitale bodemkaart van België. Hieruit werden naast de textuur (grondsoort) eveneens de drainageklasse en de profielontwikkeling (horizontenopeenvolging) afgeleid.

## 2 Algemene beschrijving datasets

Uit de gegevensbronnendie in hoofdstuk 1 vermeld werden, zijn voor de statistische verwerking van de nitraatresidumetingen twee aparte datasets samengesteld, telkens bestaande uit één van de VLM-nitraatresidu-datasets (MB en BO), gekoppeld aan de relevante informatie uit de andere beschikbare datasets (BDB, Landbouwpercelen, Bedrijfsinfo, Weersgegevens, Bodemkaart). In wat volgt worden deze datasets respectievelijk de dataset MB-BDB (nitraatresidumetingen in opdracht van de Mestbank) en dataset BO-BDB (nitraatresidumetingen in het kader van een Beheerovereenkomst Water) genoemd. Beide datasets bevatten grotendeels dezelfde afhankelijke en onafhankelijke (verklarende) variabelen. Deze worden in de volgende paragrafen overlopen en indien nodig verder toegelicht.

### 2.1 Afhankelijke variabelen

De beschikbare datasets (MB-BDB en BO-BDB) bevatten de volgende afhankelijke variabelen:

- NT: totaal nitraatresidu van 0 tot 90cm (kg N/ha)
- N1: nitraatresidu in de bodemlaag van 0 tot 30 cm (kg N/ha)
- N2: nitraatresidu in de bodemlaag van 30 tot 60 cm (kg N/ha)
- N3: nitraatresidu in de bodemlaag van 60 tot 90 cm (kg N/ha)

Beide datasets werden gescreend en op basis daarvan werden een aantal gegevens verwijderd:

- dubbele records;
- missing values, d.w.z. nitraatresidu's met als waarde 0, 333, 333.3, 999 of 999.9;
- zeer hoge waarden, d.w.z. totale nitraatresidu's groter dan 500 kg N/ha.

In de dataset BO-BDB werden bovendien ook alle metingen van het jaar 2000 weggelaten aangezien vanuit de VLM gemeld werd dat in dit (eerste) jaar de resultaten boven 90 kg N/ha systematisch uit de aangeleverde dataset weggelaten waren en ook niet meer beschikbaar zijn. De resultaten van het jaar 2000 geven dus een vertekend beeld van de nitraatresidu's.

In Tabel 2 worden het aantal beschikbare nitraatresidumetingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking in beide datasets voorgesteld.

Waarden voor het gemeten nitraatresidu die kleiner zijn dan 2.5 kg N/ha worden beschouwd als "kleiner dan de detectielimiet" en aangegeven met "dl".

**Tabel 2 - Beschikbare nitraatresiduegegevens in de datasets MB-BDB en BO-BDB**

	Dataset MB-BDB	Dataset BO-BDB
Periode van de metingen	2004-2008	2001-2008 (1)
Aantal nitraatresidumetingen	35916	173022
mestbankcontrolemetingen	32820	
opvolgstalen (in 2008)	3096	
Aantal nitraatresidumetingen na screening	34880	155655
Gemiddeld nitraatresidu (N kg/ha)	87.20	64.83
Minimum nitraatresidu (N kg/ha)	dl (3)	dl (3)
Maximum nitraatresidu (N kg/ha)	500.00 (2)	499.60 (2)
Standaardafwijking nitraatresidu (N kg/ha)	72.58	51.22

(1) De metingen van het jaar 2000 werden uit de dataset BO-BDB weggelaten aangezien in dit jaar de resultaten boven 90 kg N/ha systematisch uit de aangeleverde dataset weggelaten waren en ook niet meer beschikbaar zijn.

(2) Resultaten boven 500 kg N/ha zijn weggelaten uit de dataset

(3) dl: kleiner dan de detectielimiet van 2.5 kg N/ha

## 2.2 Onafhankelijke variabelen

In Tabel 3 wordt de lijst van de beschikbare onafhankelijke (verklarende) variabelen en het aantal beschikbare gegevens per dataset weergegeven. Van elke variabele worden ook de gemiddelde, minimum en maximum waarde evenals de standaardafwijking gegeven.

Voor een aantal continue variabelen werd de limietwaarde voor uitbijters bepaald op basis van het gemiddelde en de standaardafwijking van de volledige dataset. Als maximum limietwaarde werd het gemiddelde +  $2 \times$  de standaardafwijking genomen. Alle waarden boven dit maximum werden uit de dataset weggelaten. Dit gebeurde voor de volgende variabelen: OppPerc, OppBedrijf, ProdNdierBedrijf, NkunstBedrijf, NandereBedrijf, GebruikNDA, GebruikNTot, Noverschot, Nbemesting.

Voor de weersgegevens en voor de bemestingsnormen werd geen limietwaarde toegepast aangezien dit exacte waarden zijn. Voor SNDag en pH werden logische maximum waarden toegepast (SNDag: 365; pH 8.7).

De in Tabel 3 weergegeven cijfers voor het aantal, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking werden bepaald op basis van de resterende gegevens, na weglaten van de uitbijters.

In de volgende paragrafen wordt elk van deze onafhankelijke variabelen meer in detail besproken. Eerst worden de categorische variabelen besproken en vervolgens de continue variabelen.

Tabel 3 - Lijst van de onafhankelijke variabelen en aantal beschikbare gegevens per dataset

Variabele	Type	Bron	Dataset MB-BDB					Dataset BO-BDB					
			Aantal gegevens	Gemid.	Min.	Max.	Standaard-afwijking	Aantal gegevens	Gemid.	Min.	Max.	Standaard-afwijking	
Jaar	Jaar van staalname	categorisch	VLM-BDB	34880					155655				
		continu		34880		2004	2008		155655		2001	2008	
SNdag	Staalnamedag (=staalnamedatum-1/1)	continu	VLM-BDB	33091	291	270	345	12.5	155481	298	246	360	13
DagenNaOogst, DagenNaZaai	Aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt of na de zaai van de nateelt	continu	BDB						40047				
Perceelsgegevens:													
LbStreek	Landbouwstreek	categorisch	VLM-BDB	34880					155655				
OppPerc	Oppervlakte perceel (m <sup>2</sup> )	Continu	VLM-BDB	33145	13638	133	39787	8051	149564	27707	0	109120	22808
Teeltgegevens:													
Hoofdteeltgroep	Hoofdteelt	categorisch	VLM-BDB	34879					155504				
Nateeltgroep	Groenbemester/nateelt	categorisch	VLM-BDB	23211					148160				
TeeltBijStaalname	Teelt bij staalname	categorisch	BDB	9245					102654				
Bodembedekking	Bodembedekking bij staalname	categorisch	BDB	9245					102654				
Bodemgegevens:													
pH	pH (zuurtegraad)	continu	BDB	0					90209	6.2	3.6	8.7	0.78
C	C-gehalte (%)	continu	BDB	0					102621	1.4	0.1	14.2	0.75
Bodemtextuur	Textuur	categorisch	Bodemkaart	34587					155263				
Drainageklasse	Drainageklasse	categorisch	Bodemkaart	32106					146681				
Weergegevens:													
VochtbalansAprSep	Vochtbalans apr-sep (voorbije groeiseizoen) (mm)	continu	Meteo	34880	-20.07	-180.41	124.51	62.14	155655	-52	-276	160	101.8
Vochtbalans3j	Vochtbalans 3 jaar (3 groeiseizoenen) (mm)	continu	Meteo	34880	-123.79	-564.95	208.24	167.91	155655	-132	-565	208	180.8
VochtbalansJunSep	Vochtbalans jun-sep (zomer) (mm)	continu	Meteo	34880	7.21	-126.10	190.64	85.79	155655	-21	-220	191	99.2
VochtbalansAugOkt	Vochtbalans aug-okt (kwartaal voorafgaand) (mm)	continu	Meteo	34880	61.57	-31.19	172.99	49.16	155655	52	-98	186	68.8
VochtbalansSepOkt	Vochtbalans sep-okt (najaar) (mm)	continu	Meteo	34880	22.36	-56.07	71.19	32.65	155655	33	-56	231	57.1
TempAugOkt	Temperatuur aug-okt (kwartaal voorafgaand) (°C)	continu	Meteo	34880	15.02	13.66	17.00	1.13	155655	15.2	13.7	17.1	0.96
TempSepOkt	Temperatuur sep-okt (najaar) (°C)	continu	Meteo	34880	13.83	11.91	17.00	1.72	155655	13.6	11.3	17.3	1.56

			Dataset MB-BDB					Dataset BO-BDB					
Variabele	Type	Bron	Aantal gegevens	Gemid.	Min.	Max.	Standaard-afwijking	Aantal gegevens	Gemid.	Min.	Max.	Standaard-afwijking	
Bemestingsnormen:													
Derogatie	Derogatie (J/N)	categorisch	VLM	34880									
NormNtot	Bemestingsnorm Ntot (kg N/ha)	continu	VLM	34444	295	0	450	155398	213	0	280		
NormNdier	bemestingsnorm Ndier (kg N/ha)	continu	VLM	34444	206	0	250	155398	145	0	170		
NormNorg	bemestingsnorm Norg (kg N/ha)	continu	VLM	34444	192	0	250	155398	164	0	170		
NormNkunst	bemestingsnorm Nkunst (kg N/ha)	continu	VLM	34444	190	0	350	155398	187	0	250		
Bedrijfsgegevens:													
Bedrijfstype	Bedrijfstype	categorisch	VLM	34880				155655					
OppBedrijf	Oppervlakte bedrijf (ha)	continu	VLM	33893	27.7	0.01	117.0	20.38	135453	46	0	167	29.9
N-Bemestingsindicatoren (op bedrijfsniveau):													
ProdNdierBedrijf	Dierlijke N-productie (kg N/ha)	continu	VLM	34026	246	0.0	4353	355.4	135689	118	0	629	123.4
NkunstBedrijf	Aangifte N uit kunstmest (kg N/ha)	continu	VLM	33554	50	0.0	142	37.7	136306	63	0	150	36.8
NandereBedrijf	Aangifte N uit andere mest (kg N/ha)	continu	VLM	33867	0.14	0.00	12.02	0.932	135315	0.5	0	17.3	2.1
GebruikNDA	Gebruik N uit dierlijke + andere (kg N/ha)	continu	VLM	33986	169	0	481	68.5	136503	117	0	337	69.9
GebruikNTot	Gebruik N totaal (kg N/ha)	continu	VLM	34006	222	0	544	81.1	136941	183	0	410	74.8
NOverschot	Mestoverschot (kg N/ha)	continu	VLM	34028	89	0	4172	307.1	136320	17	0	437	58.1
N-Bemestingsindicatoren (op perceelsniveau):													
Organische Bemesting		categorisch	BDB	0					120676				
NBemesting	Geschatte N-bemesting (kg N/ha)	continu		34248	162	0	375	96.5					



## 2.2.1 Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS)

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) kan beschouwd worden als een categorische variabele, maar ook als een continue variabele (men neemt dan aan dat het nitraatresidu in de loop der jaren een bepaalde trend volgt, die gelijkloopt met de evolutie van de bemestingsnormen en de algemene bemestingspraktijken).

Als categorische variabele bevatten de datasets de volgende niveau's:

- 2001, 2002, 2003 (enkel dataset BO-BDB)
- 2004, 2005, 2006, 2007, 2008 (zowel dataset MB-BDB als dataset BO-BDB)

Als categorische variabele geeft BPJS uitdrukking aan de bemestingspraktijk die o.a. geïnspireerd is op het Vlaamse mestbeleid.

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname omvat een combinatie van de effecten van onder andere:

- de algemene bemestingspraktijken: de toegediende bemesting daalde in de loop der jaren omwille van strengere bemestingsnormen, toenemende aandacht voor de bemesting, verbeterde opvolging van de bemestingsadviezen, verscherpte uitrijregeling,...;
- de progressieve implementatie van het Vlaamse mestbeleid, soms met terugwerkende kracht;
- het effect van de bemestingshistoriek die nog enige tijd kan nawerken;
- de keuze van de bemonsterde percelen – gerichte staalnames: elk jaar wordt ervoor gekozen om percelen te selecteren met specifieke gewassen, specifieke bodemtexturen, in specifieke regio's, enz.
- de weersomstandigheden (neerslag, temperatuur, vochtgehalte,...): een droog, nat of normaal jaar, voorjaar, groeiseizoen, najaar; de bemestingspraktijk kan hierop worden afgestemd.

Het effect BPJS weerspiegelt dus eigenlijk vooral het effect van de bemestingspraktijk en het mestbeleid en is als dusdanig sterk verschillend tussen beide datasets. Dit wordt geïllustreerd in Tabel 4. In de percelen uit de dataset MB-BDB zijn de bemestingsnormen in de periode van 2000 tot 2008 sterk geëvolueerd (van 400 naar 170 kg N/ha voor gras), terwijl deze voor de percelen met BO Water van in het begin 170 kg N/ha bedroegen en evolueerden naar 140 kg N/ha.

**Tabel 4 - Evolutie van de meest voorkomende bemestingsnorm uit dierlijke mest (Algemeen Gebied van 2000 t/m 2006; Kwetsbare zone Water vanaf 2007) voor de teeltgroepen Gras, Maïs, Granen en Suikerbieten.**

Dataset MB					Dataset BO				
BPJS	Bemestingsnorm stikstof uit dierlijke mest in kg N/ha				BPJS	Bemestingsnorm stikstof uit dierlijke mest in kg N/ha			
	Gras	Maïs	Granen	Suikerbieten		Gras	Maïs	Granen	Suikerbieten
2000 (300-400)	400	300	300	300	2000 (170)	170	170	170	170
2001 (225-325)	325	275	225	225	2001 (170)	170	170	170	170
2002 (225-325)	325	275	225	225	2002 (170)	170	170	170	170
2003 (200-250)	250	250	200	200	2003 (140)	140	140	140	140
2004 (200-250)	250	250	200	200	2004 (140)	140	140	140	140
2005 (200-250)	250	250	200	200	2005 (140)	140	140	140	140
2006 (200-250)	250	250	200	200	2006 (140)	140	140	140	140
2007 (170) (*)	170	170	170	170	2007 (140)	140	140	140	140
2008 (170) (*)	170	170	170	170	2008 (140)	140	140	140	140

(\*): vóór 2007 was in het grootste deel van Vlaanderen de norm voor Algemeen gebied geldig; vanaf 2007 was heel Vlaanderen Kwetsbare zone Water.

Wat de weersomstandigheden betreft, zal een landbouwer hiermee in zijn bemestingsstrategie zoveel mogelijk rekening houden. Zo kan hij na een natte winter de bemesting in het voorjaar aanpassen of zal hij bijvoorbeeld tijdens een droge zomer of een droog najaar de stikstofbemesting van het grasland verlagen.

In de verdere bespreking wordt het effect “Bemestingspraktijk in het jaar van stalname” afgekort als “BPJS”.

### 2.2.2 Landbouwstreek

De Landbouwstreek is een categorische variabele, met de volgende niveau's:

- Duinen
- Kempen
- Vlaamse-zandstreek
- Zandleemstreek
- Leemstreek
- Polders
- Weidestreek

De Landbouwstreken “Duinen” en “Weidestreek” komen slechts zeer weinig voor in de datasets en werden bijgevolg niet meegenomen in de statistische analyses.

Ook de Landbouwstreek op zich geen “zuiver” effect, maar een combinatie van onder andere:

- bodemeigenschappen: textuur, drainage, maar ook ondergrond, ...;

- bedrijfstype: in sommige streken is er meer akkerbouw, in andere meer veeteelt, waardoor bedrijven eerder geneigd zijn om meer organisch te bemesten;
- bedrijfsgrootte: in bepaalde landbouwstreken (bv. de Haspengouwse leemstreek) is de landbouw extensiever, met grotere percelen, in andere (bv. Vlaamse-zandstreek) meer intensief met kleinere percelen.
- microklimaat: reliëf, ...
- geteelde gewassen: sommige gewassen worden meer (enkel) geteeld in bepaalde landbouwstreken; dit hangt ook samen met het effect bedrijfstype, bedrijfsgrootte en bodemeigenschappen.

### 2.2.3 Teelten algemeen

De teelten zijn categorische variabelen.

In de verschillende datasets (en voor sommige datasets ook in de verschillende jaren) werden andere teeltcodes en/of teeltnamen gebruikt. Al deze teeltlijsten werden naast elkaar gelegd en hieruit werd een nieuwe teeltlijst samengesteld, die in de uiteindelijke dataset voor statistische verwerking wordt gebruikt. Deze teeltlijst bevat in totaal 112 verschillende teelten.

Om de verwerking van de gegevens mogelijk te maken werden de teelten in de dataset ingedeeld in de volgende teeltgroepen:

- grasland
- maïs
- granen
- suikerbieten
- aardappelen
- vlinderbloemigen
- groenten
- fruitbomen
- andere gewassen
- geen teelt

### 2.2.4 Gewasgroep

Met de variabele Gewasgroep wordt de hoofdteelt bedoeld in het groeiseizoen voorafgaand aan de staalname. Deze hoofdteelt werd meegegeven in de verschillende datasets van de VLM en, voor de nitraatresidumetingen die uitgevoerd werden door BDB, ook in de dataset BDB. Indien

de hoofdteelten die opgegeven werden in de verschillende datasets niet overeenkwamen werd de hoofdteelt opgegeven in de dataset van de VLM geselecteerd. De hoofdteelten werden tenslotte in teeltgroepen ingedeeld zoals hierboven beschreven.

Uit de statistische analyse zal blijken dat er grote verschillen in nitraatresidu's bestaan tussen de Gewasgroepen. Deze verschillen kunnen gelinkt worden aan o.a. verschillen in bemesting (tijdstip, toedieningsmethode, soorten meststoffen en bemestingsdosissen) en gewasspecifieke eigenschappen (bewortelingsdiepte, oogstresten en groeiperiode).

Het effect Gewasgroep en gewaseffecten in het algemeen moeten echter genuanceerd worden.

Indien gewassen met de juiste dosis en op het juiste moment zouden bemest worden, zouden de verschillen in nitraatresidu slechts beperkt mogen zijn. Een bemesting op maat houdt immers rekening met factoren als nitraatstikstof aanwezig in het profiel, bewortelingsdiepte, gewasbehoefte en gewasopname, zaai- en groeiperiode, enz.. Ondiep wortelende gewassen kunnen natuurlijk de nitraatresten, overgebleven na de vorige oogst, in de diepere bodemlagen niet benutten. Deze nitraatresten zijn dan eigenlijk niet gelinkt aan de gewasgroep maar aan de vorige teelt.

In de praktijk is het echter zo dat sommige gewassen weinig teelttechnisch en fysiologisch nadeel ondervinden van mogelijke overbemesting (bv. maïs, aardappelen, bepaalde groenten). Deze gewassen zouden kunnen overbemest worden zonder zichtbare gevolgen voor de teelt, maar met mogelijke gevolgen voor het nitraatresidu en voor het nitraatresidu in het volgend jaar indien een ondiep wortelend gewas wordt verbouwd. Andere gewassen ondervinden wel zichtbare teelttechnische nadelen van overbemesting (bv. granen legeren, suikerbieten geven een lagere kwaliteit en een lager suikergehalte, witloof wordt rot in de forcerie, bij spruitkool kromt de stam en worden de spruiten te dik,...). Voor deze gewassen wordt zorgvuldig omgesprongen met de stikstofbemesting, waardoor de nitraatresidu's gemiddeld lager uitvallen. Grasland heeft een grote capaciteit om een teveel aan stikstof in de bodem op te nemen en op te slaan in het gewas zelf. Hierdoor worden voor dit gewas, zelfs bij een hogere bemesting, lagere residu's gemeten.

In de statistische analyse van de nitraatresidu's werd, omwille van deze bemestingspraktijken gebonden aan het gewasstype, de factor Gewasgroep meegenomen als een belangrijke onderscheidende factor.

### **2.2.5 Nateelt(groep)**

De variabele Nateelt(groep) heeft betrekking op het eventuele bijkomende gewas dat na de hoofdteelt nog wordt gezaaid. Dit kan een groenbemester zijn (wordt niet geoogst) of een andere

bijkomende teelt zoals bepaalde groenten, grasland, enz. (wordt wel geoogst). Nateelt(groep) is een categorische variabele.

De gegevens m.b.t. de nateelt zijn gedeeltelijk afkomstig van de VLM-datasets en gedeeltelijk van de dataset BDB. Indien de gegevens van de verschillende datasets niet overeenkwamen werd de nateelt opgegeven in de dataset van de VLM geselecteerd.

Echter, het effect van de nateelt kan, op basis van de in de datasets beschikbare informatie, niet altijd juist ingeschat worden omwille van de volgende redenen:

- De beschikbare informatie is niet 100% betrouwbaar: indien opgegeven is dat er een groenbemester of nateelt geteeld werd, is dit in hoge mate betrouwbaar, maar indien niets opgegeven werd, kunnen we er niet met zekerheid van uit gaan dat er geen nateelt/groenbemester was. Bovendien zijn er percelen, vooral met als hoofdteelt maïs, waarvoor wel een nateelt werd opgegeven, maar waar deze nateelt nog niet aanwezig was op het moment van de stalname, waardoor er geen effect van de nateelt kon gemeten worden.
- Er wordt niet of niet altijd onderscheid gemaakt tussen een groenbemester waarvoor geen bijkomende bemesting toegediend werd en een nateelt of groenbemester die wel bijkomend bemest werd, alhoewel dit uiteraard een belangrijk effect kan hebben op het nitraatresidu.

Tenslotte is het aangewezen om het effect Nateelt(groep) te bekijken in functie van de gewasgroep (hoofdteelt), aangezien het gebruik van een groenbemester/nateelt sterk kan verschillen naargelang de hoofdteelt. Bijvoorbeeld, een groenbemester na granen heeft een belangrijk catch-crop-effect. Door de combinatie “graan gevolgd door groenbemester” wordt de periode van stikstofopname verlengd in vergelijking met de stikstofopname door “graan niet gevolgd door groenbemester”, en dit in een najaarsperiode waarin nog belangrijke mineralisatie optreedt (augustus-september). Vooral suikerbieten maar ook maïs nemen als hoofdteelt zelf nog stikstof op tijdens het najaar. Een groenbemester of nateelt na deze gewassen verlengt weliswaar de stikstofopnameperiode, maar dan vooral tijdens de winter, wanneer de mineralisatie eerder beperkt is.

## **2.2.6 Bodembedekking bij stalname**

Het gewas dat aanwezig is op het moment van de stalname (nog aanwezige hoofdteelt of reeds gezaaide nateelt) en de ontwikkeling van dit gewas, werden geregistreerd voor de nitraatresidumetingen uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst. Beide gegevens werden gecombineerd in de variabele Bodembedekking bij stalname, uitgedrukt in de vorm “m/n”, waarbij m staat voor de code van de Gewasgroep aanwezig bij stalname en n staat voor de ontwikkelingsgraad van dit gewas.

Voor de ontwikkelingsgraad van het gewas (n) werden, op basis van de zaaidatum van het aanwezige gewas (beschikbaar voor de jaren 2004-2006) en/of van de code die aan het gewas gegeven werd door de staalnemer, de volgende klassen onderscheiden:

- 0: ontwikkeling gewas verwaarloosbaar (minder dan 15 dagen vóór de staalname gezaaid)
- 1: weinig ontwikkeld gewas (gezaaid tussen 15 en 30 dagen vóór de staalname)
- 2: matig ontwikkeld gewas (gezaaid tussen 30 en 45 dagen vóór de staalname)
- 3: sterk ontwikkeld gewas (grasland of boomgaard of gewas gezaaid meer dan 45 dagen vóór de staalname)

### **2.2.7 Staalnamedag, Dagen na oogst, Dagen na zaai**

De Staalnamedag is het dagnummer van de datum van staalname (bvb. 1 januari = dag 1; 31 december = dag 365 of 366). Het is een continue variabele (SNDag), die normaal varieert tussen 273 (1 oktober) en 318 (15 november).

Naast Staalnamedag werden nog twee andere continue variabelen berekend en gebruikt in de analyse, in combinatie met de Bodembedekking bij staalname, nl.

- Dagen na oogst: indien er geen bodembedekking is bij staalname staat deze variabele voor het aantal dagen tussen de oogst van de hoofdteelt en de staalname. Deze variabele komt dus overeen met de periode zonder bodembedekking.
- Dagen na zaai: indien er een volgteelt (bvb. granen) of een nateelt aanwezig is bij de staalname staat deze variabele voor het aantal dagen tussen de zaai van de nateelt en de staalname. Deze variabele komt dus overeen met de groeiperiode van de nateelt of volgteelt op het moment van de staalname.

De gegevens “Dagen na oogst” en “Dagen na zaai” zijn enkel beschikbaar in de dataset BDB, voor de jaren van 2001 t/m 2006. De statistische verwerking ervan werd beperkt tot de percelen met BO Water, aangezien er onvoldoende data beschikbaar waren in de Mestbankcontrolepercelen, en tot de gewasgroepen Maïs, Granen en Suikerbieten.

### **2.2.8 Bodemtextuur**

De Bodemtextuur is een categorische variabele die afgeleid werd uit de digitale bodemkaart van Vlaanderen. Deze databank bevat in totaal 72 verschillende textuurcodes voor de bemonsterde percelen. Voor verdere statistische verwerking werden deze textuurcodes gegroepeerd in de volgende klassen:

- Klei (incl. Polder)
- Leem
- Zandleem
- Zand
- Veen
- Andere

De bodemtexturen “Veen” en “Andere” komen slechts zeer weinig voor in de datasets en werden bijgevolg niet meegenomen in de statistische analyses.

### **2.2.9 Bodemdrainage**

De Bodemdrainageklasse is een categorische variabele die afgeleid werd uit de digitale bodemkaart van Vlaanderen. In combinatie met de verschillende bodemtexturen bevat deze databank in totaal 125 verschillende drainagecodes voor de bemonsterde percelen. Voor verdere statistische verwerking werden deze drainagecodes gegroepeerd in de volgende klassen:

- Zeer droog
- Droog
- Matig nat
- Nat
- (Nat met reductiehorizont)
- Zeer nat
- (Zeer nat met reductiehorizont)
- Uiterst nat

Uit de statistische analyses bleek dat het onderscheid tussen Nat (of Zeer nat) en Nat met reductiehorizont (of Zeer nat met reductiehorizont) niet veel bijbrengt. De klassen “Zeer droog” en “Uiterst nat” komen zeer weinig voor in de nitraatresidu-datasets en werden bijgevolg niet meegenomen in de statistische analyses.

De Bodemdrainageklasse van de percelen hangt in hoge mate samen met de Bodemtextuur, maar niet alle drainageklassen komen voor bij alle bodemtexturen. Hierdoor is het niet mogelijk om het gecombineerde effect (bodemdrainage x bodemtextuur) te bepalen voor alle mogelijke combinaties d.m.v. een variantie-analyse.

### 2.2.10 pH en C-gehalte

De pH en het C-gehalte zijn continue variabelen die gemeten en geregistreerd werden bij de nitraatresidumetingen uitgevoerd door de Bodemkundige Dienst in percelen met Beheerovereenkomst Water.

### 2.2.11 Derogatie

Derogatie is een categorische variabele (Met/Zonder). Het gegeven “Derogatie (Met/Zonder)” heeft echter niet in alle jaren dezelfde betekenis en kan niet afzonderlijk van de geldende bemestingsnormen bekeken worden. Derogatie in de actuele betekenis werd pas ingevoerd in 2007. Sinds dat jaar is heel Vlaanderen Kwetsbare zone Water en mogen percelen met derogatie meer stikstof uit dierlijke mest (derogatiemest) toedienen (afhankelijk van de gewasgroep), terwijl de totale N-bemestingsnorm dezelfde blijft als in de andere percelen.

In de jaren vóór 2007 was het grootste deel van Vlaanderen nog Algemeen gebied (met hogere bemestingsnormen dan Kwetsbare zone Water) en had derogatie enkel betrekking op bepaalde percelen in Kwetsbare zone Water. Deze percelen mochten meer stikstof uit dierlijke en andere organische meststoffen toedienen dan de normale norm voor Kwetsbare zone Water.

Om het effect van Derogatie in de huidige betekenis na te gaan werden enkel de gegevens van 2007 en 2008 geanalyseerd.

### 2.2.12 Bedrijftype

Het Bedrijftype is een categorische variabele die werd afgeleid enerzijds uit de door de VLM aangeleverde bedrijfsgegevens, nl. uit het opgegeven aantal dieren per diersoort op het bedrijf, en anderzijds uit de (gemiddelde) forfaitaire N-uitscheidingsnorm van elke diersoort. Op basis van deze uitscheidingsnorm per diersoort, telkens vermenigvuldigd met het aantal dieren van deze soort op het bedrijf, werden de volgende bedrijfstypes onderscheiden:

- Varkensbedrijf: bedrijven met een grotere N-uitscheiding door varkens dan door rundvee of pluimvee;
- Rundveebedrijf: bedrijven met een grotere N-uitscheiding door runderen dan door varkens of pluimvee;
- Pluimveebedrijf: bedrijven met een grotere N-uitscheiding door pluimvee dan door varkens of rundvee;
- Bedrijf met andere dieren: bedrijven zonder varkens, runderen of pluimvee maar wel met andere dieren;



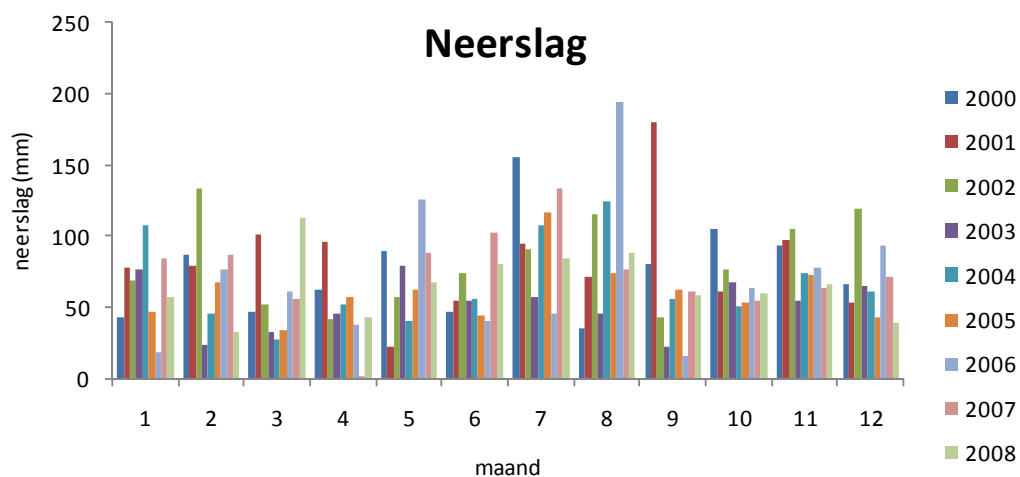
- Bedrijf zonder dieren.

De nitraatresidu's werden vooral gemeten in percelen van varkens- of rundveebedrijven en van bedrijven zonder dieren. De bedrijfstypes "Bedrijf met andere dieren" en "Pluimveebedrijf" komen minder voor in de dataset en werden dus niet meegenomen in de statistische analyses.

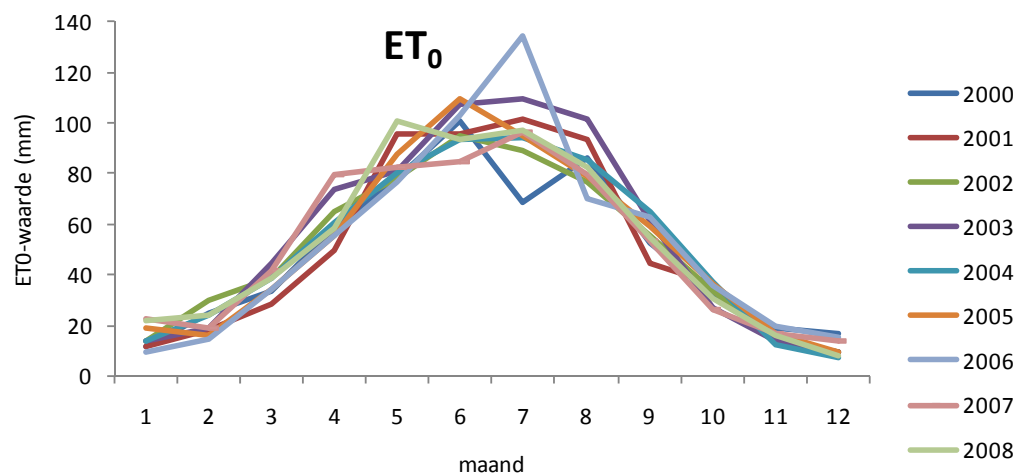
### 2.2.13 Weergegevens

In Figuur 2 tot Figuur 5 worden per jaar de maandelijkse weergegevens voorgesteld op basis van de gemiddelden van de 12 geselecteerde weerstations (zie 1.7):

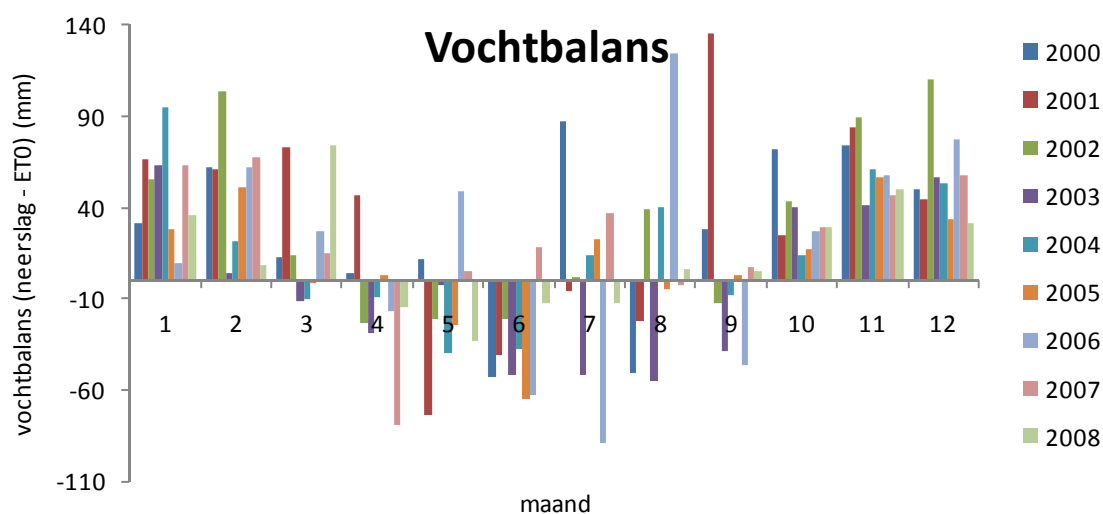
- Neerslag (mm)
- $ET_0$ -waarde (mm)
- Vochtbalans: neerslag -  $ET_0$  (mm): negatieve waarden duiden op een vochttekort
- Temperatuur ( $^{\circ}C$ )



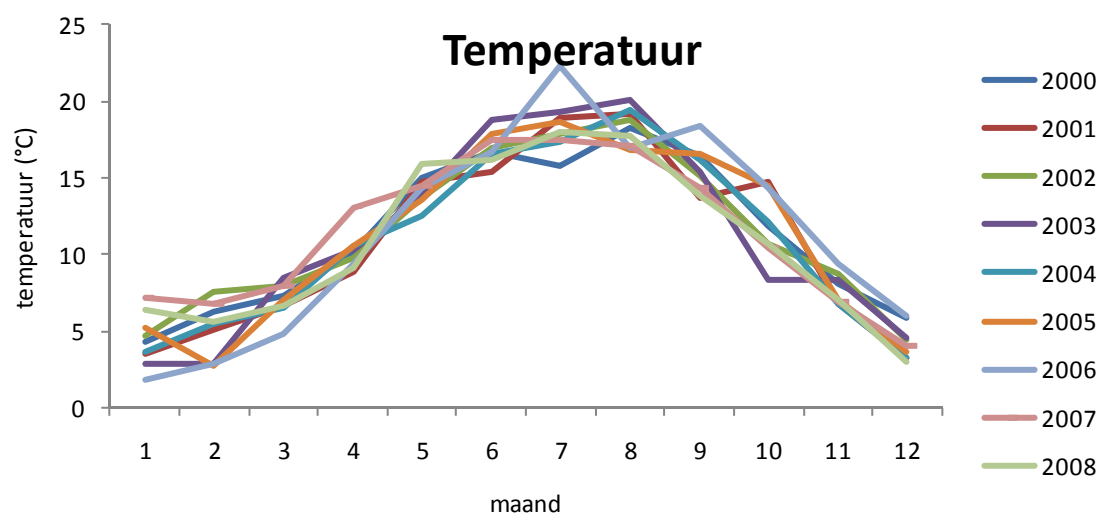
Figuur 2 - Gemiddelde maandelijkse neerslag (in mm) in de 12 geselecteerde weerstations voor de periode 2000-2008.



Figuur 3 - Gemiddelde maandelijkse  $ET_0$ -waarden (in mm) in de 12 geselecteerde weerstations voor de periode 2000-2008.



Figuur 4 - Gemiddelde maandelijkse vochtbalans (in mm) in de 12 geselecteerde weerstations voor de periode 2000-2008.



Figuur 5 - Gemiddelde maandelijkse temperatuur (in °C) in de 12 geselecteerde weerstations voor de periode 2000-2008.

In Tabel 5 worden de verschillende jaren gekarakteriseerd aan de hand van het weer in het groeiseizoen, de zomer en het najaar. Een kleurcode werd toegekend indien een bepaald jaar een duidelijk hoger ( $\geq$  gemiddelde + standaardafwijking) of een duidelijk lager ( $\leq$  gemiddelde - standaardafwijking) resultaat scoorde dan de andere jaren:

- Groen: natter dan de andere jaren
- Geel: droger dan de andere jaren
- Rood: warmer dan de andere jaren
- Blauw: kouder dan de andere jaren

Het groeiseizoen wordt gedefinieerd als de periode van april t/m september. Voor de zomer worden de gegevens van de maanden juni t/m september genomen en voor het najaar de maanden september en oktober.

**Tabel 5 - Gemiddelde weergegevens per jaar in de 12 geselecteerde weerstations voor het groeiseizoen, de zomer en het najaar (groen: natter; geel: droger; rood: warmer; blauw: kouder).**

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Gemid	St.dev
Groeiseizoen (apr-sep)	Neerslag (mm)	470	519	422	306	437	419	460	462	426	436	58
	ET0 (mm)	444	480	460	535	479	486	503	476	487	483	26
	Vochtbalans (mm)	26	39	-38	-229	-42	-67	-43	-14	-61	-48	77
	Temperatuur (°C)	15.4	15.1	15.3	16.3	15.4	15.7	16.3	15.6	15.1	15.6	0.4
Zomer (jun-sep)	Neerslag (mm)	318	401	324	182	345	298	296	374	314	317	61
	ET0 (mm)	307	335	317	380	338	343	370	314	327	337	25
	Vochtbalans (mm)	11	66	7	-198	7	-45	-74	60	-14	-20	80
	Temperatuur (°C)	16.8	16.8	17.1	18.4	17.4	17.5	18.6	16.6	16.4	17.3	0.8
Najaar (sep-okt)	Neerslag (mm)	185	241	120	90	107	115	80	116	120	131	51
	ET0 (mm)	85	81	89	89	102	96	99	80	86	90	8
	Vochtbalans (mm)	100	160	31	2	6	19	-19	36	34	41	56
	Temperatuur (°C)	14.2	14.2	12.9	11.9	14.1	15.5	16.4	12.4	12.2	13.8	1.5

De jaren 2002, 2004 en 2005 werden gekenmerkt door gemiddelde waarden voor het groeiseizoen, de zomer en het najaar.

Het jaar 2000 werd gekenmerkt door een vochtig najaar en een relatief droog groeiseizoen en zomer.

Het jaar 2001 werd gekenmerkt door een vochtig en relatief koud groeiseizoen, een vochtige zomer en een vochtig najaar.

Het jaar 2003 werd gekenmerkt door een droog en warm groeiseizoen, een droge en warme zomer en een relatief koud najaar.

Het jaar 2006 werd gekenmerkt door een relatief warm groeiseizoen en warme zomer en een droog en warm najaar.

Het jaar 2007 werd gekenmerkt door een relatief vochtige zomer.

Het jaar 2008 werd gekenmerkt door een relatief koud groeiseizoen, zomer en najaar.

Voor de statistische verwerking in verband met de nitraatresidumetingen werden voor elk weerstation per jaar de volgende continue variabelen berekend:

- VochtbalansAprSep: de vochtbalans in het voorbije groeiseizoen
- Vochtbalans3j: de vochtbalans in de 3 voorbije groeiseizoenen (deze variabele wordt meegenomen op basis van de resultaten van een vroeger onderzoek van BDB).
- VochtbalansJunSep: de vochtbalans in de voorbije zomer: hiermee kan bv. het effect van een eventuele zomerdroogte worden nagegaan.

- VochtbalansAugOkt: de vochtbalans in het kwartaal voorafgaand aan de nitraatresidumetingen.
- VochtbalansSepOkt: de vochtbalans in het najaar: hiermee kan bv. het effect van een eventueel nat najaar worden nagegaan.
- TempAugOkt: de gemiddelde temperatuur in het kwartaal voorafgaand aan de nitraatresidumetingen.
- TempSepOkt: de gemiddelde temperatuur in het najaar: hiermee kan bv. het effect van een eventueel warm najaar worden nagegaan.

#### **2.2.14 Bemestingsnormen**

Aan elk van de nitraatresidumetingen werden de geldende stikstofbemestingsnormen gekoppeld op basis van:

- het jaar;
- de gewasgroep (en eventuele nateelt) volgens de MAP-indeling;
- de ligging van het perceel in algemeen gebied, kwetsbare zone water, kwetsbare zone natuur of in grondwaterwingebied (afhankelijk van het jaar); de ligging in kwetsbare zone water (t/m 2006) en in kwetsbare zone natuur werd afgeleid uit de gegevens van de thematische zones in de dataaag van de landbouwpercelen 2008 (overlegd met de dataset MB op basis van de gemiddelde XY-coördinaat van de nitraatresidumetingen):
  - o Grondwaterwingebied: voor beschermingszone 1 geldt 0-bemesting; beschermingszones 2 en 3 vallen in kwetsbare zone water.
  - o Oppervlaktewaterwingebied: t/m 2006: indien beheerovereenkomst water mogelijk, dan valt het perceel in kwetsbare zone water, zo niet in algemeen gebied.
  - o Groene gewestplanbestemmingen: alle groene gewestplanbestemmingen vallen in kwetsbare zone natuur; groene gewestplanbestemmingen “intensief grasland of akker in bosgebieden volgens het gewestplan” krijgen automatisch ontheffing.
- de ligging met betrekking tot bodemtype (zand of niet-zand): op basis van de landbouwtreek en de provincie (voor percelen in de Kempen en de Vlaamse Zandstreek, met uitzondering van de provincie Vlaams-Brabant, gelden de bemestingsnormen voor zandgrond);
- al dan niet toepassing van Beheerovereenkomst Water, afgesloten vóór of na 1/1/2007 (op basis van de datum van de eerste nitraatresidustaalname van de betreffende beheerovereenkomst);

- al dan niet toekenning derogatie: dit gegeven werd afgeleid uit de dataset “Landbouwpercelen” (percelenlagen van de verschillende jaren, die overlegd werden met de dataset MB op basis van de gemiddelde XY-coördinaat van de nitraatresidumeting).

In de datasets werden alle bemestingsnormen met betrekking tot stikstof opgenomen als continue variabelen, nl.:

- NormNtot: de totale N-bemestingsnorm (kg N/ha)
- NormNdier: de N-bemestingsnorm uit dierlijke mest (kg N/ha)
- NormNorg: de N-bemestingsnorm uit andere organische mest (kg N/ha)
- NormNkunst: de N-bemestingsnorm uit kunstmest (kg N/ha)

De geldende bemestingsnormen gelden als een indicator voor de uitgevoerde bemesting op het perceel.

### **2.2.15 Oppervlakte perceel**

De oppervlakte van het perceel waarin het bodemstaal voor de nitraatresidumeting genomen werd is een continue variabele (OppPerc) en wordt uitgedrukt in m<sup>2</sup>.

### **2.2.16 Oppervlakte bedrijf**

De totale grondoppervlakte van het bedrijf in het jaar van de staalname is een continue variabele (OppBedrijf) en wordt uitgedrukt in ha.

### **2.2.17 Organische bemesting**

In de dataset BDB zijn, voor de percelen met BO Water, van 2000 tot en met 2008 gegevens beschikbaar i.v.m. het al dan niet toedienen van dierlijke mest op de bemonsterde percelen evenals de periode van toediening:

- “vorig najaar”: toediening gedurende het najaar voorafgaand aan het jaar van de staalname;
- “dit voorjaar”: toediening gedurende het voorjaar in het jaar van de staalname;
- “dit najaar”: toediening gedurende het najaar van de staalname.

### **2.2.18 N-bemestingsindicatoren**

In de beschikbare datasets is er voor de Mestbankcontrolemetingen geen directe informatie beschikbaar met betrekking tot de bemestingspraktijken op perceelsniveau. We kunnen er nochtans van uitgaan dat de uitgevoerde bemesting (dosis, soort en samenstelling, tijdstip van

toediening) een belangrijke (de belangrijkste) invloed heeft op het nitraatresidu. Bij gebrek aan exacte en volledige gegevens op perceelsniveau zal de niet verklaarde variantie in de statistische analyses voor een groot deel op rekening te brengen zijn van de bemesting.

De bemestingsnormen (zie 2.2.14 en Tabel 4) kunnen een indicatie geven van de toegediende bemestingshoeveelheden, maar er van uit gaan dat de geldende bemestingsnormen systematisch zouden worden toegepast op perceelsniveau houdt een groot risico in. De bemestingsnorm is immers niet noodzakelijk gelijk aan de bemestingspraktijk.

Op bedrijfsniveau werden door VLM een aantal data aangeleverd die verband houden met de stikstofproductie en het stikstofgebruik van het bedrijf. Deze gegevens kunnen ook een indicatie geven van de toegepaste stikstofbemesting op de bemonsterde percelen.

De volgende gegevens zijn beschikbaar:

- ProdNdierBedrijf: dierlijke stikstofproductie
- NkunstBedrijf: aangifte kunstmestgebruik N
- NandereBedrijf: aangifte andere meststoffen N
- GebruikNDA: gebruik van dierlijke mest en andere meststoffen N
- GebruikNTot: gebruik van alle meststoffen N
- NDAoverschot: bedrijfsmatig overschot dierlijke en andere meststoffen N
- Noverschot: bedrijfsmatig overschot alle meststoffen N

Voor de analyse werden deze gegevens omgezet in hoeveelheden N per hectare, door ze te delen door de totale grondoppervlakte van het bedrijf.

### 2.2.19 Geschatte N-bemesting

Op basis van de gegevens van 2.2.18 werd ook een schatting gemaakt van de toegepaste stikstofbemesting op de bemonsterde percelen (Nbemesting). In de beschikbare gegevens zijn er immers geen directe aanwijzingen beschikbaar over de reëel uitgevoerde stikstofbemesting op de percelen, dat waarschijnlijk toch een zeer belangrijke factor is om het nitraatresidu te verklaren. Daarom werd, op basis van de beschikbare bedrijfs-, perceels- en teeltinformatie, een “stikstofallocatiemodel” ontwikkeld om de toegepaste stikstof uit dierlijke en andere organische mest te schatten op de percelen waar een nitraatresidumeting werd uitgevoerd.

In de verschillende datasets beschikken we over de volgende gegevens:

Per bedrijf × jaar (dataset Bedrijven):

- GebruikNDA: totale hoeveelheid gebruikte stikstof uit dierlijke en andere organische mest. Op bedrijfsniveau beschikken we per jaar over de totale gebruikte hoeveelheid stikstof uit dierlijke en andere organische mest

- OppBedrijf: totale grondoppervlakte van het bedrijf

Per landbouwperceel  $\times$  jaar (dataset Landbouwpercelen):

- Bedrijf: bedrijf waartoe het perceel behoort
- OppPerc: oppervlakte van het perceel
- Hoofdteeltgroep: hoofdteelt op het perceel
- Derogatie: toekenning derogatie (j/n) op het perceel

Per jaar  $\times$  teelt(groep)  $\times$  MAP-gebied  $\times$  bodem  $\times$  derogatie  $\times$  beheerovereenkomst (dataset Bemestings-normen):

- NormNtot: totale bemestingsnorm stikstof
- NormNdier: bemestingsnorm stikstof uit dierlijke mest
- NormNorg: bemestingsnorm stikstof uit andere organische mest
- NormNkunst: bemestingsnorm stikstof uit kunstmest

Door deze datasets aan elkaar te koppelen kunnen we voor elk bedrijf  $\times$  jaar de volgende gegevens afleiden:

- Het areaal per gewasgroep
- De geldende bemestingsnorm stikstof per gewasgroep

Voor de bepaling van de geldende bemestingsnorm per bedrijf  $\times$  gewasgroep  $\times$  jaar werden enkele veralgemeningen uitgevoerd:

- Uit de bedrijfsinformatie beschikken we enkel over de som van de gebruikte stikstof uit dierlijke en andere organische mest samen. We gaan er echter vanuit dat op één perceel nooit beide soorten samen werden toegediend. Eén van beide normen (uit dierlijke of uit andere organische mest) volstaat dan om de maximaal toegepaste dosis te bepalen en aangezien de norm uit dierlijke mest het meest van toepassing is, hebben we hiermee verder gewerkt.
- Voor de dataset MB zijn we er bovendien van uit gegaan dat bedrijven die een Mestbank-controlemeting hebben gekregen op één van hun percelen, en die dus voorkomen in de dataset MB, geen beheerovereenkomstbedrijven zijn (deze hebben immers reeds nitraatresidumetingen in de dataset BO). Daarom bepalen we voor de dataset MB de geldende bemestingsnorm voor elke gewasgroep op basis van de normen voor Algemeen gebied (t/m 2006) of voor Kwetsbare zone Water (vanaf 2007), met of zonder derogatie naargelang de gegevens in de dataset landbouwpercelen. We houden hierbij dus ook geen rekening met eventuele ligging in andere gebieden zoals Kwetsbare zone Water (t/m 2006) of Natuur.

- Aangezien de grondsoort (zand of niet-zand) pas vanaf 2007 een (klein) verschil uitmaakt voor de bemestingsnorm houden we hier ook geen rekening mee en gebruiken we overal de norm voor niet-zandgronden.
- Het maximaal toegelaten stikstofgebruik per bedrijf  $\times$  jaar
- Door het areaal per gewasgroep te vermenigvuldigen met de bemestingsnorm per gewasgroep en de bekomen cijfers te sommeren kunnen we het theoretische maximaal toegelaten stikstofgebruik per bedrijf en per jaar berekenen (=afzetruimte dierlijke en andere meststoffen).

Per bedrijf  $\times$  Jaar wordt vervolgens de totale gebruikte hoeveelheid stikstof uit dierlijke en andere organische mest (GebruikNDA) verdeeld over de gewasgroepen volgens het volgende schema:

1. bemesting van het areaal maïs (met en zonder derogatie), maximaal tot aan de bemestingsnorm voor maïs;
2. indien er nog stikstofgebruik (GebruikNDA) over is: bemesting van het areaal gras (met en zonder derogatie), maximaal tot aan de bemestingsnorm voor gras;
3. indien er nog stikstofgebruik (GebruikNDA) over is: bemesting van het areaal aardappelen, maximaal tot aan de bemestingsnorm voor aardappelen;
4. indien er nog stikstofgebruik (GebruikNDA) over is: bemesting van het areaal suikerbieten, maximaal tot aan de bemestingsnorm voor suikerbieten;
5. indien er nog stikstofgebruik (GebruikNDA) over is: bemesting van het areaal andere teelten, maximaal tot aan hun respectievelijke bemestingsnormen;
6. indien er nog steeds stikstofgebruik (GebruikNDA) over is worden achtereenvolgens het areaal maïs en grasland nog verder bemest tot max. 1.5 keer hun bemestingsnorm.

Tenslotte werd het effect van de op die manier geschatte toegediende organische stikstof berekend op basis van een enkelvoudige regressieanalyse.



### 3 Beschrijvende analyse van de datasets (exploratieve statistiek)

De eerste fase van het onderzoek bestaat uit een grondige statistische analyse van de bij de VLM beschikbare nitraatresidumetingen. De invloed van de beschikbare parameters, zowel categorische (klassevariabelen) als continue variabelen (covariabelen) op het nitraatresidu wordt bepaald door middel van (co)variantie-analyses en regressieanalyses.

Deze analyses moeten in de eerste plaats een antwoord geven op de vragen van de opdrachtgever, met name:

- welke factoren hebben al dan niet een significante invloed op de hoogte van het nitraatresidu;
- welke zijn de eventuele interacties tussen deze factoren;
- zijn er significante verschillen tussen de resultaten bekomen op derogatiepercelen, percelen onder beheersoptie of percelen met kans op overbemesting.

Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de beschikbare datasets niet noodzakelijk representatief zijn voor alle Vlaamse landbouwpercelen. De resultaten van en de besluiten uit de statistische analyses mogen dus niet zomaar veralgemeend worden.

Voor wat de dataset MB-BDB (Mestbankcontrolemetingen en metingen op opvolgstalen) betreft werden de bemonsterde percelen steeds gericht geselecteerd volgens een aantal criteria die beschreven staan in de voortgangsrapporten van de Mestbank. Zo werden bv. gericht stalen genomen in derogatiepercelen, percelen die mogelijk als kwetsbaar gebied afgebakend zouden worden, percelen in risicogebieden, percelen met een vermoeden van of een hogere kans op overbemesting, percelen met hoge nitraatresidu's in vorige jaren, enz. In totaal werden slechts respectievelijk 5.5% en 1.0% van de bemonsterde percelen in resp. 2006 en 2007 willekeurig gekozen. Een extrapolatie van de resultaten van deze dataset naar heel Vlaanderen zal dus een overschatting betekenen van het nitraatresidu in de meeste andere percelen. Bovendien zullen, door deze gerichte staalname, andere effecten op het nitraatresidu, zoals effect Gewasgroep, Bodemtextuur, Landbouwstreek, Bedrijftype, enz. met deze dataset nooit juist kunnen ingeschat worden.

De dataset BO-BDB daarentegen bevat de volledige populatie van alle percelen met BO Water. De effecten die in deze dataset gevonden worden zijn dus perfect representatief voor percelen met BO Water (d.w.z. met verminderde bemesting), maar kunnen uiteraard evenmin zomaar doorgetrokken worden naar andere percelen. Hier zou een extrapolatie van de resultaten naar andere percelen vaak een onderschatting van het nitraatresidu kunnen betekenen.

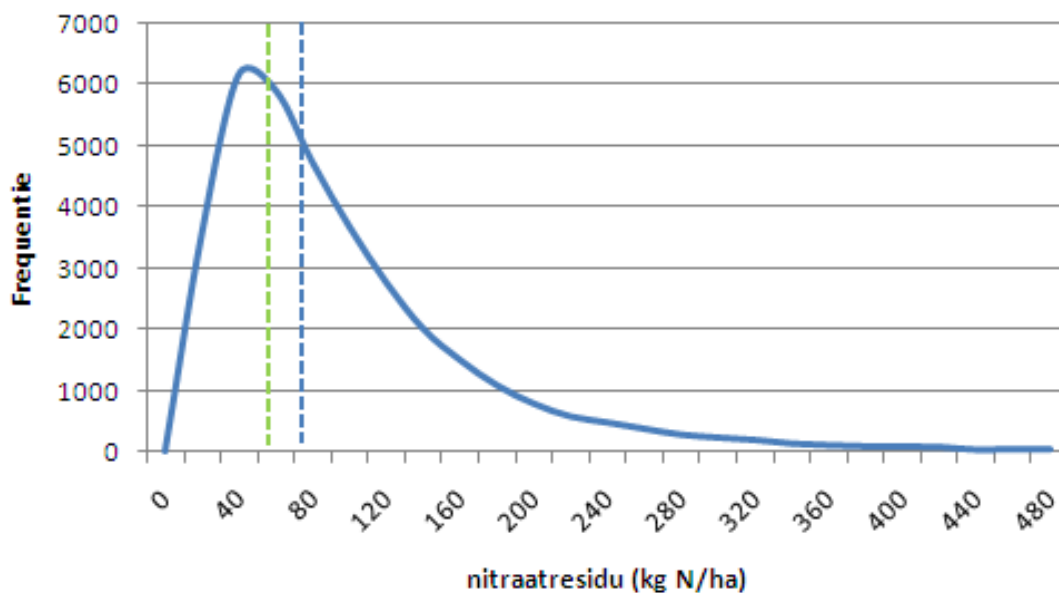
Tussen beide datasets bestaan bijgevolg belangrijke verschillen op gebied van nitraatresiduniveau's, maar ook de jaren, landbouwstreken, bodemtypes en teelten die bemonsterd werden zijn duidelijk verschillend. Daarom werd beslist om beide datasets steeds apart te verwerken.

De statistische verwerking gebeurde met het programma Statistica (Statsoft Inc. , 2007. Statistica Package 7.1. USA, Tulsa.).

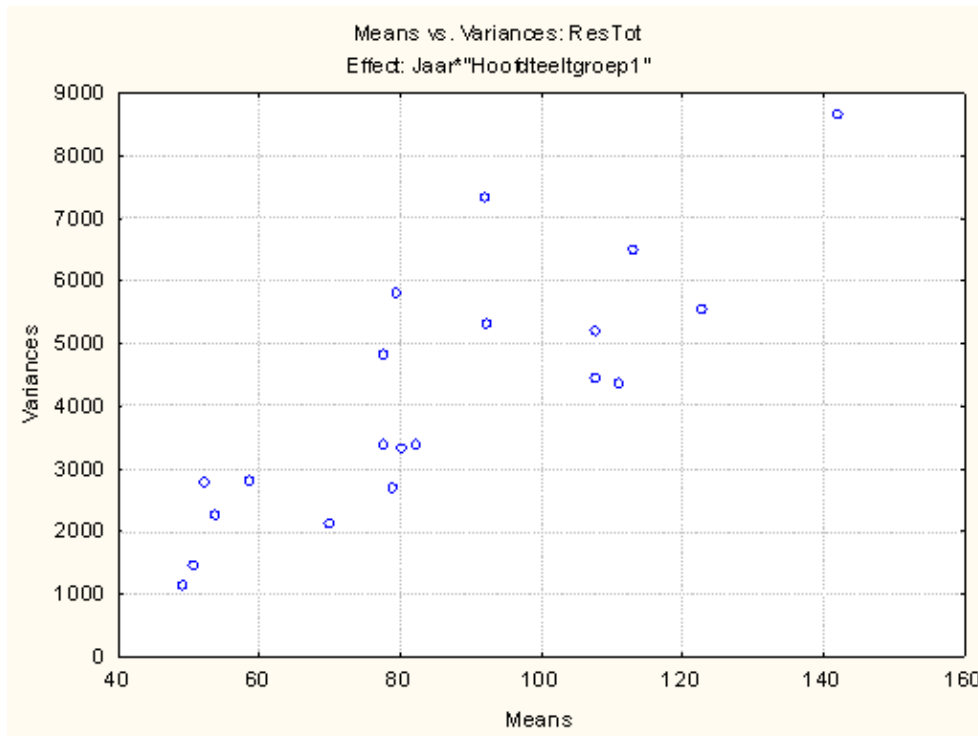
### 3.1 Basisvereisten voor variantieanalyse en log-transformatie

Voorafgaand aan de statistische analyse werden de nitraatresidugegevens in beide datasets (MB-BDB en BO-BDB) getest voor de basisvereisten van ANOVA, meer bepaald normaalverdeling en homoscedasticiteit.

In beide datasets zijn de nitraatresidu-gegevens niet normaal verdeeld en niet homoscedastisch (zie Figuur 6 en Figuur 7 voor de dataset MB-BDB).



Figuur 6 - Dataset MB-BDB: Frequentieverdeling van de nitraatresidu's, gemiddelde (blauwe stippellijn) en mediaan (groene stippellijn).



**Figuur 7 - Varianties vs gemiddelde: voorbeeld van de verdeling van de varianties voor het ANOVA-model nitraatresidu = Jaar | Hoofddeeltgroep.**

Om variantie- en regressieanalyses te kunnen uitvoeren werden de nitraatresidu-gegevens eerst getransformeerd. Hiervoor werd de natuurlijke logaritme toegepast:

$$N_t = \log(N+1)$$

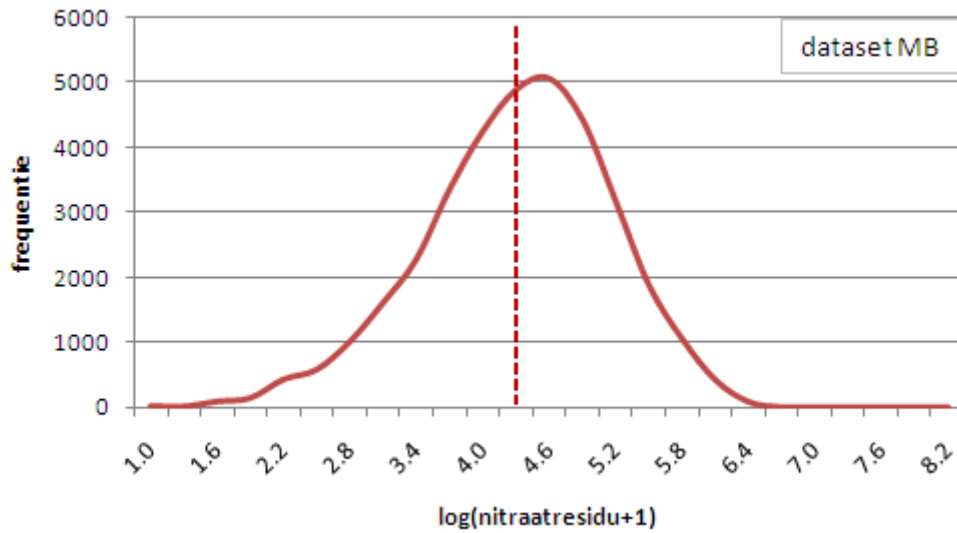
waarbij

$N$  = nitraatresidu en

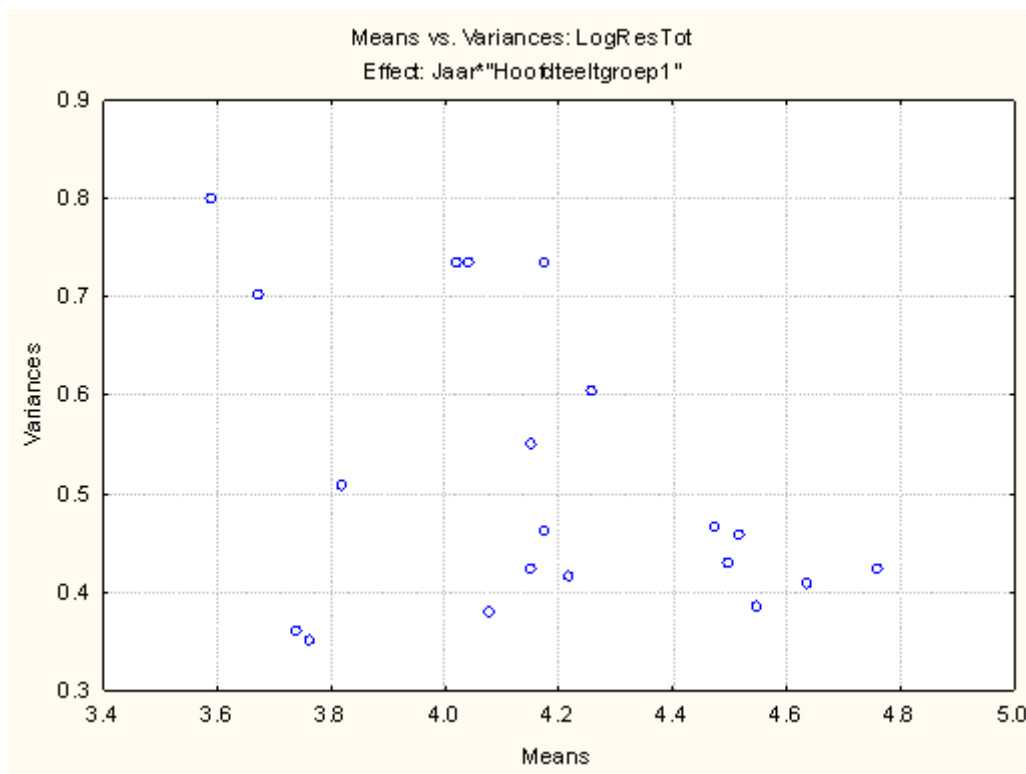
$N_t$  = getransformeerd nitraatresidu.

Het nitraatresidu wordt vermeerderd met 1 om negatieve cijfers bij de log-transformatie te vermijden.

Na de log-transformatie is de verdeling quasi-normaal (Figuur 8) en zijn de varianties redelijk homogeen (Figuur 9). Hierdoor voldoet de steekproefpopulatie aan de voorwaarden om met parametrische statistische tests (AN(C)OVA, MAN(C)OVA, regressie) geanalyseerd te worden.



Figuur 8 - Dataset MB-BDB: Frequentieverdeling van de getransformeerde nitraatresidu's ( $\log(\text{nitraatresidu}+1)$ ), gemiddelde en mediaan (vallen samen, rode stippellijn).



Figuur 9 - Varianties vs gemiddelde: voorbeeld van de verdeling van de varianties voor het ANOVA-model  $\log(\text{nitraatresidu}+1) = \text{Jaar} | \text{Hoofdteeltgroep1}$ .

Ook al worden de statistische analyses uitgevoerd op getransformeerde variabelen, het is toch te verkiezen om de resultaten van de analyse (gemiddelde waarden, standaardafwijking, enz.) voor te stellen in de oorspronkelijke eenheden.

Hiervoor moet dan een terugtransformatie toegepast worden:

$$N_b = \exp(N_t) - 1$$

waarbij

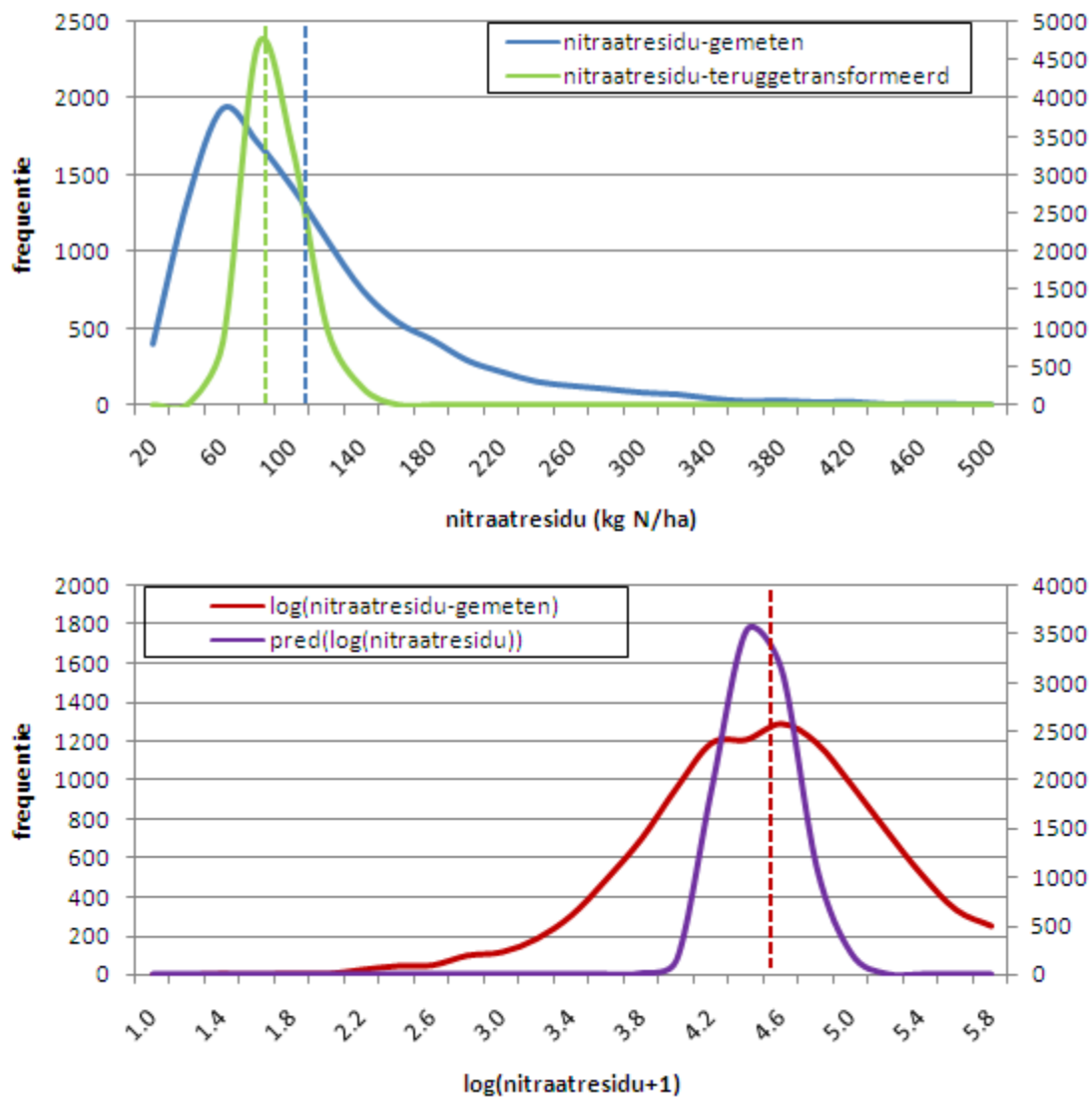
**$N_b$  = teruggetransformeerd nitraatresidu en**

**$N_t$  = getransformeerd nitraatresidu.**

Opgepast, het gemiddelde van de teruggetransformeerde gegevens zal niet overeenkomen met het oorspronkelijke gemiddelde van de gemeten waarden, maar eerder met de mediaan. In het geval van de nitraatresidumetingen betekent dit dat het gemiddelde van de teruggetransformeerde gegevens steeds lager zal zijn dan het oorspronkelijk gemiddelde. Ook het betrouwbaarheidsinterval rond het gemiddelde van de teruggetransformeerde gegevens is niet meer symmetrisch. Dit is eigen aan de logtransformatie.

In Figuur 10 wordt dit geïllustreerd aan de hand van de nitraatresidugegevens van maïs en het statistisch MANCOVA-model dat hierop gefit werd (zie 4.2.2):

- Blauwe curve: frequentieverdeling van de originele nitraatresidumetingen: dit is een niet-normale verdeling en de gemiddelde waarde van het nitraatresidu ligt rechts van de piek van de curve.
- Rode curve: frequentieverdeling van de log-getransformeerde nitraatresidumetingen: dit kan beschouwd worden als een normale verdeling met een gemiddelde waarde van het nitraatresidu in het midden van de curve.
- Paarse curve: frequentieverdeling van de voorspelde waarden voor de log-getransformeerde nitraatresidumetingen, na toepassing van een statistisch model: dit is eveneens een normale verdeling met dezelfde gemiddelde waarde als deze van de originele log-getransformeerde nitraatresidu's (maar met een kleinere range doordat het statistisch model slechts een deel van de variantie verklaart, zie 4.1)
- Groene curve: frequentieverdeling van de teruggetransformeerde voorspelde waarden: dit is opnieuw een normale verdeling, waarbij de gemiddelde waarde in het midden van de curve ligt en duidelijk lager is dan de gemiddelde waarde van de originele nitraatresidumetingen, maar eerder overeenkomt met de mediaan van de originele nitraatresidumetingen.



Figuur 10 - Frequentieverdeling van de niet-getransformeerde en getransformeerde nitraatresidu's en gemiddelden voor de gewasgroep Maïs.

### 3.2 Overzicht van de enkelvoudige effecten (eenweg-analyses) op basis van de totale datasets

In Tabel 6 wordt een overzicht gegeven van de enkelvoudige effecten van alle bestudeerde parameters (onafhankelijke variabelen) op het totale nitraatresidu.

Het effect van de categorische variabelen werd geanalyseerd op basis van eenweg-ANOVA's (variantieanalyse). Het effect van de continue variabelen werd geanalyseerd op basis van enkelvoudige regressie-analyses.

Belangrijke statistische kengetallen bij de evaluatie van deze enkelvoudige effecten zijn de p-waarde (significantie van het model) en de R<sup>2</sup>-waarde (percentage van de variatie in de dataset die verklaard wordt door de variabele). Op basis van deze kengetallen is het mogelijk om de

verklarende parameters onderling te vergelijken naar significantie en belangrijkheid voor het nitraatresidu. De variabelen met een hogere  $R^2$  ( $>0.01$ ) worden weergegeven met een groene achtergrond. Daarnaast werd in de tabel ook voor elke parameter een afgekorte beschrijving gegeven van de statistische verschillen en voor de continue variabelen het teken van de richtingscoëfficiënt van de gefitte rechte door de gegevens (positief of negatief effect).

Merk op dat de  $R^2$ -waarden in de dataset BO-BDB meestal kleiner zijn dan deze van de dataset MB-BDB. Dit is te verklaren doordat de nitraatresidu's in BO-percelen algemeen veel lager liggen, zodat ze minder gevoelig zijn voor andere factoren. Ook de aanzienlijk grotere omvang van de dataset BO-BDB speelt een rol.

De belangrijkste effecten (op basis van de  $R^2$ ) zijn duidelijk de Gewasgroep (hoofdteelt), de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS), een aantal weervariabelen, de bemestingsnormen (en dan vooral de norm uit Andere organische mest) en de Landbouwstreek (enkel in de dataset MB-BDB).

Bijna alle bestudeerde variabelen, zowel categorische als continue, hebben een significant effect op het totale nitraatresidu. Dit was te verwachten, gezien de omvang van de datasets. De meeste variabelen hebben echter een zeer kleine  $R^2$  en verklaren dus weinig van de variatie van het nitraatresidu. Een aantal van deze variabelen zijn bovendien onderling sterk gecorreleerd. Voor de continue variabelen blijkt dit uit de correlatiematrix (zie 3.3), maar ook de categorische variabelen kunnen onderling of met continue variabelen gecorreleerd zijn, bv. Landbouwstreek vs Bodemtextuur, BPJS vs Weersgegevens, Derogatie vs Bemestingsnormen,...

Tenslotte kunnen veel effecten beter ingeschat worden wanneer ze per Gewasgroep of per Gewasgroep  $\times$  Bodemtextuur  $\times$  BPJS-combinatie geanalyseerd worden. De datasets zijn immers vaak zeer ongebalanceerd met betrekking tot deze variabelen (bv. niet alle gewasgroepen komen voldoende voor in alle jaren, in alle bodemtexturen, enz.).

In Tabel 7 en Tabel 8 wordt, respectievelijk voor de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB, een overzicht gegeven van de “enkelvoudige” effecten van de onafhankelijke variabelen op het nitraatresidu, per gewasgroep, en dit voor de 5 belangrijkste gewasgroepen in de datasets, nl. Gras, Maïs, Granen, Suikerbieten en Aardappelen.

Deze overzichtstabellen zijn vooral nuttig voor het opstellen van het voorspellend MANCOVA-model (zie hoofdstuk 4), aangezien ze een goede vertrekbasis vormen om af te leiden welke verklarende parameters er moeten opgenomen worden in het model.

**Tabel 6 - Overzicht van de enkelvoudige effecten op het nitraatresidu in de volledige datasets MB-BDB en BO-BDB.**

	Dataset	Effect (1)	P-waarde	R <sup>2</sup>
<b>Enweg ANOVA's op log(nitraatresidu+1)</b>				
Derogatie (alleen 2007 en 2008)	MB-BDB	met<zonder	0.00	0.01
Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS)	MB-BDB	07<08<05<=04<=06	0.00	0.05
	BO-BDB	07=08<05<06<02<04<03<01	0.00	0.07
Landbouwtreek	MB-BDB	k<vlz<zl<l<p	0.00	0.02
	BO-BDB	k<zl<l<vlz	0.00	0.01
Hoofdeeltgroep	MB-BDB	8<1<4<2=3<7<5	0.00	0.13
	BO-BDB	8<1<4<9<=7<=3<6=2<5	0.00	0.07
Bodemtextuur	MB-BDB	z=zl<l=k	0.00	0.01
	BO-BDB	k<zl<l=z	0.00	0.00
Bodemdrainage	MB-BDB	zn<n<mn<d	0.00	0.00
	BO-BDB	n<d<mn	0.00	0.00
Bedrijftype	MB-BDB	a<g<r<v=p	0.00	0.01
	BO-BDB	a=g<p<r<v	0.00	0.01
<b>Enkelvoudige regressies op totaal nitraatresidu</b>				
Staalnamedag	MB-BDB		0.07	0.00
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Oppervlakte perceel (m <sup>2</sup> )	MB-BDB	+	0.00	0.01
	BO-BDB		0.30	0.00
Oppervlakte bedrijf	MB-BDB	+	0.00	0.01
	BO-BDB		1.00	0.00
Vochtbalans groeiseizoen (apr-sep)	MB-BDB	-	0.00	0.01
	BO-BDB	-	0.00	0.00
Vochtbalans groeiseizoen laatste 3 jaar	MB-BDB	-	0.00	0.02
	BO-BDB	-	0.00	0.00
Vochtbalans laatste 3 maanden (aug-okt)	MB-BDB	+	0.00	0.00
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Vochtbalans zomer (jun-sep)	MB-BDB	-	0.00	0.03
	BO-BDB	-	0.00	0.00
Vochtbalans najaar (sep-okt)	MB-BDB	-	0.00	0.02
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Temperatuur laatste 3 maanden (aug-okt)	MB-BDB	+	0.00	0.05
	BO-BDB	+	0.00	0.02
Temperatuur najaar (sep-okt)	MB-BDB	+	0.00	0.05
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Totale N-bemestingsnorm	MB-BDB	-	0.00	0.03
	BO-BDB	-	0.00	0.01
N-bemestingsnorm dierl. mest	MB-BDB	+	0.00	0.00
	BO-BDB	+	0.00	0.01
N-bemestingsnorm andere org. mest	MB-BDB	+	0.00	0.04
	BO-BDB	+	0.00	0.00
N-bemestingsnorm kunstmest	MB-BDB	-	0.00	0.04
	BO-BDB	-	0.00	0.01
Productie N/ha uit dierlijke mest	MB-BDB	+	0.00	0.00
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Aangifte kunstmest N/ha	MB-BDB	+	0.00	0.01
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Aangifte andere organische mest N/ha	MB-BDB	-	0.03	0.00
	BO-BDB	-	0.01	0.00
Gebruik dierlijke+andere N/ha	MB-BDB	+	0.00	0.01
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Gebruik alle meststoffen N/ha	MB-BDB	+	0.00	0.01
	BO-BDB	+	0.00	0.01
N-overschot /ha	MB-BDB	+	0.00	0.00
	BO-BDB	+	0.00	0.00
Geschatte N-bemesting uit dierlijke mest	MB-BDB	+	0.00	0.00

**(1) Gebruikte afkortingen:**

- Landbouwtreek: k = kempen; l = leemstreek; p = polders; vlz = Vlaamse-zandstreek; zl = zandleemstreek
- Bodemtextuur: k = klei; l = leem; z = zand; zl = zandleem
- Hoofd- en nateeltgroep: 1 = gras; 2 = maïs; 3 = granen; 4 = suikerbieten; 5 = aardappelen; 6 = vlinderbloemigen; 7 = groenten; 8 = fruitbomen; 9 = andere teelten; 10 = geen teelt
- Bodemdrainage: zn = zeer nat; n = nat; mn = matig nat; d = droog
- Bedrijftype: a = andere dieren; g = geen dieren; p = pluimvee; r = rundvee; v = varkens



Tabel 7 - Dataset MB-BDB: Overzicht van de effecten op het totale nitraatresidu voor de gewasgroepen Gras, Maïs, Granen, Suikerbieten en Aardappelen.

	Gras			Maïs			Granen			Suikerbieten			Aardappelen		
aantal metingen	10855			10905			5231			2624			1286		
gemiddeld nitraatresidu	64.18			100.18			100.52			64.91			122.84		
minimum (1)	dl			2.60			3.00			3.00			4.30		
maximum	495.70			497.10			488.00			500.00			485.60		
standaardafwijking	63.25			73.16			66.12			50.92			75.73		
	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>
<b>Eenweg ANOVA's op log(nitraatresidu+1)</b>															
Derogatie (alleen 2007 en 2008)	zonder=met	0.33	0.00	zonder<met	0.00	0.01	zonder=met	0.07	0.00	zonder=met	0.38	0.00			
Bemestingsprakt. Jaar Staalname	07<08<06=05<04	0.00	0.06	08=07<06=05<04	0.00	0.06	07=08<06=05<04	0.00	0.08	08=07=04<06=05	0.00	0.06	07<08<06	0.00	0.13
Landbouwtreek	k<zl=vlz<l<p	0.00	0.06	zl<vlz=k=p=l	0.00	0.01	k=vlz=zl<l=p	0.00	0.02	vlz<k=zl<p<=l	0.00	0.03	k<=vlz=zl=p<=l	0.00	0.02
Nateelt/Groenbemester	1=10=9=6	0.02	0.00	9=3=1=10	0.64	0.00	9<1<10	0.00	0.03	1=9=10	0.01	0.01	9=1<10	0.00	0.07
Bodembedekking bij staalname		0.00	0.04		0.24	0.00		0.00	0.07		0.11	0.00		0.02	0.02
Bodemtextuur	zl=z<l<k	0.00	0.05	zl<l=k=z	0.00	0.01	z=zl<l<k	0.00	0.01	z=zl<k=l	0.00	0.04	z=zl=l=k	0.16	0.00
Bodemdrainage	d<=zn=mn<=n	0.01	0.00	zn=n=d=mn	0.09	0.00	mn=d=zn=n	0.03	0.00	mn<=zn=n<=d	0.00	0.02	zn=mn=n=d	0.16	0.00
Bedrijftype	g<r<v	0.00	0.01	g<r=v	0.00	0.01	r<=g<=v	0.00	0.00	v=r=g	0.07	0.00	g<=r<=v	0.03	0.01
<b>Enkelvoudige regressies op nitraatresidu</b>															
Staalnamedag	-	0.00	0.01		0.50	0.00	-	0.00	0.04		0.94	0.00		0.12	0.00
Oppervlakte perceel (m <sup>2</sup> )	+	0.00	0.01	+	0.00	0.00	+	0.00	0.01		0.23	0.00	+	0.00	0.03
Oppervlakte bedrijf (ha)	+	0.00	0.01	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00	+	0.02	0.00	+	0.00	0.01
Vochtbalans apr-sep	-	0.00	0.01	-	0.00	0.02	-	0.00	0.03	+	0.00	0.01	-	0.00	0.07
Vochtbalans laatste 3 jaar	-	0.00	0.03	-	0.00	0.04	-	0.00	0.07		0.65	0.00	-	0.00	0.04
Vochtbalans aug-okt	+	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.01	+	0.00	0.01	+	0.00	0.02
Vochtbalans jun-sep	-	0.00	0.03	-	0.00	0.02	-	0.00	0.05	-	0.01	0.00	-	0.00	0.12
Vochtbalans sep-okt	-	0.00	0.01	-	0.00	0.03	-	0.00	0.05		0.11	0.00	-	0.00	0.04
Temperatuur aug-okt	+	0.00	0.05	+	0.00	0.04	+	0.00	0.06	+	0.00	0.04	+	0.00	0.11
Temperatuur sep-okt	+	0.00	0.04	+	0.00	0.03	+	0.00	0.05	+	0.00	0.05	+	0.00	0.10
Totale N-bemestingsnorm	+	0.00	0.01		0.13	0.00		0.67	0.00	+	0.00	0.02		0.21	0.00
N-bemestingsnorm dierl. mest	+	0.00	0.01	+	0.00	0.04	+	0.00	0.05	+	0.00	0.01	+	0.00	0.09
N-bemestingsnorm andere mest	+	0.00	0.04	+	0.00	0.04	+	0.00	0.07	+	0.00	0.03	+	0.00	0.10
N-bemestingsnorm kunstmest	+	0.00	0.01				+	0.00	0.02	+	0.00	0.03	+	0.00	0.09
Productie N/ha uit dierlijke mest	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00	+	0.03	0.00		0.61	0.00		0.26	0.00
Aangifte kunstmest N/ha	+	0.00	0.01	+	0.04	0.00		0.33	0.00		0.74	0.00		0.58	0.00
Aangifte andere mest N/ha		0.23	0.00		0.28	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.01		0.52	0.00
Gebruik dierlijke+andere N/ha	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01		0.43	0.00	+	0.05	0.00
Gebruik alle meststoffen N/ha	+	0.00	0.02	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01		0.63	0.00		0.06	0.00
N-overschot /ha		0.14	0.00	+	0.02	0.00		0.37	0.00		0.72	0.00		0.49	0.00
Geschatte N-bemesting (dier)	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01		0.56	0.00		0.07	0.00

(1) ld = kleiner dan de detectielimiet

(2) Gebruikte afkortingen:

- Landbouwtreek: k = kempen; l = leemstreek; p = polders; vlz = Vlaamse-zandstreek; zl = zandleemstreek
- Bodemtextuur: k = klei; l = leem; z = zand; zl = zandleem
- Hoofd- en nateeltgroep: 1 = gras; 2 = maïs; 3 = granen; 4 = suikerbieten; 5 = aardappelen; 6 = vlinderbloemigen; 7 = groenten; 8 = fruitbomen; 9 = andere teelten; 10 = geen teelt
- Bodemdrainage: zn = zeer nat; n = nat; mn = matig nat; d = droog
- Bedrijftype: a = andere dieren; g = geen dieren; p = pluimvee; r = rundvee; v = varkens

Tabel 8 - Dataset BO-BDB: Overzicht van de effecten op het totale nitraatresidu voor de gewasgroepen Gras, Maïs, Granen, Suikerbieten en Aardappelen.

	Gras			Maïs			Granen			Suikerbieten			Aardappelen		
aantal metingen	56889			36170			36787			13754			7769		
gemiddeld nitraatresidu	54.1			75.8			64.1			53.4			90.7		
minimum (1)	dl			dl			dl			dl			dl		
Maximum	499.6			494.1			499.0			471.6			498.4		
standaardafwijking	48.15			56.04			42.60			32.27			60.61		
	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>	Effect (2)	Prob >0	R <sup>2</sup>
<b>One-way ANOVA's op log(nitraatresidu+1)</b>															
Bemestingsprakt. Jaar Staalname	07<08<05<06=02<04<03<01	0.00	0.09	08<06<=05<=07<02<01<03=04	0.00	0.13	07=08<05<06<02<03<04<01	0.00	0.12	08<=05<=07<02<03=06=04<01	0.00	0.07	07=08<05=02=06=01<04<03	0.00	0.11
Landbouwstreek	k<z =vlz<l	0.00	0.01	k<z l =vlz	0.00	0.01	vlz=z k =k<=l	0.00	0.00	k=z =vlz<l	0.00	0.03	(p)=k =vlz =k<z	0.00	0.01
Nateelt/Groenbemester		0.40	0.00	9=1<10	0.00	0.00	9=1<10	0.00	0.00	1=9=10	0.47	0.00	1<=9<=10	0.00	0.01
Bodembedekking bij staalname		0.00	0.02		0.00	0.02		0.00	0.11		0.00	0.01		0.00	0.03
Bodemtextuur	z<l =z k	0.00	0.00	z k =k<=z=l	0.00	0.00	z =z l =k	0.00	0.00	z=z k =k<=l	0.00	0.02	z<l =z l =k	0.00	0.01
Bodemdrainage	d<mn<n=zn	0.00	0.00	n<=d<=mn	0.00	0.00	mn<d<n=zn	0.00	0.00	n=mn<d(=zn)	0.00	0.02	mn<=n<=d	0.00	0.00
Bedrijfstype	g<r<v	0.00	0.02	g<r<v	0.00	0.01	g<r<v	0.00	0.00	g<r<v	0.00	0.00	g=r=v	0.08	0.00
<b>Simple regressions op totaal nitraatresidu</b>															
Staalnamedag	-	0.00	0.00	+	0.00	0.00	-	0.00	0.01	+	0.00	0.00		0.07	0.00
Oppervlakte perceel (m <sup>2</sup> )	+	0.00	0.00		0.54	0.00	-	0.00	0.00	+	0.00	0.00	-	0.04	0.00
pH	+	0.00	0.04	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01	+	0.00	0.06	+	0.00	0.02
C%	+	0.00	0.08	+	0.00	0.02	+	0.00	0.02	+	0.00	0.04	+	0.04	0.00
Oppervlakte bedrijf (ha)		0.21	0.00	+	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.07	0.00
Vochtbalans apr-sep	-	0.00	0.00	-	0.00	0.02	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00	-	0.00	0.03
Vochtbalans laatste 3 jaar	-	0.00	0.00	-	0.00	0.02	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00	-	0.00	0.01
Vochtbalans aug-okt	+	0.00	0.00	-	0.00	0.01	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01	-	0.00	0.01
Vochtbalans jun-sep	-	0.00	0.01	-	0.00	0.02	+	0.01	0.00		0.57	0.00	-	0.00	0.03
Vochtbalans sep-okt	+	0.00	0.01		0.42	0.00	+	0.00	0.01	+	0.00	0.00	-	0.00	0.00
Temperatuur aug-okt	+	0.00	0.02	+	0.00	0.01	+	0.00	0.04	+	0.00	0.03	+	0.00	0.01
Temperatuur sep-okt	+	0.00	0.00	-	0.00	0.00	+	0.00	0.01	+	0.00	0.01		0.40	0.00
Totale N-bemestingsnorm	+	0.00	0.00		0.52	0.00					0.07	0.00		0.20	0.00
N-bemestingsnorm dierl. Mest	+	0.00	0.02	+	0.00	0.00	+	0.00	0.03	+	0.00	0.01		0.07	0.00
N-bemestingsnorm andere mest											0.07	0.00			
N-bemestingsnorm kunstmest	-	0.00	0.02	+	0.00	0.00				+	0.00	0.04		0.07	0.00
Productie N/ha uit dierlijke mest	+	0.00	0.01	+	0.00	0.00		0.09	0.00		0.86	0.00	-	0.00	0.00
Aangifte kunstmest N/ha	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00		0.22	0.00	+	0.00	0.01
Aangifte andere mest N/ha		0.81	0.00		0.25	0.00	-	0.00	0.00	-	0.03	0.00		0.10	0.00
Gebruik dierlijke+andere N/ha	+	0.00	0.01	+	0.00	0.00	-	0.00	0.00		0.36	0.00	-	0.00	0.00
Gebruik alle meststoffen N/ha	+	0.00	0.02	+	0.00	0.01		0.42	0.00		0.77	0.00		0.38	0.00
N-overschot /ha	+	0.00	0.00	+	0.00	0.00		0.65	0.00		0.96	0.00	+	0.30	0.00

(1) Id = kleiner dan de detectielimiet

(2) Gebruikte afkortingen:

- Landbouwstreek: k = kempen; l = leemstreek; p = polders; vlz = Vlaamse-zandstreek; zl = zandleemstreek
- Bodemtextuur: k = klei; l = leem; z = zand; zl = zandleem
- Hoofd- en nateeltgroep: 1 = gras; 2 = maïs; 3 = granen; 4 = suikerbieten; 5 = aardappelen; 6 = vlinderbloemigen; 7 = groenten; 8 = fruitbomen; 9 = andere teelten; 10 = geen teelt
- Bodemdrainage: zn = zeer nat; n = nat; mn = matig nat; d = droog
- Bedrijfstype: a = andere dieren; g = geen dieren; p = pluimvee; r = rundvee; v = varkens

### 3.3 Correlaties tussen parameters

Een aantal van de onafhankelijke variabelen in de datasets zijn onderling sterk gecorreleerd. Voor de continue variabelen blijkt dit uit de correlatiematrix (zie Tabel 9), maar ook de categorische variabelen kunnen onderling of met continue variabelen gecorreleerd zijn, bv. Landbouwstreek vs Bodemtextuur, BPJS vs Weersgegevens, Derogatie vs Bemestingsnormen,...

De interacties tussen de continue variabelen onderling werden onderzocht op basis van een correlatie-analyse. Een matrix werd opgesteld met de Pearson correlatiecoëfficiënten voor alle variabelen.

In Tabel 9 worden de correlatiecoëfficiënten tussen de continue variabelen van de dataset MB-BDB weergegeven (de analoge tabel van de dataset BO-BDB wordt opgenomen in een bijlage bij het eindrapport van fase 1; de besluiten zijn hier analoog). Significante correlaties ( $p < 0.05$ ) worden weergegeven in het rood ( $N=29011$ , casewise deletion of missing data) en sterke (absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt  $> 0.1$ ) tot zeer sterke (absolute waarde van de correlatiecoëfficiënt  $> 0.4$ ) correlaties worden weergegeven met een lichte tot donkere groene achtergrond.

Zoals hoger vermeld en zoals te verwachten zijn veel van de continue variabelen sterk tot zeer sterk onderling gecorreleerd. De meeste teruggevonden correlaties zijn logisch:

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) is sterk tot zeer sterk gecorreleerd met een heel aantal parameters, zoals de bemestingsnormen (dalende trend in de loop van de jaren), het N-gebruik op bedrijfsniveau (dalende trend in de loop van de jaren), de weersfactoren (de bemestingspraktijk wordt bijgestuurd i.f.v. de weersomstandigheden), de staalnamedatum (positieve correlatie, d.w.z. trend om in de loop van de jaren gemiddeld de stalen steeds later te nemen).
- De meteo-gegevens (gemiddelde temperatuur en vochtbalans) van dezelfde of overlappende perioden zijn onderling sterk gecorreleerd.
- De verschillende bemestingsnormen zijn eveneens onderling gecorreleerd.
- De bedrijfsgegevens met betrekking tot productie en gebruik van N zijn onderling sterk tot zeer sterk gecorreleerd: de N-productie uit dierlijke mest is zeer sterk gecorreleerd met het bedrijfsmatig N-overschot; de aangifte N uit kunstmest is zeer sterk gecorreleerd met het totale N-gebruik; het gebruik van dierlijke en andere organische mest en het totale N-gebruik zijn sterk gecorreleerd met de bemestingsnorm uit dierlijke en andere organische mest.
- De berekende/geschatte N-bemesting van het bemonsterde perceel is sterk tot zeer sterk gecorreleerd met de factoren die de basis vormden van de berekening: de N-bemestingsnorm

uit dierlijke mest, het totale N-gebruik en het N-gebruik uit dierlijke en andere organische mest.

Als gevolg van de grootte van de dataset vertoont de correlatiematrix daarnaast ook een heel aantal 'toevallige' correlaties, waaraan verder geen betekenis kan gegeven worden. Enkele voorbeelden:

- Negatieve correlatie tussen de vochtbalans in het groeiseizoen en de N-bemestingsnorm uit andere organische mest.
- Positieve correlatie tussen de vochtbalans in de laatste 3 jaar en de staalnamedag.
- Negatieve correlatie tussen de vochtbalans in de laatste 3 jaar en het N-gebruik uit dierlijke en andere organische mest.
- Negatieve correlatie tussen de vochtbalansen in de zomer en in het najaar enerzijds en de bemestingsnormen uit dierlijke en uit andere organische mest.
- Negatieve correlatie tussen de gemiddelde temperatuur in het najaar en de staalnamedag.
- Positieve correlatie tussen de gemiddelde temperatuur in het najaar en de bemestingsnormen uit dierlijke en andere organische mest.
- Positieve correlatie tussen de gemiddelde temperatuur in het najaar en het totale N-gebruik evenals het N-gebruik uit dierlijke en andere organische mest.

Wat ons het meest interesseert zijn de correlaties van de verschillende continue variabelen met het totale nitraatresidu. Deze komen in grote lijnen overeen met de besluiten uit de enkelvoudige regressie-analyses. Vooral de meteo-gegevens blijken een duidelijk effect te hebben:

- Kleine negatieve correlatie met de vochtbalans in het groeiseizoen, zowel in het voorbije jaar als in de laatste 3 jaar.
- Kleine negatieve correlatie met de vochtbalans in de zomer en in het najaar.
- Kleine positieve correlatie met de gemiddelde temperatuur in de laatste 3 maanden voor de staalname en in het najaar.
- Kleine negatieve correlatie met de totale N-bemestingsnorm en met de N-bemestingsnorm uit kunstmest.
- Kleine positieve correlatie met de N-bemestingsnorm uit andere organische mest.

Tabel 9 - Dataset MB-BDB: Correlatiematrix van de continue variabelen (N=29011, casewise deletion of missing data; significante correlaties (p<0.05) worden weergegeven in het rood en sterke tot zeer sterke correlaties worden weergegeven met een lichte tot donkere groene achtergrond).

	Vochtbalans				Temperatuur		Bemestingsnormen				Bedrijfsgegevens												
	NT	BPJS	SNDag	Opp Perc	AprSep	3jaar	AugOkt	JunSep	SepOkt	AugOkt	SepOkt	NTot	NDier	Norg	NKunst	Opp	Prod Ndier	Aang. Nkunst	Aang. Nander	Gebr.N DA	Gebr.N Tot	NOversch hot	Nbemesting
NT	1.000	-0.163	0.004	0.050	-0.114	-0.141	0.021	-0.169	-0.133	0.201	0.188	-0.141	0.031	0.166	-0.145	0.044	0.050	0.036	-0.008	0.070	0.077	0.042	0.045
BPJS	-0.163	1.000	0.398	-0.081	0.326	0.723	0.265	0.449	0.626	-0.749	-0.649	-0.018	-0.335	-0.637	-0.091	-0.036	-0.061	0.111	-0.258	-0.250	-0.012	-0.091	-0.018
SNDag	0.004	0.398	1.000	-0.035	0.132	0.289	0.162	0.149	0.227	-0.265	-0.239	-0.126	-0.199	-0.216	-0.132	-0.039	-0.027	-0.025	0.032	-0.163	-0.151	0.001	-0.052
OppPerc	0.050	-0.081	-0.035	1.000	-0.151	-0.146	0.025	-0.127	-0.062	0.088	0.051	-0.052	0.042	0.060	-0.039	0.200	0.004	0.040	-0.005	0.082	0.089	-0.022	0.037
Vocht b. AprSep	-0.114	0.326	0.132	-0.151	1.000	0.697	0.225	0.795	0.499	-0.391	-0.293	-0.006	-0.160	-0.345	0.006	-0.092	-0.034	0.033	0.074	-0.140	-0.104	-0.013	-0.109
Vocht b. 3jaar	-0.141	0.723	0.289	-0.146	0.697	1.000	0.405	0.607	0.502	-0.521	-0.433	-0.015	-0.228	-0.484	-0.012	-0.088	-0.046	-0.003	0.094	-0.208	-0.180	-0.021	-0.083
Vocht b. AugOkt	0.021	0.265	0.162	0.025	0.225	0.405	1.000	0.033	0.221	0.112	0.148	-0.056	-0.111	0.052	-0.057	-0.029	-0.006	0.008	0.006	-0.049	-0.038	0.012	0.015
Vocht b. JunSep	-0.169	0.449	0.149	-0.127	0.795	0.607	0.033	1.000	0.676	-0.776	-0.738	0.047	-0.257	-0.583	0.041	-0.076	-0.064	0.012	0.118	-0.217	-0.180	-0.044	-0.143
Vocht b. SepOkt	-0.133	0.626	0.227	-0.062	0.499	0.502	0.221	0.676	1.000	-0.736	-0.691	0.064	-0.284	-0.510	0.034	-0.073	-0.047	0.000	0.111	-0.199	-0.171	-0.030	-0.093
Temp. AugOkt	0.201	-0.749	-0.265	0.088	-0.391	-0.521	0.112	-0.776	-0.736	1.000	0.970	-0.039	0.358	0.749	-0.023	0.079	0.066	0.030	-0.139	0.270	0.246	0.044	0.144
Temp. SepOkt	0.188	-0.649	-0.239	0.051	-0.293	-0.433	0.148	-0.738	-0.691	0.970	1.000	-0.047	0.351	0.717	-0.026	0.059	0.075	0.025	-0.130	0.259	0.234	0.055	0.142
Norm Ntot	-0.141	-0.018	-0.126	-0.052	-0.006	-0.015	-0.056	0.047	0.064	-0.039	-0.047	1.000	0.425	0.266	0.934	-0.057	0.056	-0.057	-0.043	0.116	0.072	0.012	0.178
Norm Ndier	0.031	-0.335	-0.199	0.042	-0.160	-0.228	-0.111	-0.257	-0.284	0.358	0.351	0.425	1.000	0.557	0.310	0.113	0.105	0.008	-0.080	0.355	0.308	0.016	0.494
Norm Norg	0.166	-0.637	-0.216	0.060	-0.345	-0.484	0.052	-0.583	-0.510	0.749	0.717	0.266	0.557	1.000	0.196	0.037	0.101	0.004	-0.110	0.302	0.261	0.063	0.305
Norm Nkunst	-0.145	-0.091	-0.132	-0.039	0.006	-0.012	-0.057	0.041	0.034	-0.023	-0.026	0.934	0.310	0.196	1.000	-0.046	0.028	-0.034	-0.033	0.077	0.049	-0.004	0.056
OppBedrijf	0.044	-0.036	-0.039	0.200	-0.092	-0.088	-0.029	-0.076	-0.073	-0.092	0.059	-0.057	0.113	0.037	-0.046	1.000	-0.112	0.220	0.108	0.132	0.218	-0.176	0.081
ProdNdier Bedrijf	0.050	-0.061	-0.027	0.004	-0.034	-0.046	-0.006	-0.064	-0.047	-0.034	0.075	0.056	0.105	0.101	0.028	-0.112	1.000	-0.150	-0.050	0.110	0.022	0.957	0.051
Nkunst Bedrijf	0.036	-0.061	-0.025	0.040	0.033	-0.003	0.008	0.012	0.000	0.033	0.025	-0.057	0.008	0.004	-0.034	0.220	-0.150	1.000	0.072	0.043	0.517	-0.169	-0.004
Nandere Bedrijf	-0.008	0.111	0.032	-0.005	0.074	0.094	0.006	0.118	0.111	0.074	-0.130	-0.043	-0.080	-0.110	-0.033	0.108	-0.050	0.072	1.000	-0.036	0.003	-0.035	-0.011
GebruikNDA	0.070	-0.258	-0.163	0.082	-0.140	-0.208	-0.049	-0.217	-0.199	-0.140	0.259	0.116	0.355	0.302	0.077	0.132	0.110	0.043	-0.036	1.000	0.877	-0.017	0.612
GebruikNTot	0.077	-0.250	-0.151	0.089	-0.104	-0.180	-0.038	-0.180	-0.171	-0.104	0.234	0.072	0.308	0.261	0.049	0.218	0.022	0.517	0.003	0.877	1.000	-0.096	0.522
Noversch Bedrijf	0.042	-0.012	0.001	-0.022	-0.013	-0.021	0.012	-0.044	-0.030	-0.013	0.055	0.012	0.016	0.063	-0.004	-0.176	0.957	-0.169	-0.035	-0.017	-0.096	1.000	-0.029
Nbemesting	0.045	-0.091	-0.052	0.037	-0.109	-0.083	0.015	-0.143	-0.093	-0.109	0.142	0.178	0.494	0.305	0.056	0.081	0.051	-0.004	-0.011	0.612	0.522	-0.029	1.000

### 3.4 Analyse per parameter

In de hierna volgende paragrafen wordt elk van de effecten verder in detail statistisch geanalyseerd en besproken.

Bij de voorstelling van de analyseresultaten in tabellen en/of grafieken worden, omwille van de duidelijkheid, voor de categorische parameters de gemiddelde waarden van de niet-getransformeerde nitraatresidu's weergegeven, tesamen met de ANOVA-resultaten van de log-getransformeerde nitraatresidu's. De opgegeven gemiddelden zijn dus slechts indicatief. De significantie van het model (p-waarde) en van de verschillen tussen de bestudeerde niveau's (aangegeven door letters naast de gemiddelden) en de  $R^2$ -waarde zijn veel belangrijker.

Analoog hiermee worden de regressie-functies die bekomen worden uit de analyses met de continue parameters voorgesteld met niet-getransformeerde cijfers, terwijl de regressie-analyse zelf gebeurde op de log-getransformeerde nitraatresidu's. Ook hier zijn de opgegeven waarden voor intercept en richtingscoëfficiënt slechts indicatief en mogen niet als dusdanig gebruikt worden om een nitraatresidu te berekenen. Belangrijk zijn hier de significantie van het effect (p-waarde), de  $R^2$ -waarde en het teken van de richtingscoëfficiënt (“-“ = een negatief effect; “+” is een positief effect).

Bij de enkelvoudige analyses, globaal of per gewasgroep, wordt voor de  $R^2$ - en de p-waarden ook verwezen naar de overeenkomstige gegevens in Tabel 6, Tabel 7 en Tabel 8.

Voor sommige variabelen zal blijken dat de verschillen tussen de gemiddelde waarden niet altijd overeenkomen met de statistische verschillen die aangegeven worden door de Tukey-HSD-test. Dit is te wijten aan de log-transformatie enerzijds en aan de ongebalanceerde dataset (verschillend aantal metingen per niveau van een variabele) anderzijds.

#### 3.4.1 Effect van de Gewasgroep (hoofdteelt) op het totaal nitraatresidu

In Tabel 10 en Tabel 11 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van het effect Gewasgroep op het totale nitraatresidu weergegeven voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

Deze resultaten worden ook visueel voorgesteld in Figuur 11.

**Tabel 10 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per Gewasgroep + resultaten ANOVA.**

Gewasgroep	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Gras	10855	68.2 b	dl	495.7	63.2
Maïs	10905	100.2 d	2.6	497.1	73.2
Granen	5231	100.5 d	3.0	488.0	66.1
Suikerbieten	2624	64.9 c	3.0	500.0	50.9
Aardappelen	1286	122.8 f	4.3	485.6	75.7
Vlinderbloemigen	146	117.2 -	dl	399.9	71.6
Groenten	2128	126.9 e	2.7	499.0	100.7
Fruitbomen	267	47.4 a	2.8	304.0	46.7
Andere teelten	1429	68.3 -	dl	485.5	65.5
Geen teelt	9	105.4 -	14.9	258.0	91.6
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.13			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

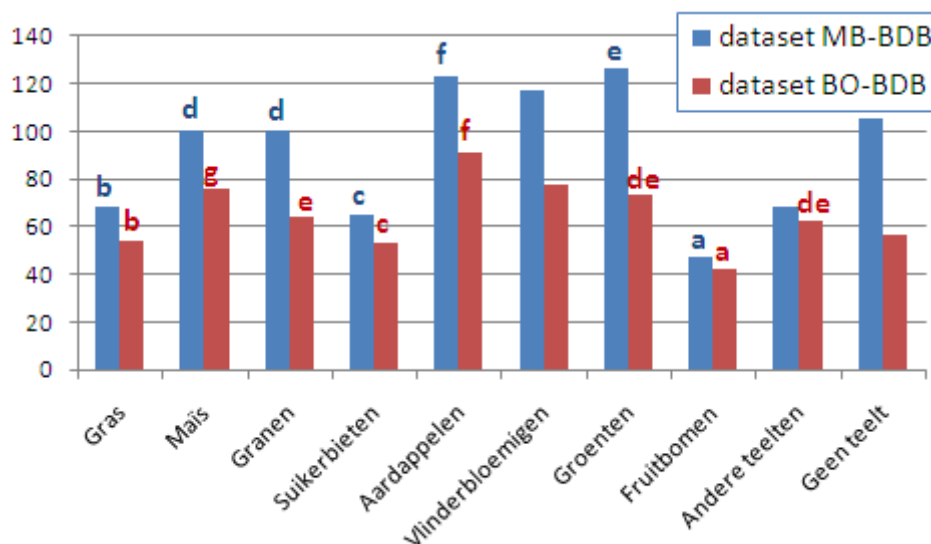
**Tabel 11 - Dataset BO-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per gewasgroep + resultaten ANOVA.**

Gewasgroep	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Gras	56889	54.1 b	dl	499.6	48.1
Maïs	36170	75.8 g	dl	494.1	56.0
Granen	36787	64.1 e	dl	499.0	42.6
Suikerbieten	13754	53.4 c	dl	471.6	32.3
Aardappelen	7769	90.7 f	dl	498.4	60.6
Vlinderbloemigen	1859	77.7 g	3.8	442.8	61.0
Groenten	2092	73.3 de	2.7	483.8	70.8
Fruitbomen	6460	41.9 a	dl	494.1	36.5
Andere teelten	7801	62.3 d	dl	478.5	49.2
Geen teelt	196	56.5 -	3.5	304.4	52.7
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.073			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset



Figuur 11 - Gemiddeld nitraatresidu per gewasgroep voor de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB. De letters wijzen op significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

Uit bovenstaande tabellen en figuur blijkt dat de Gewasgroep in beide datasets een zeer significant effect heeft op het nitraatresidu. Bovendien wordt, in vergelijking met de andere variabelen, een relatief groot deel van de variatie verklaard door de Gewasgroep (resp.  $R^2 = 0.13$  en  $R^2 = 0.07$ ).

Fruitbomen en Gras geven gemiddeld het laagste nitraatresidu, gevolgd door Suikerbieten en Andere teelten. Vlinderbloemigen, Aardappelen en Groenten geven gemiddeld de hoogste nitraatresidu's. Wanneer we de Groenten buiten beschouwing laten (zie verder) komen deze verschillen overeen met de indeling van de gewassen die de Mestbank opgeeft in haar voortgangsrapport 2009:

- Gewassen met een goed nitraatresidu waaronder gras, bieten, fruit, maar ook een aantal groentesoorten zoals spruitkool en witloof;
- Gewassen met een matig nitraatresidu waaronder maïs, granen, maar ook een aantal groentesoorten zoals wortelen en witte kool;
- Gewassen met een slecht nitraatresidu waaronder aardappelen, sierteelt en groentesoorten zoals bloemkool en prei.

Het grootste deel van de nitraatresidumetingen werd uitgevoerd in de teeltgroepen Gras, Maïs en Granen, en in mindere mate ook in Suikerbieten, Aardappelen, Fruitbomen (dataset BO-BDB) en Groenten.

Groenten vormen een heterogene groep, die zowel teelten met een relatief laag nitraatresidu (bvb. spruitkool, schorseneren) als teelten met een hoog residu (bvb. bloemkool, spinazie en prei) bevat. De resultaten van deze groep moeten dus met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd



worden. In een aparte analyse werd de groep Groenten verder onderverdeeld en geanalyseerd (zie 3.4.20).

In de dataset MB-BDB zijn voor de teeltgroepen Vlinderbloemigen, Fruitbomen en Geen teelt slechts zeer weinig gegevens beschikbaar. Deze teeltgroepen worden dan ook niet meegenomen in de statistische analyse van deze dataset. Hetzelfde geldt voor de teeltgroep Geen teelt in de dataset BO-BDB.

De groep Andere teelten is een zeer heterogene en onduidelijke groep. Mogelijke effecten op het nitraatresidu zijn binnen deze groep moeilijk te interpreteren.

Tenslotte kunnen veel van de andere effecten beter ingeschat worden wanneer ze per gewasgroep geanalyseerd worden. Beide datasets (MB-BDB en BO-BDB) zijn immers vaak zeer ongebalanceerd met betrekking tot deze variabelen (bv. niet alle gewasgroepen komen voldoende voor in alle jaren, in alle bodemtexturen, enz.).

### 3.4.2 Effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS)

In Tabel 12 en Tabel 13 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van het effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) op het totale nitraatresidu voorgesteld voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

**Tabel 12 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu volgens de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname + resultaten ANOVA.**

BPJS (1)	Aantal	Gemiddelde (2)	Minimum (3)	Maximum (4)	Standaardafwijking
2004 (250/200)	4101	104.6 cd	4.3	489.8	85.4
2005 (250/200)	3585	95.7 c	3.0	500.0	71.7
2006 (250/200)	8775	104.9 d	dl	499.0	79.8
2007 (170)	8679	70.6 a	dl	489.0	64.2
2008 (170)	9741	75.6 b	dl	480.0	60.7
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.05			

(1) Tussen haakjes worden de geldende bemestingsnormen uit dierlijke mest voor de verschillende gewasgroepen samengevat (hoogste/laagste norm).

(2) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op log(x+1)-getransformeerde nitraatresidumetingen.

(3) dl = kleiner dan de detectielimiet

(4) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

**Tabel 13 - Dataset BO-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu volgens de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname + resultaten ANOVA.**

BPJS (1)	Aantal	Gemiddelde (2)	Minimum (3)	Maximum (4)	Standaardafwijking
2001 (170)	22178	79.4 g	dl	499.6	53.5
2002 (170)	22307	63.0 d	dl	497.4	45.8
2003 (140)	21671	79.9 f	dl	498.4	59.9
2004 (140)	19145	76.7 e	dl	489.2	60.2
2005 (140)	10986	53.0 b	2.7	457.2	41.8
2006 (140)	20419	60.9 c	dl	491.0	46.5
2007 (140)	20130	49.5 a	dl	499.0	43.8
2008 (140)	18819	48.0 a	dl	484.9	36.3
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.07			

(1) Tussen haakjes worden de geldende bemestingsnormen uit dierlijke mest voor de verschillende gewasgroepen weergegeven.

(2) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(3) dl = kleiner dan de detectielimiet

(4) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Bij de Mestbankcontrolemetingen en opvolgstalen (dataset MB-BDB) heeft de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname een significant effect ( $p < 0.05$ ) op het totale nitraatresidu (Tabel 12). In 2004(250/200) en 2006(250/200) werden gemiddeld de hoogste nitraatresidu's gemeten; in 2007(170) en 2008(170) gemiddeld de laagste. Dit komt volledig overeen met de evolutie in de bemestingsnormen die we zien in de loop van deze jaren (cijfers tussen haakjes).

In de eerste 2 jaren (2004(250/200) en 2005(250/200)) werden relatief minder metingen uitgevoerd dan in de 3 volgende jaren.

De R<sup>2</sup>-waarde van het effect BPJS bedraagt in deze dataset 0.05, d.w.z. dat 5% van de totale variatie in deze dataset verklaard wordt door dit effect.

Ook bij de nitraatresidumetingen in de percelen met beheerovereenkomst water (dataset BO-BDB) heeft de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname een significant effect op het totale nitraatresidu (Tabel 13), ondanks het feit dat de evolutie van de bemestingsnormen op zich niet zo groot was in deze dataset. De bemestingshistoriek van de bemonsterde percelen in de jaren vóór de beheerovereenkomst van toepassing was, spelen hier ongetwijfeld een rol in de evolutie van de nitraatresidu's. Ook is er het feit dat, over de jaren heen, de percelen met een slecht nitraatresidu systematisch wegvallen uit de dataset BO-BDB, bij de contracten beheerovereenkomst volgens het oorspronkelijke besluit op de beheerovereenkomsten (2000-2005). In de jaren 2007(140) en 2008(140), die onderling niet significant verschillen, werd er gemiddeld de laagste nitraatresidu's gemeten. De andere jaren zijn onderling allemaal significant

verschillend, met de volgende klassering: 2005(140) < 2006(140) < 2002(170) < 2004(140) < 2003(140) < 2001(170). In 2005 werden relatief minder metingen uitgevoerd.

De R<sup>2</sup>-waarde van het effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname bedraagt in deze dataset 0.07, d.w.z. dat 7% van de totale variatie in deze dataset verklaard wordt door dit effect.

Wanneer we BPJS als continue variabele invoeren in een enkelvoudige lineaire regressieanalyse, bekomen we de volgende functies:

$$\text{Dataset MB-BDB: } N = 18249 - 9.05 \times \text{jaar} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.03)$$

$$\text{Dataset BO-BDB: } N = 8630 - 4.27 \times \text{jaar} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.05)$$

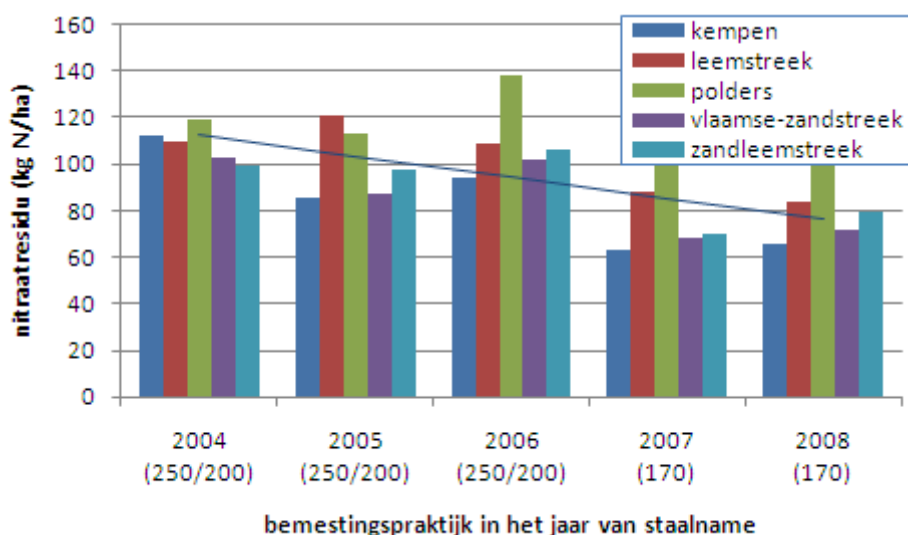
Deze functies worden ook visueel voorgesteld in Figuur 12 en Figuur 13.

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname heeft dus in beide datasets een significant negatief effect op het nitraatresidu, m.a.w. het nitraatresidu vertoont in het algemeen een dalende trend in de loop der jaren. De dalende trend is wel duidelijk sterker in dataset MB-BDB, d.w.z. bij de Mestbankcontrolemetingen en opvolgstalen, waar de bemestingspraktijk een veel sterkere evolutie kende.

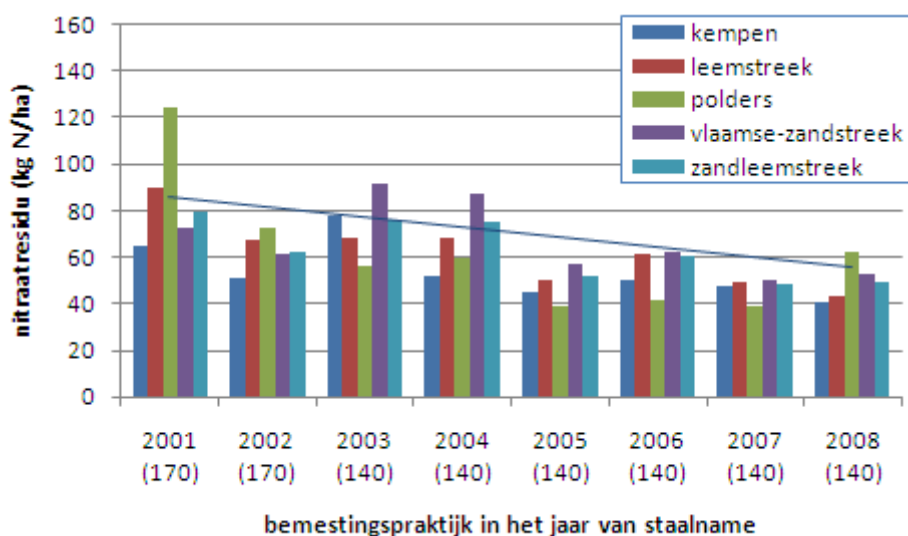
In beide datasets wordt ook een significant interactie-effect BPJS × Landbouwtreek vastgesteld (Tabel 14, Figuur 12 en Figuur 13). Voor de dataset MB-BDB werden in 2004 relatief weinig verschillen tussen de landbouwtreken vastgesteld, terwijl de verschillen in de andere jaren groter zijn. Voor de dataset BO-BDB werd gemiddeld het hoogste nitraatresidu bekomen in 2001, in alle landbouwtreken behalve in de Vlaamse-zandstreek waar gemiddeld de hoogste nitraatresidu's bekomen werden in 2003 en 2004. In deze dataset wordt in de Polders opnieuw een stijging van het gemiddeld nitraatresidu vastgesteld in 2008, terwijl dit voor de andere landbouwtreken niet het geval is.

Tabel 14 - ANOVA-analyse van het interactie-effect BPJS × Landbouwtreek.

Univariate Tests of Significance for LogResTot Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset MB-BDB</b>					
Intercept	223551	1	223551	340335	0.00
BPJS	452	4	113	172	0.00
Landbouwtreek	246	4	62	94	0.00
BPJS × Landbouwtreek	128	16	8	12	0.00
Error	22773	34670	0.7		
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	13304	1	13304	26798	0.00
BPJS	50	7	7	14	0.00
Landbouwtreek	399	4	100	201	0.00
BPJS × Landbouwtreek	890	28	32	64	0.00
Error	77258	155615	0.5		



Figuur 12 - Dataset MB-BDB: gemiddeld totaal nitraatresidu per BPJS en per landbouwstreek.



Figuur 13 - Dataset BO-BDB: gemiddeld totaal nitraatresidu per BPJS en per landbouwstreek.

Zoals vermeld in 2.2.1 moet het effect Bemestingspraktijk in het jaar van stalname vooral geïnterpreteerd worden als een combinatie van de effecten van:

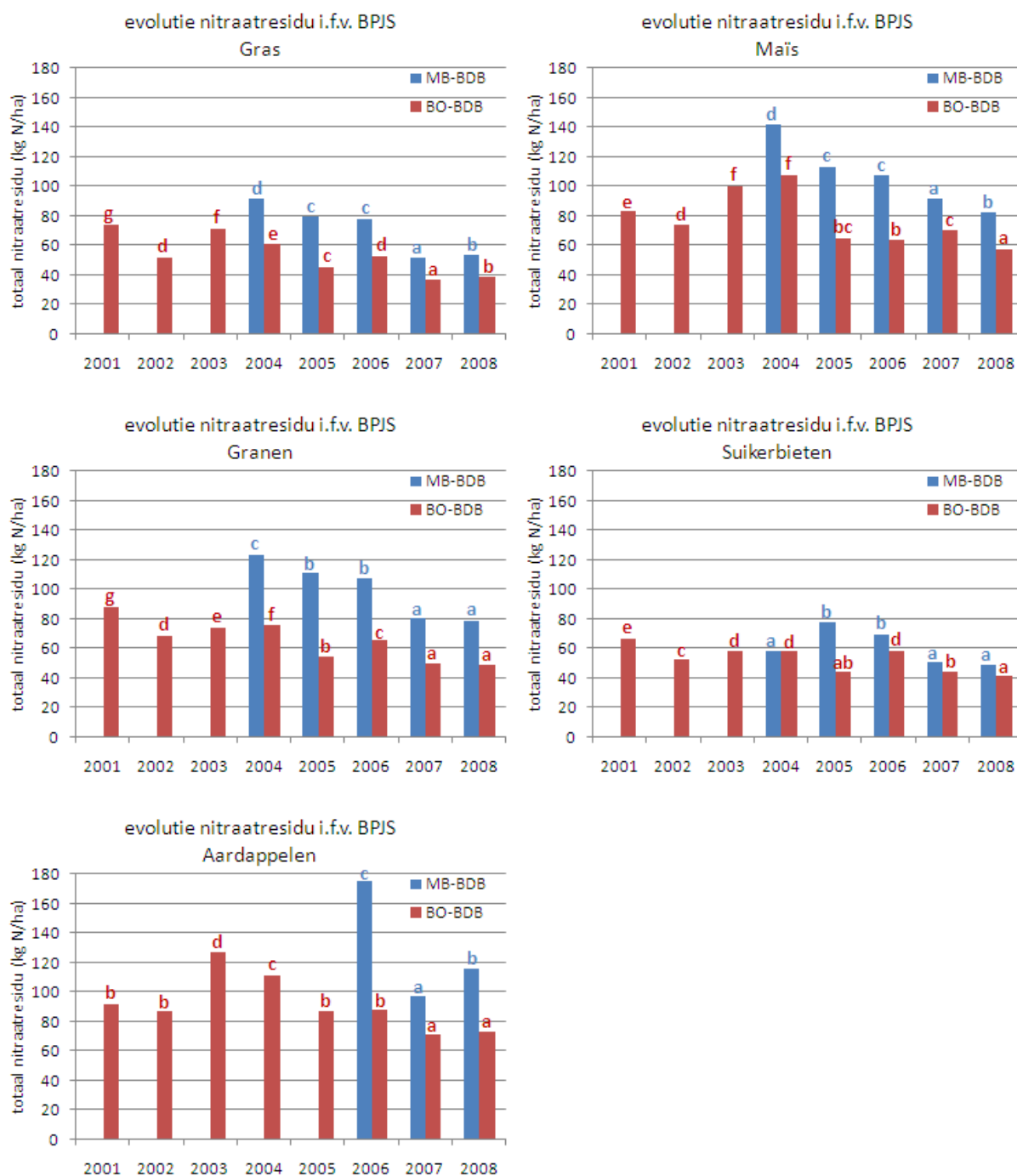
- de verscherping van de bemestingsnormen in de loop der jaren en de progressieve implementatie ervan in de praktijk (soms met terugwerkende kracht);
- een toenemende aandacht van de landbouwers voor de bemesting;
- een betere opvolging van de bemestingsadviezen.

Dit komt tot uiting in de sterker dalende trend van het nitraatresidu in de dataset MB-BDB (waar de range van de bemestingsnormen in de bestudeerde periode (van 2004 tot 2008) veel groter is

(veel sterkere daling van de normen) dan in de dataset BO-BDB (waar van in het begin van de bestudeerde periode scherpe bemestingsnormen van toepassing waren).

Ook de grote verschillen in gemiddeld nitraatresidu tussen de dataset MB-BDB (hogere nitraatresidu's doordat de bemestingsnormen in deze percelen, zeker in de eerste jaren, veel hoger waren) en de dataset BO-BDB (lagere nitraatresidu's doordat de bemestingsnormen in deze percelen van in het begin veel lager waren en de telers hun bemesting beredeneerden via bodemanalyse, bemestingsadvies, bemestingsplan en bemestingsregister) wijzen op deze effecten. Daarnaast moet, zoals vermeld in het voortgangsrapport van de Mestbank (2009), een vergelijking tussen jaren in beide datasets voorzichtig gebeuren aangezien elke staalnamecampagne anders opgebouwd was. Zo was niet elk gewas evenveel vertegenwoordigd in elke staalnamecampagne en zijn er verschillen in nitraatresidu tussen verschillende gewassen.

Het is dus zeker aangewezen om het effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname ook per gewasgroep te bekijken (zie Figuur 14). Het effect BPJS is voor alle gewasgroepen belangrijk ( $R^2$  tussen 0.06 en 0.13, zie Tabel 7 en Tabel 8) en significant, en dit in beide datasets. De algemene trend is weliswaar een daling van het gemiddelde nitraatresidu in de loop der jaren, doch deze trend wijkt af voor sommige jaren, naargelang de dataset (bv. 2003 en 2004 in de dataset BO-BDB) of de gewasgroep (bv. Suikerbieten in dataset MB-BDB).



Figuur 14 - Evolutie van het totaal nitraatresidu i.f.v. de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname per Gewasgroep. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

### 3.4.3 Effect van de Nateelt op het totaal nitraatresidu

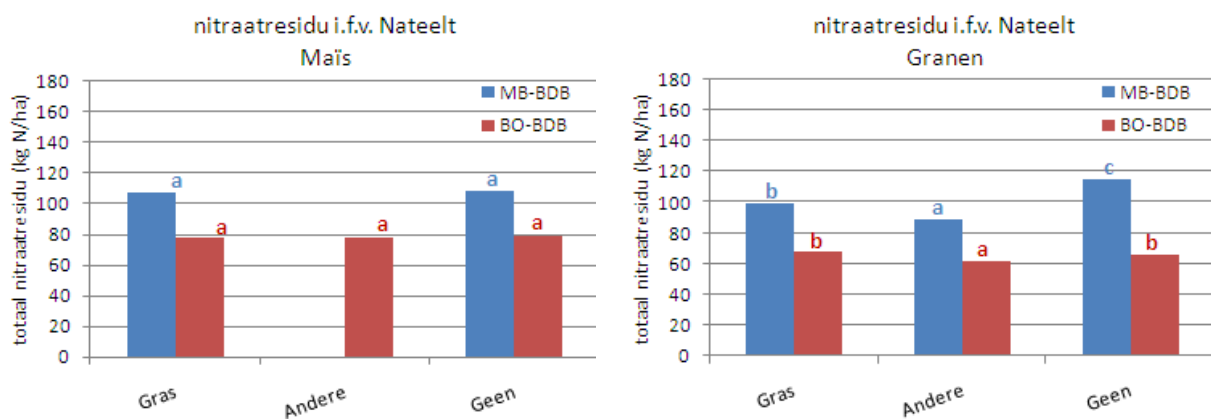
Het effect Nateelt wordt enkel bekeken per Gewasgroep, aangezien het gebruik van een groenbemester of nateelt sterk kan verschillen naargelang de hoofdteelt. Een groenbemester na granen is bv. belangrijk doordat granen, in vergelijking met andere teelten zoals suikerbieten, maïs

en aardappelen, relatief vroeg geoogst worden (juli-augustus). Na de oogst van de granen gaat bij voldoende vochtige omstandigheden de stikstofmineralisatie verder, terwijl er geen stikstofopname meer is, tenzij een groenbemester wordt ingezaaid.

De Nateelt blijkt vooral voor de gewasgroep Granen van belang te zijn en dit vooral in de dataset MB-BDB ( $R^2 = 0.03$ , zie Tabel 7). Bij deze gewasgroep hebben percelen met een nateelt van de gewasgroep Andere (hoofdzakelijk gele mosterd, zo blijkt jaarlijks uit de dataset van de BDB, en de laatste jaren wordt dit tevens aangegeven in de data aangeleverd door VLM) gemiddeld een lager nitraatresidu dan percelen met een nateelt Gras die op hun beurt een lager nitraatresidu hebben dan percelen zonder nateelt (zie Figuur 15). Het verschil tussen nateelt Andere en nateelt Gras wordt verklaard door het feit dat gras een trager begingroei kent en daardoor de aanwezige stikstof in de bodem trager opneemt dan bv. gele mosterd.

Voor de gewasgroep Maïs kan er in geen van beide datasets een significant effect van de nateelt aangetoond worden (zie Figuur 15).

Ook voor Aardappelen lijkt de Nateelt belangrijk te zijn in de dataset MB-BDB ( $R^2 = 0.07$ , zie Tabel 7), maar deze sub-dataset is zeer ongebalanceerd.



Figuur 15 - Totaal nitraatresidu i.f.v. de Nateelt per Gewasgroep. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

Zoals vermeld in 2.2.5, kan het effect van de nateelt, op basis van de in de VLM datasets beschikbare informatie, niet 100% correct ingeschat worden omdat deze datasets geen informatie bieden over de werkelijke aanwezigheid van de nateelt op het moment van de stalname en omdat we, als er geen nateelt werd opgegeven, niet met zekerheid kunnen aannemen dat er geen nateelt was. De dataset BDB biedt wel bijkomende informatie over de aanwezigheid van een gewas op het moment van de stalname en ook over de ontwikkelingsgraad ervan. Deze informatie wordt verwerkt in 3.4.4.

### 3.4.4 Effect van de Bodembedekking bij staalname op het totaal nitraatresidu

De Bodembedekking bij staalname geeft aan welk gewas er (eventueel) aanwezig was op het moment van de staalname en wat de ontwikkelingsgraad van dit gewas was. Beide gegevens werden op het moment van staalname genoteerd door de staalnemers van de Bodemkundige Dienst van België en zijn opgenomen in de dataset BDB.

Het effect Bodembedekking bij staalname wordt enkel bekeken per Gewasgroep, aangezien de aan- of afwezigheid van de hoofdteelt zelf op het moment van de staalname (maïs, suikerbieten, aardappelen) evenals de eventuele aanwezigheid en de zaaidatum van een groenbemester, een nateelt of een volgteelt sterk afhangen van de hoofdteelt.

In Figuur 16 wordt een overzicht gegeven van het effect van de bodembedekking bij staalname, per Gewasgroep. De volgende codering wordt hiervoor gebruikt: m/n, waarbij m staat voor de gewasgroep aanwezig bij staalname en n voor de ontwikkelingsgraad van dit gewas: m/0 = pas gezaaid gewas; m/1 = weinig ontwikkeld gewas; m/2 matig ontwikkeld gewas; m/3 ontwikkeld gewas.

De resultaten van de dataset BO-BDB zijn iets betrouwbaarder dan de resultaten van de dataset MB-BDB omwille van het hogere aantal metingen per categorie in de dataset BO-BDB.

Bij Gras is er in beide datasets een significant hoger nitraatresidu voor sterker ontwikkeld gras dan voor jong gras. Dit kan te maken hebben met het feit dat op ontwikkeld gras vaker dierlijke mest werd gevoerd.

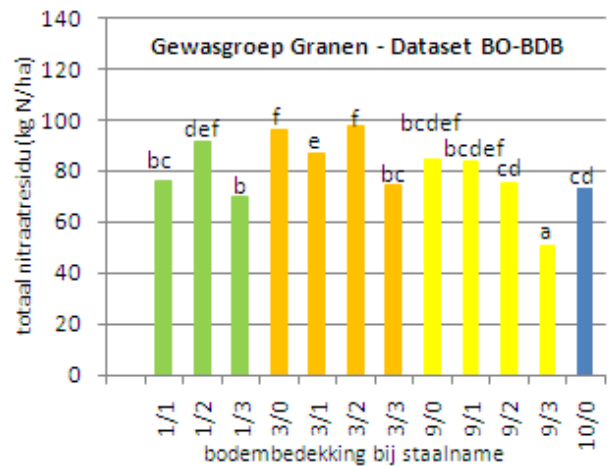
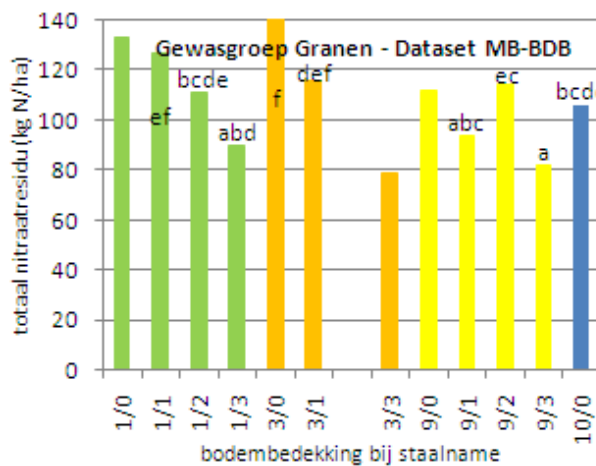
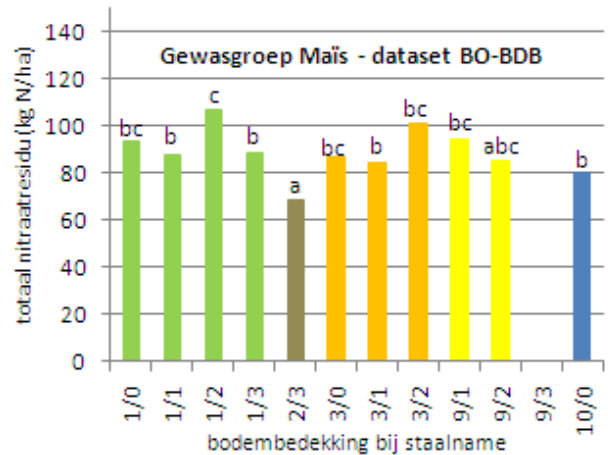
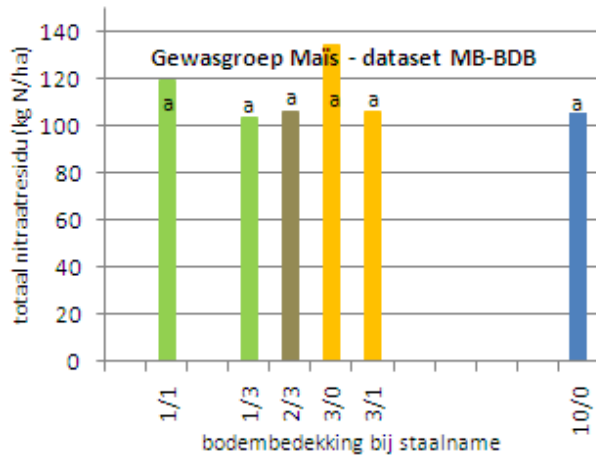
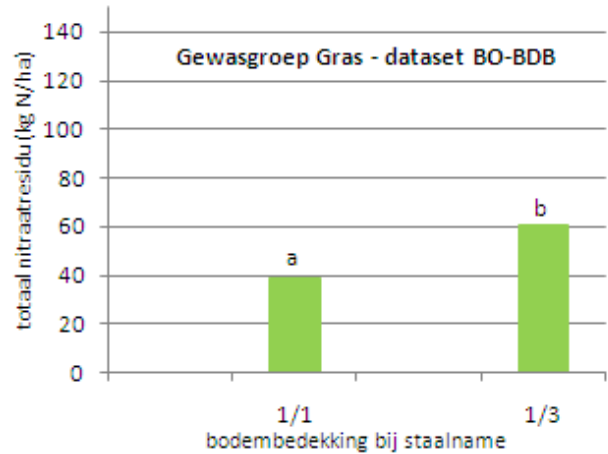
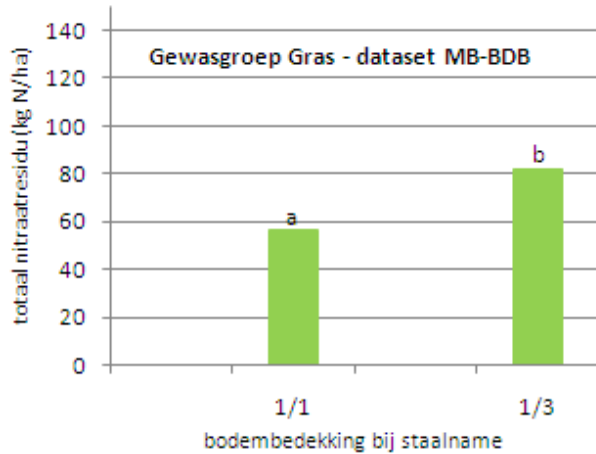
Bij Maïs maakte de bodembedekking bij de staalname weinig verschil voor het nitraatresidu. Enkel in de dataset BO-BDB kon er een significant lager nitraatresidu aangetoond worden wanneer de maïs nog op het veld stond bij de staalname (bodembedekking 2/3, bruin balkje). Wanneer er reeds een nateelt ingezaaid was (groene en gele balkjes) werden significant hogere nitraatresidu's gemeten, door de hogere stikstofmineralisatie als gevolg van de bodembewerking, terwijl de nateelt (die nog niet lang is ingezaaid na de maïs) nog maar weinig stikstof heeft kunnen opnemen.

Bij Granen is er in beide datasets een trend merkbaar m.b.t. de invloed van de ontwikkeling van de teelt die aanwezig was op het moment van staalname: hoe sterker het gewas ontwikkeld was, hoe lager het nitraatresidu. Wanneer er geen teelt aanwezig was (bodembedekking 10/0, blauw balkje), was het nitraatresidu ook meestal gemiddeld lager dan wanneer er een pas gezaaid gewas aanwezig was (bodembedekking \*/0). In het geval dat er geen teelt aanwezig was, was er meestal geen bodembewerking uitgevoerd na de graanoogst, terwijl bij recente inzaai van het gewas de bodem werd bewerkt en verlucht, zodat de stikstofmineralisatie werd gestimuleerd.



Bij Suikerbieten is er weinig of geen effect te bespeuren van de bodembedekking op het moment van de staalname. In de dataset BO-BDB was het nitraatresidu gemiddeld lager als de bieten nog op het veld stonden (bodembedekking 4/3, grijs balkje) of als er geen teelt aanwezig was (bodembedekking 10/0, blauw balkje) dan als er pas granen gezaaid waren (bodembedekking 3/0). Het effect van de bodembewerking en van de mineralisatie van het bietenloof is hier merkbaar. Als de bieten pas geoogst waren en er nog geen graan gezaaid was (blauw balkje), was het nitraatresidu lager. De bodem werd weliswaar omgewoeld tijdens de bietenoogst, maar het vochtgehalte was op dat moment (na bieten) onvoldoende om de mineralisatie op gang te brengen. Bij pas gezaaid graan (bodembedekking 3/0 en 3/1) waren de nitraatresidu's significant hoger door de toegenomen mineralisatie na de grondbewerking. Als het graan al enkele weken ontwikkeld was (bodembedekking 3/2), was het al begonnen met stikstof op te nemen, waardoor het nitraatresidu opnieuw iets lager was.

Bij Aardappelen werden de laagste nitraatresidu's gemeten als de aardappelen nog op het veld stonden (bodembedekking 5/3, grijs balkje) of als er een sterk ontwikkelde groenbemester stond (bodembedekking 1/3 en 9/3, groen en geel balkje). Pas gezaaid graan (bodembedekking 3/0) of geen teelt (bodembedekking 10/0, blauw balkje) gaf gemiddeld een hoger nitraatresidu.



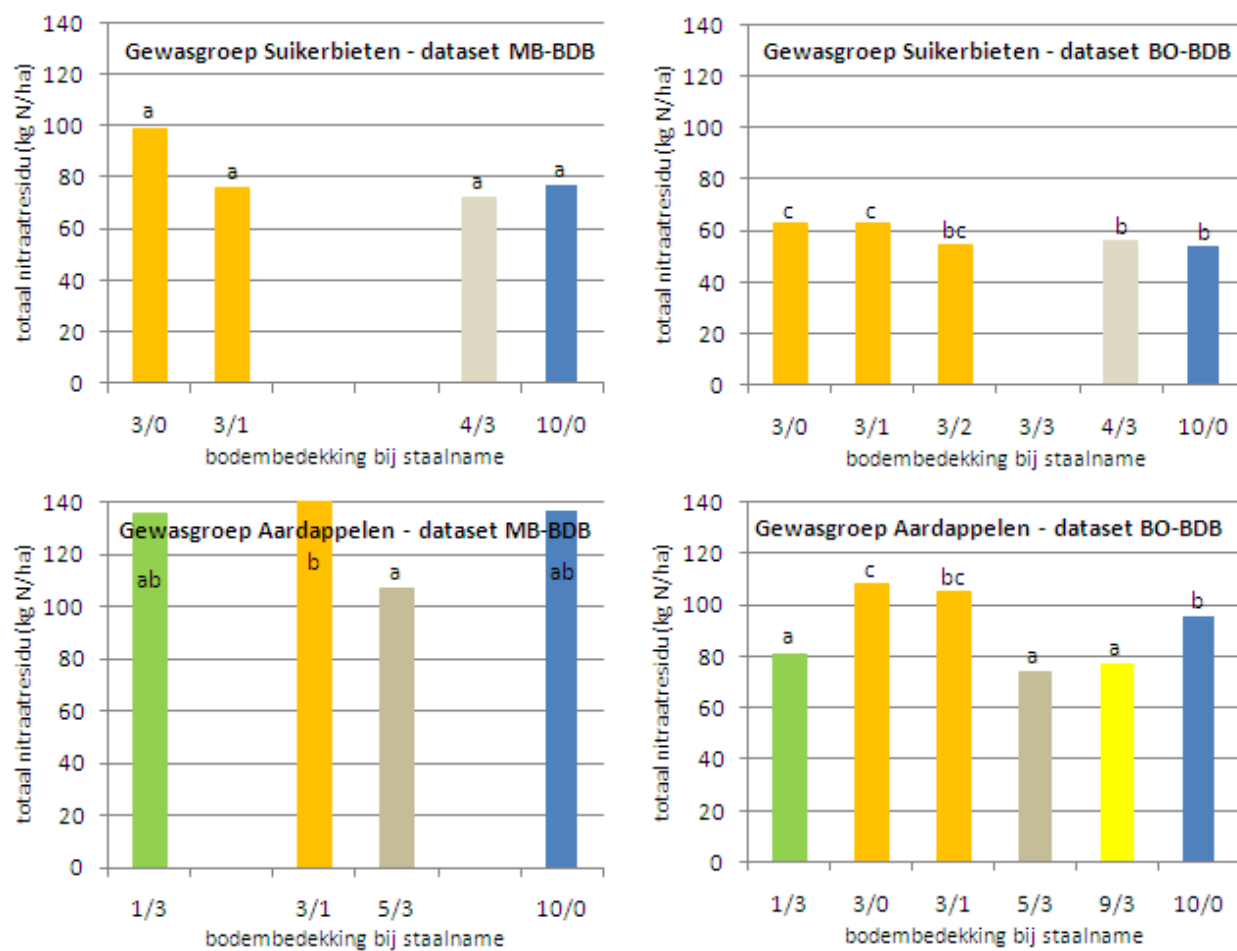
Legende:

- 1/\* █ teelt bij staalname = gras
- 2/\* █ teelt bij staalname = maïs
- 3/\* █ teelt bij staalname = granen
- 4/\* █ teelt bij staalname = suikerbieten

- 5/\* █ teelt bij staalname = aardappelen
- 9/\* █ teelt bij staalname = snijrogge na maïs, gele mosterd na granen, diverse na aardappelen)
- 10/\* █ teelt bij staalname = geen

\* /0 = pas gezaaid gewas; \* /1 = weinig ontwikkeld gewas; \* /2 matig ontwikkeld gewas; \* /3 ontwikkeld gewas

Significante verschillen worden aangeduid met een letter boven de balkjes. Bij balkjes zonder letter waren niet voldoende gegevens beschikbaar om significante verschillen te kunnen aanduiden.



Legende:

- 1/\* █ teelt bij staalname = gras
- 2/\* █ teelt bij staalname = maïs
- 3/\* █ teelt bij staalname = granen
- 4/\* █ teelt bij staalname = suikerbieten
- 5/\* █ teelt bij staalname = aardappelen
- 9/\* █ teelt bij staalname = snijrogge na maïs, gele mosterd na granen, diverse na aardappelen
- 10/\* █ teelt bij staalname = geen

\* /0 = pas gezaaid gewas; \*/1 = weinig ontwikkeld gewas; \*/2 matig ontwikkeld gewas; \*/3 ontwikkeld gewas

Significante verschillen worden aangeduid met een letter boven de balkjes. Bij balkjes zonder letter waren niet voldoende gegevens beschikbaar om significante verschillen te kunnen aanduiden.

Figuur 16 - Totaal nitraatresidu i.f.v. de Bodembedekking bij staalname, per Gewasgroep.

### 3.4.5 Effect van het tijdstip van de staalname op het totaal nitraatresidu

De Staalnamedag geeft de volgende lineaire regressiefunctie voor het totale nitraatresidu:

Dataset MB-BDB:  $N = 86.30 + 0.00 \times \text{SNDag}$  ( $p = 0.07$  en  $R^2 = 0.00$ )

Dataset BO-BDB:  $N = 19.98 + 0.15 \times \text{SNDag}$  ( $p = 0.00$  en  $R^2 = 0.001$ )

In dataset MB-BDB heeft de Staalnamedag globaal geen significant effect op het nitraatresidu.

Dit is wel het geval in dataset BO-BDB: hoe later de staalname hoe hoger het nitraatresidu.

Dit effect moet echter zeer voorzichtig geïnterpreteerd worden. Staalnamedag is immers geen random (willekeurige) factor. De staalnamedatum in een bepaald perceel werd immers in veel gevallen bepaald in functie van het gewas en rekening houdend met de teeltpraktijken (oogstdatum gewas, al dan niet inzaaien van een nateelt of van het volgende gewas, bvb. granen).

Enkele voorbeelden:

- In maïsparcelen zal de staalname eerder gebeuren na de maïsoogst omdat het in volgroeide maïs praktisch zeer moeilijk is om grondstalen te nemen; indien er gras wordt ingezaaid na de maïs zal de landbouwer verkiezen om het staal te nemen zo kort mogelijk na de maïsoogst, vóór de grondbewerking en het inzaaien van het gras (om het effect hiervan op de N-mineralisatie te vermijden); indien er geen nateelt gezaaid wordt na maïs is het staalnametijdstip minder van belang.
- In wintertarwepercelen waar na de oogst wintergerst gezaaid wordt zal de landbouwer eveneens verkiezen om de grondstaalname zo vroeg mogelijk uit te voeren en alleszins vóór hij de bodembewerking voor het zaaiklaar leggen van het perceel voor de gerst uitvoert, dit om het effect van de toegenomen N-mineralisatie na de grondbewerking voor het inzaaien van gerst te verkleinen.
- In percelen met blijvend grasland is er een permanente bodembedekking en is het staalnametijdstip van minder belang.

Het effect Staalnamedag is dus afhankelijk van de Gewasgroep en hangt heel sterk samen met het effect Bodembedekking bij staalname (zie 3.4.4). Daarom wordt dit effect in de volgende paragrafen, per Gewasgroep, apart geanalyseerd voor de verschillende soorten bodembedekking. Bovendien wordt voor de niet-Gras-gewasgroepen eerder gekeken naar het aantal dagen na de zaai van een eventueel aanwezige volg- of nateelt (d.w.z. de groeiperiode van de volg- of nateelt) of, indien er geen teelt aanwezig is bij de staalname, naar het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt (d.w.z. de periode zonder bodembedekking). Deze laatste parameters zijn enkel beschikbaar in de dataset BDB voor de jaren 2001 t/m 2006. Vermits er in de dataset MB-BDB per Gewasgroep onvoldoende data van de bodembedekking beschikbaar waren om een geldige statistische analyse uit te voeren werden deze effecten enkel bestudeerd in de dataset BO-BDB.

#### **3.4.5.1 Gras**

Voor de Gewasgroep Gras werd het effect van de staalnamedag en de interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) en met de Bodemtextuur (Zand en Zandleem) geanalyseerd voor de percelen met goed ontwikkeld gras op het moment van de staalname (Bodembedekking 1/3).

Zowel het effect Staalnamedag zelf als het interactie-effect van de Staalnamedag met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname waren zeer significant (Tabel 15). De interactie met de Bodemtextuur was niet significant.

Het nitraatresidu bij Gras, met een bodembedekking van goed ontwikkeld gras op het moment van de staalname, nam significant toe in de loop van de staalnamecampagne, in alle BPJS en zowel op zand- als zandleemgronden, behalve in 2002 (zand- en zandleem) en in 2006 (zandleem), waar geen effect van staalnamedag kon aangetoond worden (Figuur 17).

Indien de weiden (met goed ontwikkeld gras – dus is de gewasopname reeds gebeurd) na half september nog begraaasd worden kan er een belangrijke aanrijking zijn van de bodem door de uitscheiding van de dieren ter plaatse. Dit is des te meer het geval naarmate de dieren bijgevoederd worden op de weide.

Anderzijds worden gemaaide weiden eerder in het begin van de staalnamecampagne bemonsterd en begraaasde weiden eerder naar het einde van de bemonsteringscampagne.

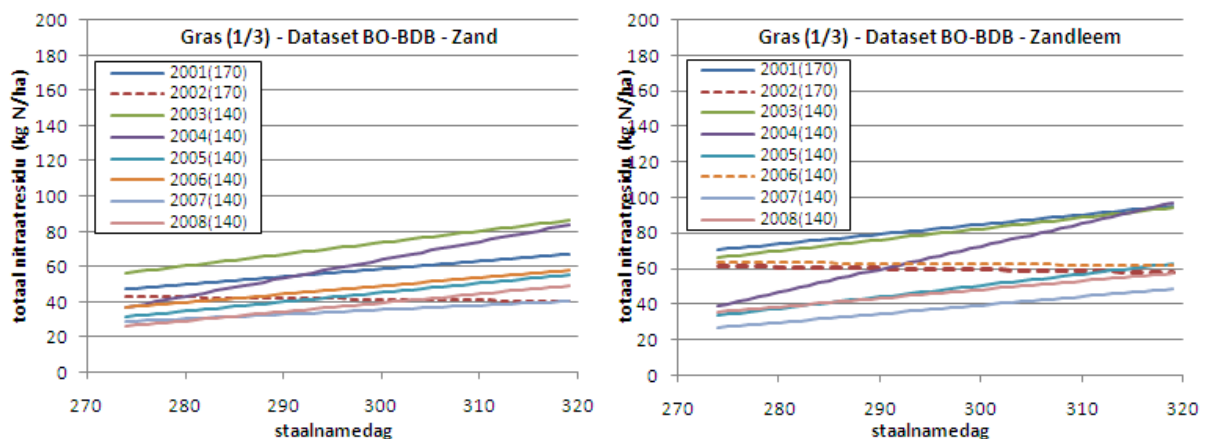
Bij bemonstering in droge omstandigheden wordt onder gras minder nitraat in de bodem gemeten aangezien het gras de opgeloste nitraten met de (beperkt beschikbare) bodemoplossing opneemt via de transpiratiestroom. Bij voldoende vochtige bodem blijven de nitraten eveneens opgelost in de bodemoplossing in de bodem, er is immers bodemvochtoverschot in vergelijking met de transpiratiestroom. Deze opgeloste nitraten worden dan ook gemeten in de bodem. Dit effect komt tot uiting in verschillende jaren (zie weersgegevens Tabel 5):

- 2001: natte zomer, nat najaar, significante stijging van het nitraatresidu in de loop van de staalnameperiode;
- 2003: droge zomer, gemiddeld vochtig najaar, significante stijging van het nitraatresidu in de loop van de staalnameperiode;
- 2006: gemiddelde zomer, droog najaar, kleinere of geen evolutie van het nitraatresidu in de loop van de staalnameperiode.

Deze effecten worden meer waargenomen onder begraaasd grasland omwille van de uitscheiding. Tevens wordt hetzelfde effect minder sterk tot niet waargenomen op akkerland aangezien daar de effecten van de bodembewerking (zuurstofaanbreng) belangrijker zijn of er is het effect van de nateelt/groenbemester die nitraatstikstof nog verder opneemt.

Tabel 15 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten Staalnamedag | BPJS | Bodemtextuur op het totaal nitraatresidu bij Gras.

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	41.17	1	41.17	92.24	<0.01
Staalnamedag	180.99	1	180.99	405.52	<0.01
BPJS	116.95	7	16.71	37.43	<0.01
Bodemtextuur	2.11	1	2.11	4.73	0.03
BPJS × Bodemtextuur	12.5	7	1.79	4.00	<0.01
BPJS × Staalnamedag	118.80	7	16.97	38.03	<0.01
Bodemtextuur × Staalnamedag	0.91	1	0.91	2.04	0.15
BPJS × Bodemtextuur × Staalnamedag	11.81	7	1.69	3.78	0.01
Error	7883.31	17663	0.45		



Figuur 17 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. Staalnamedag, per BPJS en per Bodemtextuurklasse (Zand of Zandleem), voor de gewasgroep Gras met goed ontwikkeld gras op het moment van staalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).

### 3.4.5.2 Maïs

Voor de Gewasgroep Maïs werd niet het effect van de staalnamedag geanalyseerd, maar wel, bij aanwezigheid van een nateelt Gras op het moment van de staalname, het effect van de groeiperiode van deze nateelt (aantal dagen na de zaai van de nateelt) en wanneer er geen bodembedekking was op het moment van de staalname, het effect van de periode zonder bodembedekking (aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt). Telkens werd ook de interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname en de Bodemtextuur (Zand en Zandleem) geanalyseerd.

Zowel met bodembedekking Gras als zonder bodembedekking op het moment van de staalname was het interactie-effect van het Aantal dagen na zaai van de nateelt gras of het Aantal dagen na

maïsoogst met de BPJS zeer significant (Tabel 16 en Tabel 17). Er was geen significante interactie met de Bodemtextuur (Zand of Zandleem).

De evolutie van het nitraatresidu was sterk afhankelijk van de BPJS. Er was geen systematische stijging of daling van het nitraatresidu in de loop van de staalnamecampagne bij Maïs, noch met een bodembedekking Gras, noch zonder bodembedekking op het moment van de staalname (Figuur 18 en Figuur 19).

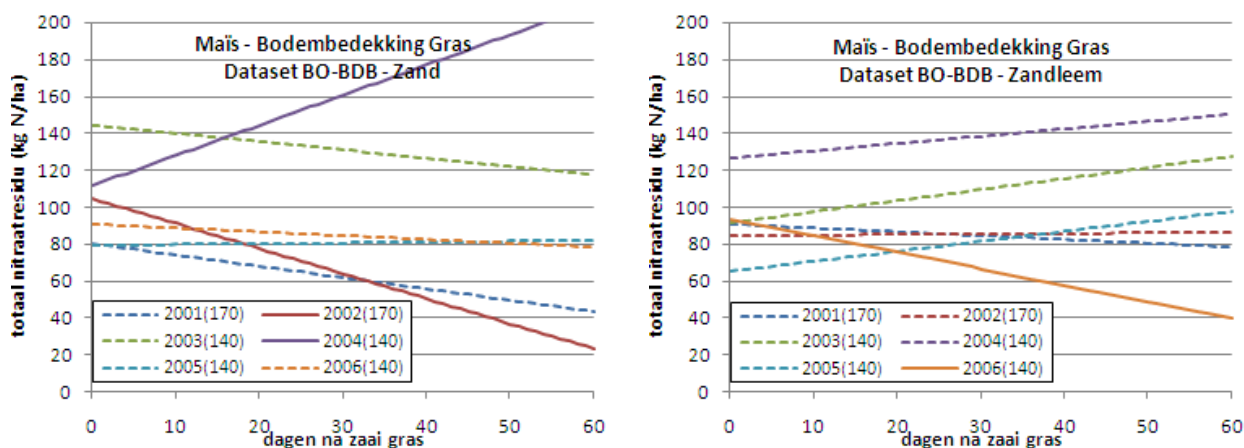
Grasachtige groenbemesters kennen een vlotte opkomst met een hoge, maar langzame N-opname. Dit verklaart waarom er weinig verschil te zien is in de evolutie van het nitraatresidu tussen percelen zonder bodembedekking en met bodembedekking Gras.

**Tabel 16 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaZaai | BPJS | Bodemtextuur op het totaal nitraatresidu bij Maïs met bodembedekking Gras op het moment van de staalname.**

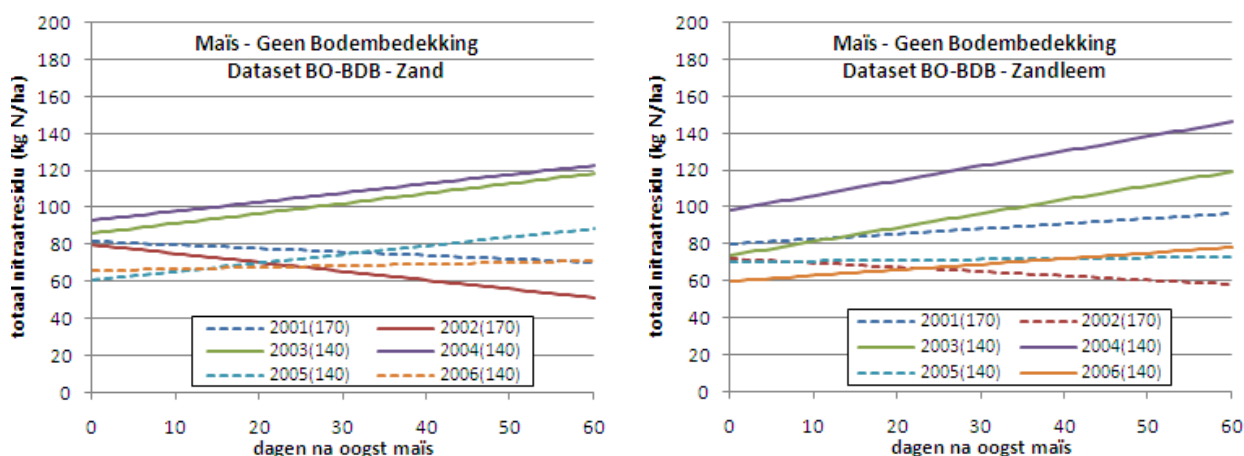
Univariate Tests of Significance for LogResTot Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	4251.54	1	4251.54	11038.54	<0.01
DagenNaZaai	0.01	1	0.01	0.01	0.91
BPJS	9.27	5	1.85	4.81	<0.01
Bodemtextuur	0.06	1	0.06	0.16	0.61
BPJS × Bodemtextuur	2.40	5	0.48	1.25	0.29
BPJS × DagenNaZaai	8.83	5	1.77	4.58	<0.01
Bodemtextuur × DagenNaZaai	0.59	1	0.59	1.54	0.22
BPJS × Bodemtextuur × DagenNaZaai	7.50	5	1.50	3.89	<0.01
Error	474.12	1231	0.39		

**Tabel 17 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaOogst | BPJS | Bodemtextuur op het totaal nitraatresidu bij Maïs zonder bodembedekking op het moment van de staalname.**

Univariate Tests of Significance for LogResTot Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	33542.60	1	33542.60	80154.20	<0.01
DagenNaOogst	7.52	1	7.52	17.98	<0.01
BPJS	37.11	5	7.42	17.73	<0.01
Bodemtextuur	0.20	1	0.20	0.47	0.19
BPJS × Bodemtextuur	5.92	5	1.18	2.83	<0.01
BPJS × DagenNaOogst	55.81	5	11.16	26.67	<0.01
Bodemtextuur × DagenNaOogst	0.02	1	0.02	0.04	0.843
BPJS × Bodemtextuur × DagenNaOogst	1.32	5	0.26	0.63	0.68
Error	3415.60	8162	0.42		



Figuur 18 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. de groeiperiode van de nateelt Gras, per BPJS, voor de Bodemtextuurklassen Zand en Zandleem en voor de gewasgroep Maïs met Gras op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).



Figuur 19 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de oogst van de maïs, per BPJS, voor de Bodemtextuurklassen Zand en Zandleem en voor de gewasgroep Maïs zonder bodembedekking op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).

### 3.4.5.3 Granen

Ook voor de Gewasgroep Granen werd niet het effect van de stalnamedag bestudeerd, maar wel, bij aanwezigheid van een volgteelt Granen of een nateelt Mosterd op het moment van de stalname, het effect van de groeiperiode van deze volg- of nateelt (aantal dagen na de zaai) en wanneer er geen bodembedekking was op het moment van de stalname, het effect van de periode zonder bodembedekking (aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt). Telkens werd ook de interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van stalname geanalyseerd.

Uit Tabel 18, Tabel 19, Tabel 20, Figuur 20, Figuur 21 en Figuur 22 blijkt het volgende:

- Met een bodembedekking door een volgteelt Granen was er weliswaar globaal een significant effect van de groeiperiode van de volgteelt (aantal dagen na zaai), maar ook een sterke



interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname. Afhankelijk van het BPJS steeg of daalde het nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de zaai van de nateelt, of bleef het constant.

- Met een bodembedekking door een nateelt Mosterd was er globaal een significant effect van de groeiperiode van de nateelt (aantal dagen na zaai) en een significant interactie-effect met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname. Steeds was er een zeer significante en sterke daling van het nitraatresidu in functie van het aantal dagen na de zaai van de nateelt Mosterd en in sommige jaren was deze daling sterker dan in andere. Mosterd behoort tot de categorie van de bladrijke groenbemesters met een snelle en uitgesproken bovengrondse groei en met een aanzienlijke stikstofopname. Het is dus logisch dat het nitraatresidu significant afneemt naarmate de mosterd langer aanwezig is.
- Zonder bodembedekking was er globaal een significant effect van het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt, maar geen interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname. Steeds kende het nitraatresidu een lichte en vaak niet significante daling in functie van het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt Granen. Dit kan verklaard worden doordat op de betrokken percelen weinig of geen bodembewerking uitgevoerd werd en er dan ook geen zuurstofinbreng was die de stikstofmineralisatie bevorderde. Op percelen waar nog wel een volgteelt komt (bijvoorbeeld gerst na tarwe) zal de staalname vroeg in de campagne gebeuren, maar eveneens vóór de grondbewerking. Bovendien heeft stro (en stoppel) een hoge C/N-verhouding, waardoor (de stoppel en) het stro het gemineraliseerde nitraat onmiddellijk gebruikt voor verdere vertering.

**Tabel 18 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaZaai|BPJS op het totaal nitraatresidu bij Granen met bodembedekking Granen op het moment van de staalname.**

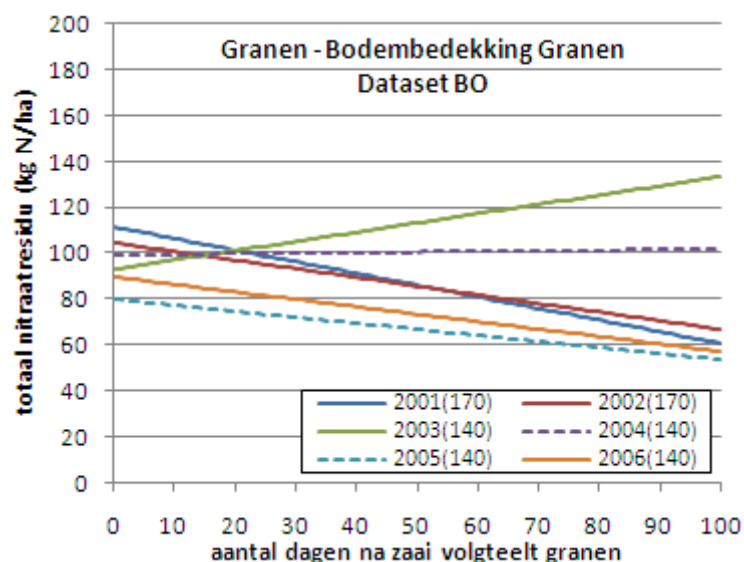
Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	13594.24	1	13594.24	48981.20	<0.01
DagenNaZaai	8.20	1	8.20	29.54	<0.01
BPJS	14.47	5	2.89	10.43	<0.01
BPJS × DagenNaZaai	13.48	5	2.70	9.71	<0.01
Error	794.32	2862	0.28		

Tabel 19 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaZaai|BPJS op het totaal nitraatresidu bij Granen met bodembedekking Mosterd op het moment van de stalname.

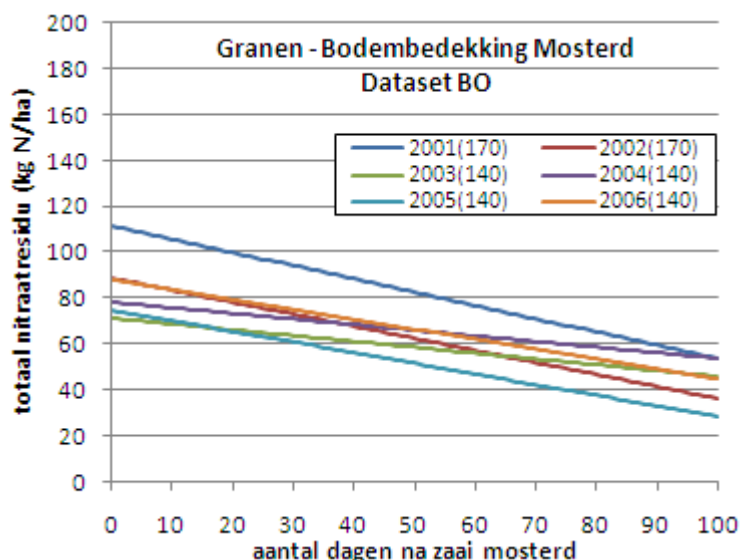
Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Dataset BO-BDB					
Intercept	7406.83	1	7406.83	27803.79	<0.01
DagenNaZaai	74.83	1	74.83	280.90	<0.01
BPJS	19.24	5	3.85	14.44	<0.01
BPJS × DagenNaZaai	13.74	5	2.75	10.32	<0.01
Error	1824.55	6849	0.27		

Tabel 20 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaOogst|BPJS op het totaal nitraatresidu bij Granen zonder bodembedekking op het moment van de stalname.

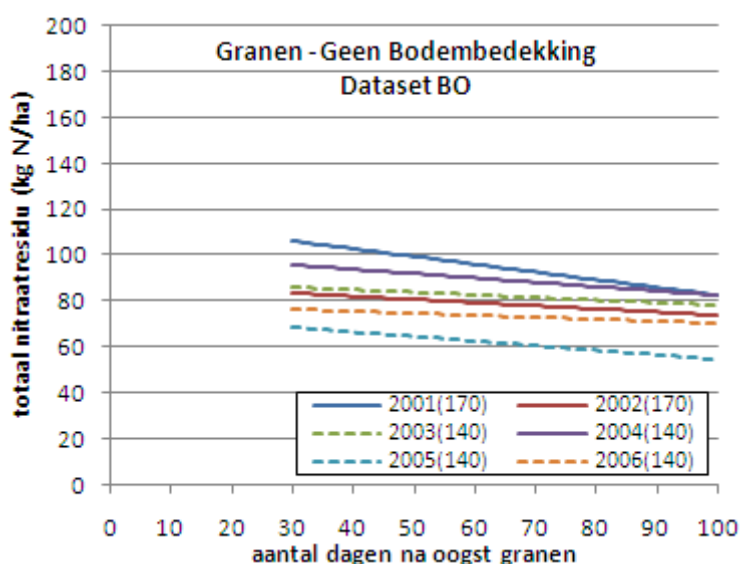
Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
Dataset BO-BDB					
Intercept	4990.10	1	4990.10	15774.62	<0.01
DagenNaOogst	15.02	1	15.02	47.49	<0.01
BPJS	9.67	5	1.93	6.11	<0.01
BPJS × DagenNaOogst	3.22	5	0.64	2.03	0.07
Error	1993.24	6301	0.32		



Figuur 20 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. de groeiperiode van de volgteelt, per BPJS, voor de gewasgroep Granen met volgteelt Granen op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).



Figuur 21 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. de groeiperiode van de nateelt, per BPJS, voor de gewasgroep Granen met nateelt Mosterd op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).



Figuur 22 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt Granen, per BPJS, voor de gewasgroep Granen zonder bodembedekking op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).

### 3.4.5.4 Suikerbieten

Voor de Gewasgroep Suikerbieten werd, bij aanwezigheid van een volgteelt Granen op het moment van de stalname, het effect van de groeiperiode van deze volgteelt (aantal dagen na de zaai) bestudeerd en wanneer er geen bodembedekking was op het moment van de stalname, het effect van de periode zonder bodembedekking (aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt). Telkens werd ook de interactie met de Bemestingspraktijk in het jaar van stalname geanalyseerd.

Uit Tabel 21, Tabel 22, Figuur 23 en Figuur 24 blijkt het volgende:

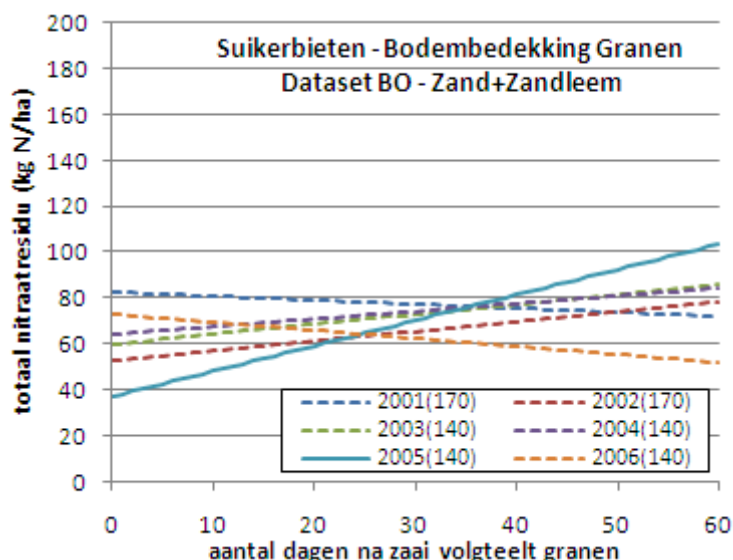
- Met een bodembedekking door een volgteelt Granen was er enkel in 2005(140) een significante stijging van het nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de zaai van de volgteelt. Voor alle andere BPJS was er geen effect.
- Zonder bodembedekking was er voor elke BPJS behalve 2005(140) een significante toename van het nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt Suikerbieten, te wijten aan de mineralisatie van het bietenloof.

**Tabel 21 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaZaai|BPJS op het totaal nitraatresidu bij Suikerbieten met bodembedekking Granen op het moment van de stalname.**

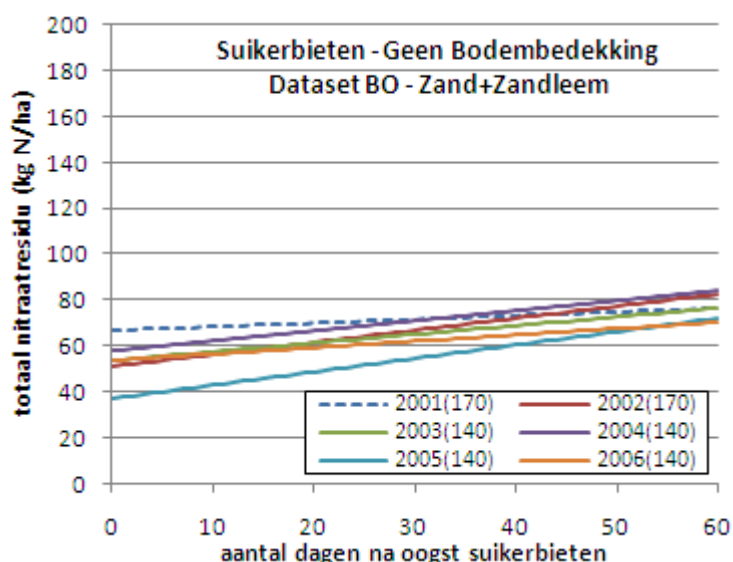
Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	4664.57	1	4664.57	17767.12	<0.01
DagenNaZaai	1.59	1	1.59	6.05	0.01
BPJS	14.56	5	2.91	11.09	<0.01
BPJS × DagenNaZaai	3.57	5	0.72	2.72	0.02
Error	220.01	838	0.26		

**Tabel 22 - Dataset BO-BDB: ANOVA-analyse van de effecten DagenNaOogst|BPJS op het totaal nitraatresidu bij Suikerbieten zonder bodembedekking op het moment van de stalname.**

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	P
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	13072.90	1	13072.90	56050.86	<0.01
DagenNaOogst	5.10	1	5.10	21.87	<0.01
BPJS	16.03	5	3.21	13.74	<0.01
BPJS × DagenNaOogst	1.07	5	0.21	0.92	0.47
Error					



Figuur 23 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. de groeiperiode van de volgteelt, per BPJS, voor de gewasgroep Suikerbieten met volgteelt Granen op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).



Figuur 24 - Dataset BO-BDB - Totaal nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt Suikerbieten, per BPJS, voor de gewasgroep Suikerbieten zonder bodembedekking op het moment van stalname (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).

### 3.4.6 Effect van de Landbouwstreek op het totaal nitraatresidu

In Tabel 23 en Tabel 24 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van het effect Landbouwstreek op het totale nitraatresidu voorgesteld voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

**Tabel 23 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per landbouwstreek + resultaten ANOVA.**

Landbouwstreek	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Duinen	25	88.1 -	17.9	235.1	61.3
Kempen	5034	80.5 a	1,0	496.1	72.1
Leemstreek	1462	105.4 d	4.9	488.0	76.1
Polders	1558	115.8 e	3.0	485.0	81.9
Vlaamse-zandstreek	10451	84.8 b	1.0	495.7	72.1
Weidestreek	160	59.5 -	3.3	326.1	61.8
Zandleemstreek	16190	86.7 c	2.7	500.0	70.9
p-waarde	0.00				
R <sup>2</sup>	0.02				

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 23 blijkt dat, voor wat betreft de Mestbankcontrolemetingen en opvolgstalen, de Landbouwstreek een significant effect ( $p < 0.05$ ) heeft op het totale nitraatresidu. In de Kempen werden gemiddeld de laagste nitraatresidu's gemeten en in de Polders de hoogste. In de Duinen en de Weidestreek zijn zeer weinig gegevens beschikbaar. Deze landbouwstreken werden dan ook niet meegenomen in de statistische analyse.

De R<sup>2</sup>-waarde van het effect Landbouwstreek is echter zeer klein, m.a.w. dit effect verklaart slechts een zeer klein deel van de totale variatie in de dataset.

**Tabel 24 - Dataset BO-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per landbouwstreek + resultaten ANOVA.**

Landbouwstreek	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Kempen	6714	53.0 a	DI	443.6	46.6
Leemstreek	47591	61.8 c	DI	499.0	45.5
Polders	47	73.0 -	14.7	314.4	59.5
Vlaamse-zandstreek	56605	65.8 d	DI	499.6	53.0
Zandleemstreek	58973	62.2 b	DI	497.4	50.2
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.005			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 24 blijkt dat, ook in de percelen met beheerovereenkomst water, de landbouwstreek een significant effect heeft op het totale nitraatresidu. Volgens de ANOVA-analyse van de getransformeerde nitraatresidugegevens worden in de Kempen gemiddeld de laagste resultaten bekomen (maar slechts weinig metingen!), gevolgd door de Zandleemstreek, terwijl de resultaten

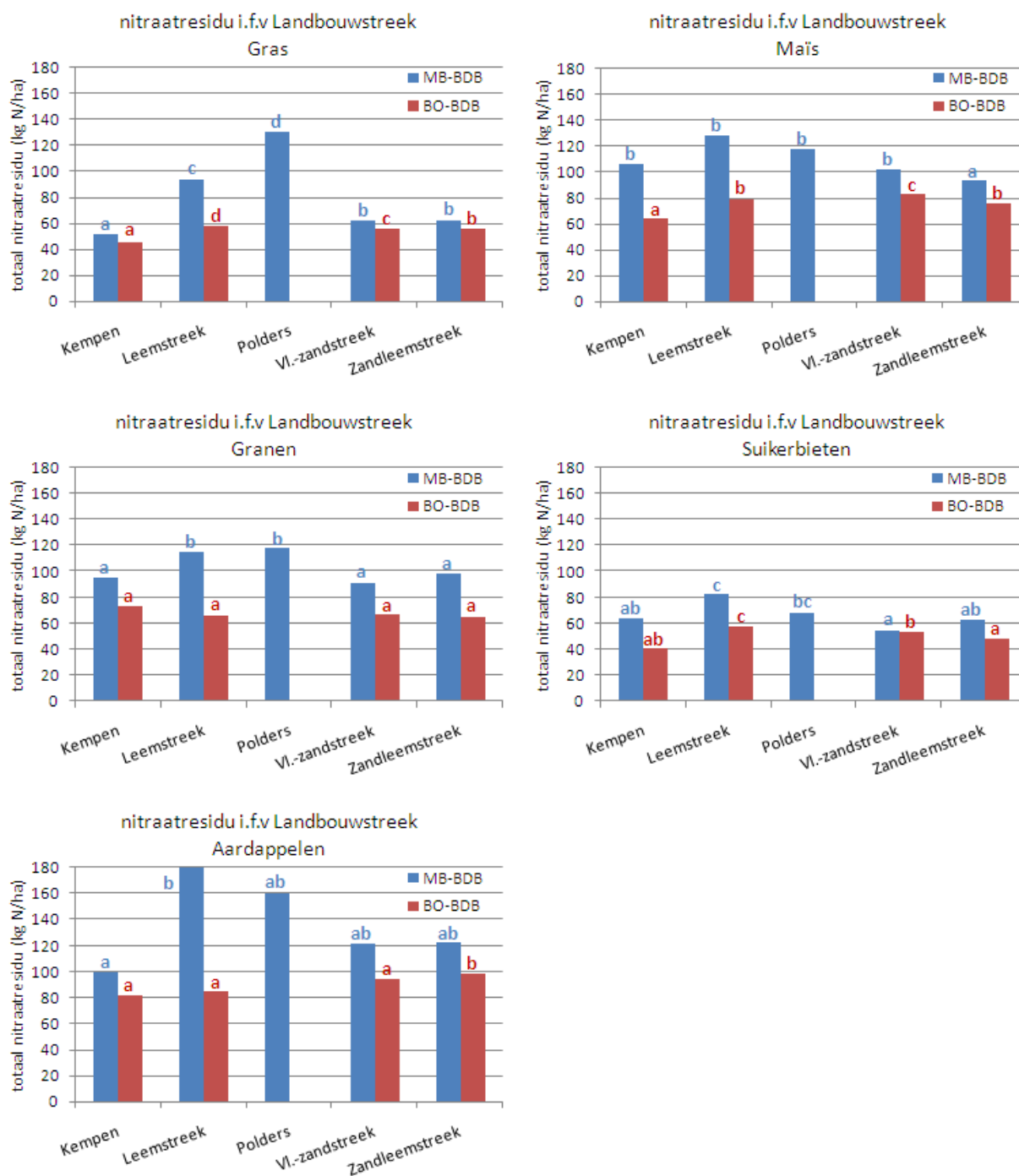
in de Leemstreek en de Vlaamse-zandstreek significant hoger waren. Dit komt niet helemaal overeen met de gemiddelde (niet getransformeerde) nitraatresidu's per landbouwstreek in Tabel 24, waar de Leemstreek een gemiddeld lager resultaat gaf dan de Zandleemstreek en de Vlaamse-zandstreek. De interpretatie van de ANOVA-analyses van de log-getransformeerde nitraatresidu's moet dus met de nodige voorzichtigheid gebeuren.

In de Polders en in mindere mate ook in de Kempen zijn zeer weinig gegevens beschikbaar. De Polders werden dan ook niet meegenomen in de statistische analyse.

De  $R^2$ -waarde van het effect Landbouwstreek is hier echter ook zeer klein, m.a.w. dit effect verklaart slechts een zeer klein deel van de totale variatie in de dataset.

Het is ook belangrijk om het effect Landbouwstreek te analyseren per Gewasgroep, aangezien de verschillende gewasgroepen niet evenveel voorkomen in de verschillende landbouwstreken.

Uit de statistische analyse per Gewasgroep blijkt dat het effect van de Landbouwstreek vooral van belang is voor de verschillende gewasgroepen in de dataset MB-BDB ( $R^2$  van 0.02 tot 0.06, d.w.z. verklaart 2 tot 6% van de variatie), met uitzondering van Maïs ( $R^2 = 0.01$ ). De algemene trend in deze dataset is dat de nitraatresidu's gemiddeld lager liggen in de landbouwstreken met lichtere gronden (Zand- en Zandleemstreek) dan in de streken met zwaardere gronden (Leemstreek en Polders) (zie Figuur 25). In de dataset BO-BDB is het effect van de Landbouwstreek minder belangrijk ( $R^2$  van  $<0.01$  tot 0.01), behalve voor de gewasgroep Suikerbieten ( $R^2 = 0.03$ ).



Figuur 25 - Totaal nitraatresidu i.f.v. de Landbouwstreek per Gewasgroep. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

### 3.4.7 Effect van de Bodemtextuur op het totaal nitraatresidu

In Tabel 25 en Tabel 26 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van



het effect Bodemtextuur op het totale nitraatresidu voorgesteld voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

**Tabel 25 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per bodemtextuurklasse + resultaten ANOVA.**

Textuur	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Andere	469	75.4 -	2.7	408.9	64.9
Klei	3091	101.7 b	2.7	489.8	79.5
Leem	3224	94.3 b	3.3	497.1	69.9
Veen	39	100.9 -	4.6	369.0	88.2
Zand	12165	85.5 a	dl	496.1	73.3
Zandleem	15599	84.8 a	dl	500.0	71.0
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.01			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 25 blijkt dat, voor wat betreft de Mestbankcontrolemetingen en de opvolgstalen, de Bodemtextuur een significant effect heeft op het totale nitraatresidu. Zand- en zandleemgronden hebben gemiddeld een lager nitraatresidu dan leem en kleigronden.

De nitraatresidumetingen werden vooral uitgevoerd in de lichtere gronden (Zand en Zandleem) en in mindere mate in de Klei- en Leemgronden. De klassen Andere en Veen kwamen zeer weinig voor in de nitraatresidu-dataset en werden bijgevolg uit de statistische analyse weggelaten.

**Tabel 26 - Dataset BO-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per bodemtextuurklasse + resultaten ANOVA.**

Textuur	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Andere	2286	60.7 -	dl	470.3	51.0
Klei	8668	65.6 a	dl	497.4	61.5
Leem	71699	61.3 c	dl	499.0	44.1
Veen	171	63.9 -	5.1	366.3	51.6
Zand	42174	64.0 c	dl	498.4	52.2
Zandleem	44539	64.0 b	dl	499.6	53.4
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.001			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

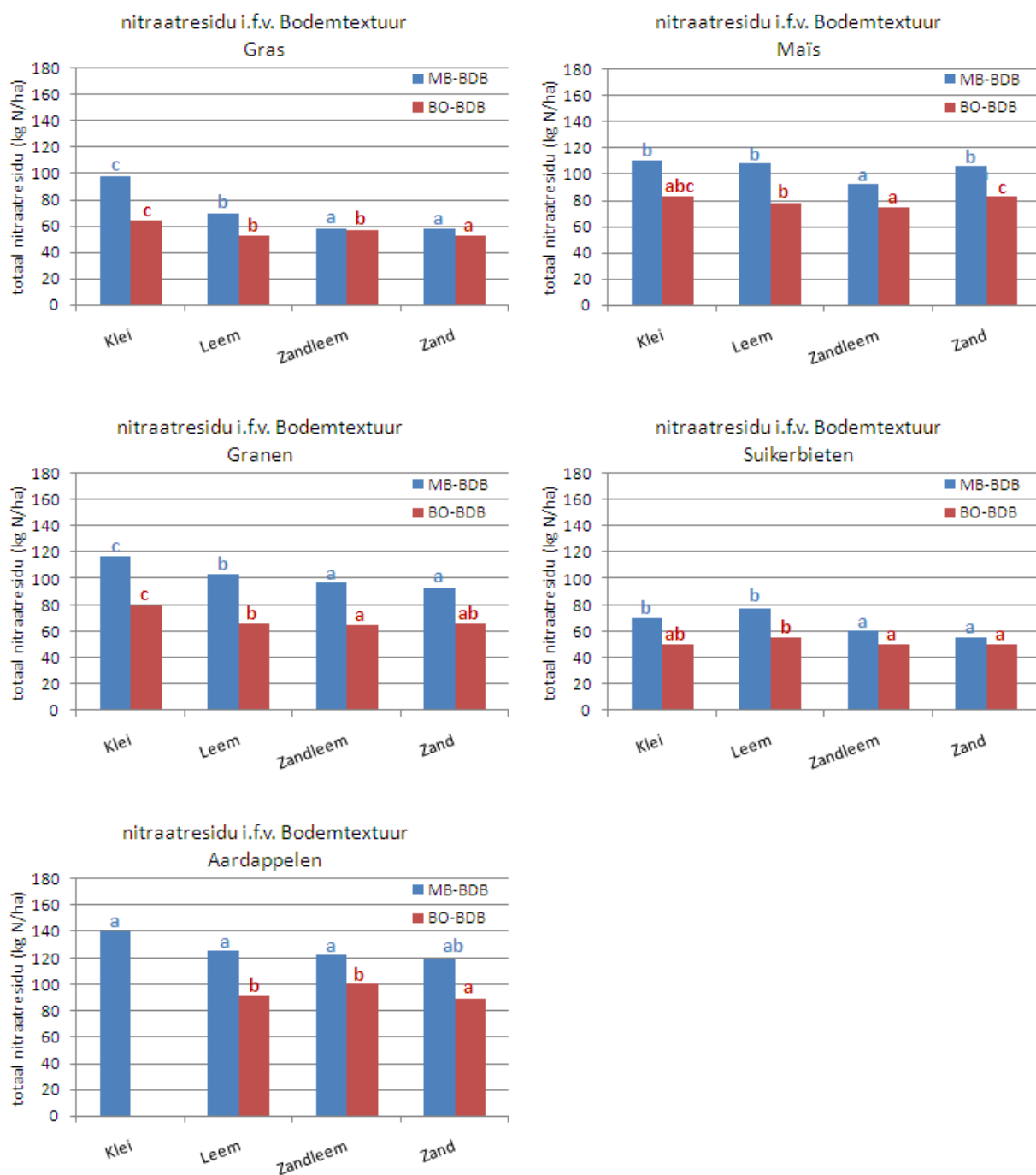
(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 26 blijkt dat, ook in de percelen met beheerovereenkomst Water, de Bodemtextuur een significant effect heeft op het totale nitraatresidu, alhoewel slechts een verwaarloosbaar deel van de variatie hierdoor verklaard wordt. Volgens de ANOVA-analyse van de getransformeerde

nitraatresiduegevens worden in de Kleigronden gemiddeld de laagste resultaten bekomen (maar slechts weinig metingen!), gevolgd door de Zandleemgronden, terwijl de resultaten in de Zand- en Leemgronden significant hoger waren. Dit komt niet overeen met de gemiddelde (niet getransformeerde) nitraatresidu's per bodemtextuurklasse, waar de Leemgronden gemiddeld een lager resultaat gaven dan de Klei-, Zand- en Zandleemgronden. Zoals voor de parameter Landbouwtreek ligt de oorzaak hiervan zowel in de logtransformatie van de gegevens als in het feit dat de dataset op gebied van Bodemtextuur zeer ongebalanceerd is. De interpretatie van de ANOVA-analyses van de log-getransformeerde nitraatresidu's moet dus met de nodige voorzichtigheid gebeuren.

De nitraatresidumetingen werden vooral uitgevoerd in de Leem-, Zand- en Zandleemgronden. De klasse Veen kwam zeer weinig voor in de nitraatresidu-dataset en werd bijgevolg uit de statistische analyse weggelaten, evenals de klasse Andere, die bovendien moeilijk te interpreteren is.

Uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat de Bodemtextuur vooral van belang is voor de gewasgroepen Gras (enkel in de dataset MB-BDB,  $R^2 = 0.05$ ) en Suikerbieten (in beide datasets;  $R^2 = 0.04$  en  $0.02$ ). De algemene trend is dezelfde als bij het effect Landbouwtreek, nl. dat de gemiddelde nitraatresidu's, vooral in de dataset MB-BDB, kleiner zijn in de lichtere gronden dan in de zwaardere gronden (zie Figuur 26).



Figuur 26 - Totaal nitraatresidu i.f.v. de Bodemtextuur per Gewasgroep. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

### 3.4.8 Effect van de Bodemdrainageklasse op het totaal nitraatresidu

In Tabel 27 en Tabel 28 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van

het effect Bodemdrainageklasse op het totale nitraatresidu voorgesteld voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

**Tabel 27 - Dataset MB-BDB: Beschrijvende statistiek van de factor Bodemdrainageklasse op het totale nitraatresidu + resultaten ANOVA.**

Drainage	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Zeer droog	40	85.2 -	9.6	452.1	86.8
Droog	4673	89.4 d	dl	488.0	70.1
Matig nat	20762	86.5 c	dl	500.0	71.8
Nat	5867	82.9 b	dl	495.9	73.7
Zeer nat	734	73.4 a	dl	489.6	69.6
Uiterst nat	30	61.9 -	2.7	175.9	45.8
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.00			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 27 blijkt dat, voor de Mestbankcontrolemetingen en de opvolgstalen, de bodemdrainageklasse een significant effect heeft op het nitraatresidu, alhoewel slechts een verwaarloosbaar klein deel van de variatie in de dataset hierdoor verklaard wordt.

De klassen Uiterst nat en Zeer droog komen zeer weinig voor in de dataset en werden dan ook niet meegenomen in de statistische analyse. Voor de andere klassen geldt: hoe natter hoe lager het gemiddelde nitraatresidu.

De bodemdrainageklasse van de percelen hangt in hoge mate samen met de bodemtextuur. Niet alle drainageklassen komen voor bij alle bodemtexturen, zodat het gecombineerd effect moeilijk te bepalen valt d.m.v. een variantie-analyse.

**Tabel 28 - Dataset BO-BDB: Beschrijvende statistiek van de factor Bodemdrainageklasse op het totale nitraatresidu + resultaten ANOVA.**

Drainage	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Zeer droog	363	65.3 -	3.8	343.7	49.7
Droog	84943	61.4 b	dl	499.0	45.4
Matig nat	61321	65.0 c	dl	498.4	52.8
Nat	12127	63.5 a	dl	499.6	55.9
Zeer nat	1153	66.8 -	dl	467.6	59.6
Uiterst nat	42	88.1 -	9.3	473.1	107.5
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.001			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

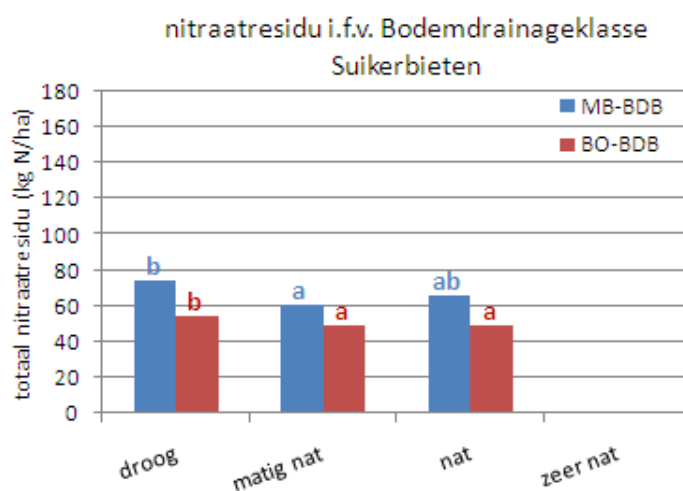
(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 28 blijkt dat de bodemdrainageklasse ook in de percelen met beheerovereenkomst Water een significant effect heeft op het nitraatresidu, alhoewel slechts een verwaarloosbaar deel van de variatie hierdoor verklaard wordt. Volgens de ANOVA-analyse van de getransformeerde nitraatresidugegevens ( $\log(N_{\text{residu}}+1)$ ) worden in de Natte gronden significant lagere nitraatresidu's gemeten dan in de Matig natte en Droge gronden.

De klassen *Zeer nat*, *Uiterst nat* en *Zeer droog* komen zeer weinig voor in de dataset en werden dan ook niet meegenomen in de statistische analyse.

Uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat de Bodemdrainageklasse enkel van belang lijkt te zijn voor de gewasgroep Suikerbieten en dit in beide datasets ( $R^2=0.02$ ): droge gronden hebben gemiddeld een hoger nitraatresidu dan matig natte en natte gronden (zie Figuur 27).



Figuur 27 - Totaal nitraatresidu i.f.v. de Bodemdrainageklasse voor de Gewasgroep Suikerbieten. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

### 3.4.9 Effect van de pH-KCl op het totaal nitraatresidu

In de dataset van de Bodemkundige Dienst van België is de bepaling van de pH-KCl beschikbaar op de bovenste 30 cm van de bodem voor de percelen met BO Water gemeten door BDB.

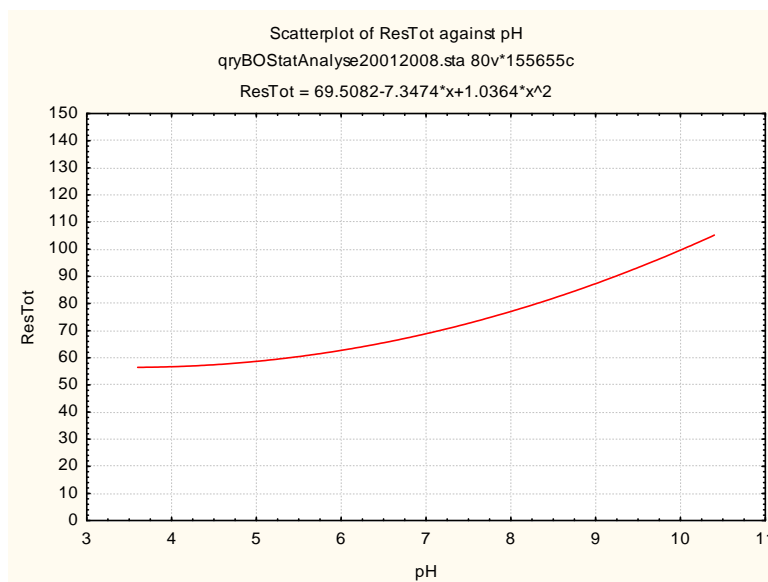
Bij de enkelvoudige lineaire regressieanalyse met de pH wordt de volgende functie bekomen voor de dataset BO-BDB (pH niet beschikbaar in de dataset MB-BDB):

$$N = 31.46 + 5.32 \times \text{pH} \quad (\text{p} = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.02)$$

De pH blijkt een significant positief effect te hebben op het nitraatresidu: hoe hoger de pH, hoe hoger het nitraatresidu. Dit is logisch aangezien een hogere pH aanleiding geeft tot hogere N-mineralisatie en dus hogere nitraatresidu's. Bij extreem lage pH's echter kan verwacht worden dat

er ook een omgekeerd effect op het nitraatresidu optreedt: bij een lage pH is de gewasgroei beperkt en zou het gewas minder nitraat kunnen opnemen, met hogere nitraatresidu's tot gevolg. Dit effect komt tot uiting in de kwadratische functie die gefit werd:

$$N = 69.51 - 7.35 \times \text{pH} + 1.04 \times (\text{pH})^2 \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.01)$$



**Figuur 28 - Kwadratische regressiefunctie van het nitraatresidu t.o.v. de pH.**

De  $R^2$ -waarde van deze functie is kleiner dan die van de lineaire regressiefunctie, enerzijds omdat er relatief weinig metingen gebeurden in percelen met een extreem lage pH en anderzijds omdat het effect van de pH op de N-mineralisatie blijkbaar zwaarder doorweegt dan dat van de verminderde gewasopname bij lage pH.

Het effect pH hangt ook duidelijk samen met het effect van de grondsoort (Bodemtextuur). Zandgronden hebben een lagere pH. Zo blijkt uit Tabel 29 en Tabel 30 dat het interactie-effect Bodemtextuur  $\times$  pH zeer significant is en dat het positieve effect van de pH op het nitraatresidu veel meer uitgesproken is in de Leem- en Zandleemgronden dan in de Klei- en Zandgronden.

**Tabel 29 - ANOVA-analyse van het interactie-effect Bodemtextuur  $\times$  pH.**

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	4152.9	1	4152.9	8998.2	0.00
pH	346.1	1	346.1	749	0.00
Bodemtextuur	209.1	3	69.7	151	0.00
Bodemtextuur $\times$ pH	139.8	3	46.6	101	0.00
Error	40934	88693	046		

**Tabel 30 - Interactie-effect Bodemtextuur × pH: regressiefuncties per Bodemtextuurklasse.**

	Dataset BO-BDB		
	Lineaire regressiefunctie	R <sup>2</sup>	p-waarde
Klei	79.71+2.14 × pH	0.00	0.00
Leem	-17.58+12.04 × pH	0.05	0.00
Zand	42.14+3.80 × pH	0.01	0.00
Zandleem	2.66+10.72 × pH	0.03	0.00

### 3.4.10 Effect van het C-gehalte op het totaal nitraatresidu

In de dataset van de Bodemkundige Dienst van België is de bepaling van het koolstofgehalte beschikbaar op de bovenste 30 cm van de bodem voor de percelen met BO Water gemeten door BDB.

Bij de enkelvoudige lineaire regressieanalyse met het C-gehalte wordt de volgende functie bekomen voor de dataset BO-BDB (C-gehalte niet beschikbaar in de dataset MB-BDB):

$$N = 51.70 + 10.74 \times C \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.019)$$

Het C-gehalte van de bouwlaag heeft een significant en relatief belangrijk positief effect op het nitraatresidu: hoe hoger het C-gehalte hoe hoger het nitraatresidu. Dit effect hangt ook samen met het effect van de pH en dat van de Bodemtextuur. De 3 factoren Bodemtextuur, pH en C-gehalte kunnen niet los van elkaar bekeken worden. Er bestaan immers sterke interactie-effecten tussen deze 3 variabelen (Tabel 31).

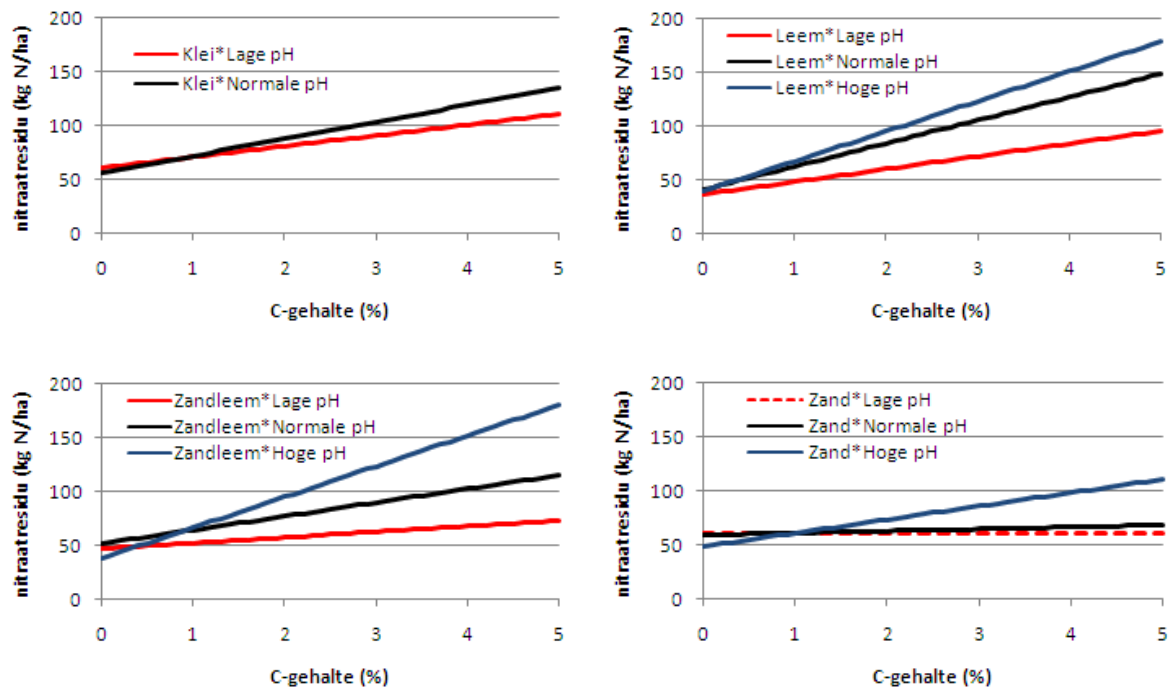
**Tabel 31 - ANOVA-analyse van het interactie-effect Bodemtextuur × pH × C-gehalte.**

Univariate Tests of Significance for LogResTot Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	p
<b>Dataset BO-BDB</b>					
Intercept	1095.2	1	1095.2	2448.8	0.00
pH	36.0	1	36.0	80.5	0.00
C-gehalte	8.0	1	8.0	17.9	0.00
Bodemtextuur	52.6	3	17.5	39.2	0.00
pH × C-gehalte	42.2	1	42.2	94.4	0.00
Bodemtextuur × C-gehalte	14.0	3	4.7	10.4	0.00
Bodemtextuur × pH	34.1	3	11.4	25.4	0.00
Bodemtextuur × pH × C-gehalte	15.4	3	5.1	11.5	0.00
Error	39648.2	88652	0.4		

In Figuur 29 worden, per bodemtextuurklasse en per pH-klasse, de lineaire regressiefuncties van het nitraatresidu in functie van het C-gehalte weergegeven. Hieruit blijkt dat:

- de nitraatresidu's stijgen in functie van het koolstofgehalte;

- hoe hoger de pH is, hoe sterker deze stijging is;
- in lichtere gronden dit effect van de pH veel meer uitgesproken is dan in zware gronden: in de zandgronden is er bij lage pH zelfs helemaal geen effect meer van het koolstofgehalte op het nitraatresidu.



Figuur 29 - Interactie-effect Bodemtextuur × C × pH: nitraatresidu i.f.v. C-gehalte, per Bodemtextuurklasse en pH (een stippellijn staat voor een niet-significante regressiefunctie).

### 3.4.11 Effect van Derogatie op het totaal nitraatresidu

Om het effect van derogatie in de huidige betekenis na te gaan werden de gegevens van 2007 en 2008 geanalyseerd en dit enkel voor de gewasgroepen waarvoor derogatie mogelijk is, nl. grasland, maïs, wintertarwe en suikerbieten (voederbieten werd niet meegenomen wegens zeer weinig beschikbare metingen). Voor de percelen met derogatie waren de totale bemestingsnormen dezelfde als voor de andere percelen, maar mocht er maximaal 250 kg N/ha (gras en maïs) of 200 kg N/ha (wintertarwe, voeder- en suikerbieten) toegediend worden uit dierlijke (derogatie)mest in plaats van 170 kg N/ha.

In Tabel 32 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van het effect Derogatie op het totale nitraatresidu voorgesteld voor de dataset MB-BDB.



**Tabel 32 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu met of zonder derogatie (2007-2008) + resultaten ANOVA.**

Derogatie	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Met	5955	66.0 a	dl	485.8	58.5
Zonder	8548	70.5 b	dl	489.0	58.6
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.00			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) hogere waarden dan 500 werden niet geselecteerd in de dataset

Uit Tabel 32 blijkt dat Derogatie in 2007 en 2008 een significant effect had op het totale nitraatresidu, hoewel slechts een verwaarloosbaar klein deel van de variatie in de dataset hierdoor verklaard wordt. Percelen Met derogatie hadden gemiddeld een lager nitraatresidu dan percelen zonder derogatie.

Om dit globale effect beter te kunnen interpreteren werd het opnieuw geanalyseerd per Gewasgroep (Gras, Maïs, Wintertarwe), waarbij ook rekening gehouden werd met de mogelijke interactie-effecten van BPJS | Bodemtextuur | Derogatie (Tabel 33).

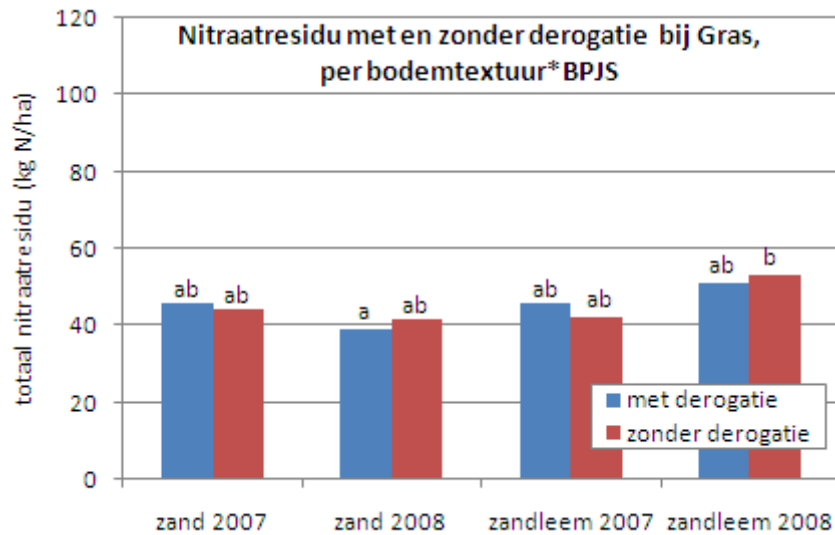
Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in de analyse:

- BPJS: 2007(170), 2008(170)
- Bodemtextuur: Zand, Zandleem
- Derogatie: Met, Zonder

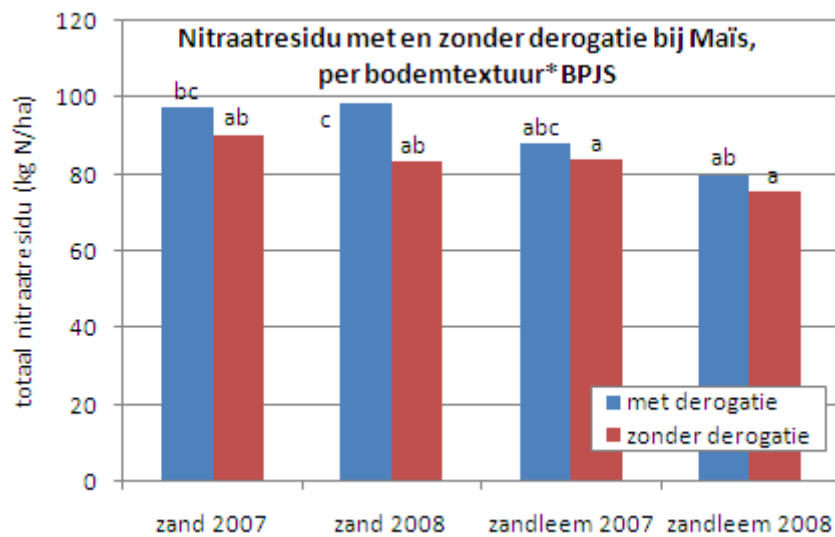
De effecten per Gewasgroep worden ook voorgesteld in Figuur 30, Figuur 31 en Figuur 32.

**Tabel 33 - ANOVA-analyse van de interactie-effecten BPJS|Bodemtextuur|Derogatie voor de Gewasgroepen Gras, Maïs en Wintertarwe.**

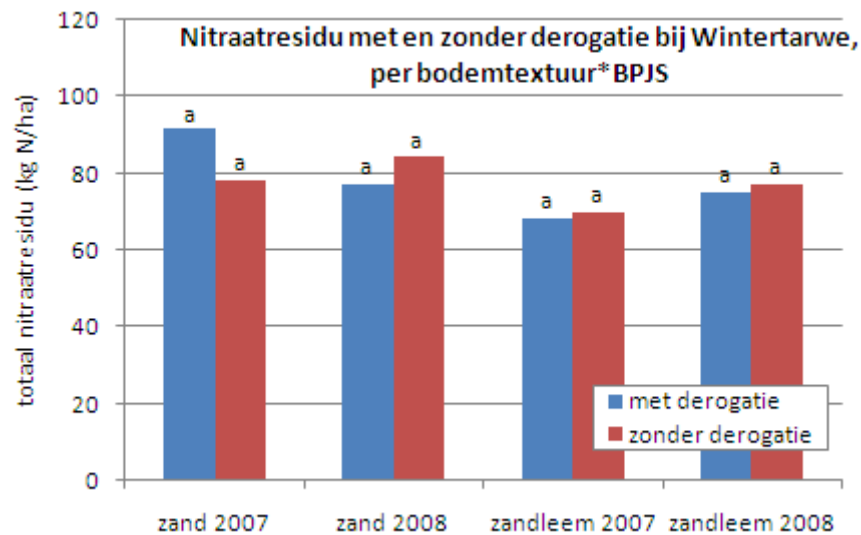
Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	P
<b>Gras</b>					
<u>Dataset MB</u>					
Intercept	51163.14	1	51163.14	73632.89	<0.01
Derogatie	4.16	1	4.16	5.98	0.02
BPJS	10.68	1	10.68	15.37	<0.01
Bodemtextuur	20.04	1	20.04	28.84	<0.01
Derogatie × BPJS	2.73	1	2.73	3.93	0.05
Derogatie × Bodemtextuur	0.05	1	0.05	0.07	0.79
BPJS × Bodemtextuur	19.69	1	19.69	28.33	<0.01
Derogatie × BPJS × B.textuur	0.17	1	0.17	0.24	0.62
Error	3520.76	5067	0.69		
<b>Maïs</b>					
<u>Dataset MB</u>					
Intercept	58048.38	1	58048.38	125366.2	<0.01
Derogatie	12.58	1	12.58	27.2	0.0000
BPJS	0.17	1	0.17	0.4	0.5428
Bodemtextuur	12.93	1	12.93	27.9	0.0000
Derogatie × BPJS	0.03	1	0.03	0.1	0.8154
Derogatie × Bodemtextuur	0.49	1	0.49	1.1	0.3027
BPJS × Bodemtextuur	0.37	1	0.37	0.8	0.3705
Derogatie × BPJS × B.textuur	1.03	1	1.03	2.2	0.1358
Error	2234.59	4826	0.46		
<b>Wintertarwe</b>					
<u>Dataset MB</u>					
Intercept	9193.49	1	9193.49	17930.69	0.0000
Derogatie	0.04	1	0.04	0.07	0.7940
BPJS	0.54	1	0.54	1.05	0.3064
Bodemtextuur	0.64	1	0.64	1.25	0.2633
Derogatie × BPJS	0.49	1	0.49	0.96	0.3278
Derogatie × Bodemtextuur	0.09	1	0.09	0.18	0.6729
BPJS × Bodemtextuur	1.05	1	1.05	2.04	0.1532
Derogatie × BPJS × B.textuur	0.84	1	0.84	1.64	0.2000
Error	516.31	1007	0.51		



Figuur 30 - Effect van Derogatie op het nitraatresidu bij Gras, per BPJS en per Bodemtextuurklasse (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



Figuur 31 - Effect van Derogatie op het nitraatresidu bij Maïs, per BPJS en per Bodemtextuurklasse (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



**Figuur 32 - Effect van Derogatie op het nitraatresidu bij Wintertarwe, per BPJS en per Bodemtextuurklasse (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).**

Voor de Gewasgroepen Gras en Wintertarwe zijn nergens significante verschillen in nitraatresidu te bespeuren tussen percelen Zonder en Met derogatie. Voor Maïs zien we daarentegen dat percelen Met derogatie steeds een iets hoger gemiddeld nitraatresidu vertonen dan percelen Zonder derogatie. In 2008 was dit verschil significant in de Zandgronden.

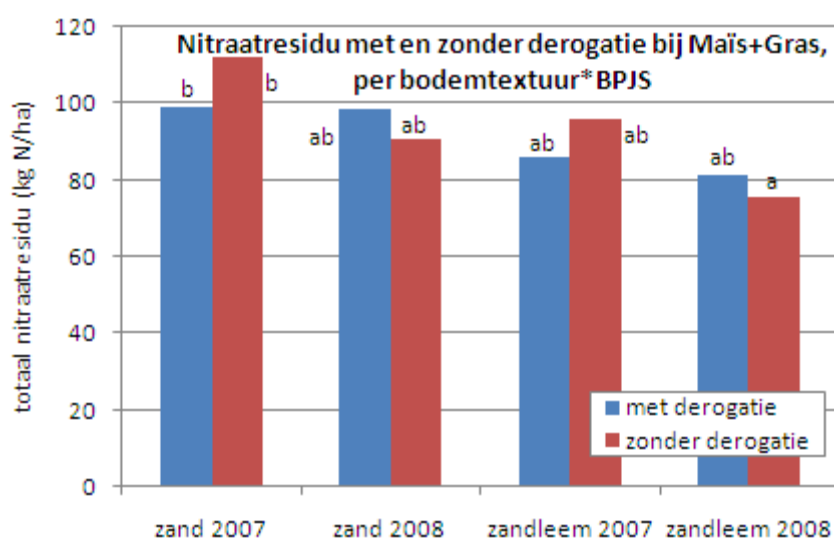
Vermits in deze analyse alle Maïspcelen opgenomen werden, zonder rekening te houden met voor- of nateelten, omvat het hierboven geanalyseerde effect van Derogatie een combinatie van enerzijds het effect van een hogere toegelaten dierlijke bemesting en anderzijds het effect van het zaaien (= bodembewerking en dus positief effect op de N-mineralisatie) van Gras vóór Maïs.

Om zuiver het effect van een verhoogde dierlijke bemesting te analyseren, werd dezelfde analyse herhaald, maar beperkt tot de Maïs-percelen met nateelt Gras (aangezien er geen info beschikbaar was in de dataset over de aanwezigheid van Gras vóór Maïs) (zie Tabel 34 en Figuur 33).

Hier zien we dat er geen significant effect van Derogatie meer aangetoond kan worden. M.a.w. het hoger aangetoonde effect van Derogatie (verhoging van het nitraatresidu) is enkel te wijten aan de verhoogde mineralisatie door de bodembewerking bij het inzaaien van Gras na de teelt van Maïs. Ook in 3.4.4 werd reeds vermeld dat de bodembewerking die uitgevoerd wordt na de oogst van de Maïs om het Gras in te zaaien zorgt voor een tijdelijke verhoging van de N-mineralisatie en dus voor een hoger nitraatresidu. Het toegenomen nitraatresidu als gevolg van de bodembewerking kort voor de staalname is echter een tijdelijk effect dat gemeten wordt in de nitraatresiduperiode (1/10-15/11) maar dat in de loop van de ontwikkeling van het gras zal verdwijnen omdat het nitraat wordt opgenomen door het gras.

Tabel 34 - ANOVA-analyse van de interactie-effecten BPJS | Bodemtextuur | Derogatie voor de Gewasgroep Maïs+Gras.

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	P
<b>Maïs+Gras</b>					
<b>Dataset MB</b>					
Intercept	12783.88	1	12783.88	30124.43	0.0000
Derogatie	0.13	1	0.13	0.30	0.5811
BPJS	1.94	1	1.94	4.57	0.0328
Bodemtextuur	4.98	1	4.98	11.73	0.0006
Derogatie × BPJS	0.80	1	0.80	1.88	0.1705
Derogatie × Bodemtextuur	0.00	1	0.00	0.01	0.9221
BPJS × Bodemtextuur	0.12	1	0.12	0.29	0.5919
Derogatie × BPJS × Bodemtextuur	0.13	1	0.13	0.30	0.5816
Error	514.76	1213	0.42		



Figuur 33 - Effect van Derogatie op het nitraatresidu bij Maïs+Gras, per BPJS en per Bodemtextuurklasse (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).

### 3.4.12 Effect van het Bedrijftype op het totaal nitraatresidu

In Tabel 35 en Tabel 36 worden de gemiddelden, minimum waarden, maximum waarden en standaardafwijking, evenals de ANOVA-resultaten en de resultaten van de Tukey HSD-test van het effect Bedrijftype op het totale nitraatresidu voorgesteld voor respectievelijk de dataset MB-BDB en de dataset BO-BDB.

**Tabel 35 - Dataset MB-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per bedrijfstype + resultaten ANOVA.**

BedrijfType	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Andere dieren	908	70.5 a	dl	480.0	67.8
Geen dieren	6410	83.1 b	dl	495.6	71.8
Pluimvee	801	101.9 d	3.8	488.0	86.7
Rundvee	18089	83.4 c	dl	497.1	67.9
Varkens	8672	98.5 d	dl	500.0	79.7
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.01			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) Hogere waarden dan 500 werden geweerd uit de dataset

**Tabel 36 - Dataset BO-BDB: aantal metingen, gemiddelde, minimum, maximum en standaardafwijking van het totale nitraatresidu per bedrijfstype + resultaten ANOVA.**

BedrijfType	Aantal	Gemiddelde (1)	Minimum (2)	Maximum (3)	Standaardafwijking
Andere dieren	4256	56.6 a	dl	397.1	43.9
Geen dieren	53251	57.1 a	dl	499.0	45.1
Pluimvee	2148	62.3 a	2.7	464.0	54.4
Rundvee	87040	64.3 b	dl	499.6	50.2
Varkens	23235	72.2 c	dl	497.4	57.2
p-waarde		0.00			
R <sup>2</sup>		0.012			

(1) Verschillende letters duiden op significante verschillen volgens de Tukey HSD test, uitgevoerd op  $\log(x+1)$ -getransformeerde nitraatresidumetingen.

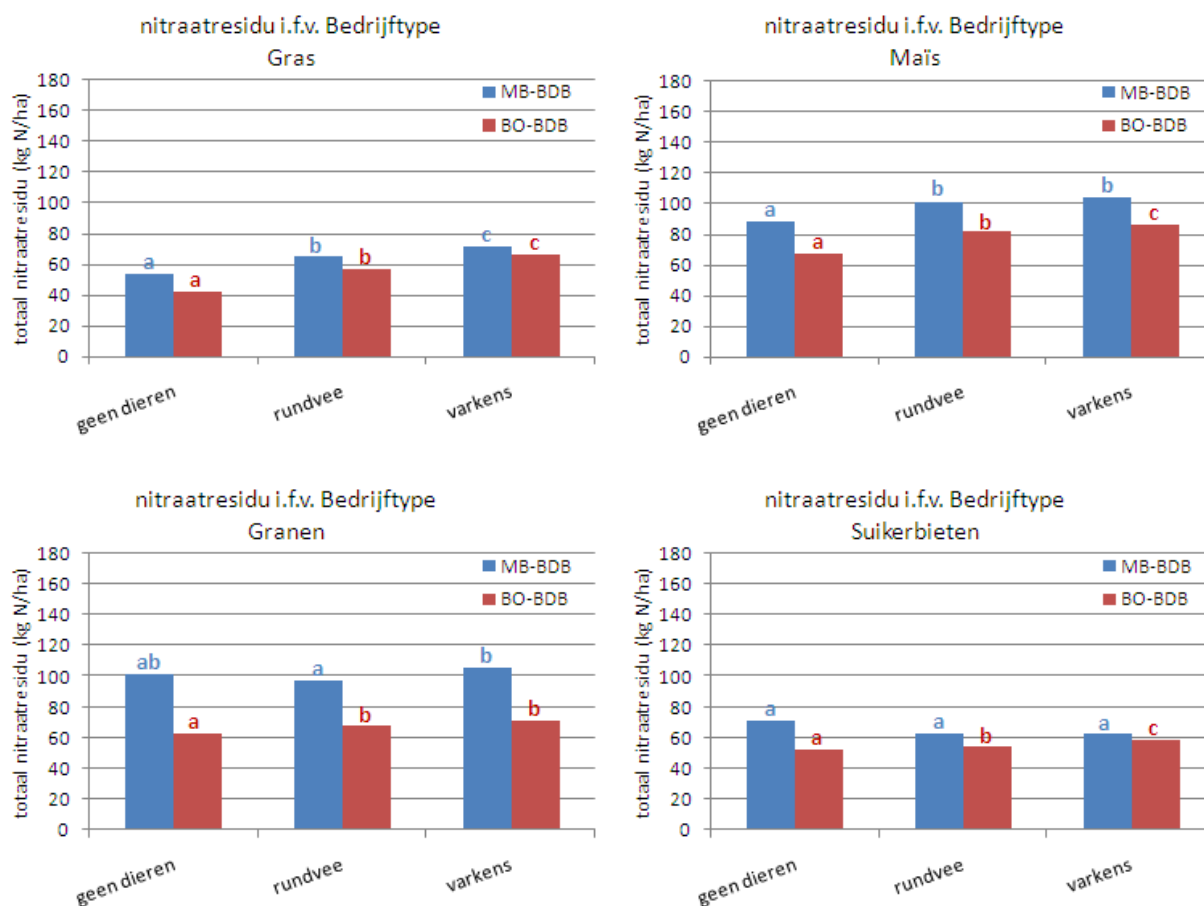
(2) dl = kleiner dan de detectielimiet

(3) Hogere waarden dan 500 werden geweerd uit de dataset

In beide datasets heeft het Bedrijfstype een significant effect op het totale nitraatresidu. Bedrijven met Andere dieren en bedrijven Zonder dieren hebben steeds de laagste nitraatresidu's. Rundveebedrijven hebben algemeen lagere nitraatresidu's dan Varkensbedrijven. Het effect van de Pluimveebedrijven varieert, maar hiervoor zijn in verhouding minder metingen beschikbaar.

Het nitraatresidu werd vooral gemeten in percelen van bedrijven met Rundvee of Varkens en van bedrijven Zonder dieren. De bedrijfstypes Andere dieren en Pluimvee komen minder voor in de datasets.

Uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat het Bedrijfstype een effect heeft op Gras in de dataset BO-BDB ( $R^2 = 0.02$ ) maar ook in sommige andere gewasgroepen en in de dataset MB-BDB. In percelen van bedrijven zonder dieren zijn de gemiddelde nitraatresidu's lager dan in percelen van rundveebedrijven, die op hun beurt lager zijn dan in percelen van varkensbedrijven (zie Figuur 34).



Figuur 34 - Totaal nitraatre sidu i.f.v. het Bedrijftype per Gewasgroep. De letters staan voor significante verschillen binnen enerzijds de MB-BDB-dataset (blauwe letters) en anderzijds de BO-BDB-dataset (rode letters).

### 3.4.13 Effect van het Weer op het totaal nitraatre sidu

Voor de statistische verwerking in verband met de nitraatre sidumetingen werden voor elk weerstation per jaar de volgende variabelen berekend:

- VochtbalansAprSep: de vochtbalans in het voorbije groeiseizoen;
- Vochtbalans3j: de vochtbalans in de 3 voorbije groeiseizoenen;
- VochtbalansJunSep: de vochtbalans in de voorbije zomer;
- vochtbalansAugOkt: de vochtbalans in het kwartaal voorafgaand aan de nitraatre sidumetingen;
- VochtbalansSepOkt: de vochtbalans in het najaar;
- TempAugOkt: de gemiddelde temperatuur in het kwartaal voorafgaand aan de nitraatre sidumetingen;
- TempSepOkt: de gemiddelde temperatuur in het najaar.

Bij de enkelvoudige lineaire regressieanalyse met deze variabelen werden de volgende functies bekomen:

Dataset MB-BDB:

$$\begin{aligned}
 N &= 84.57 - 0.13 \times \text{vochtbalansAprSep} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.01) \\
 N &= 79.65 - 0.06 \times \text{vochtbalans3j} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.02) \\
 N &= 85.23 + 0.03 \times \text{vochtbalansAugOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.00) \\
 N &= 88.24 - 0.14 \times \text{vochtbalansJunSep} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.03) \\
 N &= 94.02 - 0.30 \times \text{vochtbalansSepOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.02) \\
 N &= -106.72 + 12.91 \times \text{tempAugOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.05) \\
 N &= -24.36 + 8.97 \times \text{tempSepOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.05)
 \end{aligned}$$

Dataset BO-BDB:

$$\begin{aligned}
 N &= 61.13 - 0.04 \times \text{vochtbalansAprSep} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.003) \\
 N &= 61.30 - 0.01 \times \text{vochtbalans3j} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.000) \\
 N &= 63.09 - 0.003 \times \text{vochtbalansAugOkt} & (p = 0.08 \text{ en } R^2 = 0.000) \\
 N &= 62.31 - 0.04 \times \text{vochtbalansJunSep} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.004) \\
 N &= 62.68 + 0.01 \times \text{vochtbalansSepOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.005) \\
 N &= -5.55 + 4.59 \times \text{tempAugOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.016) \\
 N &= 62.30 + 0.05 \times \text{tempSepOkt} & (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.001)
 \end{aligned}$$

Elk van deze variabelen had op zich een significant effect op het totale nitraatresidu. De vochtbalansen hadden allemaal, behalve VochtbalansAugOkt in de dataset MB-BDB, een negatief effect op het nitraatresidu. De temperatuur had steeds een positief effect op het nitraatresidu, d.w.z. hoe warmer het jaar was hoe groter het nitraatresidu. In de dataset BO-BDB zijn de weerseffecten veel kleiner en minder verklarend (kleinere  $R^2$ -waarden) dan in de dataset MB-BDB. Dit kan verklaard worden door het feit dat de bemesting in de BO-percelen algemeen veel beter wordt afgestemd op de gewasbehoefte, waardoor de nitraatresidu's lager liggen en andere effecten slechts een kleinere rol kunnen spelen.

Uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat, van alle berekende Vochtbalansen, vooral de vochtbalans in de laatste 3 jaren belangrijk was in de dataset MB-BDB, en dit voor de gewasgroepen Gras, Maïs, Granen en Aardappelen, maar niet voor Suikerbieten. In de dataset BO-BDB was het effect van de vochtbalansen veel kleiner en zelfs omgekeerd voor Gras en Granen. Algemeen daalde het nitraatresidu bij hogere Vochtbalansen (= neerslagoverschot), waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu. Dit effect moet echter genuanceerd worden: de vochtbalans in de maanden augustus t/m oktober had voor verschillende gewassen (Gras, Granen, Suikerbieten, Aardappelen) eerder een omgekeerd effect: hoe hoger het neerslagoverschot hoe



hoger het nitraatresidu. Vocht bevordert immers ook de stikstofmineralisatie in de bodem. Voor Suikerbieten hadden alle vochtbalansen zelfs geen of eerder een omgekeerd effect op het nitraatresidu. Dit heeft wellicht te maken met het diepe wortelstelsel van suikerbieten, waardoor deze teelt minder gevoelig is voor vochttekorten.

Voor wat de Temperatuur betreft was de gemiddelde temperatuur in de laatste 3 maanden het belangrijkste en dit voor alle gewasgroepen in de dataset MB-BDB. In de dataset BO-BDB was het effect van de temperatuur veel kleiner, behalve voor Granen en Suikerbieten. De algemene trend was een stijging van het gemiddelde nitraatresidu bij hogere temperaturen. Dit is te verklaren door het feit dat hogere temperaturen in het najaar aanleiding geven tot een verhoogde najaarsmineralisatie wanneer er voldoende vocht is, met hogere nitraatresidu's als gevolg.

### 3.4.14 Effect van de Bemestingsnormen op het totaal nitraatresidu

Bij de enkelvoudige lineaire regressieanalyse met de verschillende bemestingsnormen worden de volgende functies bekomen:

Dataset MB-BDB:

$$N = 147.89 - 0.20 \times \text{NormNTot} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.03)$$

$$N = 72.22 + 0.08 \times \text{NormNDier} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.00)$$

$$N = 20.90 + 0.35 \times \text{NormNOrg} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.04)$$

$$N = 125.09 - 0.20 \times \text{NormNKunst} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.04)$$

Dataset BO-BDB:

$$N = 76.93 - 0.07 \times \text{NormNTot} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.014)$$

$$N = 49.75 + 0.09 \times \text{NormNDier} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.011)$$

$$N = 45.32 + 0.11 \times \text{NormNOrg} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.003)$$

$$N = 78.69 - 0.08 \times \text{NormNKunst} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.013)$$

De geldende bemestingsnormen blijken allemaal globaal een significant effect hebben op het totale nitraatresidu; voor sommige was dit effect positief, voor andere negatief. Het effect van de bemestingsnormen is belangrijker in de dataset MB-BDB dan in de dataset BO-BDB (veel kleinere  $R^2$ -waarden in BO-BDB), doordat de range van de bemestingsnormen in de dataset MB-BDB veel groter is dan in de dataset BO-BDB. Een logische conclusie is echter moeilijk af te leiden, enerzijds omdat er maar een beperkt aantal niveau's van bemestingsnormen voorkomen in de dataset, maar anderzijds ook omdat de bemestingsnormen gecorreleerd zijn met het jaar (wijzigende normen in de loop der jaren) en bovendien sterk afhangen van de Gewasgroep. De effecten die hier teruggevonden worden zijn m.a.w. meestal een combinatie van gewaseffecten en bemestingspraktijken. Bovendien is de bemestingsnorm uiteraard niet de bemestingspraktijk.

### 3.4.15 Effect van de Perceelsoppervlakte op het totaal nitraatresidu

Bij de enkelvoudige lineaire regressieanalyse met de Perceelsoppervlakte (in m<sup>2</sup>) werden de volgende functies bekomen:

$$\text{Dataset MB-BDB: } N = 80.80 + 0.0005 \times \text{OppPerc} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.01)$$

$$\text{Dataset BO-BDB: } N = 64.04 - 0.00003 \times \text{OppPerc} \quad (p = 0.30 \text{ en } R^2 = 0.00)$$

De Perceelsoppervlakte blijkt globaal een significant effect te hebben op het totale nitraatresidu in de dataset MB-BDB, waar het effect positief is (hoe groter de percelen, hoe hoger het nitraatresidu), maar niet in de dataset BO-BDB, waar deze factor, omwille van de meer beredeneerde bemesting, geen rol speelt. Dit effect van de Perceelsoppervlakte blijkt echter gebonden zijn aan de Gewasgroep, want uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat de Perceelsoppervlakte voor geen enkele gewasgroep een belangrijk effect heeft.

### 3.4.16 Effect van de Bedrijfsoppervlakte op het totaal nitraatresidu

De totale grondoppervlakte van het bedrijf in het jaar van de staalname (in ha) geeft de volgende lineaire regressiefuncties voor het totale nitraatresidu:

$$\text{Dataset MB-BDB: } N = 82.13 + 0.17 \times \text{OppBedrijf} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.01)$$

$$\text{Dataset BO-BDB: } N = 65.52 - 0.03 \times \text{OppBedrijf} \quad (p = 1.00 \text{ en } R^2 = 0.00)$$

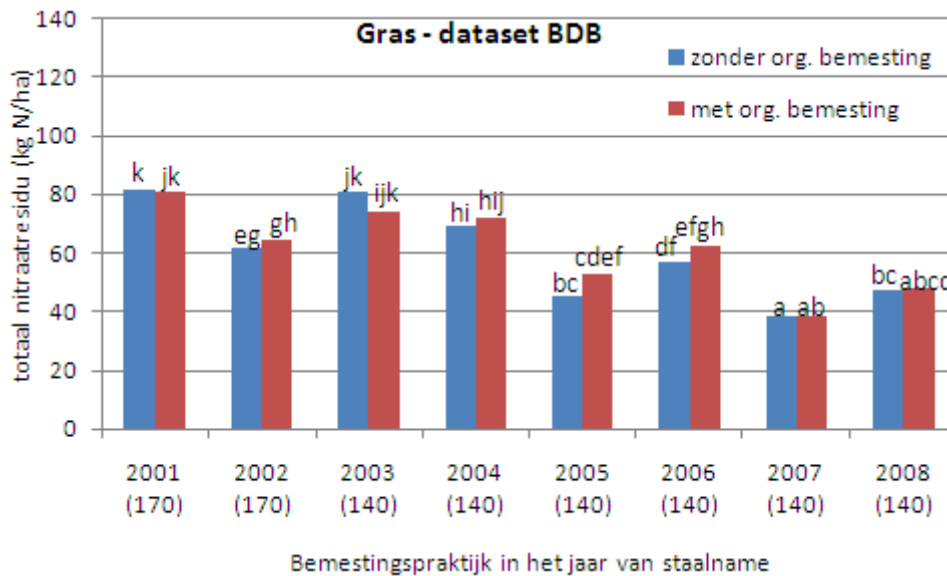
De totale bedrijfsoppervlakte blijkt globaal een significant effect te hebben op het totale nitraatresidu in de dataset MB-BDB, met een positief effect (hoe groter het bedrijf, hoe hoger het nitraatresidu), maar niet in de dataset BO-BDB, waar deze factor, omwille van de meer beredeneerde bemesting, geen rol speelt. Ook hier blijkt het gevonden effect van de totale Bedrijfsoppervlakte gebonden te zijn aan de Gewasgroep, want uit de analyse per Gewasgroep blijkt dat de Bedrijfsoppervlakte voor geen enkele Gewasgroep een significant effect heeft.

### 3.4.17 Effect van de Organische bemesting op het totaal nitraatresidu

Gegevens i.v.m. de toediening van organische bemesting zijn enkel beschikbaar in de dataset BDB, voor percelen met BO Water. Deze gegevens werden geanalyseerd per Gewasgroep, voor de Gewasgroepen Gras, Maïs, Granen en Suikerbieten.

In Figuur 35, Figuur 36, Figuur 37 en Figuur 38 wordt het effect van het al dan niet uitvoeren van organische bemesting in het vorige najaar, in het voorjaar voorafgaand aan de staalname en/of in het najaar van de staalname, op het totaal nitraatresidu weergegeven per Bemestingspraktijk in het jaar van staalname, respectievelijk voor de Gewasgroepen Gras, Maïs, Granen en Suikerbieten. De significante verschillen worden weergegeven door letters boven de balkjes (balkjes met dezelfde letter zijn onderling niet significant verschillend). Doordat de

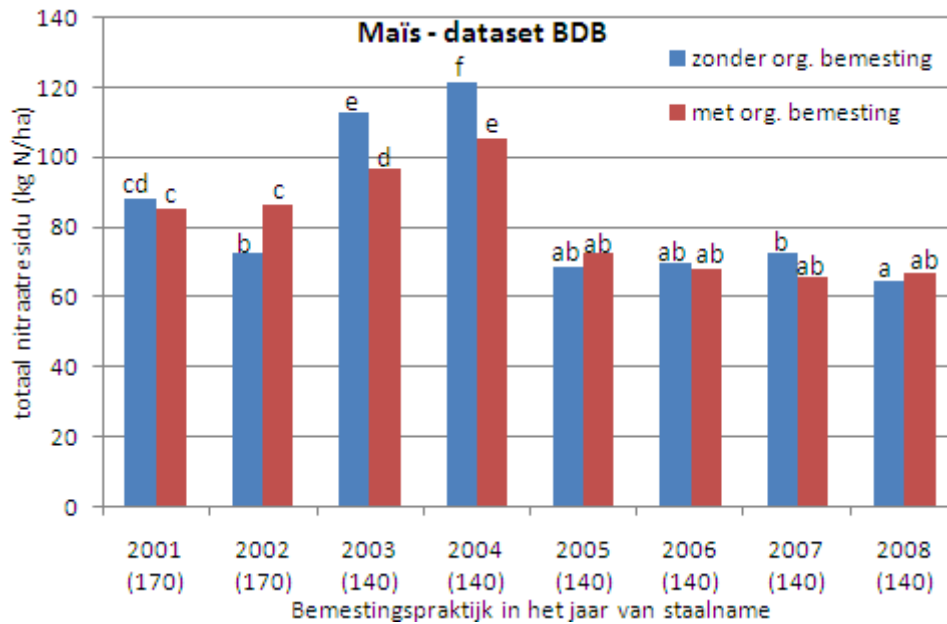
beschikbare dataset sterk ongebalanceerd is t.o.v. de parameter Organische Bemesting (er zijn veel meer metingen in percelen zonder organische bemesting dan in percelen met organische bemesting, vooral bij Granen), zijn deze verschillen niet altijd gemakkelijk te interpreteren. Toch is duidelijk te zien dat, globaal genomen, de organische bemesting in geen enkele Gewasgroep een eenduidig effect heeft op het totaal nitraatresidu: soms is het nitraatresidu significant hoger, soms significant lager en soms is er geen verschil.



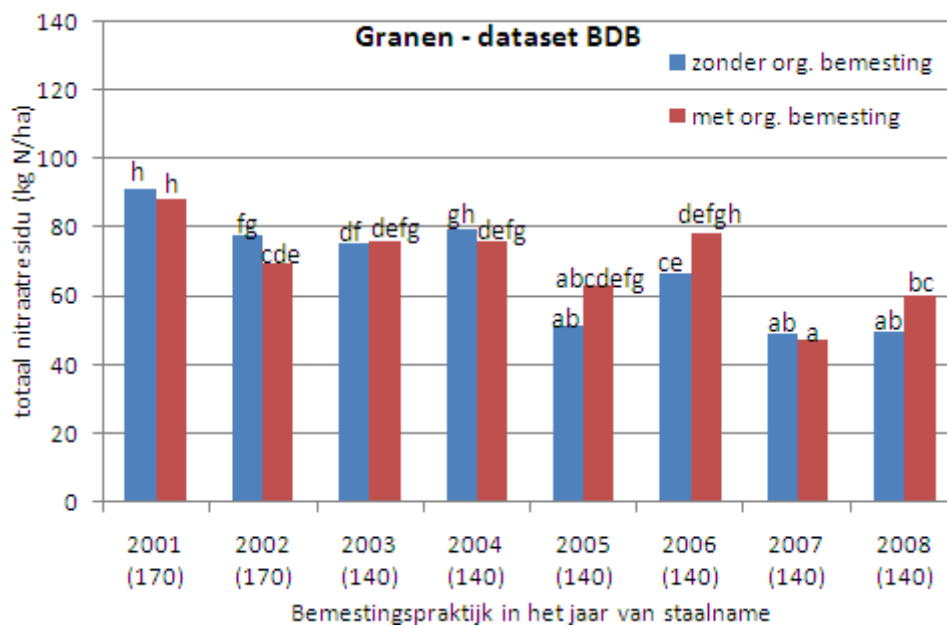
Figuur 35 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Gras (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).

Hetzelfde is te zien in Figuur 39, Figuur 40 en Figuur 41, waar enkel het effect van een organische bemesting in het voorjaar voorafgaand aan de staalname wordt getoond, voor de gewasgroepen Gras, Mais en Suikerbieten.

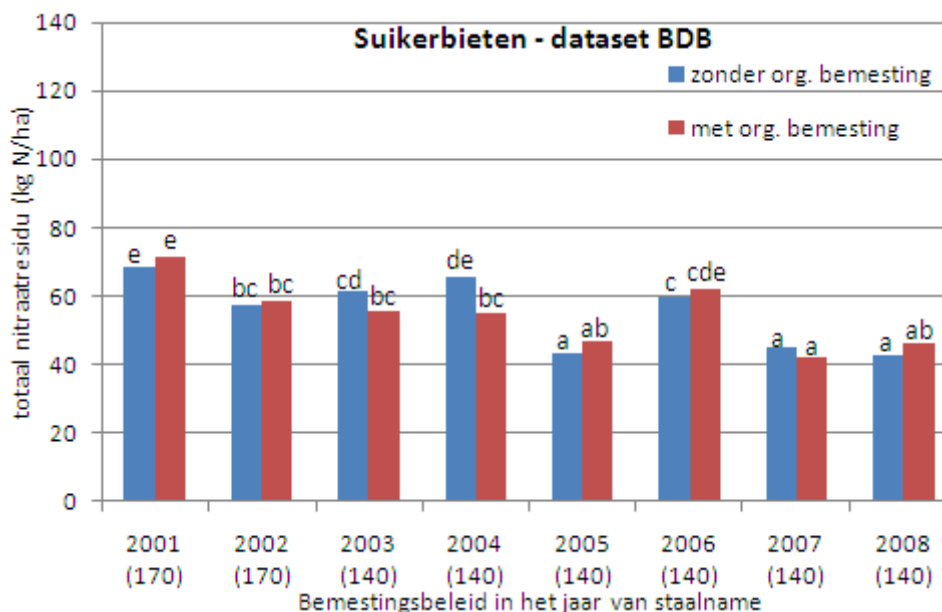
Uit deze figuren kan afgeleid worden dat, als de percelen juist en beredeneerd bemest worden in functie van de gewasbehoefte en de bodemvoorraad (zoals meestal het geval is in percelen met BO Water), de organische bemesting geen negatieve invloed hoeft te hebben op het nitraatresidu.



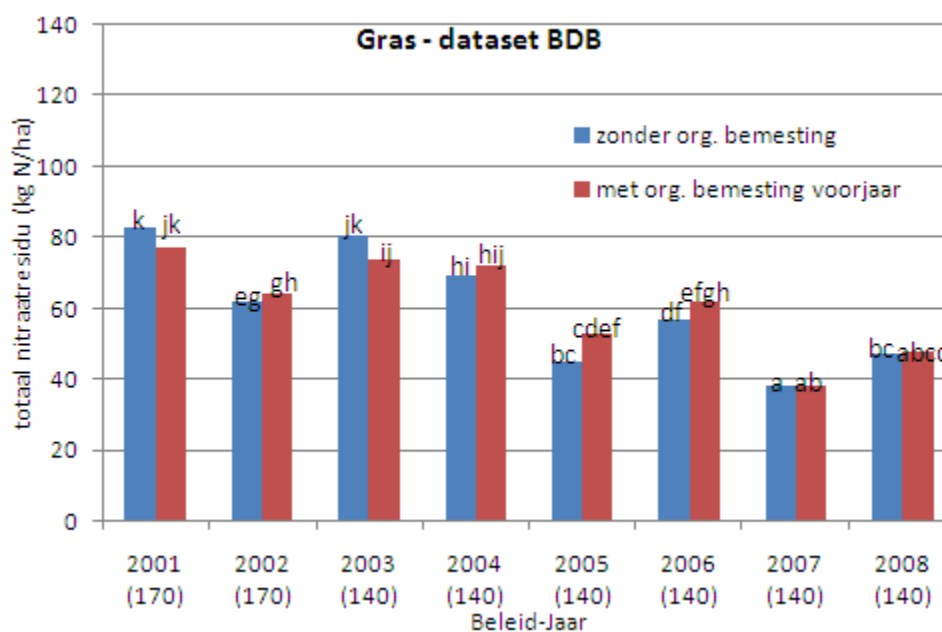
Figuur 36 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Maïs (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



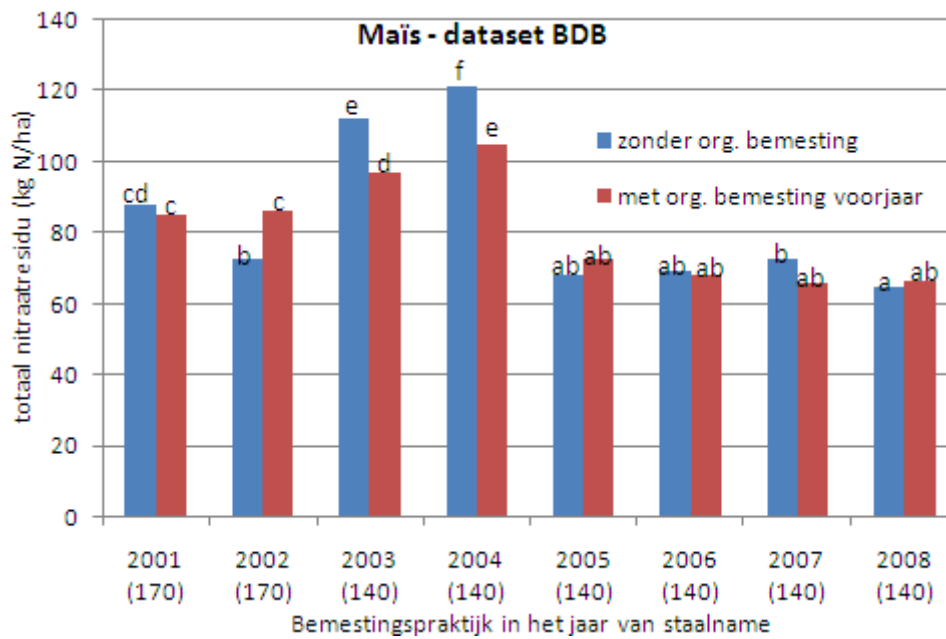
Figuur 37 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Granen (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



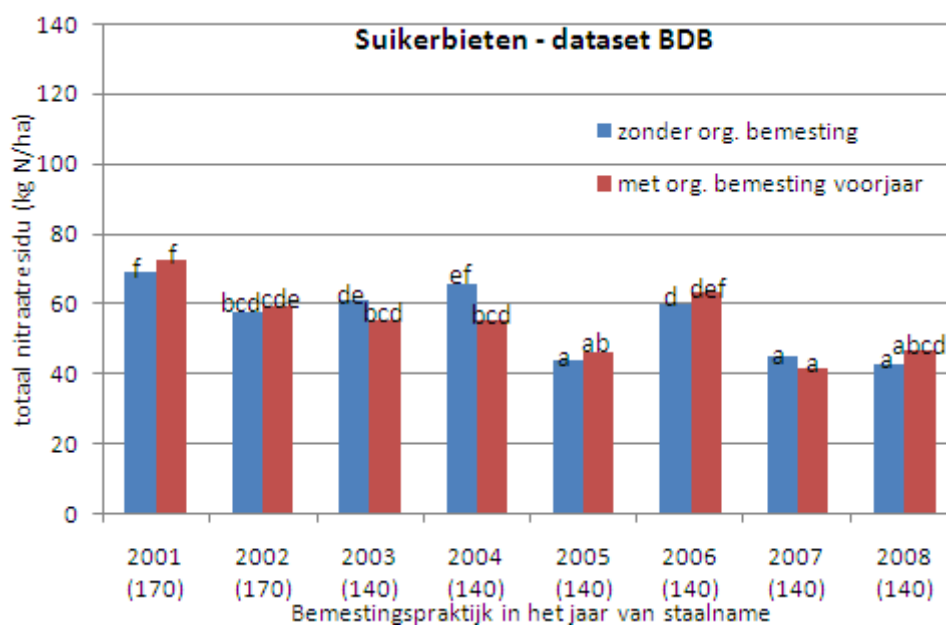
Figuur 38 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Suikerbieten (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



Figuur 39 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting in het voorjaar op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Gras (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



Figuur 40 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting in het voorjaar op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Maïs (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).



Figuur 41 - Dataset BDB: Effect van Organische Bemesting in het voorjaar op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Suikerbieten (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan).

### 3.4.18 Effect van enkele N-bemestingsindicatoren op het totaal nitraatresidu

De volgende gegevens zijn beschikbaar op bedrijfsniveau (uitgedrukt in kg N/ha):

- ProdNDierBedrijf: dierlijke stikstofproductie
- NKunstBedrijf: aangifte kunstmestgebruik N
- NandereBedrijf: aangifte andere meststoffen N
- GebruikNDA: gebruik van dierlijke mest en andere meststoffen N
- GebruikNTot: gebruik van alle meststoffen N
- NOverschot: bedrijfsmatig overschot alle meststoffen N

De volgende lineaire regressiefuncties werd bekomen met deze variabelen voor het totale nitraatresidu:

Dataset MB-BDB:

<b><math>N = 84.06 + 0.01 \times \text{ProdNDierBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.00)</b>
<b><math>N = 85.91 + 0.01 \times \text{Noverschot}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.00)</b>
<b><math>N = 82.56 + 0.08 \times \text{NKunstBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.01)</b>
<b><math>N = 87.01 - 0.89 \times \text{NAndereBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.48 en R<sup>2</sup> = 0.00)</b>
<b><math>N = 74.41 + 0.07 \times \text{GebruikNDA}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.01)</b>
<b><math>N = 69.96 + 0.08 \times \text{GebruikNTot}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.01)</b>

Dataset BO-BDB:

<b><math>N = 62.73 + 0.03 \times \text{ProdNDierBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.005)</b>
<b><math>N = 65.58 + 0.04 \times \text{Noverschot}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.002)</b>
<b><math>N = 63.52 + 0.05 \times \text{NKunstBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.001)</b>
<b><math>N = 66.77 - 0.44 \times \text{NAndereBedrijf}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.000)</b>
<b><math>N = 60.23 + 0.05 \times \text{GebruikNDA}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.005)</b>
<b><math>N = 55.42 + 0.06 \times \text{GebruikNTot}</math></b>	<b>(p = 0.00 en R<sup>2</sup> = 0.007)</b>

Al deze variabelen blijken globaal een significant effect te hebben op het totale nitraatresidu: hoe hoger de N-productie, het N-overschot, het N-gebruik, ... op bedrijfsniveau, hoe hoger het nitraatresidu van het perceel. Enkel het effect “Aangifte andere organische mest” is minder of niet significant. Het zou hier echter wel interessant zijn om verder onderzoek te doen naar de aard van de gebruikte organische stof (bv. compost).

In de dataset BO-BDB verklaren de meeste variabelen slechts een verwaarloosbaar klein deel van de variatie (R<sup>2</sup><0.005).

### 3.4.19 Effect van de geschatte Toegepaste N-bemesting uit dierlijke en andere organische mest op het totaal nitraatresidu

Er zijn geen exacte gegevens beschikbaar over de reëel uitgevoerde N-bemesting op de percelen, terwijl dit toch een zeer belangrijke factor is om het nitraatresidu te verklaren. Daarom werd, op basis van de beschikbare bedrijfs-, perceels- en teeltinformatie, een “stikstofallocatiemodel” ontwikkeld om de toegepaste stikstof uit dierlijke en andere organische mest op de percelen waar een nitraatresidumeting werd uitgevoerd te schatten.

De volgende lineaire regressiefunctie werd bekomen met deze variabele voor het totale nitraatresidu:

$$N = 80.86 + 0.04 \times N_{\text{bemesting}} \quad (p = 0.00 \text{ en } R^2 = 0.00)$$

Deze geschatte N-bemesting blijkt weliswaar een significant effect te hebben op het nitraatresidu, maar verklaart slechts een verwaarloosbaar klein deel van de variatie in de totale dataset. Het gaat hier uiteraard slechts om een heel sterk veralgemeende benadering van de uitgevoerde bemesting.

### 3.4.20 Effect van de verlengde uitrijregeling op het totaal nitraatresidu

De verlengde uitrijregeling houdt in dat afgeweken mag worden van de verbodsperiode voor het opbrengen van dierlijke mest (van 1/9 tot en met 15/2), na aanvraag en goedkeuring door de Mestbank.

In totaal werd de verlengde uitrijregeling toegepast in 384 percelen van de dataset MB-BDB, waarvan 230 percelen gemeten in 2008. De meeste van deze percelen waren percelen met wintertarwe, zonder derogatie, in Leem- of Zandleemgronden, meestal gelegen in de Zandleemstreek (zie Tabel 37 en Tabel 38).

**Tabel 37 - Dataset MB-BDB: aantal percelen met verlengde uitrijregeling, verdeling volgens gewas, bodemtextuurklasse en derogatie.**

Gewas	Textuur	Derogatie	2005	2006	2008
Wintertarwe	Andere		1	2	8
			10	2	3
	Leem	Derogatie	3	5	2
		geen derogatie	1	27	103
	Zandleem	Derogatie	24	7	1
		geen derogatie	12	20	75
Andere gewassen			9	31	38



**Tabel 38 - Dataset MB-BDB: aantal percelen met verlengde uitrijregeling, verdeling volgens gewas, landbouwstreek en derogatie.**

Gewas	Landbouwstreek	Derogatie	2005	2006	2008
Wintertarwe	Leemstreek	Derogatie	2	0	0
		geen derogatie	2	18	29
	Polders	Derogatie	4	0	0
		geen derogatie	3	1	0
	Zandleemstreek	Derogatie	28	12	3
		geen derogatie	12	32	158
Vlaamse-zandstreek	derogatie	0	0	0	
	geen derogatie	0	0	2	
Andere gewassen			9	31	38

In Tabel 39 en Tabel 40 worden de resultaten van de statistische analyse van het effect van de Uitrijregeling, de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname en respectievelijk de Bodemtextuur of de Landbouwstreek voorgesteld voor wintertarwe, voor de percelen zonder derogatie. Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's in de analyse opgenomen:

- Uitrijregeling: Met verlengde uitrijregeling en Zonder verlengde uitrijregeling
- Bemestingspraktijk in het jaar van staalname: 2005(200-250), 2006(200-250) en 2008(170)
- Bodemtextuur: Leem en Zandleem
- Landbouwstreek: Leemstreek en Zandleemstreek

Uit Tabel 39 en Tabel 40 leiden we af dat het effect van de verlengde uitrijregeling wel afhankelijk is van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname, maar niet van de Bodemtextuur of van de Landbouwstreek.

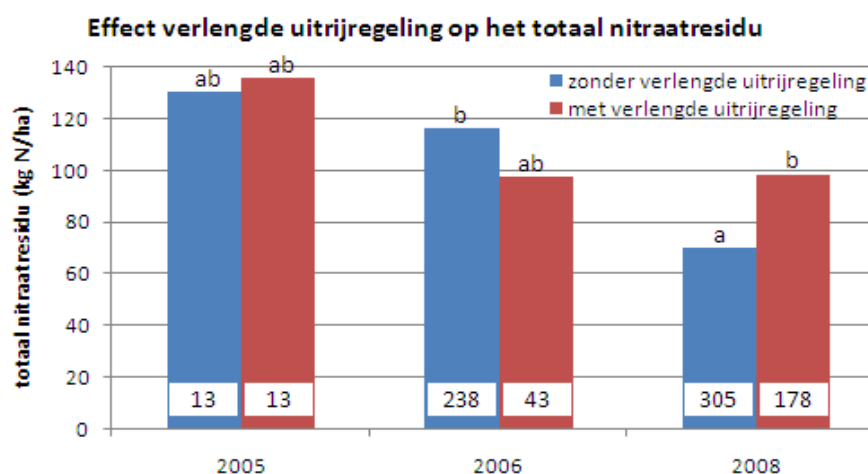
In 2005 en 2006 kon geen statistisch verschil aangetoond worden tussen percelen met en zonder verlengde uitrijregeling, waarschijnlijk ook omwille van het beperkt aantal metingen in percelen met verlengde uitrijregeling. In 2008 werd er in percelen met verlengde uitrijregeling gemiddeld een zeer significant hoger nitraatresidu gemeten dan in percelen zonder verlengde uitrijregeling (zie Figuur 42).

Tabel 39 - Dataset MB-BDB: ANOVA-analyse van het effect van BPJS | Bodemtextuur | Uitrijregeling op het totaal nitraatresidu, voor wintertarwe, zonder derogatie.

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	P
Wintertarwe					
Intercept	1870.04	1	1870.04	4210.97	<0.01
Uitrijregeling	1.54	1	1.54	3.46	0.06
BPJS	10.89	2	5.45	12.27	<0.01
Bodemtextuur	1.93	1	1.93	4.33	0.04
Uitrijregeling × BPJS	14.80	2	7.40	16.66	<0.01
Uitrijregeling × Bodemtextuur	0.60	1	0.60	1.34	0.25
BPJS × Bodemtextuur	2.17	2	1.09	2.44	0.09
Uitrijregeling × BPJS × Bodemtextuur	0.66	2	0.33	0.74	0.48
Error	345.50	778	0.44		

Tabel 40 - Dataset MB-BDB: ANOVA-analyse van het effect van BPJS | Landbouwstreek | Uitrijregeling op het totaal nitraatresidu, voor wintertarwe, zonder derogatie.

Univariate Tests of Significance for LogResTot					
Sigma-restricted parameterization					
Effective hypothesis decomposition					
	SS	Degr. of - Freedom	MS	F	P
Wintertarwe					
Intercept	2228.00	1	2228.00	5048.39	<0.01
Uitrijregeling	0.21	1	0.21	0.48	0.49
BPJS	5.49	2	2.74	6.22	<0.01
Landbouwstreek	0.43	1	0.43	0.97	0.33
Uitrijregeling × BPJS	8.77	2	4.39	9.94	<0.01
Uitrijregeling × Landbouwstreek	0.08	1	0.08	0.18	0.68
BPJS × Landbouwstreek	1.32	2	0.66	1.50	0.22
Uitrijregeling × BPJS × Landbouwstreek	0.52	2	0.26	0.59	0.56
Error	354.39	803	0.44		



Figuur 42 - Dataset MB-BDB: Effect van de verlengde uitrijregeling op het totaal nitraatresidu per BPJS bij Wintertarwe, zonder derogatie (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen aan, de cijfers in de witte vakjes geven het aantal metingen aan).

### 3.5 Specifieke problematiek van de groentenpercelen

De specifieke problematiek van de groentenpercelen betreft o.a. de vaak hoge nitraatresidu's in deze percelen, de hoge bemestingen, de hoge bemestingshistoriek, het feit dat er meerdere gewassen per seizoen worden geteelt, de late en vroege oogsten, de stikstoflevering uit de gewasresten, een heterogene groep van groenten zoals bv. spruitkool, wortelen, bloemkool, spinazie en prei, grote verschillen in nitraatvoorraad vóór de teelt van de groenten, ....

De resultaten van deze groep moeten dus met de nodige voorzichtigheid geïnterpreteerd worden. In een aparte analyse werd de groep Groenten verder onderverdeeld en geanalyseerd. Het effect van meerdere gewassen per seizoen kon echter niet ingeschat worden omwille van de zeer beperkte beschikbare gegevens hierover.

De meeste groentenpercelen werden geanalyseerd in 2007 en 2008. In Figuur 43 en Figuur 44 worden de gemiddelde nitraatresidu's per groente weergegeven over deze twee jaren, voor respectievelijk de dataset MB-BDB en BO-BDB.

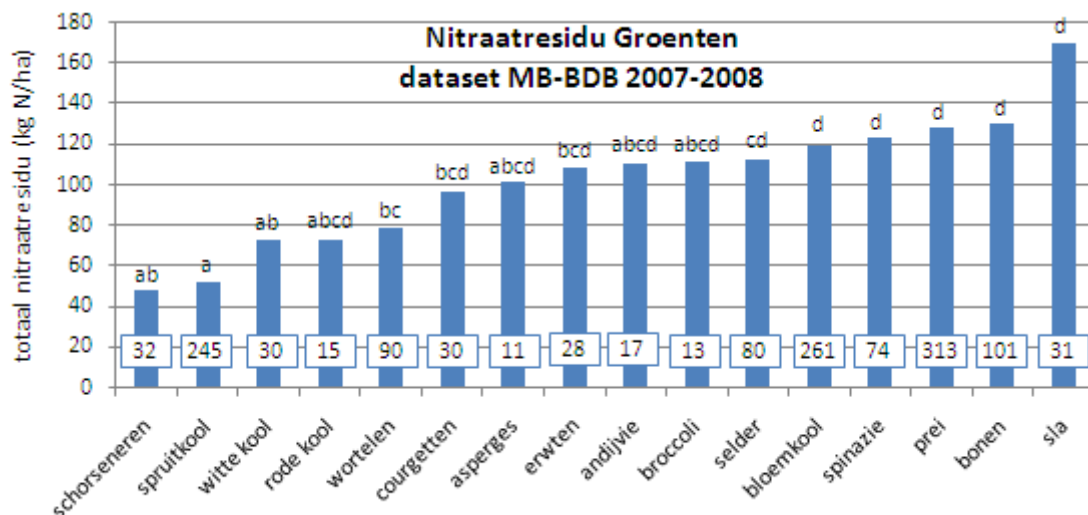
In beide datasets werden relatief de hoogste nitraatresidu's bekomen na bloemkool, spinazie en bonen (al of niet gevolgd door een volgteelt/groenbemester) en de laagste nitraatresidu's na spruitkool. Erwtten, andijvie (beiden al of niet gevolgd door een volgteelt/groenbemester) en wortelen scoorden gemiddeld.

Voor een groot aantal groenten zijn er enkel voldoende metingen beschikbaar in de dataset MB-BDB. Schorseneren gaven eerder een laag nitraatresidu. Witte en rode kool evenals courgetten, asperges, andijvi en broccoli gaven een gemiddeld nitraatresidu, terwijl selder een eerder hoog nitraatresidu gaf en prei en sla een zeer hoog nitraatresidu.

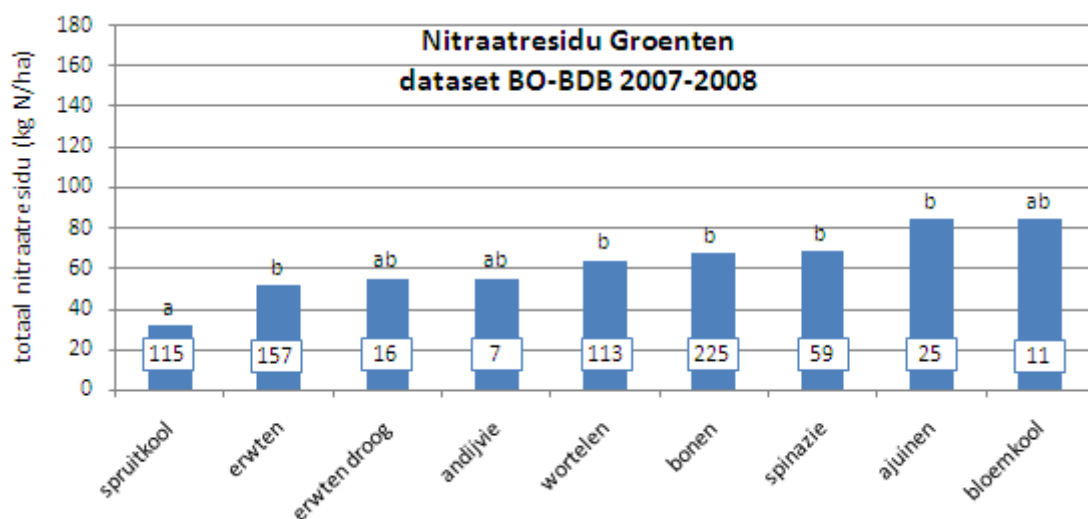
Bladgroenten zoals spinazie en sla zijn ondiep wortelende gewassen die geoogst worden op het moment dat de stikstofopnamesnelheid nog maximaal is. Om oogstderving te vermijden dient dan ook tot aan de oogst voldoende minerale stikstof in het doorwortelbare profiel aanwezig te zijn. Als gevolg daarvan is het nitraatresidu op moment van de oogst voor deze groenten meestal hoog. Op veel spinaziepercelen wordt nog een volgteelt (bijvoorbeeld stamslabonen) ingezaaid. Het stikstofmanagement bij deze volgteelt bepaalt in sterke mate het najaarsnitraatresidu.

Ook bloemkool en broccoli worden geoogst op een moment dat de stikstofbehoefte nog hoog is. Als gevolg daarvan is de stikstofbenutting van deze gewassen laag met ook relatief hoge nitraatresidu's tot gevolg.

Spruitkolen daarentegen doorwortelen het profiel zeer goed en zijn in staat om ook de minerale stikstof uit de bodemlaag 60-90 cm te benutten. Spruiten worden tijdens de afrijpingsfase geoogst, waardoor de stikstofbenutting hoog is met als gevolg een laag nitraatresidu.



Figuur 43 - Dataset MB-BDB: Gemiddeld nitraatresidu voor verschillende groenten in 2007 en 2008 (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen tussen de gemiddelden aan; de cijfers in de witte vakjes geven het aantal metingen aan).



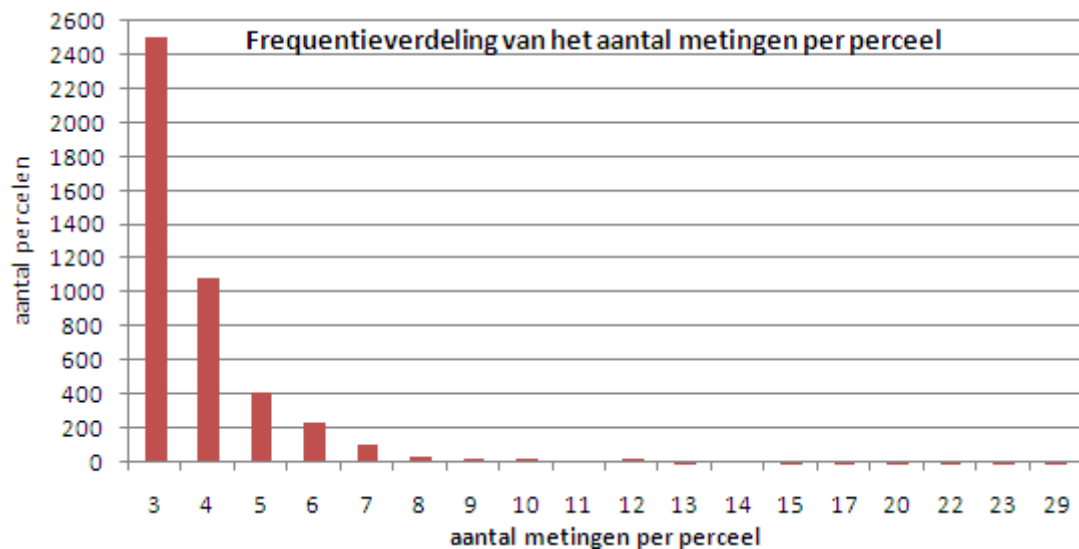
Figuur 44 - Dataset BO-BDB: Gemiddeld nitraatresidu voor verschillende groenten in 2007 en 2008 (de letters boven de balkjes geven de significante verschillen tussen de gemiddelden aan; de cijfers in de witte vakjes geven het aantal metingen aan).

### 3.6 Variabiliteit binnen percelen

De variabiliteit van het nitraatresidu binnen percelen kan bestudeerd worden voor percelen groter dan 2 ha op basis van de dataset BO-BDB, waar de nitraatresidumetingen op staalnameniveau werden doorgegeven (in tegenstelling tot dataset MB-BDB, waar enkel de gemiddelde nitraatresidu's per perceel beschikbaar zijn).

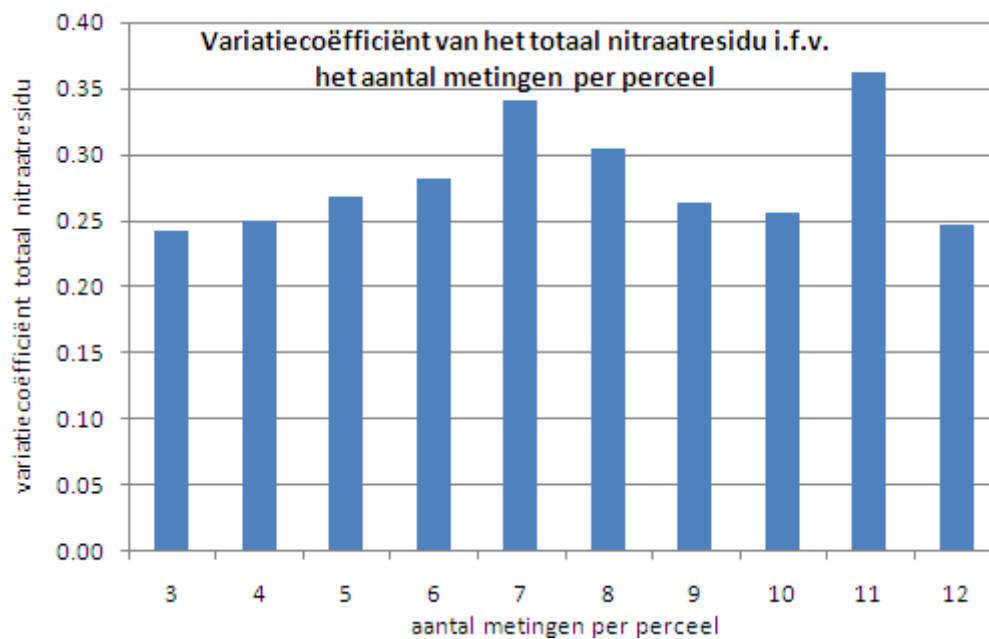
Om de variabiliteit van het nitraatresidu te bestuderen werden enkel de percelen gebruikt waarin, binnen één jaar, minstens 3 metingen werden uitgevoerd.

In Figuur 45 zien we dat, over de periode van 2000 tot en met 2008, in ongeveer 2500 percelen 3 metingen uitgevoerd zijn, in 1100 percelen 4 metingen en in 900 percelen 5 metingen of meer. Het maximaal aantal metingen uitgevoerd in één perceel was 29.



Figuur 45 - Dataset BO-BDB: Frequentieverdeling van het aantal metingen per perceel.

Voor elk van de percelen met minstens 3 metingen werd de variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu berekend als maat voor de variabiliteit binnen het perceel. Gemiddeld bedroeg de variatiecoëfficiënt 0.25 en, zoals blijkt uit Figuur 46, was er geen duidelijke invloed van het aantal metingen (m.a.w. de grootte van het perceel) op deze variatiecoëfficiënt.

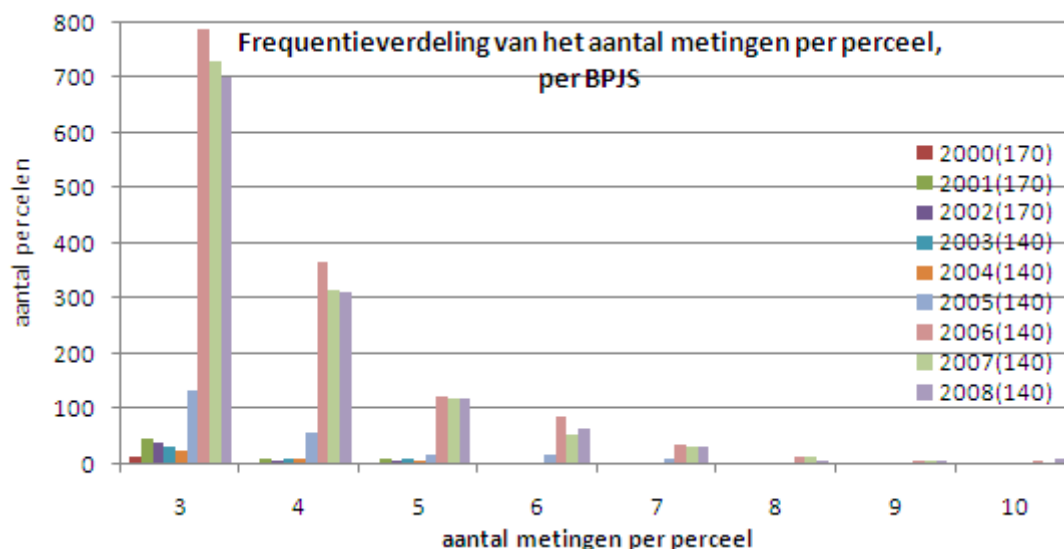


Figuur 46 - Dataset BO-BDB: Variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu in functie van het aantal metingen per perceel.

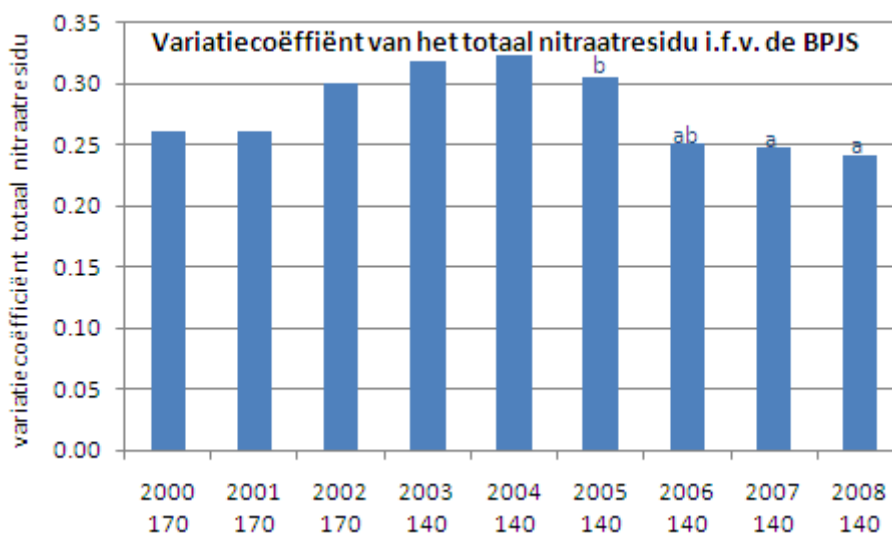
### 3.6.1 Effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van stalname op de variabiliteit van het nitraatresidu

Tot en met 2005 waren er relatief weinig percelen met 3 metingen of meer. Vanaf 2006 steeg dit aantal gevoelig (Figuur 47). Dit is te wijten aan een strategiewijziging voor de beheerovereenkomsten: tot en met 2004 werd het volledig perceel afgekeurd indien het nitraatresidu in één van de deelpercelen te hoog lag. De landbouwers waren toen eerder geneigd om elk perceel groter dan 2 ha op te splitsen in aparte, kleinere percelen. Vanaf 2005 was dit niet meer zo en werd enkel het deelperceel met een te hoog nitraatresidu afgekeurd, terwijl de andere deelpercelen nog verder konden meelopen in de beheerovereenkomst.

Significante verschillen in variatiecoëfficiënt tussen de BPJS kunnen nagenoeg niet aangetoond worden, omwille van de ongebalanceerdheid van de dataset. In 2005 werd weliswaar een significant hogere variatiecoëfficiënt vastgesteld dan in 2007 en 2008, doch in 2005 werden in aanzienlijk minder percelen 3 metingen of meer uitgevoerd, zodat deze analyse niet erg betrouwbaar is (Figuur 47 en Figuur 48).



Figuur 47 - Dataset BO-BDB: Frequentieverdeling van het aantal metingen per perceel, per Bemestingspraktijk in het jaar van stalname.

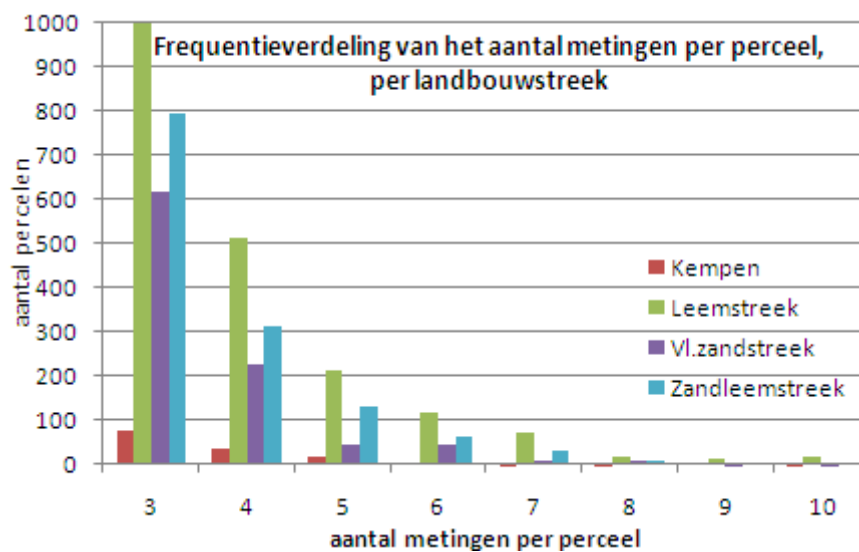


Figuur 48 - Dataset BO-BDB: Variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu in functie van de Bemestingspraktijk in het jaar van stalname.

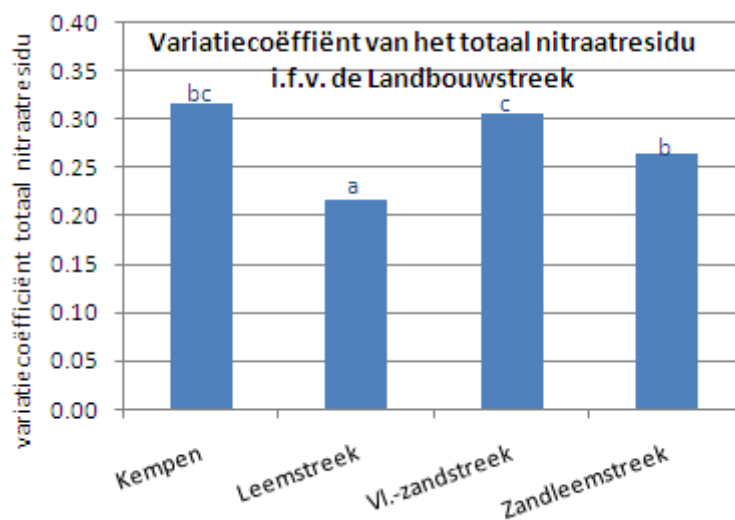
### 3.6.2 Effect van de Landbouwtreek op de variabiliteit van het nitraatresidu

De meeste percelen met minstens 3 metingen bevonden zich in de Leemstreek, gevolgd door de Zandleemstreek en de Vlaamse-zandstreek (Figuur 49). In de Kempen waren er relatief weinig percelen met 3 metingen of meer.

In de Leemstreek werd een significant kleinere variatiecoëfficiënt (gemiddeld 0.22) vastgesteld dan in de Zandleemstreek (gemiddeld 0.26), die op zijn beurt een significant kleinere variatiecoëfficiënt had dan de Vlaamse-zandstreek (gemiddeld 0.31) (Figuur 50).



Figuur 49 - Dataset BO-BDB: Frequentieverdeling van het aantal metingen per perceel, per Landbouwstreek.



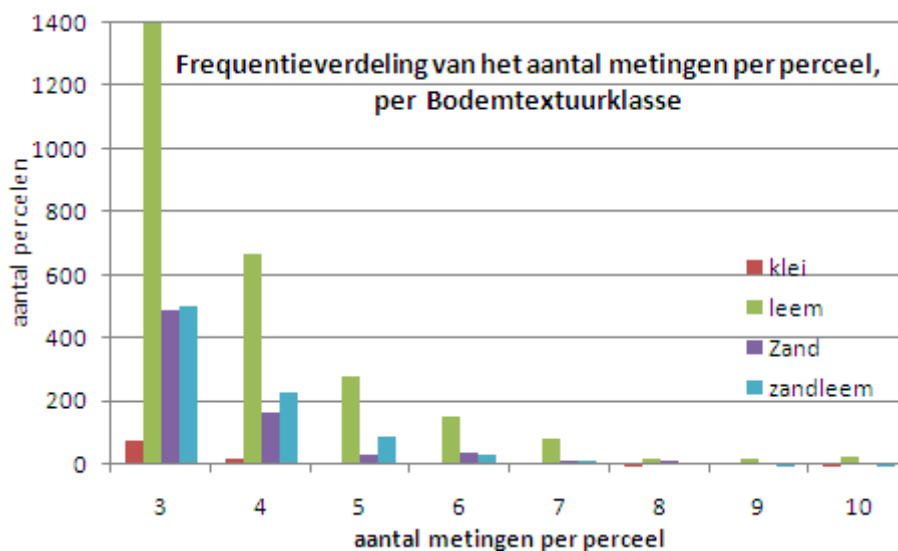
Figuur 50 - Dataset BO-BDB: Variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu in functie van de Landbouwstreek.

### 3.6.3 Effect van de Bodemtextuur op de variabiliteit van het nitraatresidu

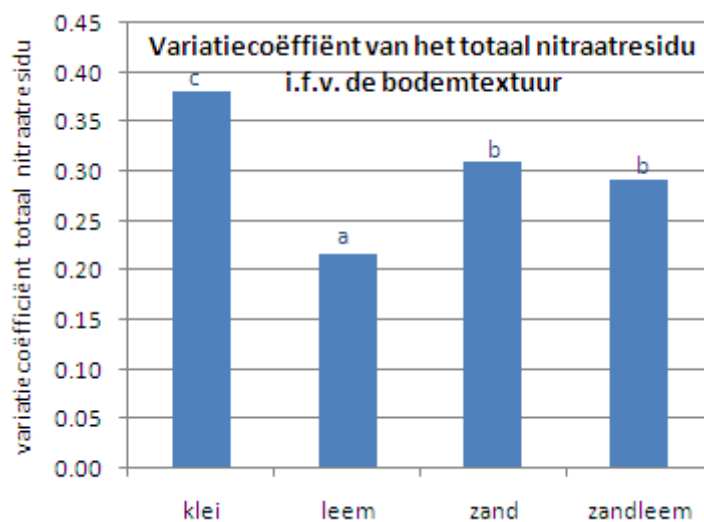
Veruit de meeste percelen met minstens 3 metingen hadden een Leemtextuur (Figuur 51). In Kleibodems waren er zeer weinig percelen met 3 metingen of meer.

In de Leempercelen werd ook een significant kleinere variatiecoëfficiënt (gemiddeld 0.22) vastgesteld dan in de Zandleem- (gemiddeld 0.29) en in de Zand-percelen (gemiddeld 0.31) (Figuur 52).





Figuur 51 - Dataset BO-BDB: Frequentieverdeling van het aantal metingen per perceel, per Bodemtextuurklasse.

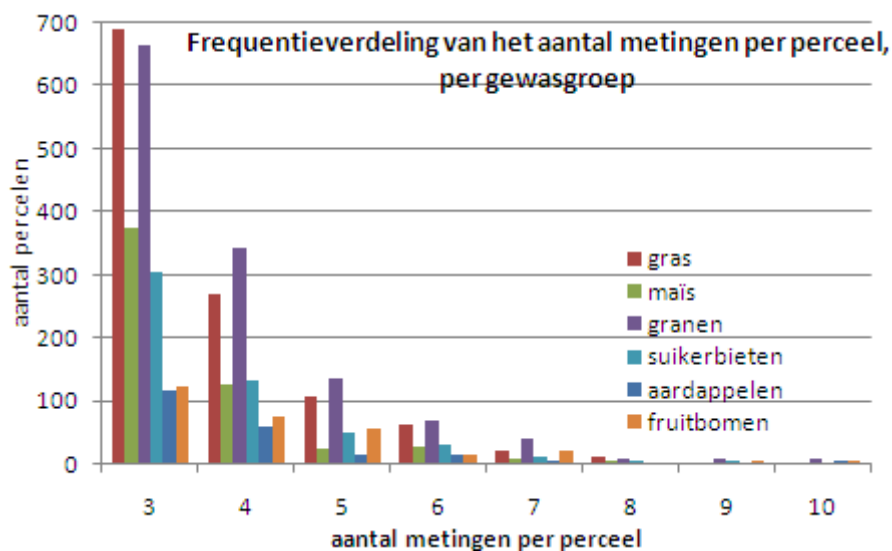


Figuur 52 - Dataset BO-BDB: Variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu in functie van de Bodemtextuur.

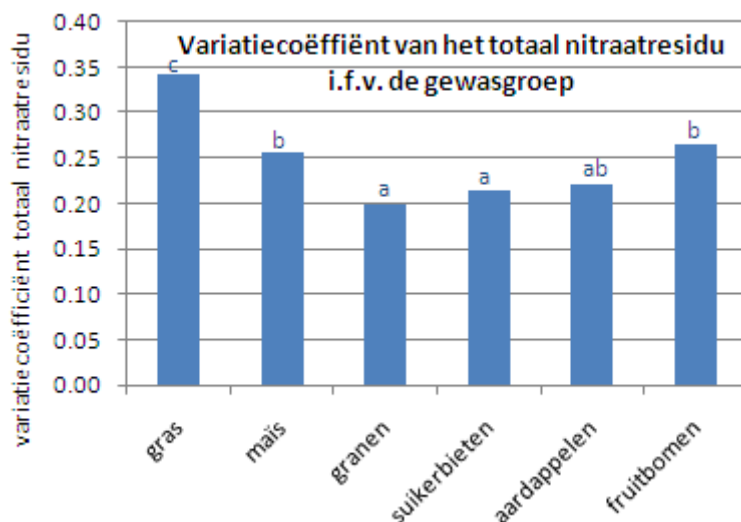
### 3.6.4 Effect van de Gewasgroep op de variabiliteit van het nitraatresidu

In Gras en Granen kwamen het hoogste aantal percelen met minstens 3 metingen voor, gevolgd door Maïs en Suikerbieten (Figuur 53).

Percelen met Granen en Suikerbieten vertoonden een significant lagere variatiecoëfficiënt (gemiddeld resp. 0.20 en 0.21) dan percelen met Maïs en Fruitbomen (gemiddeld resp. 0.26 en 0.27). Percelen met Gras vertoonden significant de hoogste variatiecoëfficiënt (gemiddeld 0.34) (Figuur 54).



Figuur 53 - Dataset BO-BDB: Frequentieverdeling van het aantal metingen per perceel, per Gewasgroep.



Figuur 54 - Dataset BO-BDB: Variatiecoëfficiënt van het totaal nitraatresidu in functie van de Gewasgroep.

### 3.7 Evolutie van de nitraatgehalten op perceelsniveau

Voor de analyse van de evolutie van de nitraatgehalten op perceelsniveau werden de metingen van de verschillende jaren aan elkaar gekoppeld op basis van de opgegeven X-Y-coördinaat van het perceel.

### 3.7.1 Mestbankcontrolemetingen en opvolgstalen

In de dataset MB-BDB zijn er 1311 percelen die zowel in 2007 als in 2008 bemonsterd werden. Via een gepaarde t-test werd vastgesteld dat de bemonsteringen van 2008 gemiddeld een zeer significant lager nitraatresidu gaven dan de bemonsteringen van 2007 (verschil 52.5 kg N/ha).

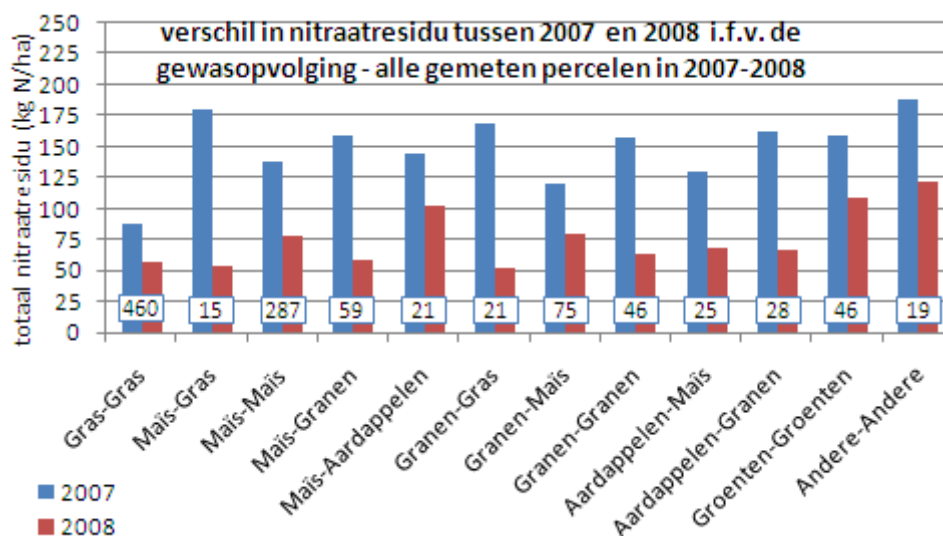
Van de 1311 percelen die zowel in 2007 als in 2008 bemonsterd werden waren er 789 die in 2007 een te hoog nitraatresidu hadden, d.w.z. groter dan 90 kg N/ha. Voor deze percelen apart werd ook een gepaarde t-test uitgevoerd, waaruit opnieuw bleek dat de bemonsteringen van 2008 gemiddeld een zeer significant lager nitraatresidu gaven dan de bemonsteringen van 2008, met een verschil van gemiddeld 100.1 kg N/ha.

Van deze 789 percelen waren er 676 percelen met een duidelijk lager nitraatresidu in 2008 dan in 2007 (verschil  $> 20$  kg N/ha), 61 percelen met een nitraatresidu dat weinig of niet verschilde tussen 2007 en 2008 (verschil  $\leq 20$  kg N/ha) en 52 percelen met een duidelijk hoger nitraatresidu in 2008 dan in 2007 (verschil  $> 20$  kg N/ha). Daaruit kunnen we besluiten dat in de overgrote meerderheid van de percelen waar een te hoog nitraatresidu vastgesteld werd, dit in het volgende jaar gecorrigeerd werd door de bemesting aan te passen.

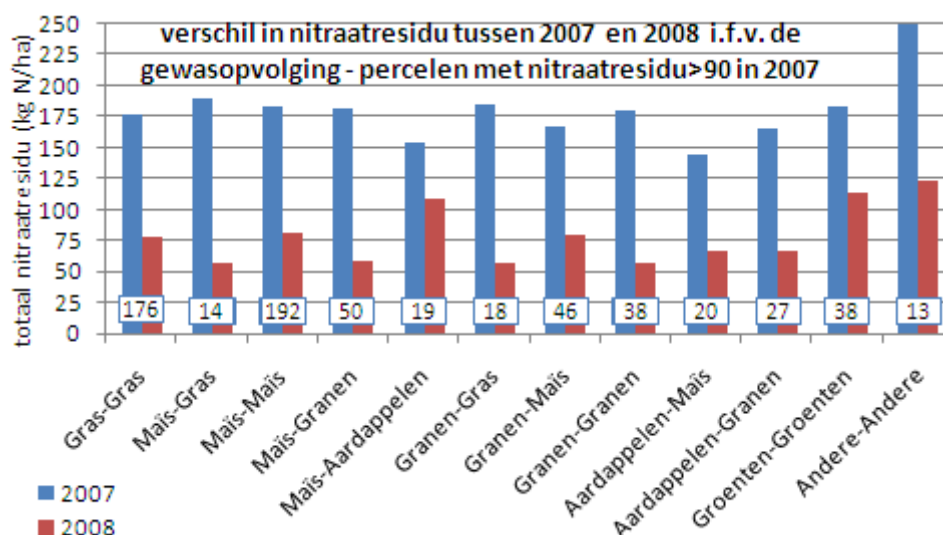
In Figuur 55 en Figuur 56 worden de gemiddelde gemeten nitraatresidu's in 2007 en 2008 weergegeven, voor verschillende gewasopeenvolgingen (Gewas2007-Gewas2008), respectievelijk van alle gemeten percelen (Figuur 55) en van de percelen die in 2007 een te hoog nitraatresidu ( $>90$  kg N/ha) hadden (Figuur 56).

In beide grafieken zijn de verschillen tussen 2007 en 2008 zeer significant voor alle gewasopeenvolgingen, behalve voor Maïs-Aardappelen. Wanneer we enkel de percelen met een te hoog nitraatresidu in 2007 opnemen in de gemiddelden (Figuur 56) worden de verschillen nog groter.

Hieruit besluiten we dat het, ook in percelen met een te hoog nitraatresidu waar het jaar nadien een gewas geteeld werd met een groter risico op hogere nitraatresidu's (zoals Maïs), altijd mogelijk was om, o.a. dank zij de begeleidende maatregelen en de toegenomen aandacht voor de bemesting, in het volgende jaar het nitraatresidu aanzienlijk te verminderen, tot onder de grens van 90 kg N/ha.



Figuur 55 - Dataset MB-BDB: verschil in nitraatresidu tussen 2007 en 2008 in functie van de gewasopvolging - gemiddelden van alle percelen die zowel in 2007 als in 2008 gemeten werden (de cijfers in de witte vakjes geven het aantal metingen aan).

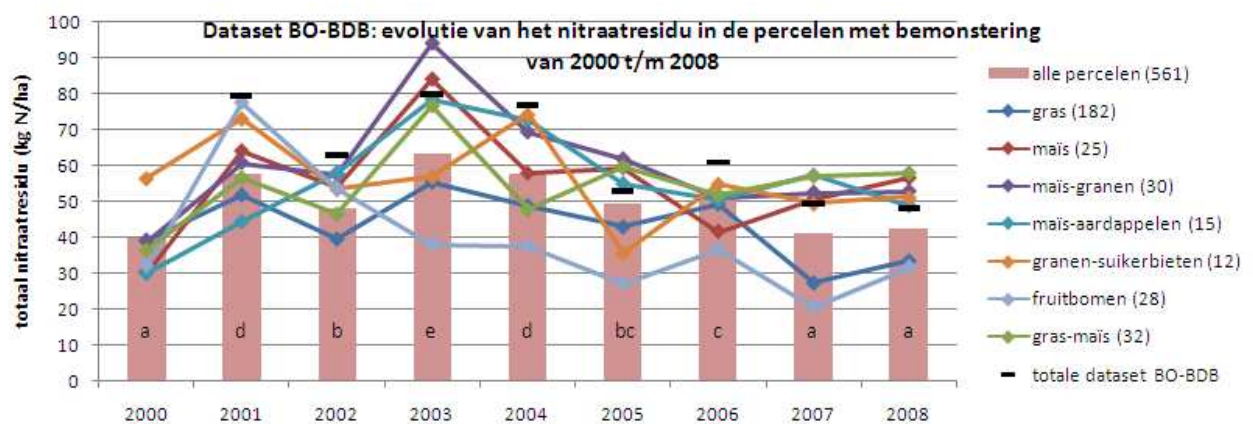


Figuur 56 - Dataset MB-BDB: verschil in nitraatresidu tussen 2007 en 2008 in functie van de gewasopvolging - gemiddelden van de percelen die zowel in 2007 als in 2008 gemeten werden en die in 2007 een nitraatresidu >90 kg N/ha hadden (de cijfers in de witte vakjes geven het aantal metingen aan).

### 3.7.2 Metingen in percelen met BO Water

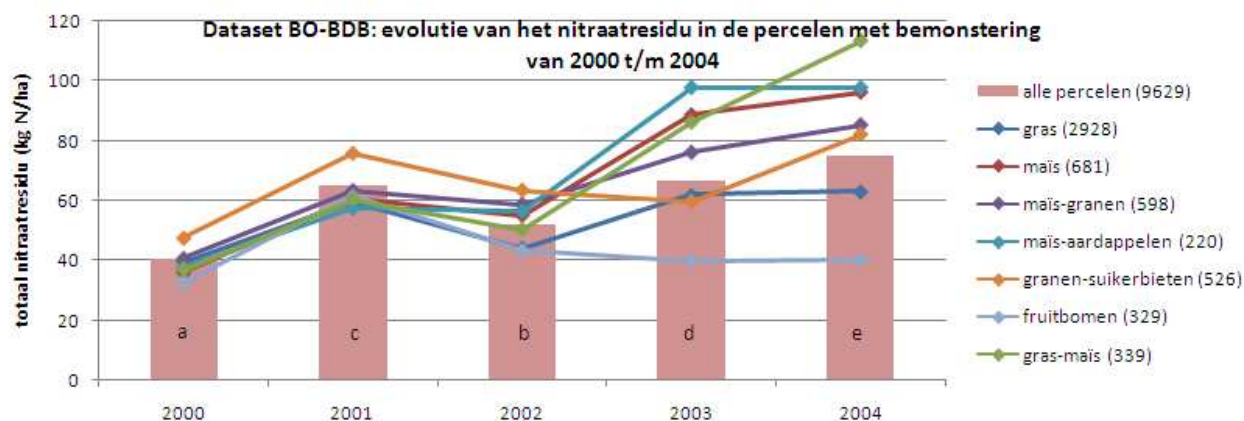
In de dataset BO-BDB zijn er 561 percelen die van 2000 tot en met 2008 elk jaar bemonsterd werden (bepaald op basis van de XY-coördinaten van de staalnames). De evolutie van het nitraatresidu in deze percelen volgde globaal ongeveer dezelfde trend van deze beschreven voor de gehele dataset (zie ook 3.4.2). Voor alle percelen samen steeg het nitraatresidu van gemiddeld 40 kg N/ha in 2000(170) naar een maximum niveau van 63 kg N/ha in 2003(140), om nadien

terug geleidelijk te dalen tot gemiddeld ongeveer 40 kg N/ha in 2007(140) en 2008(140) (Figuur 57). De gemiddelden per BPJS werden ook apart berekend voor een aantal gewasopvolgingen. Hieruit bleek dat de evolutie in de percelen grasland en gras+maïs veel minder uitgesproken was. De percelen met fruitbomen vertoonden een duidelijk hoger nitraatresidu in 2001(170) en de percelen granen+suikerbieten in 2001(170) en 2004(140). De resultaten per gewasopvolging moeten voorzichtig geïnterpreteerd worden aangezien, voor combinaties met verschillende teelten, geen rekening gehouden werd met de frequentie van elke teelt en het jaar waarin deze geteelt werd (bv. gras-maïs-combinaties met 1, 2 of 3 x maïs zitten in dezelfde groep), terwijl eerder in dit rapport gebleken is dat het effect van de teelt op het nitraatresidu zeer belangrijk is.

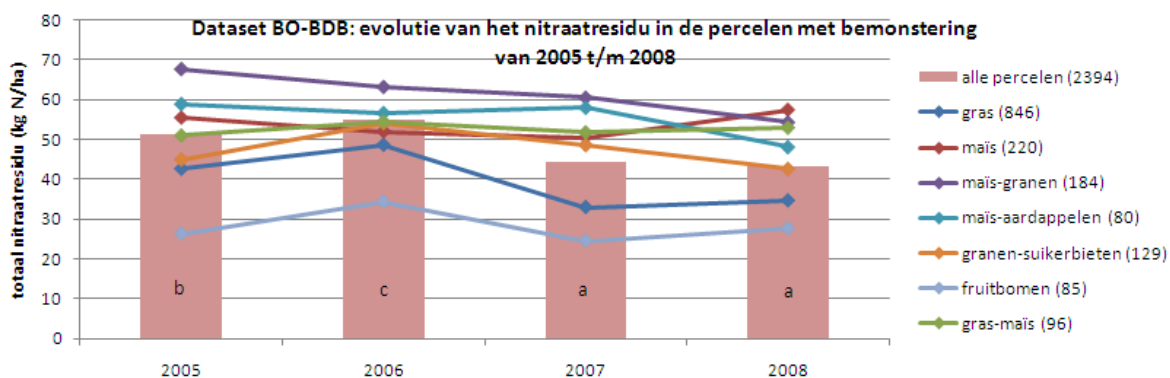


Figuur 57 - Dataset BO-BDB: evolutie van het nitraatresidu in percelen die van 2000 tot 2008 jaarlijks bemonsterd werden. Significante verschillen tussen de BPJS werden bepaald op basis van gepaarde t-testen en worden aangeduid door de letters in de balkjes. De cijfers tussen haakjes in de legende geven het aantal percelen aan.

In de dataset BO-BDB zijn er 9629 percelen die in de jaren 2000 t/m 2004 bemonsterd werden en 2394 percelen die in de jaren 2005 t/m 2008 bemonsterd werden. In Figuur 58 en Figuur 59 worden, op een analoge manier, de gemiddelde resultaten van deze percelen weergegeven. De algemene trends zijn dezelfde als deze weergegeven in Figuur 57.



Figuur 58 - Dataset BO-BDB: evolutie van het nitraatresidu in percelen die van 2000 tot 2004 jaarlijks bemonsterd werden. Significante verschillen tussen de BPJS werden bepaald op basis van gepaarde t-testen en worden aangeduid door de letters in de balkjes. De cijfers tussen haakjes in de legende geven het aantal percelen aan.



Figuur 59 - Dataset BO-BDB: evolutie van het nitraatresidu in percelen die van 2005 tot 2008 jaarlijks bemonsterd werden. Significante verschillen tussen de BPJS werden bepaald op basis van gepaarde t-testen en worden aangeduid door de letters in de balkjes. De cijfers tussen haakjes in de legende geven het aantal percelen aan.

Van de 561 percelen die in de loop van 2000 t/m 2008 elk jaar bemonsterd werden, waren er 23 percelen die 3 maal of meer de nitraatresidunorm (90 kg N/ha) overschreden hadden.

Van de 9629 percelen die in de loop van 2000 t/m 2004 elk jaar bemonsterd werden, waren er 1546 die 2 maal of meer de nitraatresidunorm overschreden hadden.

Van de 2394 percelen die in de loop van 2005 t/m 2008 elk jaar bemonsterd werden, waren er 180 die 2 maal of meer de nitraatresidunorm overschreden hadden.

In geen enkele van deze drie subdatasets kon een merkbare correlatie vastgesteld worden tussen het (meermaals) overschrijden van de nitraatresidunorm enerzijds en het koolstofgehalte, het ammoniumgehalte of de toediening van organische mest anderzijds.

### 3.8 Besluiten van de beschrijvende analyse van de nitraatresidu-datasets

De beschrijvende analyse van de beschikbare datasets moet in de eerste plaats een antwoord geven op de vragen van de opdrachtgever, met name:

- welke factoren hebben al dan niet een significante invloed op de hoogte van het nitraatresidu;
- welke zijn de eventuele interacties tussen deze factoren;
- zijn er significante verschillen tussen de resultaten bekomen op derogatiepercelen, percelen onder beheersoptie of percelen met kans op overbemesting.

Daarnaast werden nog enkele bijkomende, specifieke vragen gesteld, naar:

- de analyse van de specifieke problematiek van de groentepercelen;
- de analyse van de variabiliteit binnen percelen;
- de analyse van de evolutie van het nitraatresidu binnen een perceel;
- het effect van de verlengde uitrijregeling op het nitraatresidu.

Vooraf werd echter duidelijk gesteld dat gegevens in de beschikbare datasets niet noodzakelijk representatief zijn voor alle Vlaamse landbouwpercelen. De resultaten van en de besluiten uit de statistische analyses mogen dus niet zomaar veralgemeend worden.

Voor wat de dataset MB-BDB (Mestbankcontrolemetingen en metingen op opvolgstalen) betreft werden de bemonsterde percelen steeds gericht geselecteerd volgens een aantal criteria die beschreven staan in de voortgangsrapporten van de Mestbank. Zo werden bv. gericht stalen genomen in derogatiepercelen, percelen die mogelijk als kwetsbaar gebied afgebakend zouden worden, percelen in risicogebieden, percelen met een vermoeden van of een hogere kans op overbemesting, percelen met hoge nitraatresidu's in vorige jaren, enz. In totaal werden slechts resp. 5.5% en 1.0% van de bemonsterde percelen in resp. 2006 en 2007 willekeurig gekozen. Een extrapolatie van de resultaten van deze "niet random" dataset naar heel Vlaanderen zal dus een overschatting betekenen van het nitraatresidu in de meeste andere percelen. Bovendien zullen, door deze gerichte staalname, andere effecten op het nitraatresidu, zoals effect Gewasgroep, Bodemtextuur, Landbouwstreek, Bedrijftype, enz. met deze dataset alleen niet juist kunnen ingeschat worden. Desondanks geeft het onderzoek van deze dataset duidelijk aan dat de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) de belangrijkste factor is, na de Gewasgroep. Dit wordt bevestigd door de resultaten uit het onderzoek van de dataset BO-BDB, die van in het begin van dit onderzoek duidelijk afgescheiden werd van de dataset MB-BDB. Het combinatieonderzoek op beide datasets laat toe om de voorname factor BPJS vast te stellen in de ene dataset en te valideren in de andere dataset en hierover geldige besluiten te trekken.

De dataset BO-BDB bevat de volledige populatie van alle percelen met BO Water. De effecten die in deze dataset gevonden worden zijn dus representatief voor percelen met BO Water (d.w.z.

met verminderde bemesting), maar kunnen uiteraard evenmin zomaar doorgetrokken worden naar andere percelen. Hier zou een extrapolatie van de resultaten naar andere percelen mogelijk een onderschatting van het nitraatresidu kunnen betekenen.

In de volgende paragrafen worden, op basis van de beschrijvende statistische analyse, antwoorden geformuleerd op de door de opdrachtgever gestelde vragen.

### **3.8.1 Welke factoren hebben al dan niet een significante invloed op de hoogte van het nitraatresidu en welke zijn de eventuele interacties tussen deze factoren?**

Tussen de datasets MB-BDB en BO-BDB bestaan belangrijke verschillen op gebied van nitraatresidu-niveaus, omwille van de toegepaste bemestingspraktijken. Als gevolg daarvan zien we dat verschillende effecten op het nitraatresidu, zoals de effecten van Landbouwstreek, Bodemtextuur, Vochtbalans en Temperatuur, veel kleiner zijn in de dataset BO dan in de dataset MB en zelfs kunnen verschillen. Dit wordt verklaard door het feit dat de bemesting in de BO-percelen in het algemeen veel beter wordt afgestemd op de gewasbehoeften en de bodemvoorraad, waardoor de gemiddelde nitraatresidu's lager liggen en andere effecten een kleinere rol spelen. M.a.w. hoe beter de bemesting is afgestemd op de teelt en de bodemvoorraad hoe minder nitraat er overblijft in de bodem waarop andere factoren een invloed zouden kunnen uitoefenen.

De effecten van de bestudeerde factoren worden hieronder samengevat.

#### 1. Hoofdteelt/Gewasgroep

In de datasets bestaan er grote en significante verschillen in nitraatresidu's tussen de Gewasgroepen. Deze verschillen kunnen gelinkt worden aan o.a. verschillen in bemesting (tijdstip, toedieningsmethode, soorten meststoffen en bemestingsdosissen) en gewasspecifieke eigenschappen (bewortelingsdiepte, oogstresten en groeiperiode).

Fruitbomen en Gras geven gemiddeld het laagste nitraatresidu, gevolgd door Suikerbieten en Andere teelten. Vlinderbloemigen, Aardappelen en Groenten geven gemiddeld de hoogste nitraatresidu's.

Deze gewaseffecten moeten echter genuanceerd worden. Indien gewassen met de juiste dosis en op het juiste moment bemest worden, zouden de verschillen in nitraatresidu slechts beperkt mogen zijn. Het bemestingsadvies houdt immers rekening met factoren als bewortelingsdiepte, gewasbehoefte en gewasopname, zaai- en groeiperiode, enz.. Ondiep wortelende gewassen kunnen natuurlijk de nitraatresten, overgebleven na de vorige oogst, in de diepere bodemlagen niet benutten.



In de praktijk is het echter zo dat sommige gewassen weinig teeltechnisch en fysiologisch nadeel ondervinden van mogelijke overbemesting (bv. maïs, aardappelen, bepaalde groenten). Deze gewassen zouden kunnen overbemest worden zonder zichtbare gevolgen voor de teelt, maar met mogelijke gevolgen voor het nitraatresidu. Andere gewassen ondervinden wel zichtbare teeltechnische nadelen van overbemesting (bv. granen legeren, suikerbieten geven een lagere kwaliteit en een lager suikergehalte, bij spruitkool kromt de stam en worden de spruiten te dik). Voor deze gewassen wordt in de praktijk zorgvuldig omgesprongen met de stikstofbemesting, waardoor de nitraatresidu's gemiddeld lager uitvallen. Grasland heeft een grote capaciteit om een teveel aan stikstof in de bodem op te nemen en op te slaan. Hierdoor worden voor grasland, zelfs bij een hogere bemesting, lagere residu's gemeten.

Als gevolg van de verschillen in nitraatresidu tussen de gewassen en van de ongebalanceerde samenstelling van de beschikbare datasets t.o.v. deze parameter, konden veel van de andere effecten beter ingeschat worden wanneer ze per gewasgroep geanalyseerd werden.

## 2. Bemestingspraktijk in het jaar van staalname

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname is een combinatie van de effecten van (onder andere):

- de algemene bemestingspraktijken: de toegediende bemesting daalde in de loop der jaren omwille van strengere bemestingsnormen, toenemende aandacht voor de bemesting, verbeterde opvolging van de bemestingsadviezen,...; dit effect komt ook zeer duidelijk tot uiting in en verklaart de verschillen tussen de datasets MB en BO;
- de keuze van de bemonsterde percelen – gerichte staalnames: elk jaar wordt ervoor gekozen om percelen te selecteren met specifieke gewassen, specifieke bodemtexturen, in specifieke regio's, enz.
- de weersomstandigheden (neerslag, temperatuur, vochtgehalte,...): een droog, nat of normaal jaar, voorjaar, groeiseizoen, najaar;

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname heeft voor alle gewasgroepen een belangrijk en significant effect, en dit in beide datasets. De algemene trend is een daling van het gemiddelde nitraatresidu in de loop der jaren, die gelijkloopt met de evolutie van de geldende bemestingsnormen. Deze trend wijkt echter soms af naargelang de gebruikte dataset (MB-BDB of BO-BDB), landbouwstreek (bv. Polders) en/of gewasgroep (bv. Suikerbieten).

In beide datasets wordt een significant interactie-effect met de Landbouwstreek vastgesteld. Bovendien moet een vergelijking tussen jaren voorzichtig gebeuren aangezien niet elk gewas evenveel vertegenwoordigd was in elke staalnamecampagne.

### 3. Landbouwstreek

De Landbouwstreek is vooral van belang voor de verschillende gewasgroepen in de dataset MB-BDB, met uitzondering van Maïs. In de percelen met BO Water is het effect van de Landbouwstreek minder belangrijk, behalve voor de gewasgroep Suikerbieten.

Gemiddeld liggen de nitraatresidu's lager in de landbouwstreken met lichtere gronden (Zand- en Zandleemstreek) dan in de streken met zwaardere gronden (Leemstreek en Polders).

### 4. Bodemtextuur

De Bodemtextuur is vooral van belang voor de gewasgroepen Gras (enkel in de dataset MB-BDB) en Suikerbieten (in beide datasets). De algemene trend is dezelfde als bij het effect Landbouwstreek, nl. dat de gemiddelde nitraatresidu's kleiner zijn in de lichtere gronden dan in de zwaardere gronden.

### 5. Bodemdrainageklasse

De Bodemdrainageklasse lijkt enkel van belang te zijn voor de gewasgroep Suikerbieten en dit in beide datasets: droge gronden hebben gemiddeld een hoger nitraatresidu dan matig natte en natte gronden.

### 6. Koolstofgehalte en pH

Het Koolstofgehalte en de pH hebben een zeer significant positief effect op het nitraatresidu. Deze effecten vertonen bovendien een significant interactie-effect, zowel onderling als met de bodemtextuur: de nitraatresidu's stijgen bij stijgend Koolstofgehalte en dit effect is sterker bij een hogere pH; het effect van de pH op deze stijging is bovendien veel meer uitgesproken in lichtere gronden.

### 7. Nateelt/Groenbemester – Bodembedekking bij staalname

Het effect van het telen van een Nateelt of Groenbemester na de hoofdteelt werd bekeken per Gewasgroep (hoofdteelt), aangezien deze praktijk sterk kan verschillen naargelang de hoofdteelt. Een groenbemester na granen is bv. belangrijk doordat granen, in vergelijking met andere teelten zoals suikerbieten, maïs en aardappelen, relatief vroeg geoogst worden (juli-augustus).

Het effect van een nateelt komt grotendeels neer op het effect van de aan- of afwezigheid van een gewas (hoofd-, na- of volgteelt) op het moment van de staalname en ook van de ontwikkelingsgraad van dit gewas, m.a.w. de Bodembedekking bij staalname.

Bij Gras werd een significant hoger nitraatresidu gemeten in percelen met sterker ontwikkeld gras op het moment van de staalname dan voor jong gras. Dit kan te maken hebben met het feit dat op ontwikkeld gras vaker dierlijke mest werd gevoerd.

Bij Maïs had de bodembedekking bij de staalname minder effect op het nitraatresidu. In de percelen met BO Water hadden percelen waar de maïs nog op het veld stond bij de staalname een significant lager nitraatresidu dan percelen zonder bodembedekking en percelen met reeds een nateelt ingezaaid (hogere stikstofmineralisatie na de bodembewerking!).

Bij Granen was er een merkbare invloed van de ontwikkelingsgraad van de teelt die aanwezig was op het moment van staalname (volgteelt of nateelt): hoe sterker het gewas ontwikkeld was, hoe lager het nitraatresidu.

Bij Suikerbieten was het effect van de bodembedekking op het moment van de staalname zeer klein of niet aantoonbaar. In percelen met BO Water was het nitraatresidu gemiddeld lager als de bieten nog op het veld stonden of als er geen teelt aanwezig was dan als er pas granen gezaaid waren. Het effect van de mineralisatie van het bietenloof was hier merkbaar. Als de bieten pas geoogst waren en er nog geen graan gezaaid was, was het nitraatresidu lager. De bodem werd weliswaar omgewoeld tijdens de bietenoogst, maar het vochtgehalte was op dat moment (na bieten) onvoldoende om de mineralisatie op gang te brengen. Bij pas gezaaid graan waren de nitraatresidu's significant hoger door de toegenomen mineralisatie na de grondbewerking. Als het graan al enkele weken ontwikkeld was, was het al begonnen met stikstof op te nemen, waardoor het nitraatresidu opnieuw iets lager was.

Bij Aardappelen werden de laagste nitraatresidu's gemeten als de aardappelen nog op het veld stonden of als er een sterk ontwikkelde groenbemester stond. Pas gezaaid graan of geen teelt gaf gemiddeld een hoger nitraatresidu.

## 8. Staalnamedag

De Staalnamedag is het dagnummer van de datum van staalname. Staalnamedag is echter geen random (willekeurige) factor. De staalnamedatum werd immers in veel gevallen bepaald in functie van het gewas en rekening houdend met de teeltpraktijken (oogstdatum gewas, al dan niet inzaaien van een nateelt of van het volgende gewas, bvb. granen). Het effect van de Staalnamedag is dus afhankelijk van de Gewasgroep en hangt heel sterk samen met het effect van de Bodembedekking bij staalname. Daarom werd dit effect, per Gewasgroep en enkel voor de dataset BO-BDB (omwille van te weinig beschikbare data in de dataset MB-BDB), apart geanalyseerd voor de verschillende soorten bodembedekking op het moment van de staalname. Bovendien werd voor de niet-Gras-gewasgroepen eerder gekeken naar het aantal dagen na de zaai

van een eventueel aanwezige volg- of nateelt (d.w.z. de groeiperiode van de volg- of nateelt) of, indien er geen teelt aanwezig is bij de staalname, naar het aantal dagen na de oogst van de hoofdteelt (d.w.z. de periode zonder bodembedekking).

Het nitraatresidu bij Gras, met een bodembedekking van ontwikkeld Gras op het moment van de staalname, nam significant toe naarmate het staal later genomen werd, in alle Jaren en zowel op zand- als zandleemgronden, behalve in 2002 (zand- en zandleem) en in 2006 (zandleem), waar geen effect van staalnamedag kon aangetoond worden. Dit effect kan toegeschreven worden aan de begrazing (met eventueel bijvoeding) van weiden in het najaar, in combinatie met de weersomstandigheden (bemonstering in drogere of nattere omstandigheden).

Voor de Gewasgroep Maïs was de evolutie van het nitraatresidu in de loop van de staalnamecampagne sterk afhankelijk van het Jaar. Er was geen systematische stijging of daling van het nitraatresidu naarmate het staal later genomen werd, noch in de percelen met een bodembedekking Gras, noch zonder bodembedekking op het moment van de staalname.

Voor de Gewasgroep Granen was er, vooral bij een bodembedekking door een nateelt Mosterd, een significante en sterke daling van het nitraatresidu in functie van het aantal dagen na de zaai van de Mosterd.

Voor de Gewasgroep Suikerbieten met een bodembedekking door een volgteelt Granen op het moment van de staalname was er meestal geen effect van het aantal dagen na de zaai van de Granen. Zonder bodembedekking was er vaak een significante toename van het nitraatresidu i.f.v. het aantal dagen na de oogst van de Suikerbieten (oogstbodembewerking = zuurstofinbreng = stimulan mineralisatie).

## 9. Vochtbalans

Algemeen daalde het nitraatresidu bij een hogere vochtbalans (= neerslagoverschot), waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu. Dit effect moet echter genuanceerd worden: de vochtbalans in de maanden augustus t/m oktober had voor verschillende gewassen (Gras, Granen, Suikerbieten, Aardappelen) eerder een omgekeerd effect: hoe meer neerslagoverschot hoe hoger het nitraatresidu, mogelijk door stikstofmineralisatie die verder gaat bij voldoende vochtvoorziening. Voor Suikerbieten hadden alle vochtbalansen bovendien geen of zelfs een omgekeerd effect op het nitraatresidu. Dit heeft wellicht te maken met het diepe wortelstelsel van suikerbieten, waardoor deze teelt minder gevoelig is voor vochttekorten.

#### 10. Temperatuur

Voor wat de Temperatuur betreft was de gemiddelde temperatuur in de laatste 3 maanden het belangrijkste en dit voor alle gewasgroepen in de dataset MB-BDB. In de dataset BO-BDB was het effect van de temperatuur veel kleiner, behalve voor Granen en Suikerbieten. De algemene trend was een stijging van het gemiddelde nitraatresidu bij hogere temperaturen. Dit is te verklaren door het feit dat hogere temperaturen in het najaar aanleiding geven tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.

#### 11. Bedrijftype

Het Bedrijftype was vooral van belang voor Gras in de dataset BO-BDB maar had ook in sommige andere gewasgroepen en in de dataset MB-BDB een effect. In percelen van bedrijven zonder dieren waren de gemiddelde nitraatresidu's lager dan in percelen van rundveebedrijven, die op hun beurt lager waren dan in percelen van varkensbedrijven.

#### 12. Andere factoren

De Perceelsoppervlakte had voor geen enkele gewasgroep een belangrijk effect, net zoals de Bedrijfsoppervlakte, de N-productie uit dierlijke mest op bedrijfsniveau, de aangifte N uit kunstmest en uit andere organische mest op bedrijfsniveau, het N-gebruik uit dierlijke mest en totaal op bedrijfsniveau en het N-overschot op bedrijfsniveau. Hieruit blijkt duidelijk dat de landbouwers hun bemesting niet bepalen op bedrijfsniveau, maar op perceelsniveau.

### **3.8.2 Zijn er significante verschillen tussen de resultaten bekomen op derogatiepercelen, percelen onder beheersoptie of percelen met kans op overbemesting?**

Het effect van derogatie werd bestudeerd op basis van de gegevens van 2007 en 2008 in de dataset MB-BDB, voor de gewasgroepen waarvoor derogatie mogelijk is, nl. grasland, maïs, wintertarwe en suikerbieten (voederbieten werd niet meegenomen wegens zeer weinig beschikbare metingen).

Voor de Gewasgroepen Gras en Wintertarwe waren nergens significante verschillen in nitraatresidu te bespeuren tussen percelen Zonder en Met derogatie. Voor Maïs zien we daarentegen dat percelen Met derogatie steeds een iets hoger gemiddeld nitraatresidu vertoonden dan percelen Zonder derogatie. In 2008 was dit verschil significant in de Zandgronden. In deze analyse werden alle Maïspcelen opgenomen, zonder rekening te houden met voor- of nateelten.

Het vastgestelde effect omvat dus een combinatie van enerzijds het effect van een hogere toegelaten dierlijke bemesting en anderzijds het effect van het zaaien van Gras vóór Maïs.

Om zuiver het effect van een verhoogde dierlijke bemesting te analyseren, werd dezelfde analyse herhaald, maar dan beperkt tot de Maïs-percelen met nateelt Gras (aangezien er geen info beschikbaar was in de dataset over de aanwezigheid van Gras vóór Maïs). Hier zien we dat er geen significant effect van Derogatie meer aangetoond kan worden.

De Bemestingspraktijk in het jaar van staalname heeft, na de Gewasgroep, het belangrijkste effect op het nitraatresidu. Dit effect is echter verschillend (kleiner) voor percelen onder beheersoptie dan voor de andere percelen.

De kans op overbemesting, op basis van de bedrijfsgegevens over N-productie, N-gebruik en N-overschot, geeft geen significant effect op het nitraatresidu in deze dataset. Uiteraard werden niet alle bedrijfspercelen bemonsterd, zodat hierover geen definitief besluit kan getrokken worden.

### **3.8.3 Analyse van de specifieke problematiek van de groentepercelen**

In beide datasets werden relatief de hoogste nitraatresidu's bekomen na bloemkool, spinazie en bonen en de laagste nitraatresidu's na spruitkool. Erwtten, andijvie en wortelen scoorden gemiddeld. Schorseneren gaven eerder een laag nitraatresidu. Witte en rode kool evenals courgetten, asperges, andijvi en broccoli gaven een gemiddeld nitraatresidu, terwijl selder een eerder hoog nitraatresidu gaf en prei en sla een zeer hoog nitraatresidu.

Het effect van een opeenvolging van verschillende groententeelten kon niet geanalyseerd worden wegens te beperkte beschikbare data hieromtrent.

### **3.8.4 Analyse van de variabiliteit van het nitraatresidu binnen percelen**

De variabiliteit van het nitraatresidu binnen percelen werd geanalyseerd op basis van de variatiecoëfficiënt voor percelen met 3 metingen of meer binnen één jaar. Gemiddeld bedroeg de variatiecoëfficiënt 0.25.

Significante verschillen in variabiliteit tussen de jaren konden niet aangetoond worden. Voor wat het effect van de Landbouwtreek betreft werd een significant kleinere variabiliteit vastgesteld in de Leemstreek dan in de Zandleemstreek, die op zijn beurt een significant kleinere variatiecoëfficiënt had dan de Vlaamse-zandstreek. Gelijklopend hiermee werd in de Leempercelen een significant kleinere variabiliteit vastgesteld dan in de Zandleem- en in de Zandpercelen.

Percelen met Granen en Suikerbieten vertoonden een significant lagere variabiliteit dan percelen met Maïs en Fruitbomen. Percelen met Gras vertoonden significant de hoogste variabiliteit.

### **3.8.5 Analyse van de evolutie van het nitraatresidu binnen een perceel**

Voor de percelen die zowel in 2007 als in 2008 gecontroleerd werden door de Mestbank werd vastgesteld dat de bemonsteringen van 2008 gemiddeld een zeer significant lager nitraatresidu gaven dan de bemonsteringen van 2007 (verschil 52.5 kg N/ha). In de overgrote meerderheid van de percelen die in 2007 een hoger nitraatresidu hadden dan 90 kg N/ha werd dit gecorrigeerd in 2008, en dit voor alle gewasopeenvolgingen.

Hieruit besluiten we dat het, ook in percelen met een te hoog nitraatresidu waar het jaar nadien een gewas geteeld werd met een groter risico op hogere nitraatresidu's (zoals Maïs), altijd mogelijk was om in het volgende jaar het nitraatresidu aanzienlijk te verminderen, tot onder de grens van 90 kg N/ha.

In de percelen met BO Water die elk jaar opnieuw bemonsterd werden volgde de evolutie van het nitraatresidu globaal een enigszins verschillende trend dan deze beschreven voor de gehele dataset BO-BDB. Voor alle percelen samen steeg het nitraatresidu van gemiddeld 40 kg N/ha in 2000(170) naar een maximum niveau van 63 kg N/ha in 2003(140), om nadien terug geleidelijk te dalen tot gemiddeld ongeveer 40 kg N/ha in 2007(140) en 2008(140). In de percelen grasland en gras+maïs was deze evolutie veel minder uitgesproken. De percelen met fruitbomen vertoonden een duidelijk hoger nitraatresidu in 2001(170) en de percelen granen + suikerbieten in 2001(170) en 2004(140).

Voor de percelen met BO Water die gedurende meerdere jaren bemonsterd werden en waarvoor meerdere keren een overschrijding van de nitraatresidunorm (90 kg N/ha) vastgesteld werd kon geen merkbare correlatie vastgesteld worden van het (meermaals) overschrijden van de nitraatresidunorm met het koolstofgehalte, het ammoniumgehalte of de toediening van organische mest.

### **3.8.6 Effect van de verlengde uitrijregeling op het nitraatresidu**

Het effect van de verlengde uitrijregeling was afhankelijk van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname, maar niet van de Bodemtextuur of van de Landbouwstreek.

In 2005 en 2006 kon geen statistisch verschil aangetoond worden tussen percelen met en zonder verlengde uitrijregeling, waarschijnlijk ook omwille van het beperkt aantal metingen in percelen met verlengde uitrijregeling. In 2008 werd er in percelen met verlengde uitrijregeling gemiddeld een zeer significant hoger nitraatresidu gemeten dan in percelen zonder verlengde uitrijregeling.

## 4 Voorspellend MANCOVA-model

Voor de uitwerking van fase 2a en 2b van het project werd voorzien om een MANCOVA-model (Multivariate Analysis of Covariance) te ontwikkelen dat toelaat om gelijktijdig de nitraatresidu's in de 3 bodemlagen te schatten uit dezelfde verklarende factoren. Dit model zal gebruikt worden om voor de percelen waarvoor geen nitraatresidumeting voorhanden is de nitraatresidu's in de 3 lagen in te schatten uitgaande van de beschikbare perceelsgegevens.

Aangezien er voor percelen met Beheerovereenkomst Water altijd een nitraatresidumeting beschikbaar is en gezien de aanzienlijke verschillen in nitraatresidu tussen percelen met Beheerovereenkomst Water (dataset BO) en percelen zonder Beheerovereenkomst Water (dataset MB) moet dit model ontwikkeld worden op basis van de nitraatresidumetingen in de MB-dataset.

### 4.1 Gevolgde strategie voor het opstellen van een voorspellend MANCOVA-model

De statistische verwerking gebeurde met het programma Statistica (Statsoft Inc. , 2007. Statistica Package 7.1. USA, Tulsa.).

Aangezien de data van de nitraatresidumetingen niet voldeden aan de basisvereisten van variantie-analyse, meer bepaald normaalverdeling en homoscedasticiteit (zie 3.1) werden ook hier alle statistische analyses uitgevoerd op basis van de log-getransformeerde nitraatresidu's (zie 3.1).

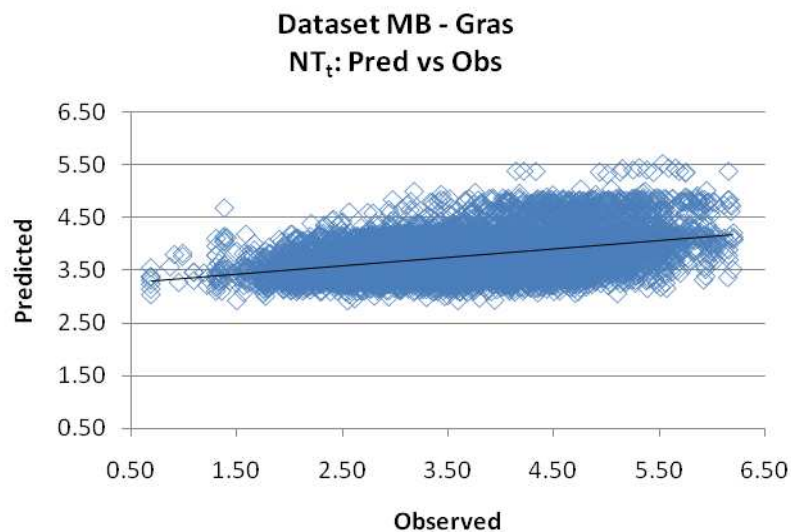
Per gewasgroep werd een apart model ontwikkeld, omwille van de relatief grote verschillen in gemiddelde nitraatresidu's tussen de gewasgroepen, omwille van het feit dat de dataset zeer ongebalanceerd is m.b.t. de gewasgroepen en tenslotte ook omdat uit de beschrijvende statistische analyse gebleken is dat voor de verschillende gewasgroepen niet altijd dezelfde variabelen het grootste aandeel in de variatie van het nitraatresidu verklaren.

Per gewasgroep werden een groot aantal modellen getest op basis van verschillende onafhankelijke (co)variabelen en interactie-effecten. Hiervoor werd in eerste instantie uitgegaan van de  $R^2$ -waarden die bekomen werden in de one-way ANOVA-modellen en enkelvoudige regressieanalyses in de beschrijvende statistische analyse (zie Tabel 7). Verschillende van de in deze analyse significante variabelen zijn echter onderling gecorreleerd, zoals de weervariabelen (zie Tabel 9). Ook de categorische variabelen zijn niet altijd onafhankelijk, zowel onderling als met betrekking tot de continue variabelen. Zo hangt het effect van de Bemestingspraktijk in het jaar van staalname sterk samen met de effecten van de bemestingsnormen en weervariabelen en het effect Landbouwestreek met het effect Bodemtextuur.

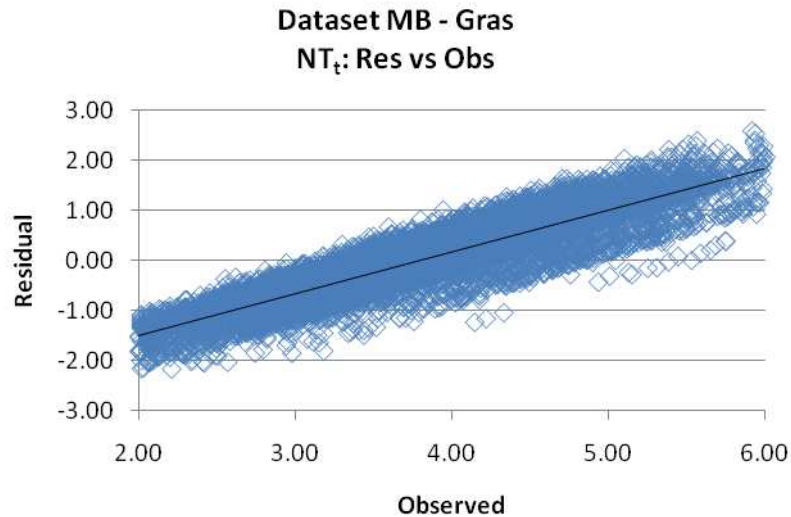


Uiteindelijk werd per gewasgroep één MANCOVA-model geselecteerd, nl. het model dat, met een minimum aan onafhankelijke (co)variabelen en interactie-effecten toch een zo groot mogelijke  $R^2$ -waarde gaf.

Desondanks konden de geselecteerde modellen slechts een relatief klein gedeelte van de variatie van de betreffende dataset (per gewasgroep) verklaren: de  $R^2$ -waarden varieerden van 0.09 (gewasgroep Mais) tot 0.19 (gewasgroep Aardappelen) voor het totale nitraatresidu. Dit had als gevolg dat, voor alle gewasgroepen, de spreiding van de voorspelde waarden voor het nitraatresidu veel kleiner was dan die van de gemeten waarden. Hierdoor stijgen de residuele waarden (= gemeten waarde – voorspelde waarde) lineair in functie van de gemeten waarden. Bij wijze van voorbeeld wordt dit in Figuur 60 en Figuur 61 grafisch voorgesteld voor het totale nitraatresidu voor de gewasgroep Gras. Analoge grafieken kunnen gemaakt worden voor alle andere gewasgroepen en bodemlagen.



Figuur 60 - Dataset MB - MANCOVA-model Gras: voorspelde vs gemeten waarden voor het totale getransformeerde nitraatresidu ( $NT_t$ ).

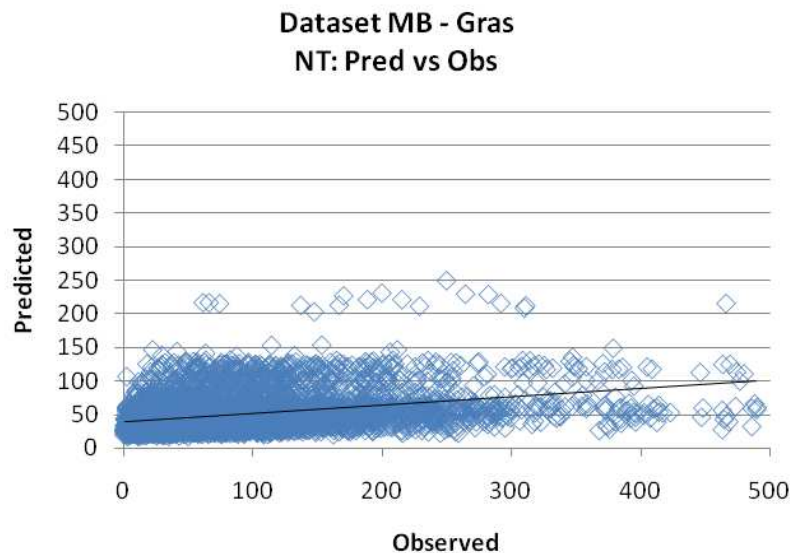


Figuur 61 - Dataset MB - MANCOVA-model Gras: residuele vs gemeten waarden voor het totale getransformeerde nitraatresidu ( $NT_t$ ).

Om het werkelijke nitraatresidu te kunnen voorspellen moeten de in Figuur 60 getoonde waarden teruggetransformeerd worden volgens de volgende formule:

$$NT_{pred} = \exp(NT_{tPred}) - 1$$

In Figuur 62 worden de teruggetransformeerde voorspelde totale nitraatresidu's uitgezet t.o.v. de gemeten totale nitraatresidu's.



Figuur 62 - Dataset MB – MANCOVA-model Gras: voorspelde vs gemeten waarden voor het totale nitraatresidu (NT).

## 4.2 Resultaten van de voorspellende MANCOVA-modellen

In de hierna volgende paragrafen wordt per gewasgroep het model met de hoogste  $R^2$ , dat ook zal toegepast worden in fase 2a en 2b van dit project, kort beschreven. De gedetailleerde beschrijving en de coëfficiënten van deze modellen zullen opgenomen worden in bijlagen van het eindrapport van fase 1.

Gebruikte afkortingen:

- N1: nitraatresidu in de eerste bodemlaag (0-30 cm)
- $N1_t$ : getransformeerd nitraatresidu in de eerste bodemlaag:  $\log(N1+1)$
- N2: nitraatresidu in de tweede bodemlaag (30-60 cm)
- $N2_t$ : getransformeerd nitraatresidu in de tweede bodemlaag:  $\log(N2+1)$
- N3: nitraatresidu in de derde bodemlaag (60-90 cm)
- $N3_t$ : getransformeerd nitraatresidu in de derde bodemlaag:  $\log(N3+1)$
- NT: totaal nitraatresidu (0-90 cm)
- $NT_t$ : getransformeerd totaal nitraatresidu:  $\log(NT+1)$
- $NT_{tPred}$ : voorspelde waarde van het getransformeerd totaal nitraatresidu
- $NT_{tObs}$ : gemeten waarde van het getransformeerd totaal nitraatresidu
- $NT_{tRes}$ : residuele waarde ( $NT_{tObs} - NT_{tPred}$ ) van het getransformeerd totaal nitraatresidu
- $NT_{tPred}$ : voorspelde waarde van het (teruggetransformeerd) totaal nitraatresidu:  $\exp(NT_{tPred})-1$
- $N_b$ : teruggetransformeerd nitraatresidu.

### 4.2.1 Gewasgroep Gras

De belangrijkste significante verklarende variabelen voor het totale nitraatresidu bij de gewasgroep Gras zijn (in volgorde van dalende  $R^2$ ) (zie Tabel 7):

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname (BPJS) ( $R^2 = 0.06$ ): 2007(170) had het laagste gemiddelde nitraatresidu, gevolgd door 2008(170), 2006(200-250) = 2005(200-250) en 2004(200-250).
- De landbouwstreek ( $R^2 = 0.06$ ): de Kempen had het laagste gemiddelde nitraatresidu, gevolgd door de Zandleemstreek = de Vlaamse-zandstreek, de Leemstreek en de Polders.
- De bodemtextuur ( $R^2 = 0.05$ ): de Zandleem- en de Zandbodems hadden het laagste gemiddelde nitraatresidu, gevolgd door de Leembodems en de Kleibodems.
- De gemiddelde temperatuur van augustus tot oktober ( $R^2 = 0.05$ ) en in het najaar ( $R^2 = 0.04$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hogere temperaturen in het najaar geven aanleiding tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.

- De vochtbalans in de voorbije 3 groeiseizoenen ( $R^2 = 0.03$ ), in de zomer ( $R^2 = 0.03$ ), in het najaar ( $R^2=0.01$ ) en in het voorbije groeiseizoen ( $R^2 = 0.01$ ): had een negatief effect op het nitraatresidu, waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu, bij een hogere vochtbalans (neerslagoverschot).
- De N-bemestingsnorm uit andere organische mest ( $R^2 = 0.04$ ): had een positief effect op het nitraatresidu.
- Bedrijfsmatig totaal N-gebruik in kg N/ha ( $R^2 = 0.02$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hoe meer N/ha een bedrijf gemiddeld gebruikt, hoe hoger het nitraatresidu.

Andere variabelen, zoals derogatie, bodemdrainage, ammoniumgehalte, staalnamedag, oppervlakte perceel, oppervlakte bedrijf, verschillende bemestingsnormen en de geschatte N-bemesting uit dierlijke mest blijken weinig of geen significante invloed te hebben op het totale nitraatresidu bij Gras.

In het MANCOVA-model met de hoogste  $R^2$  voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$  werden, naast de categorische variabelen BPJS en Landbouwstreek, ook nog enkele weervariabelen, de N-bemestingsnorm uit organische mest en het totaal N-gebruik op bedrijfsniveau, omgerekend per hectare opgenomen. Ook de interactie-effecten van een aantal weervariabelen met de landbouwstreek bleken significant bij te dragen tot de  $R^2$  van het model.

**MANCOVA-model Gras:**  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$ ,  $NT_t =$   
BPJS | Landbouwstreek  
+ VochtbalansAprSep  
+ VochtbalansJunSep  
+ VochtbalansSepOkt  
+ NormNOrg (bemestingsnorm uit andere organische mest)  
+ GebruikTotBedrijfPerHa (tot. N-gebruik op bedrijfsniveau)  
+ Landbouwstreek  $\times$  VochtbalansAprSep  
+ Landbouwstreek  $\times$  Vochtbalans3j  
+ Landbouwstreek  $\times$  VochtbalansAugOkt  
+ Landbouwstreek  $\times$  VochtbalansJunSep  
+ Landbouwstreek  $\times$  VochtbalansSepOkt  
+ Landbouwstreek  $\times$  TempAugOkt  
+ Landbouwstreek  $\times$  TempSepOkt

Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in het model:

- BPJS: 2004(200-250), 2005(200-250), 2006(200-250), 2007(170), 2008(170)
- Landbouwstreek: Kempen, Vlaamse-zandstreek, Zandleemstreek, Leemstreek, Polders

In Tabel 41 worden de resultaten van de variantieanalyse van dit model weergegeven.

Tabel 41 - Dataset MB-Gras: Resultaten MANCOVA-analyse.

Test of SS Whole Model vs. SS Residual											
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>N1<sub>t</sub></b>	0.40	0.16	0.16	1468	57	25.75	7528	10478	0.72	35.8	0.00
<b>N2<sub>t</sub></b>	0.37	0.14	0.13	1177	57	20.65	7413	10478	0.71	29.2	0.00
<b>N3<sub>t</sub></b>	0.37	0.13	0.13	1093	57	19.18	7067	10478	0.67	28.4	0.00
<b>NT<sub>t</sub></b>	0.40	0.16	0.16	1351	57	23.71	7063	10478	0.67	35.2	0.00

Multivariate Tests of Significance						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect – df	Error – df	p
<b>Intercept</b>	Wilks	0.585	1860.92	4	10475	0.00
<b>VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.999	2.23	4	10475	0.06
<b>VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.999	2.16	4	10475	0.07
<b>VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.999	2.54	4	10475	0.04
<b>NormNOrg</b>	Wilks	0.997	6.57	4	10475	0.00
<b>GebruikTotBedrijfPerHaCor</b>	Wilks	0.993	17.80	4	10475	0.00
<b>BPJS</b>	Wilks	0.992	5.19	16	32002	0.00
<b>Landbouwstreek</b>	Wilks	0.993	4.38	16	32002	0.00
<b>BPJS × Landbouwstreek</b>	Wilks	0.977	3.85	64	41010	0.00
<b>LbStreek × VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.992	5.17	16	32002	0.00
<b>LbStreek × Vochtbalans123</b>	Wilks	0.996	2.55	16	32002	0.00
<b>LbStreek × VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.990	6.92	16	32002	0.00
<b>LbStreek × VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.992	5.24	16	32002	0.00
<b>LbStreek × VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.994	4.22	16	32002	0.00
<b>LbStreek × TempAugOkt</b>	Wilks	0.990	6.35	16	32002	0.00
<b>LbStreek × TempSepOkt</b>	Wilks	0.991	5.71	16	32002	0.00

Univariate Results for Each DV																	
Sigma-restricted parameterization																	
Effective hypothesis decomposition																	
		N1 <sub>t</sub>				N2 <sub>t</sub>				N3 <sub>t</sub>				NT <sub>t</sub>			
	Degr. of freedom	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
Intercept	1	643.1	643.1	895.0	0.00	438.16	438.16	619.28	0.00	318.6	318.6	472.4	0.00	959.5	959.5	1423.5	0.00
VochtbalansAprSep	1	4.4	4.4	6.1	0.01	4.91	4.91	6.94	0.01	2.6	2.6	3.9	0.05	4.1	4.1	6.1	0.01
VochtbalansJunSep	1	5.0	5.0	6.9	0.01	3.71	3.71	5.25	0.02	1.1	1.1	1.6	0.20	3.6	3.6	5.4	0.02
VochtbalansSepOkt	1	5.5	5.5	7.7	0.01	2.16	2.16	3.05	0.08	1.9	1.9	2.8	0.10	3.4	3.4	5.1	0.02
NormNOrg	1	0.0	0.0	0.1	0.79	5.28	5.28	7.46	0.01	9.8	9.8	14.5	0.00	2.3	2.3	3.4	0.07
GebruikTotBedrijfPerHaCor	1	48.1	48.1	66.9	0.00	32.01	32.01	45.25	0.00	29.0	29.0	43.0	0.00	43.1	43.1	63.9	0.00
BPJS	4	46.2	11.6	16.1	0.00	23.10	5.78	8.16	0.00	18.5	4.6	6.9	0.00	33.3	8.3	12.3	0.00
LbStreek	4	22.5	5.6	7.8	0.00	12.73	3.18	4.50	0.00	11.8	3.0	4.4	0.00	15.3	3.8	5.7	0.00
BPJS × LbStreek	16	74.5	4.7	6.5	0.00	66.23	4.14	5.85	0.00	68.7	4.3	6.4	0.00	68.7	4.3	6.4	0.00
LbStreek × VochtbalansAprSep	4	17.7	4.4	6.2	0.00	21.17	5.29	7.48	0.00	25.7	6.4	9.5	0.00	21.7	5.4	8.0	0.00
LbStreek × Vochtbalans123	4	15.6	3.9	5.4	0.00	11.38	2.84	4.02	0.00	12.2	3.1	4.5	0.00	14.9	3.7	5.5	0.00
LbStreek × VochtbalansAugOkt	4	51.9	13.0	18.1	0.00	43.17	10.79	15.25	0.00	47.2	11.8	17.5	0.00	56.0	14.0	20.8	0.00
LbStreek × VochtbalansJunSep	4	20.5	5.1	7.1	0.00	27.06	6.76	9.56	0.00	31.4	7.8	11.6	0.00	27.9	7.0	10.3	0.00
LbStreek × VochtbalansSepOkt	4	28.9	7.2	10.1	0.00	16.16	4.04	5.71	0.00	10.3	2.6	3.8	0.00	21.1	5.3	7.8	0.00
LbStreek × TempAugOkt	4	25.1	6.3	8.7	0.00	41.75	10.44	14.75	0.00	43.6	10.9	16.1	0.00	34.2	8.6	12.7	0.00
LbStreek × TempSepOkt	4	27.7	6.9	9.6	0.00	42.26	10.56	14.93	0.00	41.7	10.4	15.5	0.00	37.6	9.4	13.9	0.00
Error	10478	7528.2	0.7			7413.47	0.71			7067.2	0.7			7062.6	0.7		
Total	10535	8995.8				8590.46				8160.5				8413.9			

#### 4.2.2 Gewasgroep Maïs

De belangrijkste significante verklarende variabelen voor het totale nitraatresidu bij de gewasgroep Maïs zijn (in volgorde van dalende  $R^2$ ) (zie Tabel 7):

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname ( $R^2 = 0.06$ ): 2008(170) en 2007(170) hadden het laagste gemiddelde nitraatresidu, gevolgd door 2006(200-250) = 2005(200-250) en 2004(200-250).
- De vochtbalans in de voorbije 3 groeiseizoenen ( $R^2 = 0.04$ ), in het najaar ( $R^2 = 0.03$ ), in het voorbije groeiseizoen ( $R^2 = 0.02$ ) en in de zomer ( $R^2 = 0.02$ ): had een negatief effect op het nitraatresidu, waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu bij een hogere vochtbalans (neerslagoverschot).
- De gemiddelde temperatuur van augustus tot oktober ( $R^2 = 0.04$ ) en in het najaar ( $R^2 = 0.03$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hogere temperaturen in het najaar geven aanleiding tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.
- De N-bemestingsnorm uit dierlijke ( $R^2 = 0.04$ ) en uit andere organische mest ( $R^2 = 0.04$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hoe hoger de toegelaten bemesting, hoe hoger het nitraatresidu.
- Derogatie ( $R^2 = 0.01$ ): dit effect werd enkel bepaald voor de metingen van 2007 en 2008 en was, in tegenstelling tot de gewasgroep Gras, wel significant en duidelijk; percelen zonder derogatie hadden gemiddeld een lager nitraatresidu dan percelen met derogatie. Zoals vermeld in 3.4.11 echter bestond dit effect niet meer als de analyse beperkt werd tot de percelen Maïs met nateelt gras.
- De bodemtextuur ( $R^2 = 0.01$ ): het effect van deze variabele was wel kleiner dan bij grasland; de Zandleembodems hadden een significant lager nitraatresidu dan alle andere texturen.
- Geschatte N-bemesting uit dierlijke mest ( $R^2 = 0.01$ ): alhoewel ook significant bij de gewasgroep Gras had deze variabele een duidelijker positief effect bij Maïs.

In tegenstelling tot de gewasgroep Gras was het effect van de Landbouwtreek weliswaar significant, maar eerder klein.

De aanwezigheid van een nateelt of groenbemester na maïs had geen enkel significant effect op het nitraatresidu bij maïs. In het rapport van de VLM “Evaluatie van de metingen van het nitraatresidu 2009” wordt hetzelfde vastgesteld en wordt deze vaststelling toegeschreven aan het feit dat maïs pas laat geoogst wordt, doorgaans in de periode vanaf half september tot half oktober. Dit betekent concreet dat een groenbemester ten vroegste vanaf de tweede helft van

september ingezaaid kan worden. Een groenbemester is het meest efficiënt wanneer hij tijdig ingezaaid wordt, bij voorkeur tijdens tweede helft van augustus, zodanig dat hij voldoende kan ontwikkelen om in de periode dat de klimaatsomstandigheden nog gunstig zijn (nl. september) stikstof op te nemen. Zelfs voor een tijdig ingezaaide, goed ontwikkelde groenbemester is de hoeveelheid stikstof die na 1 oktober nog opgenomen wordt heel beperkt. Laat ingezaaide groenbemesters zullen, als ze al voldoende tot ontwikkeling komen, derhalve weinig bijdragen tot een verlaging van het nitraatresidu.

Andere variabelen, zoals bodemdrainage, staalnamedag, oppervlakte perceel, oppervlakte bedrijf evenals de totale bemestingsnorm hebben weinig of geen significante invloed op het totale nitraatresidu bij Maïs.

In het MANCOVA-model met de hoogste  $R^2$  voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$  werden, naast de categorische variabelen BPJS, Bodemtextuur en Bedrijfstype, ook nog een aantal weervariabelen, de N-bemestingsnorm uit organische mest en het totaal N-gebruik op bedrijfsniveau, omgerekend per hectare opgenomen. Ook de interactie-effecten van de weervariabelen met de bodemtextuur bleken significant bij te dragen tot de  $R^2$  van het model.

**MANCOVA-model Maïs:  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$ ,  $NT_t$  =**

**BPJS**  
**+ Bodemtextuur**  
**+ Bedrijfstype**  
**+ BPJS × Bodemtextuur**  
**+ BPJS × Bedrijfstype**  
**+ Bodemtextuur × Bedrijfstype**  
**+ Vochtbalans3j**  
**+ VochtbalansAugOkt**  
**+ VochtbalansJunSep**  
**+ VochtbalansSepOkt**  
**+TempAugOkt**  
**+TempSepOkt**  
**+ NormNOrg (N-bemestingsnorm uit andere organische mest)**  
**+ GebruikTotBedrijfPerHa (totaal N-gebruik op bedrijfsniveau)**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAprSep**  
**+ Bodemtextuur × Vochtbalans3j**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAugOkt**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansJunSep**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansSepOkt**  
**+ Bodemtextuur × TempAugOkt**  
**+ Bodemtextuur × TempSepOkt**

Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in het model:

- BPJS: 2004(200-250), 2005(200-250), 2006(200-250), 2007(170), 2008(170)
- Bodemtextuur: Zand, Zandleem, Leem, Klei
- Bedrijfstype: Geen (dieren), Rundvee, Varkens

In Tabel 42 worden de resultaten van de variantieanalyse van dit model weergegeven.



Tabel 42 - Dataset MB-Maïs: Resultaten MANCOVA-analyse.

Test of SS Whole Model vs. SS Residual											
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	Df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>N1<sub>t</sub></b>	0.37	0.13	0.13	707	64	11.05	4552	10013	0.45	24.3	0.00
<b>N2<sub>t</sub></b>	0.27	0.07	0.07	447	64	6.98	5660	10013	0.57	12.4	0.00
<b>N3<sub>t</sub></b>	0.23	0.05	0.04	301	64	4.70	5616	10013	0.56	8.4	0.00
<b>NT<sub>t</sub></b>	0.30	0.09	0.08	454	64	7.09	4553	10013	0.45	15.6	0.00

Multivariate Tests of Significance						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	p
<b>Intercept</b>	Wilks	0.993	17.82	4	10010	0.00
<b>Vochtbalans3j</b>	Wilks	0.997	8.16	4	10010	0.00
<b>VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.999	2.91	4	10010	0.02
<b>VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.997	6.82	4	10010	0.00
<b>VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.999	3.66	4	10010	0.01
<b>TempAugOkt</b>	Wilks	0.998	3.82	4	10010	0.00
<b>TempSepOkt</b>	Wilks	0.999	3.40	4	10010	0.01
<b>NormNOrg</b>	Wilks	0.998	4.14	4	10010	0.00
<b>GebruikTotBedrijfPerHa</b>	Wilks	0.997	7.66	4	10010	0.00
<b>BPJS</b>	Wilks	0.997	2.17	16	30582	0.00
<b>Bodemtextuur</b>	Wilks	0.996	3.41	12	26484	0.00
<b>Bedrijftype</b>	Wilks	0.994	7.27	8	20020	0.00
<b>BPJS × Bodemtextuur</b>	Wilks	0.986	2.95	48	38562	0.00
<b>BPJS × Bedrijftype</b>	Wilks	0.991	2.95	32	36917	0.00
<b>Bodemtextuur × Bedrijftype</b>	Wilks	0.995	1.97	24	34922	0.00
<b>Bodemtextuur × VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.991	7.22	12	26484	0.00
<b>Bodemtextuur × Vochtbalans3j</b>	Wilks	0.996	3.08	12	26484	0.00
<b>Bodemtextuur × VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.996	3.19	12	26484	0.00
<b>Bodemtextuur × VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.996	3.08	12	26484	0.00
<b>Bodemtextuur × VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.998	2.09	12	26484	0.01
<b>Bodemtextuur × TempAugOkt</b>	Wilks	0.994	5.09	12	26484	0.00
<b>Bodemtextuur × TempSepOkt</b>	Wilks	0.997	2.35	12	26484	0.01

Univariate Results for Each DV Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition																	
		N1 <sub>t</sub>				N2 <sub>t</sub>				N3 <sub>t</sub>				NT <sub>t</sub>			
	Degr. of freedom	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
Intercept	1	0.0	0.0	0.0	0.91	0.0	0.0	0.0	0.97	0.1	0.1	0.2	0.69	0.4	0.4	0.8	0.37
Vochtbalans3j	1	13.5	13.5	29.7	0.00	7.2	7.2	12.7	0.00	3.7	3.7	6.6	0.01	9.4	9.4	20.6	0.00
VochtbalansAugOkt	1	2.4	2.4	5.2	0.02	1.6	1.6	2.8	0.09	2.5	2.5	4.5	0.03	2.7	2.7	5.8	0.02
VochtbalansJunSep	1	6.0	6.0	13.2	0.00	7.0	7.0	12.4	0.00	9.5	9.5	16.9	0.00	8.5	8.5	18.8	0.00
VochtbalansSepOkt	1	3.3	3.3	7.2	0.01	3.2	3.2	5.7	0.02	0.1	0.1	0.2	0.64	2.3	2.3	5.1	0.02
TempAugOkt	1	5.0	5.0	11.0	0.00	3.1	3.1	5.5	0.02	0.3	0.3	0.5	0.49	2.9	2.9	6.3	0.01
TempSepOkt	1	3.0	3.0	6.6	0.01	1.5	1.5	2.7	0.10	0.0	0.0	0.0	0.95	1.5	1.5	3.2	0.07
NormNOrg	1	3.1	3.1	6.7	0.01	1.3	1.3	2.3	0.13	2.9	2.9	5.2	0.02	3.0	3.0	6.6	0.01
GebruikTotBedrijfPerHa	1	9.0	9.0	19.9	0.00	5.9	5.9	10.5	0.00	8.8	8.8	15.7	0.00	9.1	9.1	19.9	0.00
BPJS	4	5.3	1.3	2.9	0.02	2.3	0.6	1.0	0.39	0.1	0.0	0.1	0.99	2.7	0.7	1.5	0.21
Bodemtextuur	3	7.8	2.6	5.7	0.00	9.4	3.1	5.5	0.00	2.9	1.0	1.7	0.16	6.8	2.3	5.0	0.00
Bedrijftype	2	15.9	8.0	17.5	0.00	10.7	5.3	9.5	0.00	10.5	5.3	9.4	0.00	12.0	6.0	13.2	0.00
BPJS × Bodemtextuur	12	13.3	1.1	2.4	0.00	18.7	1.6	2.8	0.00	14.9	1.2	2.2	0.01	11.9	1.0	2.2	0.01
BPJS × Bedrijftype	8	19.7	2.5	5.4	0.00	19.5	2.4	4.3	0.00	13.5	1.7	3.0	0.00	16.7	2.1	4.6	0.00
B.textuur × Bedrijftype	6	14.1	2.4	5.2	0.00	12.9	2.1	3.8	0.00	12.6	2.1	3.8	0.00	14.4	2.4	5.3	0.00
B.textuur × VochtbalansAprSep	3	12.1	4.0	8.8	0.00	9.9	3.3	5.8	0.00	2.0	0.7	1.2	0.32	6.4	2.1	4.7	0.00
B.textuur × Vochtbalans123	3	8.4	2.8	6.2	0.00	12.5	4.2	7.4	0.00	5.6	1.9	3.3	0.02	9.5	3.2	6.9	0.00
B.textuur × VochtbalansAugOkt	3	7.9	2.6	5.8	0.00	4.2	1.4	2.5	0.06	4.8	1.6	2.9	0.03	4.8	1.6	3.5	0.01
B.textuur × VochtbalansJunSep	3	1.1	0.4	0.8	0.51	3.0	1.0	1.8	0.15	2.7	0.9	1.6	0.18	1.0	0.3	0.7	0.54
B.textuur × VochtbalansSepOkt	3	1.0	0.3	0.7	0.54	2.8	0.9	1.7	0.17	0.3	0.1	0.2	0.89	1.3	0.4	0.9	0.43
B.textuur × TempAugOkt	3	4.1	1.4	3.0	0.03	10.4	3.5	6.1	0.00	6.4	2.1	3.8	0.01	4.7	1.6	3.5	0.02
B.textuur × TempSepOkt	3	0.9	0.3	0.7	0.57	4.5	1.5	2.7	0.05	5.4	1.8	3.2	0.02	2.3	0.8	1.7	0.17
Error	10013	4552.0	0.5			5660.8	0.6			5615.8	0.6			4553.4	0.5		
Total	10077	5258.9				6107.8				5916.8				5007.4			

### 4.2.3 Gewasgroep Granen

De belangrijkste significante verklarende variabelen voor het totale nitraatresidu bij de gewasgroep Granen zijn (in volgorde van dalende  $R^2$ ):

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname ( $R^2 = 0.08$ ): 2007(170) en 2008(170) hadden het laagste gemiddelde nitraatresidu, gevolgd door 2006(200-250) = 2005(200-250) en 2004(200-250).
- De vochtbalans in de voorbije 3 groeiseizoenen ( $R^2 = 0.07$ ), in het najaar ( $R^2 = 0.05$ ), in de zomer ( $R^2 = 0.05$ ) en in het voorbije groeiseizoen ( $R^2 = 0.03$ ): had een negatief effect op het nitraatresidu, waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu bij een hogere vochtbalans (neerslagoverschot).
- De gemiddelde temperatuur van augustus tot oktober ( $R^2 = 0.06$ ) en in het najaar ( $R^2 = 0.05$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hogere temperaturen in het najaar geven aanleiding tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.
- De N-bemestingsnorm uit dierlijke ( $R^2 = 0.05$ ) en uit andere organische mest ( $R^2 = 0.07$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hoe hoger de toegelaten bemesting, hoe hoger het nitraatresidu.
- De nateelt of groenbemester ( $R^2 = 0.03$ ): percelen met een groenbemester uit de groep "Andere gewassen" (meestal gele mosterd) hadden gemiddeld een lager nitraatresidu dan percelen met groenbemester Gras, die op hun beurt gemiddeld een lager nitraatresidu hadden dan percelen zonder groenbemester. Andere groenbemers of nateelten kwamen weinig of niet voor in de dataset (te weinig om statistisch te analyseren).
- De staalnamedag ( $R^2 = 0.04$ ): hoe later in het seizoen het staal genomen werd hoe lager het nitraatresidu; dit is het gevolg van de aanwezigheid van een groenbemester in vele graanpercelen: hoe later het staal genomen wordt hoe meer nitraat opgenomen wordt door de groenbemester en dus hoe lager het nitraatresidu.
- De landbouwstreek ( $R^2 = 0.02$ ): de Kempen, de Vlaamse-zandstreek en de Zandleemstreek hebben gemiddeld een lager nitraatresidu dan de Leemstreek en de Polders.
- De bodemtextuur ( $R^2 = 0.01$ ): het effect van deze variabele was wel kleiner dan bij Gras; de Zand- en de Zandleembodems hadden een significant lager nitraatresidu dan de Leembodems, die op hun beurt een lager nitraatresidu hadden dan de Kleibodems.

De effecten van de verschillende N-bemestingsindicatoren (N-productie en N-gebruik op bedrijfsniveau, evenals geschatte N-bemesting) was weliswaar significant, maar eerder klein. Ook het effect van het bedrijfstype was verwaarloosbaar.

Andere variabelen, zoals derogatie, bodemdrainage, ammoniumgehalte, oppervlakte perceel, oppervlakte bedrijf, evenals de totale bemestingsnorm hebben weinig of geen significante invloed op het totale nitraatresidu bij Granen.

In het MANCOVA-model met de hoogste  $R^2$  voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$  werden, naast BPJS en Bodemtextuur, ook nog de Nateeltgroep in rekening gebracht als categorische variabelen. Als continue variabelen werden een aantal weervariabelen, de N-bemestingsnorm uit organische mest, maar ook de staalnamedag opgenomen. Ook de interactie-effecten van de weervariabelen met de bodemtextuur en van de bodemtextuur met de staalnamedag bleken significant bij te dragen tot de  $R^2$  van het model.

**MANCOVA-model Granen:  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$ ,  $NT_t$  =**  
**BPJS**  
**+ Bodemtextuur**  
**+ Nateeltgroep**  
**+ BPJS × Bodemtextuur**  
**+ BPJS × Nateeltgroep**  
**+ VochtbalansAprSep**  
**+ VochtbalansAugOkt**  
**+ VochtbalansJunSep**  
**+ VochtbalansSepOkt**  
**+ TempAugOkt**  
**+ TempSepOkt**  
**+ NormNOrg (N-bemestingsnorm uit andere organische mest)**  
**+ SNDag (staalnamedag)**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAprSep**  
**+ Bodemtextuur × Vochtbalans3j**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAugOkt**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansJunSep**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansSepOkt**  
**+ Bodemtextuur × SNDag**

Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in het model:

- BPJS: 2004(200-250), 2005(200-250), 2006(200-250), 2007(170), 2008(170)
- Bodemtextuur: Zand, Zandleem, Leem, Klei
- Nateeltgroep: Geen, Gras, Andere (vnl. gele mosterd)

In Tabel 43 worden de resultaten van de variantie-analyse van dit model weergegeven.

Tabel 43 - Dataset MB-Granen: Resultaten MANCOVA-analyse.

Test of SS Whole Model vs. SS Residual											
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	Df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	P
<b>N1<sub>t</sub></b>	0.44	0.19	0.18	476	55	8.67	2041	4106	0.497	17.4	0.00
<b>N2<sub>t</sub></b>	0.32	0.10	0.09	196	55	3.55	1721	4106	0.419	8.5	0.00
<b>N3<sub>t</sub></b>	0.30	0.09	0.08	166	55	3.01	1734	4106	0.422	7.1	0.00
<b>NT<sub>t</sub></b>	0.37	0.14	0.12	251	55	4.56	1606	4106	0.391	11.7	0.00

Multivariate Tests of Significance						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	p
<b>Intercept</b>	Wilks	0.984	16.16	4	4103	0.00
<b>VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.996	4.42	4	4103	0.00
<b>VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.996	3.91	4	4103	0.00
<b>VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.997	3.56	4	4103	0.01
<b>VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.989	11.05	4	4103	0.00
<b>TempAugOkt</b>	Wilks	0.995	5.32	4	4103	0.00
<b>TempSepOkt</b>	Wilks	0.994	6.45	4	4103	0.00
<b>NormNOrg</b>	Wilks	0.997	3.31	4	4103	0.01
<b>SNDag</b>	Wilks	0.995	5.40	4	4103	0.00
<b>BPJS</b>	Wilks	0.983	4.36	16	12536	0.00
<b>Nateeltgroep1</b>	Wilks	0.987	6.68	8	8206	0.00
<b>Bodemtextuur</b>	Wilks	0.994	2.21	12	10856	0.01
<b>BPJS × Bodemtextuur</b>	Wilks	0.972	2.42	48	15807	0.00
<b>BPJS × Nateeltgroep1</b>	Wilks	0.982	2.34	32	15133	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.989	3.82	12	10856	0.00
<b>Textuur × Vochtbalans123</b>	Wilks	0.984	5.64	12	10856	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.991	3.09	12	10856	0.00
<b>Textuur × VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.993	2.29	12	10856	0.01
<b>Textuur × VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.993	2.58	12	10856	0.00
<b>Textuur × SNDag</b>	Wilks	0.994	1.91	12	10856	0.03

Univariate Results for Each DV Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition																	
		N1 <sub>t</sub>				N2 <sub>t</sub>				N3 <sub>t</sub>				NT <sub>t</sub>			
	Degr. of freedom	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
Intercept	1	4.3	4.3	9	0.00	0.0	0.0	0.0	0.94	0.2	0.2	0.4	0.51	2.1	2.1	5.3	0.02
VochtbalansAprSep	1	6.9	6.9	14	0.00	7.1	7.1	16.9	0.00	4.7	4.7	11.1	0.00	6.8	6.8	17.3	0.00
VochtbalansAugOkt	1	7.4	7.4	15	0.00	3.8	3.8	9.0	0.00	1.4	1.4	3.2	0.07	4.3	4.3	11.1	0.00
VochtbalansJunSep	1	6.1	6.1	12	0.00	5.2	5.2	12.5	0.00	3.4	3.4	8.1	0.00	5.5	5.5	14.1	0.00
VochtbalansSepOkt	1	0.0	0.0	0	0.77	4.0	4.0	9.7	0.00	4.7	4.7	11.2	0.00	0.8	0.8	2.0	0.16
TempAugOkt	1	0.0	0.0	0	0.86	0.0	0.0	0.0	0.94	2.2	2.2	5.2	0.02	0.0	0.0	0.1	0.82
TempSepOkt	1	0.1	0.1	0	0.73	0.9	0.9	2.1	0.15	5.1	5.1	12.0	0.00	0.4	0.4	1.0	0.31
NormNOrg	1	1.5	1.5	3	0.09	4.4	4.4	10.6	0.00	3.4	3.4	8.0	0.00	2.7	2.7	6.9	0.01
SNDag	1	8.4	8.4	17	0.00	5.7	5.7	13.7	0.00	1.1	1.1	2.6	0.11	5.5	5.5	14.0	0.00
BPJS	4	12.1	3.0	6	0.00	5.9	1.5	3.5	0.01	3.3	0.8	1.9	0.10	5.7	1.4	3.6	0.01
Nateeltgroep	2	15.6	7.8	16	0.00	8.4	4.2	10.0	0.00	2.6	1.3	3.1	0.05	9.1	4.5	11.6	0.00
Bodemtextuur	3	6.7	2.2	4	0.00	4.0	1.3	3.2	0.02	1.9	0.6	1.5	0.22	4.0	1.3	3.4	0.02
BPJS × Bodemtextuur	12	21.5	1.8	4	0.00	13.8	1.1	2.7	0.00	16.9	1.4	3.3	0.00	15.9	1.3	3.4	0.00
BPJS × Nateeltgroep	8	20.0	2.5	5	0.00	13.4	1.7	4.0	0.00	10.2	1.3	3.0	0.00	14.3	1.8	4.6	0.00
B.textuur × VochtbalansAprSep	3	2.9	1.0	2	0.12	2.4	0.8	1.9	0.12	8.2	2.7	6.5	0.00	2.8	0.9	2.4	0.07
B.textuur × Vochtbalans123	3	7.3	2.4	5	0.00	13.4	4.5	10.6	0.00	15.6	5.2	12.3	0.00	9.6	3.2	8.2	0.00
B.textuur × VochtbalansAugOkt	3	10.9	3.6	7	0.00	7.1	2.4	5.6	0.00	9.5	3.2	7.5	0.00	9.6	3.2	8.2	0.00
B.textuur × VochtbalansJunSep	3	5.7	1.9	4	0.01	2.7	0.9	2.2	0.09	5.1	1.7	4.0	0.01	4.2	1.4	3.6	0.01
B.textuur × VochtbalansSepOkt	3	0.5	0.2	0	0.80	1.3	0.4	1.0	0.39	4.1	1.4	3.2	0.02	0.5	0.2	0.4	0.74
B.textuur × SNDag	3	5.9	2.0	4	0.01	4.6	1.5	3.7	0.01	2.5	0.8	2.0	0.11	4.4	1.5	3.7	0.01
Error	4106	2040.7	0.5			1720.9	0.4			1734.0	0.4			1605.9	0.4		
Total	4161	2517.3				1916.4				1899.7				1856.9			

#### 4.2.4 Gewasgroep Suikerbieten

De belangrijkste significante verklarende parameters voor het totale nitraatresidu bij de gewasgroep Suikerbieten zijn (in volgorde van dalende  $R^2$ ):

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname ( $R^2 = 0.06$ ): 2008(170), 2007(170) en 2004(200-250) hadden een gemiddeld een significant kleiner nitraatresidu dan 2006(200-250) en 2005(200-250). In tegenstelling tot de andere gewasgroepen was 2004(200-250) bij suikerbieten dus een jaar met een significant lager nitraatresidu. Een verklaring hiervoor vinden is moeilijk aangezien 2004 geen jaar was met echte uitschieters op gebied van het weer. Ook het aantal staalnamen voor suikerbieten in 2004 week niet opvallend af van de andere jaren.
- De bodemtextuur ( $R^2 = 0.04$ ): het effect van deze parameter was vergelijkbaar met dat bij Gras; de Zand- en de Zandleembodems hadden een significant lager nitraatresidu dan de Klei- en de Leembodems.
- De gemiddelde temperatuur van in het najaar ( $R^2 = 0.05$ ) en van augustus tot oktober ( $R^2=0.04$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hogere temperaturen in het najaar geven aanleiding tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.
- De landbouwstreek ( $R^2 = 0.03$ ): de significante verschillen tussen de gemiddelde nitraatresidu's situeren zich als volgt: Vlaamse-zandstreek  $\leq$  Kempen = Zandleemstreek  $\leq$  Polders  $\leq$  Leemstreek; dwz de Vlaamse-zandstreek heeft een significant lager nitraatresidu dan de Polders en de Leemstreek; de Kempen en de Zandleemstreek hebben een significant lager nitraatresidu dan de Leemstreek.
- De N-bemestingsnorm uit kunstmest ( $R^2 = 0.03$ ), uit andere organische mest ( $R^2 = 0.03$ ) en de totale N-bemestingsnorm ( $R^2 = 0.02$ ): hadden een positief effect op het nitraatresidu: hoe hoger de toegelaten bemesting, hoe hoger het nitraatresidu.
- De bodemdrainage ( $R^2 = 0.02$ ): droge percelen hadden gemiddeld een significant hoger nitraatresidu dan matig natte percelen.

In tegenstelling tot de andere gewasgroepen waren de effecten van de verschillende vochtbalansen verwaarloosbaar tot zelfs niet significant. Het is bekend dat suikerbieten veel minder droogte-gevoelig zijn dan andere gewassen en dat dus de stikstofopname door het gewas hierdoor slechts weinig beïnvloed wordt. Ook de effecten van de verschillende N-bemestingsindicatoren (N-productie en N-gebruik op bedrijfsniveau, evenals geschatte N-bemesting) en van het bedrijfstype waren niet significant, evenals de effecten van derogatie, groenbemester, oppervlakte perceel, oppervlakte bedrijf en staalnamedag.

In het MANCOVA-model met de hoogste  $R^2$  voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$  werden BPJS en Bodemtextuur in rekening gebracht als categorische variabelen. Als continue variabelen werden een aantal weervariabelen en de staalnamedag opgenomen. Ook de interactie-effecten van de weervariabelen met de bodemtextuur en van de bodemtextuur met de staalnamedag bleken significant bij te dragen tot de  $R^2$  van het model.

**MANCOVA-model Suikerbieten:**  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$ ,  $NT_t$  =

**BPJS**  
+ **Bodemtextuur**  
+ **BPJS × Bodemtextuur**  
+ **Vochtbalans3j**  
+ **VochtbalansAugOkt**  
+ **VochtbalansSepOkt**  
+ **TempAugOkt**  
+ **TempSepOkt**  
+ **SNDag (staalnamedag)**  
+ **Bodemtextuur × VochtbalansAprSep**  
+ **Bodemtextuur × Vochtbalans3j**  
+ **Bodemtextuur × VochtbalansAugOkt**  
+ **Bodemtextuur × VochtbalansJunSep**  
+ **Bodemtextuur × VochtbalansSepOkt**  
+ **Bodemtextuur × TempSepOkt**  
+ **Bodemtextuur × SNDag**

Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in het model:

- BPJS: 2004(200-250), 2005(200-250), 2006(200-250), 2007(170), 2008(170)
- Bodemtextuur: Zand, Zandleem, Leem, Klei

In Tabel 44 worden de resultaten van de variantieanalyse van dit model weergegeven.



Tabel 44 - Dataset MB-Suikerbieten: Resultaten MANCOVA-analyse.

Test of SS Whole Model vs. SS Residual											
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>N1<sub>t</sub></b>	0.44	0.20	0.18	211	46	4.58	869	2475	0.351	13.0	0.00
<b>N2<sub>t</sub></b>	0.37	0.14	0.12	170	46	3.70	1073	2475	0.434	8.5	0.00
<b>N3<sub>t</sub></b>	0.38	0.14	0.13	220	46	4.78	1299	2475	0.525	9.1	0.00
<b>NT<sub>t</sub></b>	0.41	0.16	0.15	185	46	4.03	940	2475	0.380	10.6	0.00

Multivariate Tests of Significance						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	p
<b>Intercept</b>	Wilks	0.989	6.68	4	2472	0.00
<b>SNDag</b>	Wilks	0.993	4.55	4	2472	0.00
<b>Vochtbalans3j</b>	Wilks	0.996	2.65	4	2472	0.03
<b>VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.987	8.34	4	2472	0.00
<b>VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.988	7.58	4	2472	0.00
<b>VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.998	1.34	4	2472	0.25
<b>TempAugOkt</b>	Wilks	0.997	2.04	4	2472	0.09
<b>TempSepOkt</b>	Wilks	0.969	4.85	16	7553	0.00
<b>BPJS</b>	Wilks	0.981	3.95	12	6541	0.00
<b>Bodemtextuur</b>	Wilks	0.941	3.13	48	9524	0.00
<b>BPJS × Bodemtextuur</b>	Wilks	0.972	5.84	12	6541	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.979	4.44	12	6541	0.00
<b>Textuur × Vochtbalans123</b>	Wilks	0.980	4.21	12	6541	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.981	4.06	12	6541	0.00
<b>Textuur × VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.987	2.62	12	6541	0.00
<b>Textuur × VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.977	4.84	12	6541	0.00
<b>Textuur × TempSepOkt</b>	Wilks	0.988	2.45	12	6541	0.00
<b>Bodemtextuur × SNDag</b>	Wilks	0.989	6.68	4	2472	0.00

Univariate Results for Each DV																	
Sigma-restricted parameterization																	
Effective hypothesis decomposition																	
		N1 <sub>t</sub>				N2 <sub>t</sub>				N3 <sub>t</sub>				NT <sub>t</sub>			
	Degr. of freedom	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
Intercept	1	0.8	0.8	2.4	0.12	0.1	0.1	0.2	0.63	0.3	0.3	0.6	0.43	0.3	0.3	0.9	0.34
SNDag	1	4.5	4.5	12.7	0.00	2.1	2.1	4.9	0.03	0.4	0.4	0.7	0.41	2.1	2.1	5.6	0.02
Vochtbalans123	1	3.7	3.7	10.5	0.00	2.6	2.6	6.1	0.01	2.1	2.1	3.9	0.05	3.2	3.2	8.3	0.00
VochtbalansAugOkt	1	4.5	4.5	12.8	0.00	0.1	0.1	0.3	0.57	0.9	0.9	1.8	0.18	1.9	1.9	4.9	0.03
VochtbalansJunSep	1	9.4	9.4	26.7	0.00	11.0	11.0	25.3	0.00	9.5	9.5	18.1	0.00	11.2	11.2	29.4	0.00
VochtbalansSepOkt	1	0.8	0.8	2.2	0.13	0.9	0.9	2.1	0.15	2.1	2.1	4.1	0.04	1.3	1.3	3.4	0.07
TempAugOkt	1	2.7	2.7	7.6	0.01	1.3	1.3	3.0	0.08	0.8	0.8	1.5	0.22	1.7	1.7	4.5	0.03
TempSepOkt	4	9.7	2.4	6.9	0.00	6.2	1.5	3.6	0.01	13.4	3.3	6.4	0.00	6.9	1.7	4.5	0.00
BPJS	3	6.2	2.1	5.9	0.00	3.2	1.1	2.5	0.06	2.7	0.9	1.7	0.16	3.9	1.3	3.4	0.02
Bodemtextuur	12	23.2	1.9	5.5	0.00	18.5	1.5	3.6	0.00	13.0	1.1	2.1	0.02	17.3	1.4	3.8	0.00
BPJS × Bodemtextuur	3	2.4	0.8	2.2	0.08	4.3	1.4	3.3	0.02	16.9	5.6	10.7	0.00	4.1	1.4	3.6	0.01
B.textuur × VochtbalansAprSep	3	12.3	4.1	11.7	0.00	17.8	5.9	13.7	0.00	17.3	5.8	11.0	0.00	16.2	5.4	14.2	0.00
B.textuur × Vochtbalans123	3	5.5	1.8	5.3	0.00	5.8	1.9	4.5	0.00	11.0	3.7	7.0	0.00	5.6	1.9	4.9	0.00
B.textuur × VochtbalansAugOkt	3	5.2	1.7	4.9	0.00	4.4	1.5	3.4	0.02	11.6	3.9	7.4	0.00	5.6	1.9	4.9	0.00
B.textuur × VochtbalansJunSep	3	3.1	1.0	3.0	0.03	7.1	2.4	5.5	0.00	3.5	1.2	2.2	0.08	4.9	1.6	4.3	0.01
B.textuur × VochtbalansSepOkt	3	10.0	3.3	9.5	0.00	4.5	1.5	3.5	0.02	2.7	0.9	1.7	0.17	5.4	1.8	4.8	0.00
B.textuur × TempSepOkt	3	2.5	0.8	2.3	0.07	2.3	0.8	1.8	0.15	2.1	0.7	1.4	0.25	1.9	0.6	1.7	0.17
B.textuur × SNDag	2475	869.1	0.4			1073.2	0.4			1298.5	0.5			940.4	0.4		
Error	2521	1079.6				1243.4				1518.5				1125.6			
Total	1	0.8	0.8	2.4	0.12	0.1	0.1	0.2	0.63	0.3	0.3	0.6	0.43	0.3	0.3	0.9	0.34

#### 4.2.5 Gewasgroep Aardappelen

De dataset voor Aardappelen is beperkt t.o.v. de andere gewasgroepen. Nitraatresidumetingen zijn pas beschikbaar vanaf 2006. Door de kleinere dataset zijn de  $R^2$ -waarden over het algemeen groter dan bij andere gewasgroepen.

De belangrijkste significante verklarende parameters voor het totale nitraatresidu bij de gewasgroep Aardappelen zijn (in volgorde van dalende  $R^2$ ):

- De bemestingspraktijk in het jaar van staalname ( $R^2 = 0.13$ ): 2007(170) had gemiddeld een significant kleiner nitraatresidu dan 2008(170), dat op zijn beurt een significant lager nitraatresidu had dan 2006(200-250).
- De gemiddelde temperatuur van augustus tot oktober ( $R^2 = 0.11$ ) en van september tot oktober ( $R^2 = 0.10$ ): had een positief effect op het nitraatresidu: hogere temperaturen in het najaar geven aanleiding tot een verhoogde najaarsmineralisatie met hogere nitraatresidu's als gevolg.
- De bemestingsnorm uit andere organische mest ( $R^2 = 0.10$ ), uit dierlijke mest ( $R^2 = 0.09$ ) en uit kunstmest ( $R^2 = 0.09$ ): hadden een positief effect op het nitraatresidu: hoe hoger de toegelaten bemesting (= norm), hoe hoger het nitraatresidu.
- De vochtbalans van juni tot september ( $R^2 = 0.12$ ), van september tot oktober ( $R^2 = 0.04$ ), in de voorbije 3 groeiseizoenen ( $R^2 = 0.04$ ), in het voorbije groeiseizoen ( $R^2 = 0.07$ ) en van augustus tot oktober ( $R^2 = 0.02$ ): had een negatief effect op het nitraatresidu, waarschijnlijk omwille van een betere gewasgroei en daardoor een hogere nitraatopname door het gewas en dus een lager nitraatresidu bij een hogere vochtbalans (neerslagoverschot).
- De groenbemester ( $R^2 = 0.07$ ): percelen met een groenbemester (gras of andere) na aardappelen hadden een significant lager nitraatresidu dan percelen zonder groenbemester. Let wel, percelen met een groenbemester betreffen waarschijnlijk vooral vroege aardappelen.
- De landbouwstreek ( $R^2 = 0.02$ ): de significante verschillen tussen de gemiddelde nitraatresidu's situeren zich als volgt: Kempen  $\leq$  Vlaamse-zandstreek = Zandleemstreek = Polders  $\leq$  Leemstreek; dwz de Kempen heeft een significant lager nitraatresidu dan de Leemstreek; voor de rest zijn de landbouwstreken onderling niet significant verschillend.
- De oppervlakte van het perceel ( $R^2 = 0.03$ ): had bij aardappelen een positief effect op het nitraatresidu: hoe groter de percelen hoe groter het nitraatresidu.

De invloed van de parameters Bodemtextuur, Bodemdrainage, Bedrijftype, Staalnamedag, Oppervlakte bedrijf, N-productie en N-gebruik op het bedrijf en geschatte N-bemesting hadden slechts een verwaarloosbare of zelfs geen significante invloed.

In het MANCOVA-model met de hoogste  $R^2$  voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$  werden BPJS en Bodemtextuur in rekening gebracht als categorische variabelen. Als continue variabelen werden een aantal weervariabelen en de staalnamedag opgenomen. Ook de interactie-effecten van de weervariabelen met de bodemtextuur en van de bodemtextuur met de staalnamedag bleken significant bij te dragen tot de  $R^2$  van het model.

**MANCOVA-model Aardappelen:  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$ ,  $NT_t$  =**  
**BPJS**  
**+ BPJS × Bodemtextuur**  
**+ TempAugOkt**  
**+ TempSepOkt**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAprSep**  
**+ Bodemtextuur × Vochtbalans3j**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansAugOkt**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansJunSep**  
**+ Bodemtextuur × VochtbalansSepOkt**  
**+Bodemtextuur × TempAugOkt**  
**+Bodemtextuur × SNDag**

Voor de categorische variabelen werden de volgende niveau's opgenomen in het model:

- BPJS: 2006(200-250), 2007(170), 2008(170)
- Bodemtextuur: Zand, Zandleem, Leem, Klei

In Tabel 45 worden de resultaten van de variantie-analyse van dit model weergegeven.

**Tabel 45 - Dataset MB-Aardappelen: Resultaten MANCOVA-analyse.**

Test of SS Whole Model vs. SS Residual											
	Multiple R	Multiple R <sup>2</sup>	Adjusted R <sup>2</sup>	SS Model	df Model	MS Model	SS Residual	df Residual	MS Residual	F	p
<b>N1<sub>t</sub></b>	0.47	0.22	0.20	163	31	5.25	562	1174	0.479	11.0	0.00
<b>N2<sub>t</sub></b>	0.41	0.17	0.15	100	31	3.24	494	1174	0.421	7.7	0.00
<b>N3<sub>t</sub></b>	0.37	0.14	0.11	68	31	2.19	431	1174	0.367	6.0	0.00
<b>NT<sub>t</sub></b>	0.43	0.19	0.17	94	31	3.04	407	1174	0.347	8.8	0.00

Multivariate Tests of Significance						
Sigma-restricted parameterization						
Effective hypothesis decomposition						
	Test	Value	F	Effect - df	Error - df	p
<b>Intercept</b>	Wilks	0.980	5.91	4	1171	0.00
<b>TempAugOkt</b>	Wilks	0.986	4.11	4	1171	0.00
<b>TempSepOkt</b>	Wilks	0.990	3.02	4	1171	0.02
<b>BPJS</b>	Wilks	0.972	4.22	8	2342	0.00
<b>BPJS × Bodemtextuur</b>	Wilks	0.949	2.58	24	4086	0.00
<b>Textuur × SNDag</b>	Wilks	0.956	4.42	12	3098	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAprSep</b>	Wilks	0.987	1.29	12	3098	0.22
<b>Textuur × Vochtbalans123</b>	Wilks	0.973	2.72	12	3098	0.00
<b>Textuur × VochtbalansAugOkt</b>	Wilks	0.968	3.18	12	3098	0.00
<b>Textuur × VochtbalansJunSep</b>	Wilks	0.978	2.20	12	3098	0.01
<b>Textuur × VochtbalansSepOkt</b>	Wilks	0.970	2.95	12	3098	0.00
<b>Textuur × TempAugOkt</b>	Wilks	0.960	4.03	12	3098	0.00

Univariate Results for Each DV																	
Sigma-restricted parameterization																	
Effective hypothesis decomposition																	
		N1 <sub>t</sub>				N2 <sub>t</sub>				N3 <sub>t</sub>				NT <sub>t</sub>			
	Degr. of freedom	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p	SS	MS	F	p
Intercept	1	0.2	0.2	0.4	0.54	0.7	0.7	1.7	0.19	0.0	0.0	0.1	0.72	0.2	0.2	0.7	0.41
TempAugOkt	1	0.8	0.8	1.6	0.21	1.2	1.2	2.9	0.09	1.3	1.3	3.6	0.06	0.2	0.2	0.6	0.42
TempSepOkt	1	0.0	0.0	0.0	0.91	1.5	1.5	3.4	0.06	2.9	2.9	7.9	0.00	0.9	0.9	2.5	0.12
BPJS	2	9.0	4.5	9.4	0.00	11.1	5.5	13.1	0.00	6.3	3.2	8.6	0.00	8.9	4.5	12.8	0.00
BPJS × Bodemtextuur	6	13.7	2.3	4.8	0.00	13.4	2.2	5.3	0.00	8.5	1.4	3.9	0.00	11.1	1.8	5.3	0.00
B.textuur × SNDag	3	5.0	1.7	3.5	0.02	1.0	0.3	0.8	0.50	5.3	1.8	4.9	0.00	0.3	0.1	0.3	0.82
B.textuur × VochtbalansAprSep	3	3.1	1.0	2.2	0.09	2.2	0.7	1.7	0.16	1.2	0.4	1.1	0.34	1.7	0.6	1.6	0.18
B.textuur × Vochtbalans123	3	5.4	1.8	3.7	0.01	1.5	0.5	1.2	0.30	3.8	1.3	3.5	0.02	3.0	1.0	2.8	0.04
B.textuur × VochtbalansAugOkt	3	11.2	3.7	7.8	0.00	6.4	2.1	5.1	0.00	2.1	0.7	1.9	0.13	6.0	2.0	5.8	0.00
B.textuur × VochtbalansJunSep	3	6.1	2.0	4.2	0.01	5.5	1.8	4.4	0.00	1.2	0.4	1.1	0.36	3.5	1.2	3.3	0.02
B.textuur × VochtbalansSepOkt	3	2.1	0.7	1.4	0.23	2.9	1.0	2.3	0.08	7.4	2.5	6.8	0.00	2.9	1.0	2.8	0.04
B.textuur × TempAugOkt	3	2.6	0.9	1.8	0.15	1.9	0.6	1.5	0.20	6.8	2.3	6.1	0.00	0.8	0.3	0.8	0.50
Error	1174	562.3	0.5			493.9	0.4			430.8	0.4			407.1	0.3		
Total	1205	725.2				594.3				498.6				501.4			

#### 4.2.6 Globaal MANCOVA-model voor de totale dataset MB

Om de voorspellende kracht van de combinatie van alle geselecteerde modellen (per gewasgroep) te evalueren werden de berekende (log-getransformeerde) nitraatresidu's van elke gewasgroep samengevoegd in één dataset, samen met de originele log-getransformeerde nitraatresidu's. Hierop werd een globale  $R^2$  berekend voor  $N1_t$ ,  $N2_t$ ,  $N3_t$  en  $NT_t$ , volgens de formule:

$$R^2_{\text{glob}} = 1 - \frac{\sum(N_t - N_{t\text{Pred}})^2}{\sum(N_t - N_{t\text{Gem}})^2}$$

waarbij

$N_t$ : getransformeerd nitraatresidu:  $\log(N+1)$

$N_{t\text{Pred}}$ : voorspelde waarde van het getransformeerd nitraatresidu

$N_{t\text{Gem}}$ : gemiddelde waarde van het getransformeerd nitraatresidu

Daarnaast is het ook interessant om de standard error van het globale model (bestaande uit submodellen per gewas) over de gehele dataset te kennen, d.w.z. de standaardafwijking van de verschillen tussen de voorspelde nitraatresidu's en de gemeten waarden:

$$\text{Stdev}_{\text{Glob}} = \text{StDev}(N_t - N_{t\text{Pred}})$$

De globale  $R^2$ -waarden en standaardafwijkingen worden weergegeven in Tabel 46.

**Tabel 46 - Dataset MB: globale  $R^2$ -waarden en standaardafwijkingen voor de log-getransformeerde nitraatresidu's van het globale MANCOVA-model.**

	$R^2$	StDev
N1	0.23	0.74
N2	0.25	0.76
N3	0.24	0.75
NT	0.25	0.71

Globaal werd dus ongeveer 1/4 van de totale variatie van de log-getransformeerde nitraatresidu's in de dataset MB verklaard door de gecombineerde voorspellende MANCOVA-modellen per gewasgroep.

Om het werkelijke nitraatresidu te voorspellen moeten de berekende log-getransformeerde nitraatresidu's nog teruggetransformeerd worden naar de originele eenheden volgens de formule (zie ook 3.1):

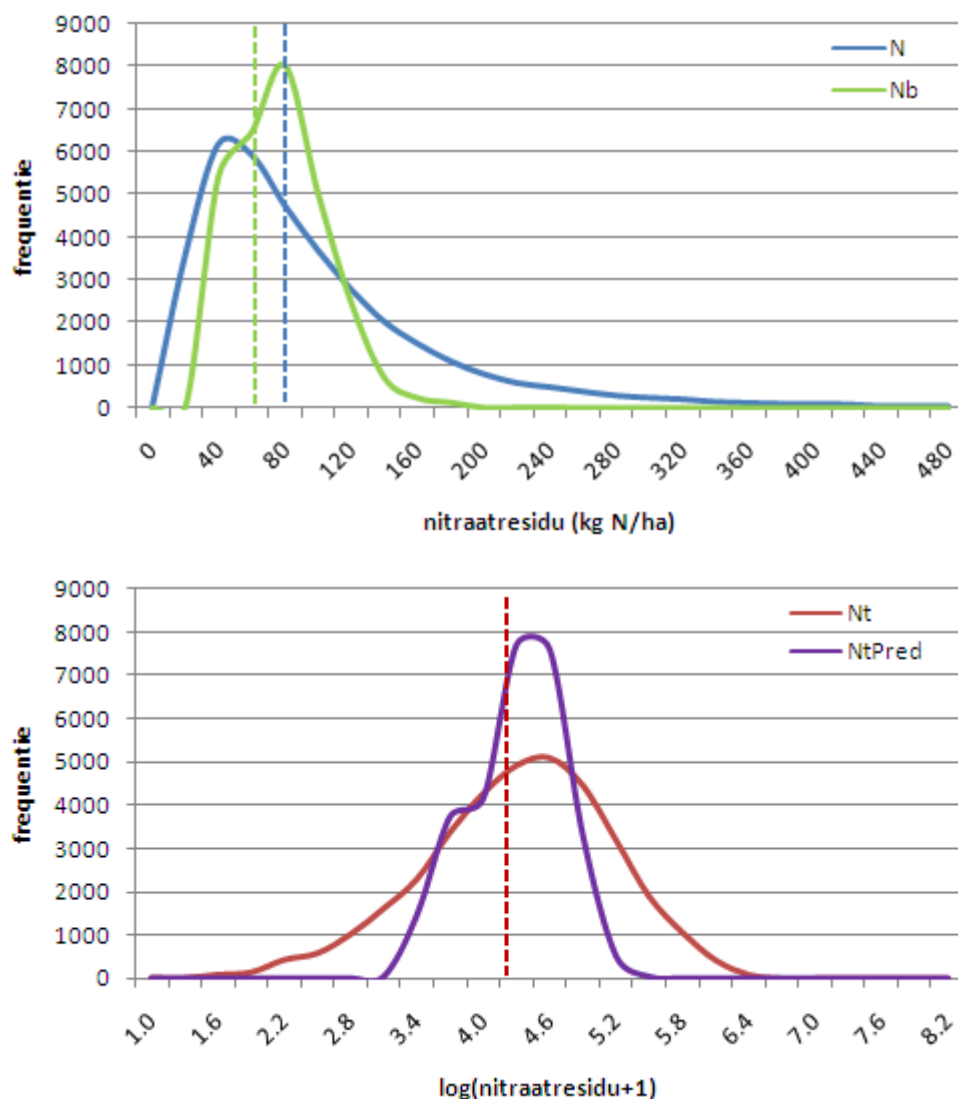
$$N_b = \exp(N_{t\text{Pred}}) - 1$$

waarbij  $N_b$  = teruggetransformeerd nitraatresidu.

Zoals uitgelegd in 3.1 komt het gemiddelde van de teruggetransformeerde gegevens niet overeen met het gemiddelde van de gemeten waarden, maar eerder met de mediaan. Het gemiddelde van de teruggetransformeerde gegevens is dus lager dan het oorspronkelijk gemiddelde.

In Figuur 63 wordt dit geïllustreerd aan de hand van de frequentieverdeling van de originele, getransformeerde en voorspelde nitraatresidugegevens van de dataset MB:

- Blauwe curve: frequentieverdeling van de originele nitraatresidumetingen: dit is een niet-normale verdeling en de gemiddelde waarde van het nitraatresidu ligt rechts van de piek van de curve.
- Rode curve: frequentieverdeling van de log-getransformeerde nitraatresidumetingen: dit kan beschouwd worden als een normale verdeling met een gemiddelde waarde van het nitraatresidu ongeveer in het midden van de curve.
- Paarse curve: frequentieverdeling van de voorspelde waarden voor de log-getransformeerde nitraatresidumetingen, na toepassing van het gecombineerde voorspellend MANCOVA-model: dit is een combinatie van verschillende modellen met elk op zich een normale verdeling; de gemiddelde waarde komt ongeveer overeen met deze van de originele log-getransformeerde nitraatresidu's (maar met een kleinere range doordat het statistisch model slechts een deel van de variantie verklaart, zie hoger).
- Groene curve: frequentieverdeling van de teruggetransformeerde voorspelde waarden: dit is opnieuw een combinatie van verschillende normale verdelingen, waarbij de gemiddelde waarde ongeveer in het midden van de curve ligt en duidelijk lager is dan de gemiddelde waarde van de originele nitraatresidumetingen, maar eerder overeenkomt met de mediaan van de originele nitraatresidumetingen.



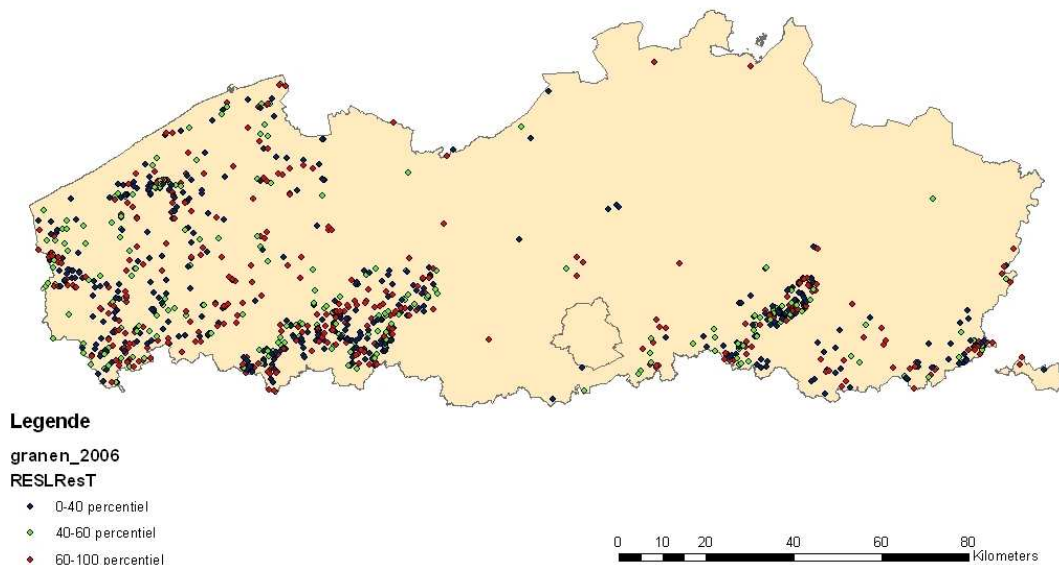
Figuur 63 - Frequentieverdelingen van de niet-getransformeerde en getransformeerde nitraatresidu's en gemiddelden voor de dataset MB ( $N$  = gemeten nitraatresidu;  $N_t$  = log-getransformeerd gemeten nitraatresidu;  $N_{tPred}$  = voorspeld log-getransformeerd nitraatresidu;  $N_b$  = teruggetransformeerd voorspeld nitraatresidu).

#### 4.3 Semivariogramanalyse en kartografische voorstelling

Via de ontwikkelde (M)ANCOVA-modellen kunnen het totale nitraatresidu (0-90 cm) en de nitraatresidu's in de lagen 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm voor nagenoeg alle landbouwpercelen in Vlaanderen worden geschat. Om de betrouwbaarheid van de modelvoorspellingen te bepalen, werden vooreerst de verschillen tussen de geobserveerde nitraatresidu's en de voorspelde nitraatresidu's bepaald. Deze afwijkingen werden kartografisch voorgesteld, teneinde visueel te kunnen verifiëren of er regio's zijn in Vlaanderen waar de modellen het werkelijke nitraatresidu systematisch over- of onderschatten. Een voorbeeld van een dergelijke kaart wordt gegeven in Figuur 64. Deze kaarten geven aan dat over- en onderschattingen eerder toevallig verdeeld zijn over het grondgebied Vlaanderen met in elke regio ongeveer evenveel onder- als overschatting.



Het gemiddelde voorspelde nitraatresidu voor een bepaalde regio is bijgevolg een goede benadering van het gemiddelde werkelijke nitraatresidu voor diezelfde regio.



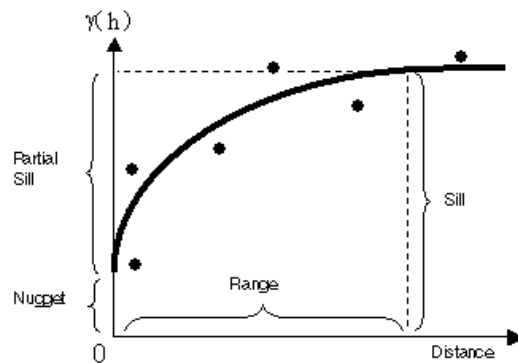
**Figuur 64 - Dataset MB-BDB: Kartografische voorstelling van de afwijkingen tussen de gemeten en voorspelde nitraatresidu's voor het MANCOVA-model voor Granen in 2006.**

In een volgende fase werd nagegaan of ook op de schaal van een afstroomgebied oppervlaktewater (het kleinste van de 50 geselecteerde afstroomgebieden beslaat 21 ha; het grootste 491 ha) de afwijking tussen gemeten en gemodelleerd nitraatresidu ruimtelijk onafhankelijk is. Dit gebeurde door de ruimtelijke autocorrelatie van de afwijkingen (die een maat zijn voor de modelfout) te onderzoeken door middel van een semivariogram-analyse. Idealiter zijn de modelfouten ruimtelijk onafhankelijk of, anders geformuleerd, is de modelfout locatie-onafhankelijk. Indien dit echter niet zo is, d.w.z. indien de locatie in het afstroomgebied mede bepaalt of het gemodelleerde nitraatresidu een onder- of overschatting is, ontbreekt in het model een ruimtelijk afhankelijke term en dient het model gecorrigeerd te worden. In dat geval zal de resulterende procesfactor voor het afstroomgebied waarbinnen de ruimtelijke afhankelijkheid bestaat, gecorrigeerd moeten worden.

Ruimtelijke afhankelijkheid of ruimtelijke autocorrelatie treedt op wanneer punten die dicht bij elkaar gelegen zijn meer gelijkenis vertonen in de beschouwde eigenschap dan punten die verder uiteen liggen. Het semivariogram geeft de mate van ruimtelijke autocorrelatie weer, a.d.h.v. een grafiek van de semivariantie als functie van de afstand. De semivariantie wordt als volgt gedefinieerd:

$$\gamma(h) = \frac{\sum (z_i - z_{i+h})^2}{2N_h}$$

De semivariantie is dus de helft van de variantie van de verschillen in z-waarde tussen alle mogelijke punten die zich op een afstandsklasse  $h$  van elkaar bevinden.



**Figuur 65 - Schematische voorstelling van een semivariogram.**

Het plotten van de gemiddelde semivariantie voor elke afstandsklasse  $h$  (ook wel 'lag-klasse' genaamd), resulteert in het experimenteel semivariogram, waarvoor een passend wiskundig model dient te worden gefit. Typische modellen zijn het sferische, het exponentiële en het gaussiaanse model. Uit het gefitte model kunnen enkele typische semivariogram-parameters worden afgeleid, die elk een specifieke betekenis hebben:

- 'Range': de afstand waarbij het model uitvlakt wordt aangeduid als de 'range' of de invloedzone. Twee punten die op een afstand liggen die kleiner is dan de 'range' zijn ruimtelijk autogecorreleerd. Omgekeerd zijn twee punten met een onderlinge afstand groter dan de 'range'-afstand ruimtelijk onafhankelijk.
- 'Sill': de semivariantiewaarde (afgelezen op de Y-as) volgens het semivariogram-model bij een lag gelijk de range-afstand. De 'sill' komt overeen met de totale variantie van de dataset.
- 'Nugget': Vanuit theoretisch oogpunt zou voor 2 punten met een onderlinge afstand van 0 de semivariantie eveneens 0 moeten zijn. Voor een infinitesimaal kleine afstand echter vertoont het semivariogram vaak het zogenaamde 'nugget effect', d.w.z. de semivariantie is groter dan 0. De 'nugget'-waarde is dan ook de semivariantiewaarde waarbij het semivariogram-model de Y-as snijdt. Het 'nugget'-effect geeft de 'randomness' of 'noise' weer en is toe te schrijven aan (i) meetfouten, (ii) ruimtelijke bronnen van variatie op afstanden kleiner dan het meetinterval, of (iii) beiden.
- 'Partial sill' = 'sill' verminderd met 'nugget'; de 'partial sill' geeft de structurele variantie weer.

Twee belangrijke verhoudingen zijn de volgende:

- 'Nugget' / 'Sill': bijdrage van 'noise' tot de totale variantie

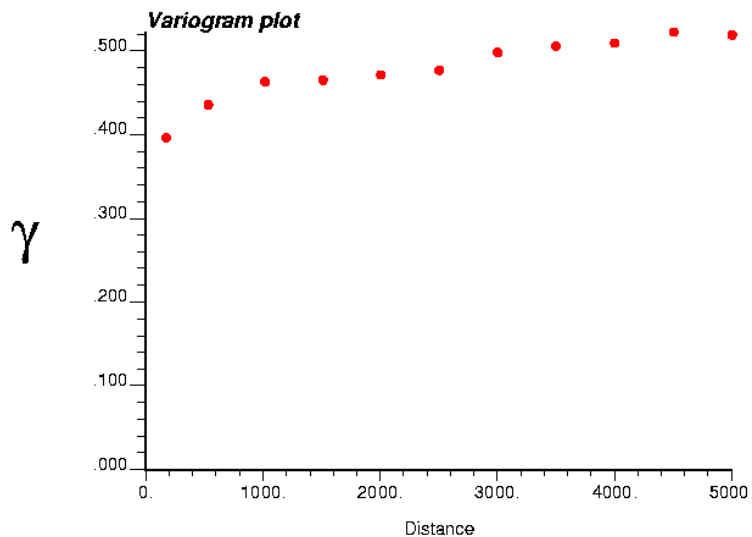
- 'Partial sill' / 'Sill': bijdrage van structurele variantie tot de totale variantie

De semivariogrammen werden opgesteld op basis van de modelafwijkingen berekend voor de logaritmisches getransformeerde data (voorspelde logaritmisches getransformeerde nitraatresidu verminderd met geobserveerd logaritmisches getransformeerde nitraatresidu). Om effecten van de bemestingspraktijk in het jaar van staalname uit te sluiten werden er aparte semivariogrammen gemaakt voor elk jaartal waarvoor nitraatresidu-waarden beschikbaar zijn (2004 tot en met 2008), waarbij per semivariogram de modelafwijkingen voor alle teelten in het betreffende jaartal in acht werden genomen. Er werden semivariogrammen ontwikkeld voor de modelafwijkingen op basis van het totale nitraatresidu (0-90 cm), maar ook voor de nitraatresidu's in de drie lagen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm) apart. Daar de maximale doorsneden van de grootste afstroomgebieden niet groter zijn dan 5 km, werden alleen puntenkoppels beschouwd waarvan de onderlinge afstand tussen de 2 punten niet groter is dan 5 km (5 km is maximale afstand op X-as). Er werd geopteerd voor een afstandsklasse  $h$  (= 'lag-klasse') van 500 m, met een 'lag-tolerantie' van 250 m: alle puntenkoppels op een onderlinge afstand kleiner dan 250 m vallen in de eerste 'lag', alle puntenkoppels met een onderlinge afstand tussen de 250 m en 750 m vallen in 'lag' 2, alle puntenkoppels met een onderlinge afstand tussen de 750 m en 1250 m vallen in 'lag' 3, enzovoort. De experimentele semivariogrammen werden opgesteld via de WinGslib-software. In Tabel 47 is ter illustratie de WinGslib-output aangegeven bij het experimenteel semivariogram voor de modelafwijkingen op basis van de waarden voor het totale nitraatresidu (0 - 90 cm) voor alle teelten in 2004.

**Tabel 47 - WinGslib-output bij het experimenteel semivariogram voor de modelfouten op basis van de waarden voor het totale nitraatresidu (0-90 cm) voor alle teelten in 2004. Aantal 'lags' = 10, 'lag-klasse' = 500 m, 'lag-tolerantie' = 250 m, maximale afstand tussen 2 punten = 5250 m.**

'lag-punten'	gemiddelde afstand	gemiddelde semivariantie	aantal koppels
1	175.111	0.39664	1354
2	535.885	0.43549	8938
3	1018.163	0.46299	15070
4	1510.596	0.46491	20448
5	2005.321	0.47146	24954
6	2503.562	0.47736	28160
7	3003.665	0.49833	30998
8	3502.102	0.50559	33472
9	4002.184	0.50913	35798
10	4502.433	0.52242	37786
11	5003.047	0.51877	38940

Door het plotten van de gemiddelde semivariantie versus de gemiddelde afstand voor elke 'lag-klasse', wordt het experimentele semivariogram bekomen. Voor de data uit Tabel 47 is het experimenteel semivariogram aangegeven in Figuur 66.



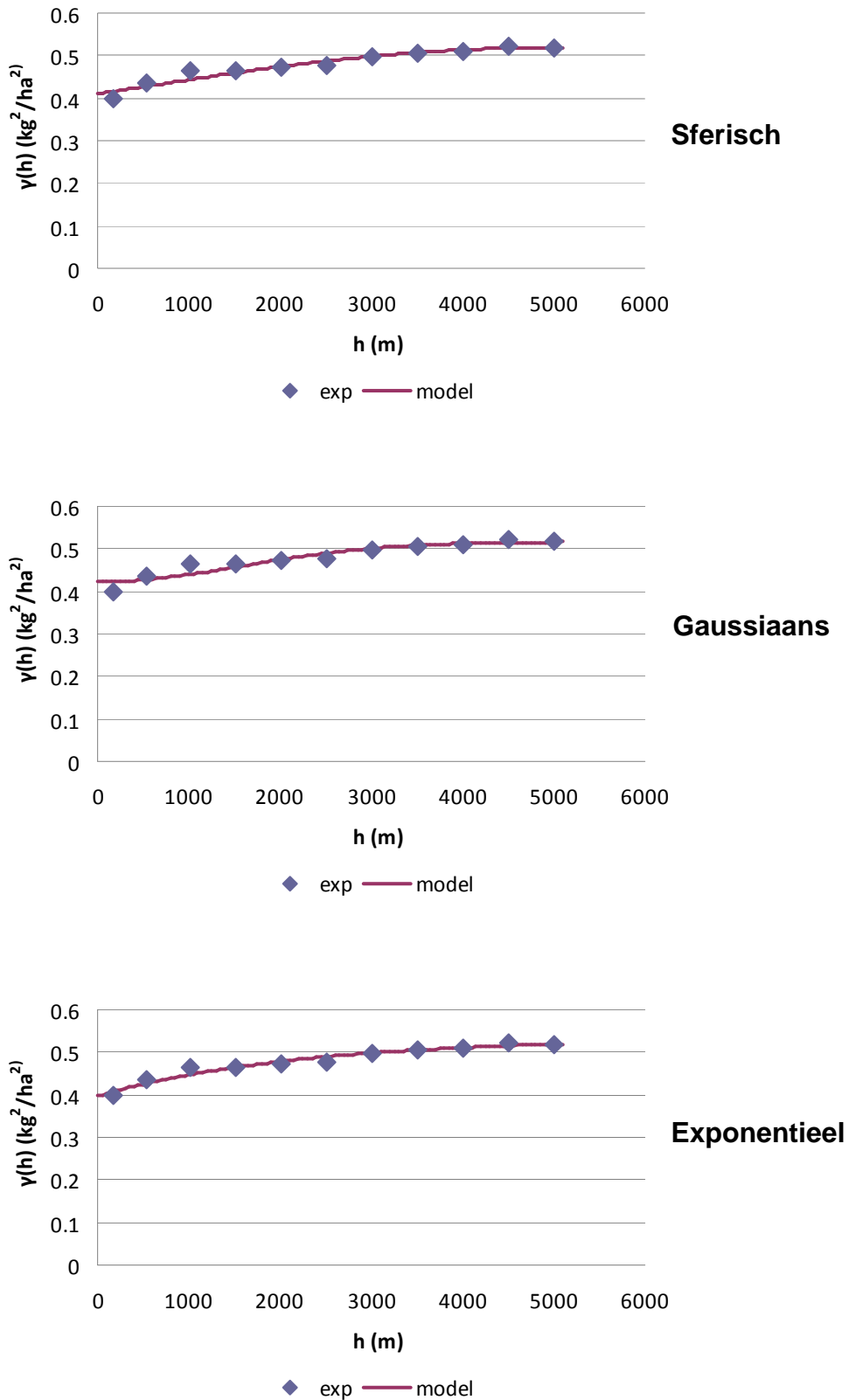
Figuur 66 - Experimenteel semivariogram voor de modelfouten op basis van de waarden voor het totale nitraatresidu (0 - 90 cm) voor alle teelten in 2004. Aantal 'lags' = 10, 'lag-klasse' = 500 m, 'lag-tolerantie' = 250 m, maximale afstand tussen 2 punten = 5250 m.

Door het experimenteel semivariogram dient vervolgens een passend model te worden gefit. Hiervoor werd gebruik gemaakt van MS-Excel-software, waarbij we via implementatie van de kleinste kwadraten-methode die modelparameters zoeken die de beste fit voor het model geven. Drie verschillende modellen werden beschouwd:

- Sferisch:  $\gamma(h) = n + (c_p \times (\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3}))$  voor  $h \leq a$   
 $\gamma(h) = c$  voor  $h \geq a$
- Exponentieel:  $\gamma(h) = n + (c_p \times (1 - e^{-h/a}))$
- Gaussiaans:  $\gamma(h) = n + (c_p \times (1 - e^{-h^2/a^2}))$

waarbij  $n$  = 'nugget',  $c$  = 'sill',  $c_p$  = 'partial sill',  $a$  = 'range',  $h$  = afstand(sklasse) en  $\gamma(h)$  = semivariantie

De best fittende sferische, exponentiële en gaussiaanse modellen door het experimentele semivariogram uit Figuur 66 zijn weergegeven in Figuur 67.

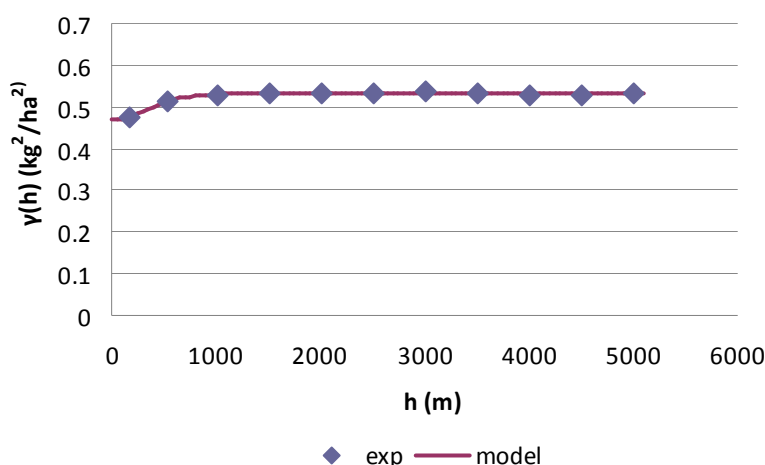


Figuur 67 - Modelfit door het experimenteel semivariogram uit Figuur 2. Boven: sferisch model, midden: gaussiaans model, onder: exponentieel model.

Voor het experimentele semivariogram uit Figuur 67 wordt de beste modelfit verkregen via het exponentieel model (d.w.z. de som der kleinste kwadraten van de afwijkingen tussen experimenteel en wiskundig semivariogram is minimaal voor het exponentiële model). De modelparameters voor dit model zijn als volgt: ‘range’ = 2173 m, ‘sill’ =  $0.532 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ , ‘nugget’ =  $0.398 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$  en ‘partial sill’ =  $0.134 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ . Of in woorden uitgedrukt: de modelfouten voor 2004 voor het totale nitraatresidu van punten die op een afstand liggen die kleiner is dan 2173 m, zijn ruimtelijk autogecorreleerd, doch deze ruimtelijke afhankelijkheid is klein (‘sill’ =  $0.532 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ ) en is voor het grootste deel toe te schrijven aan ‘noise’ (verhouding ‘nugget’/ ‘sill’ = 0.75). Het aandeel van de structurele variantie in de totale variantie bedraagt slechts 25% (‘partial sill’ / ‘sill’ = 0.25).

Voor de modelfouten uit 2004 voor de waarden voor het nitraatresidu uit de laag 0-30 cm wordt de beste fit eveneens bekomen via een exponentieel model. Met een ‘range’ van 1911 m, een ‘sill’ van  $0.603 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ , een ‘nugget’ van  $0.458 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$  en een ‘partial sill’ van  $0.146 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$  kunnen dezelfde conclusies worden getrokken als hierboven: er is ruimtelijke afhankelijkheid (tot een afstand van 1911 m), doch deze is klein en is voornamelijk toe te schrijven aan de ‘noise’ (76%) en in mindere mate aan echte structurele variantie (24%).

Ook voor andere jaartallen kunnen dezelfde besluiten worden gemaakt, zoals valt af te leiden uit de modelfit met een gaussiaans model door het experimentele semivariogram voor de modelfouten voor 2008 voor het nitraatresidu uit de laag 60-90 cm (Figuur 68).



**Figuur 68 - Modelfit (Gaussiaans model) door het experimenteel semivariogram voor de modelfouten op basis van de waarden voor het nitraatresidu uit de laag 60-90 cm voor alle teelten in 2008. Aantal ‘lags’ = 10, ‘lag-klasse’ = 500 m, ‘lag-tolerantie’ = 250 m, maximale afstand tussen 2 punten = 5250 m.**

De modelparameters van het gaussiaanse model uit Figuur 68 zijn devolgende: 'range' = 482 m, 'sill' =  $0.530 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ , 'nugget' =  $0.469 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$  en 'partial sill' =  $0.061 \text{ kg}^2/\text{ha}^2$ .

Algemeen kunnen we dus besluiten dat er slechts een geringe ruimtelijke autocorrelatie is van de modelfouten op de schaal van een afstroomgebied: de structurele variantie bedraagt slechts 15 à 25% van de totale variantie over de onderzochte jaren. Dat betekent dat verwacht kan worden dat het inbrengen van bijkomende verklarende variabelen met een duidelijke ruimtelijke structuur over perceelsgrenzen heen (bv. meer precieze informatie over diepte tot grondwatertafel, bodemtextuur, neerslag) geen gevoelige verbetering zal opleveren van het MANCOVA-model. De grote 'nugget' geeft aan dat een verbetering van het model vooral verwacht kan worden met inbreng van bijkomende perceelsspecifieke informatie (zoals bemesting, gebruikshistoriek).

Een andere implicatie van de geringe autocorrelatie is dat we ruimtelijke afhankelijkheid mogen verwaarlozen bij de berekening van het betrouwbaarheidsinterval op de schatting van de procesfactor voor een stroomgebied. De fout op het met het MANCOVA-model geschatte nitraatresidu zal zich voortzetten in de daaruit berekende (gemiddelde) nitraatconcentratie in het percolatiewater op -90 cm. Maar omdat we die berekende concentratie ruimtelijk zullen middelen over alle percelen van een stroomgebied, wordt toch een goede betrouwbaarheid (smal betrouwbaarheidsinterval) van de gemiddelde nitraatconcentratie (op -90 cm) voor het hele stroomgebied bekomen, en dus ook een betrouwbare procesfactor, vooral dan als de fouten op de schattingen voor de individuele percelen als onderling onafhankelijk (niet ruimtelijk gecorreleerd) beschouwd kunnen worden.

#### **4.4 Besluit van het voorspellend MANCOVA-model**

Per gewasgroep werd een apart voorspellend model ontwikkeld voor de dataset MB. Deze modellen kunnen gebruikt worden om de totale nitraatresidu's en de nitraatresidu's per bodemlaag te voorspellen in andere percelen.

Ondanks het soms groot aantal verklarende parameters die in deze modellen werden opgenomen konden ze slechts een relatief klein gedeelte van de variatie van de betreffende dataset (per gewasgroep) verklaren: de  $R^2$ -waarden varieerden van 0.09 (gewasgroep Maïs) tot 0.19 (gewasgroep Aardappelen) voor het totale nitraatresidu.

De globale  $R^2$ -waarden van het gecombineerde MANCOVA-model (bestaande uit de submodellen van de verschillende gewasgroepen), voor het totale nitraatresidu en voor het nitraatresidu per bodemlaag, lagen tussen 0.23 en 0.25. Dit wil zeggen dat ongeveer 1/4 van de

totale variatie van de log-getransformeerde nitraatresidu's in de dataset MB verklaard door de gecombineerde voorspellende MANCOVA-modellen per gewasgroep.

De semivariogramanalyse van de modelfouten toonde aan dat de modelfouten slechts een geringe ruimtelijke autocorrelatie vertoonden op de schaal van een afstroomgebied. Dat betekent dat verwacht kan worden dat het inbrengen van bijkomende verklarende variabelen met een duidelijke ruimtelijke structuur over perceelsgrenzen heen geen gevoelige verbetering zal opleveren van het model. De grote 'nugget' variantie geeft aan dat een verbetering van het model vooral verwacht kan worden met inbreng van bijkomende perceelspecifieke informatie (zoals bemesting, gebruikshistoriek). De structurele variantie bedroeg slechts 15 tot 25% van de totale variantie en daarom mogen we ruimtelijke afhankelijkheid verwaarlozen bij de berekening van het betrouwbaarheidsinterval op de schatting van de procesfactor voor een stroomgebied.