



Laboratorium voor Toegepaste
Geologie en Hydrogeologie
Geologisch Instituut
Krijgslaan 281, S8
B-9000 Gent
Tel.: 09/264 46 47
Fax: 09/264 49 88

Vakgroep Omgeving
Onderzoeksgroep
Bodemvruchtbaarheid en
nutriëntenbeheer
Coupure links 653
9000 Gent
Tel. 09 264 60 53
Fax 09 264 62 47

Project nitraatrijke bronnen

LUIK 2

Rapport testsite 2

Wortegem-Petegem

Opdrachtgever

VLM

Leiding:

Prof. Dr. K. Walraevens
Prof. Dr. ir. S. De Neve

Studie en verslag:

M. Van Camp
J. De Waele
B. Van Nevel
Prof. Dr. Ir. P. Boeckx

Dossiernummer: TGO 17/02

Datum: feb 2021

INHOUD

- 1 Inleiding
- 2 Beschrijving van het studiegebied
 - 2.1 Ligging en perimeter
 - 2.2 Topografie en hydrografie
 - 2.3 Geologie en hydrogeologie
 - 2.4 MAP meetpunt
- 3 Veldwerk
 - 3.1 Installatie peilbuizen
 - 3.2 Wateranalysen
- 4 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone
 - 4.1 Inleiding
 - 4.2 Werkwijze
 - 4.2.1 Studiegebied
 - 4.2.2 Twee simulatieperiodes
 - 4.2.3 Toekennen van modelparameters
 - 4.2.3.1 Databanken
 - 4.2.3.2 Bodembedekking
 - 4.2.3.3 Bodemorganische stof
 - 4.2.3.4 Bodemtextuur
 - 4.2.3.5 Teelten en nateelten
 - 4.2.3.6 Dierlijke bemesting
 - 4.2.3.7 Minerale bemesting
 - 4.2.3.8 Stikstofdepositie
 - 4.2.3.9 Weersgegevens
 - 4.3 Resultaten
 - 4.3.1 Gesimuleerde uitspoeling in het stroomgebied Wortegem-Petegem
 - 4.3.2 Nitraatconcentratie voor de verschillende bodembedekkingen
 - 4.3.3 Gesimuleerde bemesting, nitraatresidu en nitraatconcentratie op akkerland en weiland
 - 4.4.4 Validatie nitraatresidu
 - 4.4 Besluit
- 5 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone
- 6 Isotopenonderzoek
- 7 Synthese en conclusies

LIJST DER FIGUREN

- Fig 2.1 Ligging, topografie en hydrografie van de de testsite "Wortegem-Petegem"
- Fig 2.2 Geologische kaart van de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 2.3 Isohypsens (m TAW) van de top van de Formatie van Kortrijk
- Fig 2.4 Dikte (m) van de afzettingen boven de Formatie van Kortrijk
- Fig 2.5 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 2.6 Gemiddelde seizoenale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 2.7 Gemiddelde seizoenale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 sinds 2008 in de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 2.8 Maandelijks variatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Wortegem-Petegem
- Fig 3.2 Crossplot van de redoxparameters ijzer en nitraat voor de grondwatermonsters
- Fig 3.3 Crossplot van het bicarbonaatgehalte versus het nitraatgehalte voor de Grondwatermonsters
- Fig.4.1: Stroomgebied Wortegem-Petegem
- Fig 4.2 Overzicht van de modelinvoer.
- Fig 4.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied Wortegem
- Fig 4.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g⁻¹ droge bodem) voor het stroomgebied Wortegem-Petegem
- Fig. 4.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Wortegem-Petegem
- Fig. 4.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het stroomgebied Wortegem-Petegem
- Fig 4.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Wortegem-Petegem
- Fig 4.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha ndbouwgrond in de regio Wortegem-Petegem.
- Fig 4.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België
- Fig 4.10 Gesimuleerde teelt en nateelt in 2012 en 2013 en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze.
- Fig 4.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied
- Fig 4.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.
- Fig 4.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven
- Fig 4.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland.

- Fig 4.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland
- Fig 4.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland
- Fig 4.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland
- Fig. 4.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)
- Fig 4.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)
- Fig 5.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone
- Fig 5.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone
- Fig 5.3 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (vanaf 2000) berekend met het model van de onverzadigde zone
- Fig 5.4 Reistijden en ouderdom van het grondwater in het afstroomgebied
- Fig 5.5 Resultaten van het BFN model van de testsite Wortegem-Petegem
- Fig 5.6 Resultaten van het BFN model van de testsite Wortegem-Petegem (vanaf 1999)
- Fig 6.1. Isotopen ($\delta^{15}\text{N}$ en $\delta^{18}\text{O}$) ranges van nitraatbronnen (Xue et al., 2009)
- Fig 6.2 Relatie tussen $\delta^{15}\text{N}$ - en $\delta^{18}\text{O}$ -nitraat voor de waterstalen van Staden (Luikbeek) en Wortegem-Petegem
- Fig 6.3. Relatie tussen $\delta^{15}\text{N}$ - nitraat en de nitraatconcentratie ($\text{NO}_3\text{-N}$) voor de sites Staden (Luikbeek) en Wortegem-Petegem

LIJST DER TABELLEN

Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Wortegem-Petegem

Tabel 3.2 Opgemeten nitraat-, ijzer- en bicarbonaatgehalten in de twee meetcampagnes in testsite Wortegem-Petegem

Tabel 3.3 Resultaten van de wateranalyses (ronde 1 en ronde 2)

Tabel 4.1: Bodembedekking voor en na herleiding tot 7 klassen in het grid en het overeenkomstige rotatietype.

Tabel 4.2 Bodemparameters per textuurklasse

Tabel 4.3 Bodemvochtparameters per textuurklasse (REW = snel beschikbaar water voor verdamping, VC = veldcapaciteit, VP = verwelkingspunt, SAT = verzadiging).

1 Inleiding

Dit rapport is een onderdeel van de verslaggeving van luik 2 van het project “Nitraatrijke bronnen: invloed van grondwater op oppervlaktewaterkwaliteit”. Het bevat de rapportering van de testsite “Wortegem-Petegem”, de tweede van 10 testsites die geselecteerd werden in het kader van het project. Het bevat de beschrijving en karakterisering van de testsite en de resultaten van de toepassing van de ontwikkelde methodologie en modellering met het ontwikkelde BFN model. g.

De methodologie en het ontwikkelde model dienen om de toevoer van nitraten via het grondwater naar oppervlaktewaters te kwantificeren. Bij vergelijking van de modelresultaten met meetgegevens moet steeds in beschouwing worden genomen dat de meetwaarden ook beïnvloedt zijn door oppervlakkige afvoer (“run off”), soms in sterke mate, en dat dit proces niet in de model is opgenomen. Dit was conform de projectopdracht ook niet vereist. Oppervlakkige afvoer is een proces dat op dagelijkse basis dient gekwantificeerd te worden en waarvan de invloed ook van dag tot dag variabel is. Het kan de oorzaak zijn dat sommige metingen sterk afwijkende waarden hebben en outliers vormen in de meetreeksen. Het BFN model werkt niet op dagelijkse basis omdat dit niet nodig is voor de doelstelling waarvoor het ontwikkeld is. Men kan niet verwachten dat een model waarin dit proces niet op een adequate wijze ingebouwd is tot een zeer goede overeenstemming met de meetreeksen zou leiden. Het heeft ook weinig zin de huidige modellen te proberen te optimaliseren als een belangrijk proces niet kan worden opgenomen.

Het verslag werd ingedeeld in de volgende hoofdstukken:

Hoofdstuk 2 : beschrijving van het studiegebied

Hoofdstuk 3 : beschrijving van het uitgevoerde veldwerk en metingen

Hoofdstuk 4 : toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone

Hoofdstuk 5 : toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone

Hoofdstuk 6 : synthese en conclusies

Het laatste hoofdstuk is een “one page” synthese over de testsite.

2 Beschrijving van het studiegebied

2.1 Ligging en perimeter

De testsite omvat het afstroomgebied van het MAP meetpunt 710800 op de Volkaartbeek in Wortegem-Petegem (fig 2.1).

2.2 Topografie en hydrografie

De testsite bestaat uit de beekvallei van de Volkaartbeek tussen twee heuvels, gelegen aan de oostzijde van een grotere kam. Hierdoor heeft het gebied een uitgesproken topografie.

In de beekvallei ontspringen op de linker heuvelflank (linkeroever) tal van bronnen die via grachtjes naar de Volkaartbeek stromen. De nitraatwaarden van deze bronnen liggen tussen 80 en 120 mg nitraat per liter (CVBB).

2.3 Geologie

De geologische opbouw kan afgeleid worden uit de tertiair geologische kaart (1/50000) in combinatie met de topografie (fig 2.1 en 2.2). De basis van het freatisch reservoir wordt gevormd door de Formatie van Kortrijk ("Ieperse klei") Binnen de testsite bestaat deze overwegend uit het Lid van Aalbeke (KoAa) , rond het MAP meetpunt komt het Lid van Moen voor (KoMo). De heuvels waartussen de Molenbeek gelegen is, zijn opgebouwd uit het Zand van Egem van de Formatie van Tielt (Tt). In het stroomopwaarts deel van de vallei komt het Zand van Egem nog voor, maar in het stroomafwaarts deel rusten het quartair rechtstreeks op de Formatie van Kortrijk : de bovenliggende Formatie van Tielt is hier volledig weg geërodeerd. De isohypsen van het tertiair kleisubstraat van de Formatie van Kortrijk staan aangegeven op fig 2.3, duidelijk is de quartaire insnijding in het kleisubstraat in het oostelijk, stroomafwaarts deel te herkennen. De dikte van de afzettingen boven het tertiair kleisubstraat neemt snel toe op de heuvelflanken (fig 2.4).

De dominante lithologie van de voorkomende eenheden staat vermeld op het DOV portaal :

Ge = Formatie Van Gentbrugge

Grijsgroen fijn zand, glauconiethoudend, overgaand in klei zandhoudend tot donkergrijze klei, plaatselijk zandsteenbanken (veldsteen)

Tt = Formatie van Tielt

Grijsgroen zeer fijn zand tot silt, kleihoudend

KoAa = Formatie van Kortrijk , Lid van Aalbeke

Donkergrijze tot blauwe klei, glimmers

KoMo = Formatie van Kortrijk , Lid van Moen

Grijze klei tot silt, kleihoudend, kleilagen; Nummulites planulatus

2.4 Hydrogeologie en hydrostratigrafie

Oxidatie-reductiezone

De Molenbeek ontvangt grondwater vanuit de omgevende heuvels. Het Zand van Egem waaruit de heuvels zijn opgebouwd is van mariene oorsprong en bevatte oorspronkelijk reactief materiaal, vnl. pyriet. Langdurige doorspoeling heeft het reactief materiaal tot op aanzienlijke diepte geoxideerd, waardoor momenteel enkel in het onderste deel van de Zanden van Egem nog reactief materiaal overblijft. Peilbuizen van het VMM netwerk die op deze heuvels gelegen zijn in de omgeving tonen hoge nitraatgehalten tot op aanzienlijke diepte en slechts in het onderste deel boven het onderliggende kleisubstraat hogere ijzerconcentraties die op gereduceerde condities wijzen.

De grondwateranalyses tonen dat er in de beekvallei lokaal denitrificatie plaatsvindt door organisch materiaal (dat dan als elektron donor functioneert). Dit is echter niet overal het geval. Gemiddeld werd dit in de helft van de peilbuizen opgemerkt. Deze lokale nitraatreductie kan dus wel een belangrijke rol spelen in de nitraatbalans van het MAP meetpunt.

2.5 Grondwaterstroming

De grondwaterstroming wordt vooral door de topografie waarbij de Molenbeek grondwater ontvangt vanuit de omringende heuvels. De beekvallei zelf daalt van west naar oost, ze ligt aan de oostzijde van een grotere noord-zuid gerichte heuvelkam. Hierdoor zal in de beekvallei zelf de stroming ook naar het oosten verlopen.

Door het uitgesproken reliëf zal ook oppervlakkige afstroom van regenwater (runoff) een belangrijke invloed op het MAP meetpunt hebben.

2.6 MAP meetpunt

De evolutie van het nitraatgehalte aan het MAP meetpunt 710800 (fig 2.5) in de periode 1999 t.e.m. 2017 toont volgende kenmerken:

- Er is een opvallende en grote seizoentaliteit in de meetreeks met lage winterwaarden en hoge zomerwaarden.
- De variatie was voor 2007 hoger en onregelmatiger dan na 2007 : hogere zomerpieken en lagere winterminima
- Elke zomerperiode zijn er overschrijdingen van de 50 mg/l norm.
- De zomermaxima liggen ook na 2008 vaak tegen de 100 mg/l.
- In de winter zakt het nitraatgehalte soms onder de 50 mg/l, maar niet elke jaar.

Een meer kwantitatief beeld van de seizoenaliteit wordt verkregen door de metingen fractioneel in de tijd voor te stellen : de nitraatconcentraties worden dan geplotted tussen het begin van het jaar (linkerzijde grafiek) en het einde van het jaar (rechterzijde grafiek). Een onderscheid is gemaakt tussen de hele meetreeks (fig 2.6) en de metingen sinds 2008 (fig 2.7). De meetpunten worden gefit met een sinusfunctie die een gemiddelde en regelmatige seizoenale fluctuatie weergeeft. Voor de hele meetreeks, ligt het gemiddeld wintermaximum rond 115 ppm en het gemiddeld zomermaximum rond 90 ppm, het winterminimum rond de 55 mg/l. Voor de periode na 2008 (fig 2.7) ligt het zomermaximum rond de 80 ppm.

De echte seizoenale fluctuatie volgt geen zuivere wiskundige functie. Daarom worden maandelijkse statistische karakteristieken gegeven in de vorm van mediaanwaarden en kwartielen. Er is gekozen voor de mediaanwaarde van de nitraatconcentratie per maand i.p.v. het rekenkundig gemiddelde om de invloed van outliers en extreme waarden te beperken. Een grafische voorstelling (fig 2.8) in de vorm van een boxplot geeft voor elke maand in de vorm van een rechthoek de 25% en 75% kwartielwaarden weer (resp basis en top van de rechthoek). De mediaanwaarde is apart aangegeven met een rood symbool, de mediaanwaarde is er als label bijgezet . Boven elke rechthoek zijn de laagste en hoogste meetwaarde aangeduid met een verticale lijn, al kunnen deze extremen outliers zijn.

Op de boxplot kan gemakkelijk afgelezen worden dat de hoogste mediaanconcentratie in augustus voorkomt (81.5 ppm). Het valt op dat de mediaanwaarden in de vier zomermaanden (juni t.e.m. september) vrij constant zijn en tussen 80 en 85 mg/l liggen. De laagste waarden komen in december en januari voor en liggen net boven 50 mg/l.

**Fig 2.1 Ligging, topografie en hydrografie van de de testsite
"Wortegem-Petegem"**

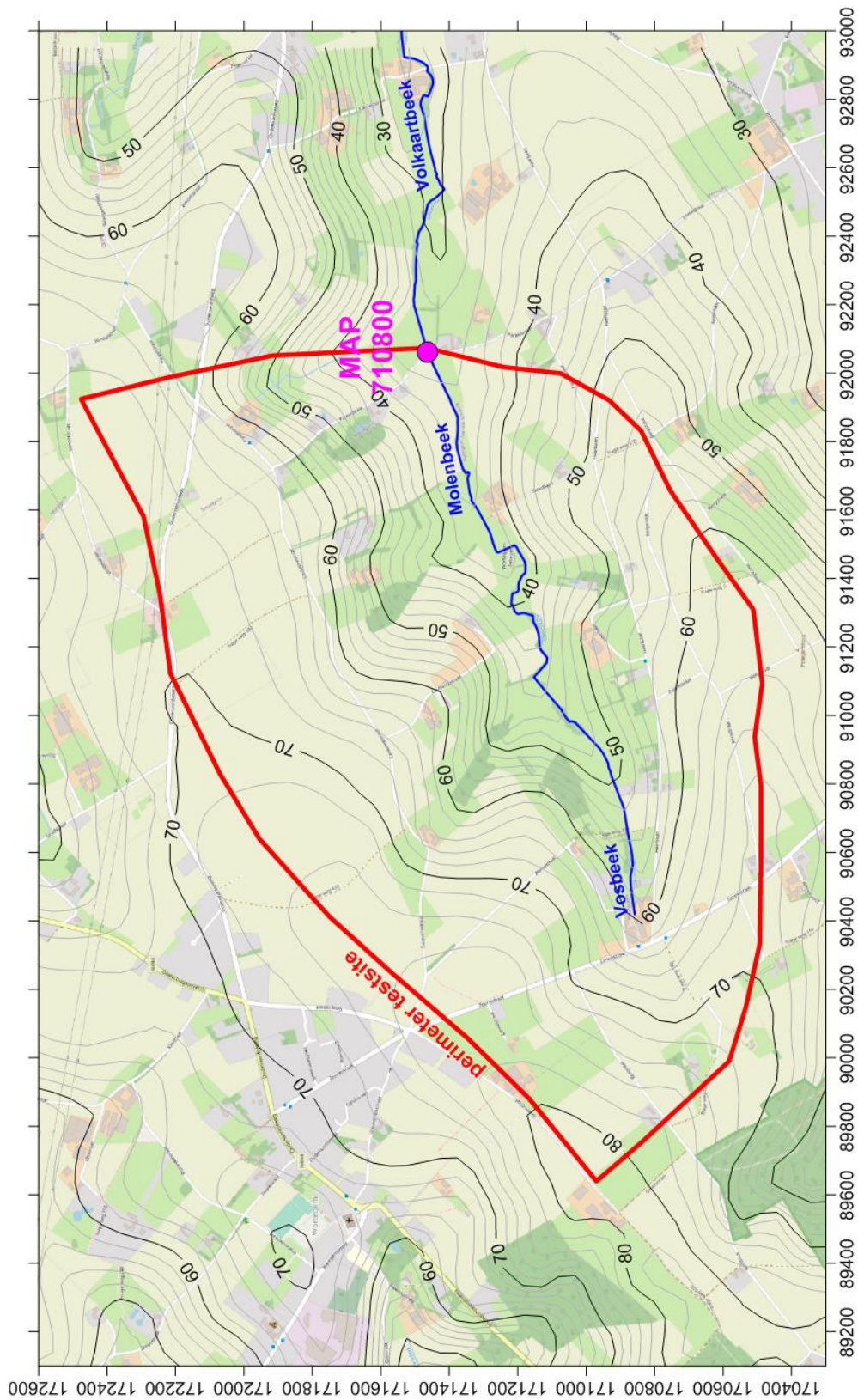


Fig 2.2 Geologische kaart van de testsite Wortegem-Petegem

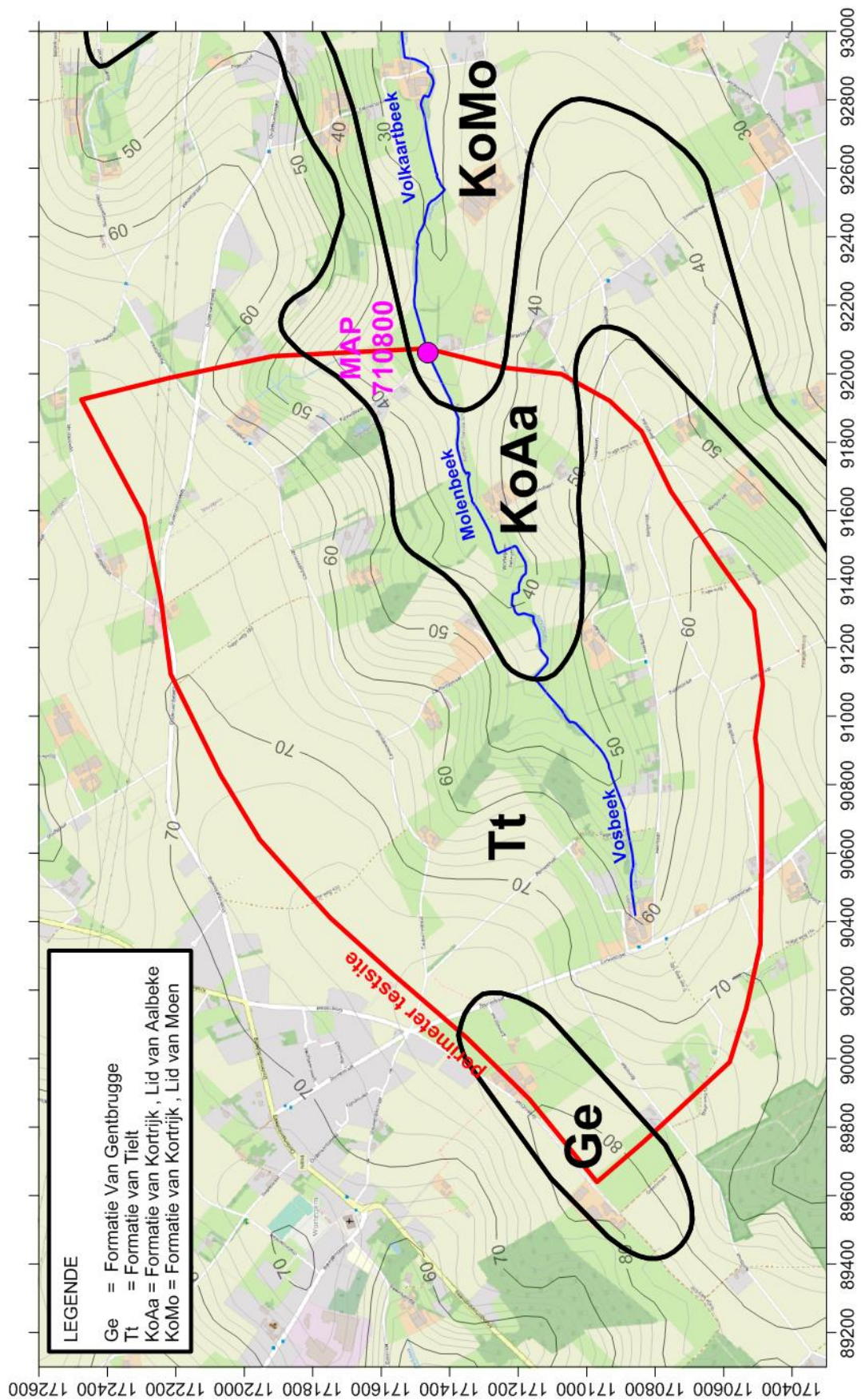


Fig 2.3 Isohypsen (m TAW) van de top van de Formatie van Kortrijk

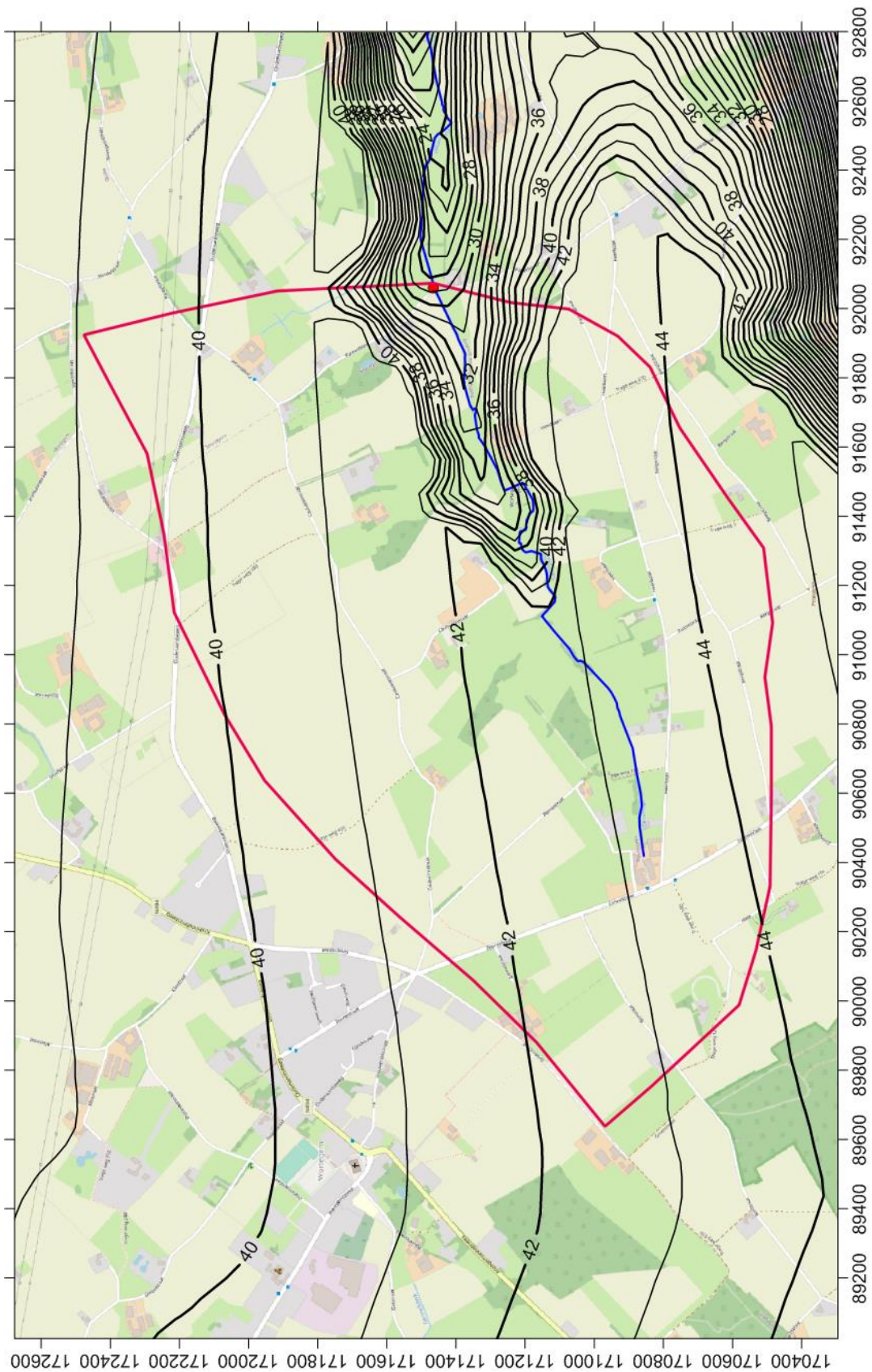


Fig 2.4 Dikte (m) van de afzettingen boven de Formatie van Kortrijk

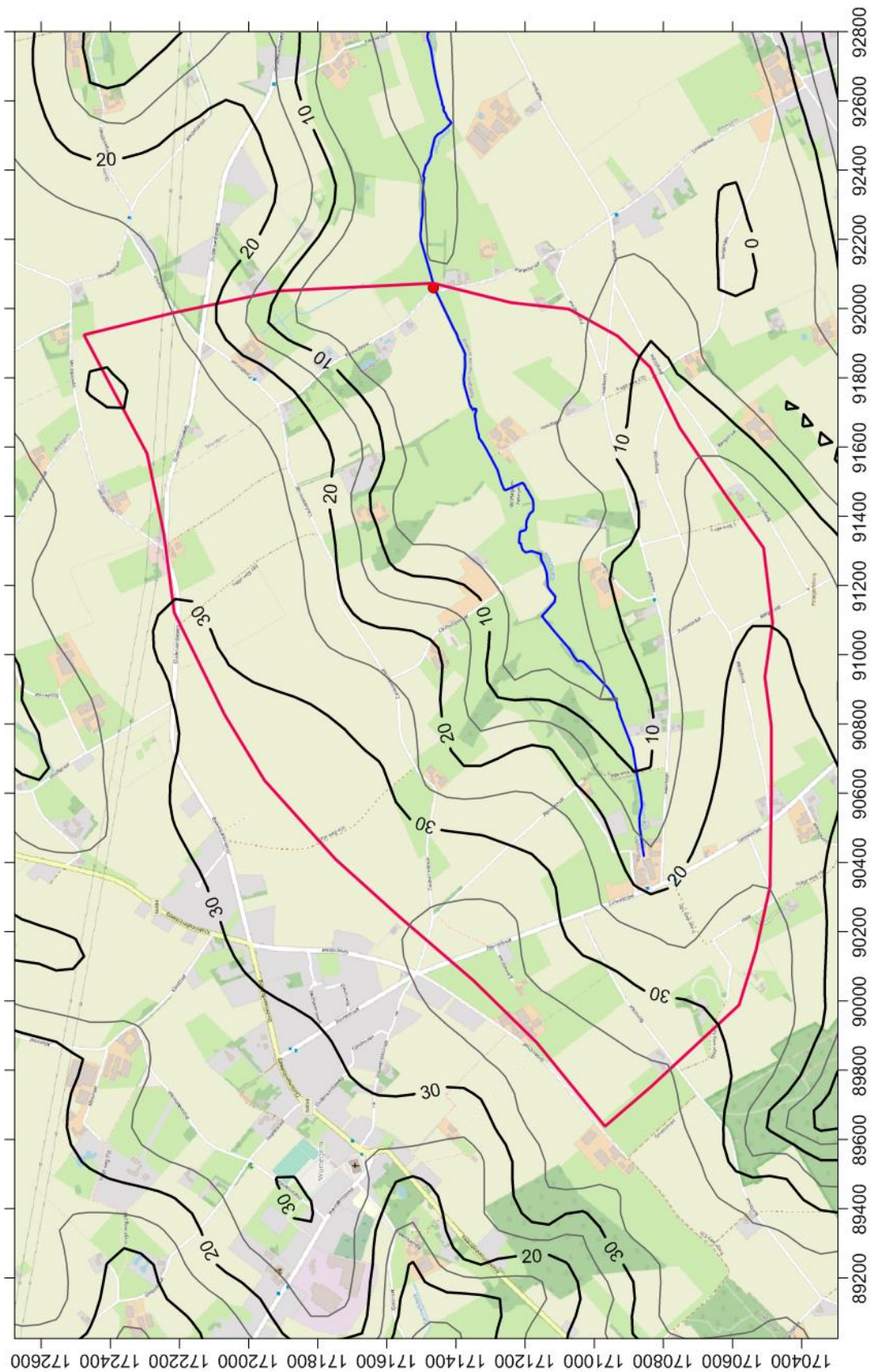


Fig 2.5 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem

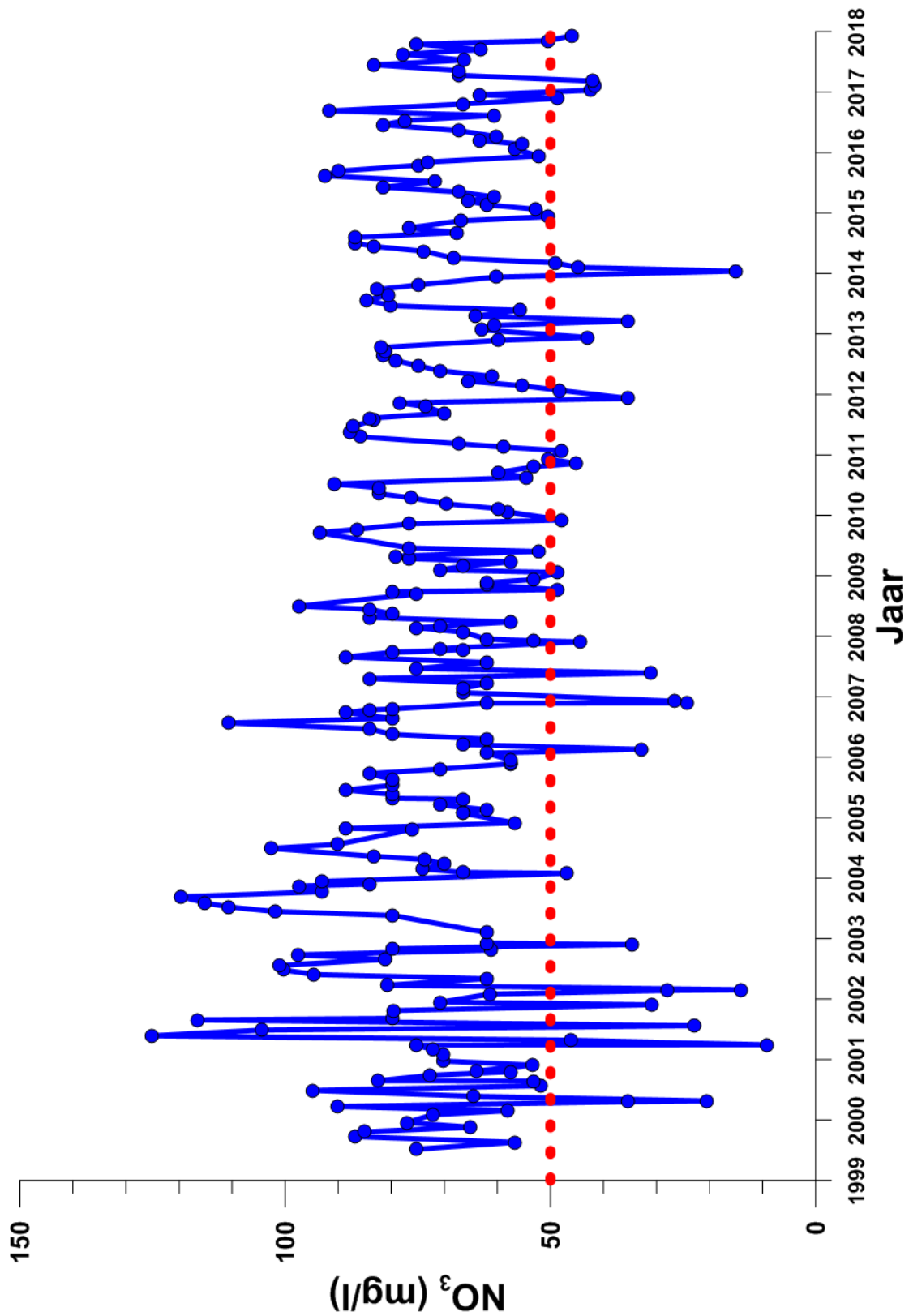


Fig 2.6 Gemiddelde seizoenale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem

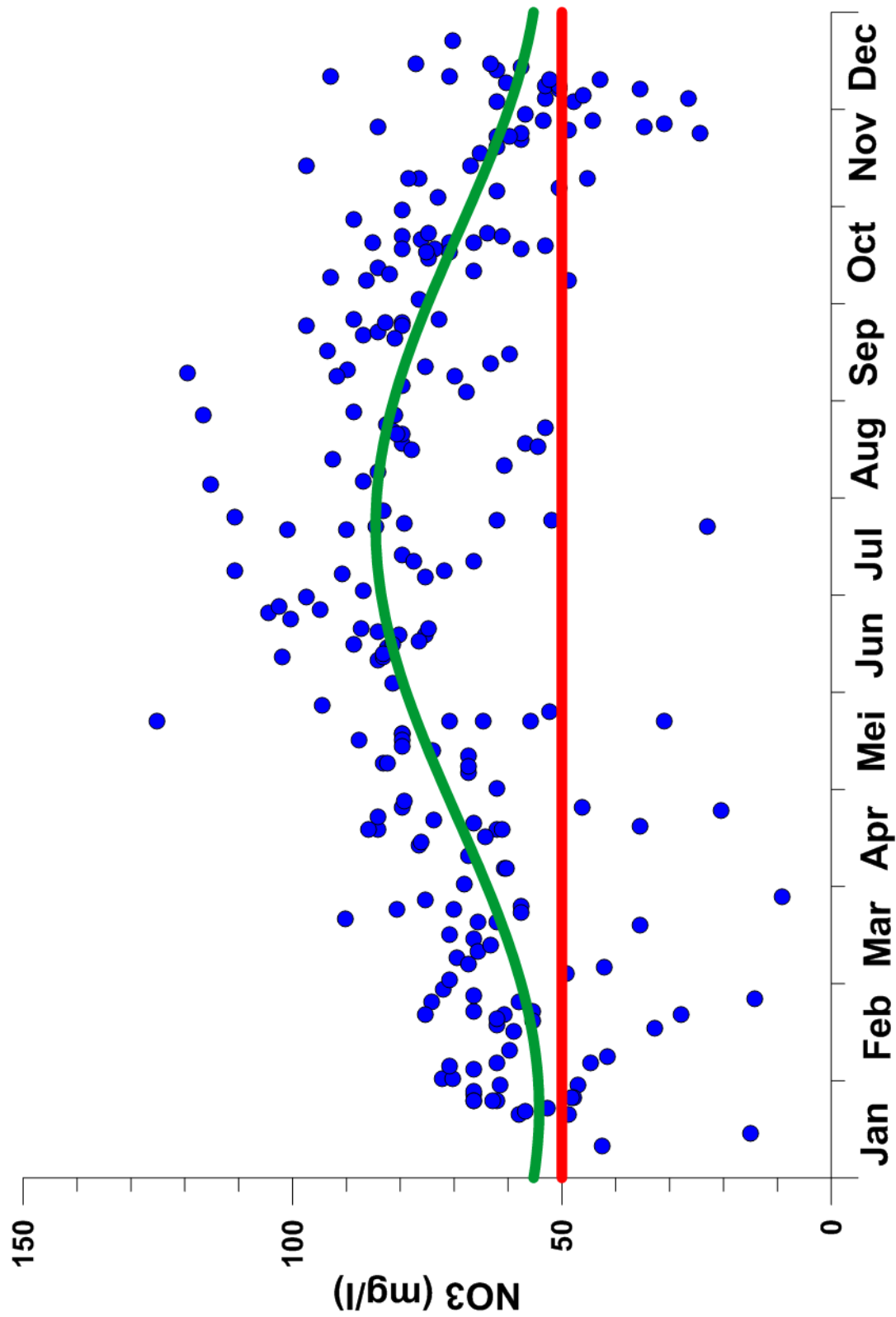


Fig 2.7 Gemiddelde seizoens fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 sinds 2008 in de testsite Wortegem-Petegem

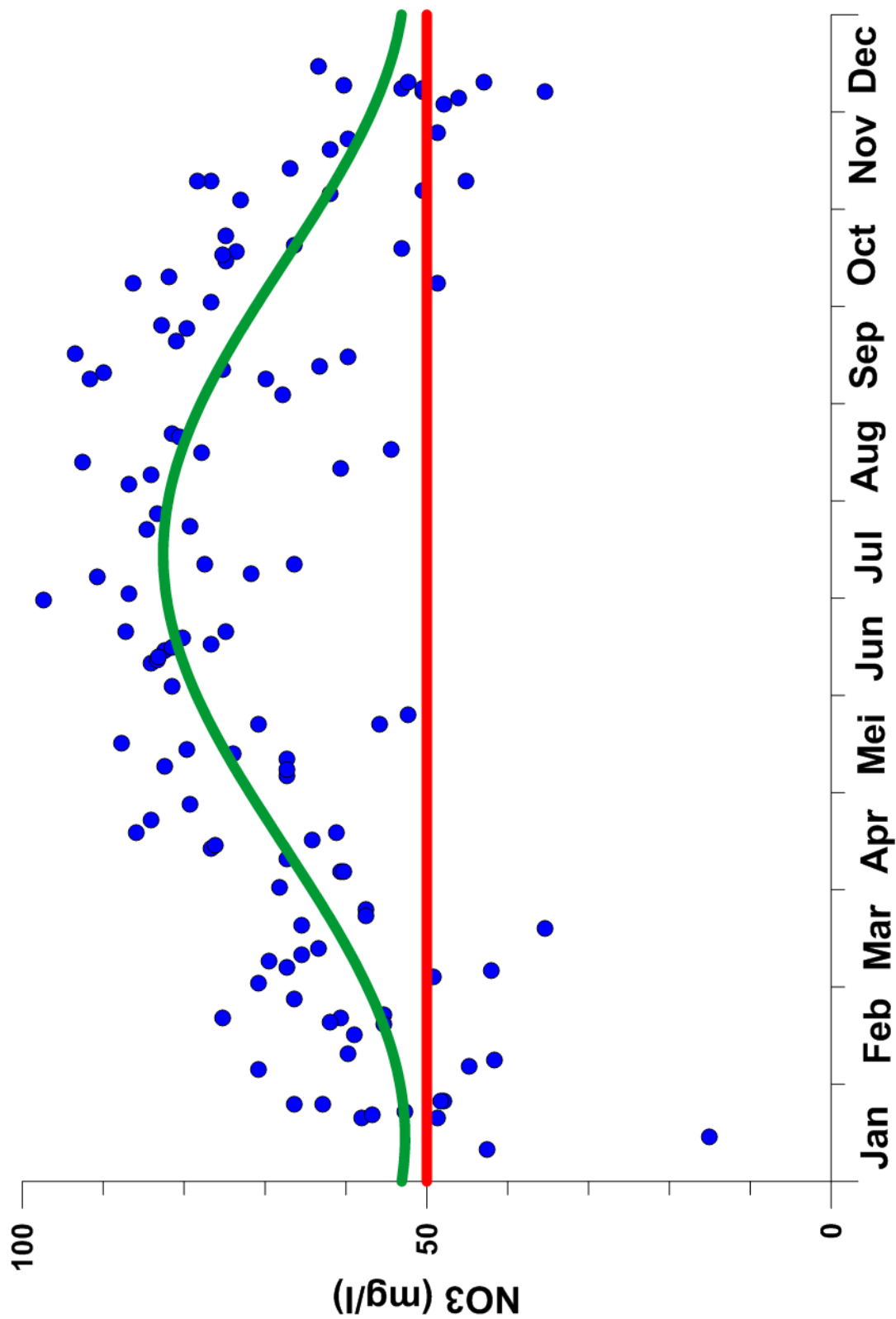
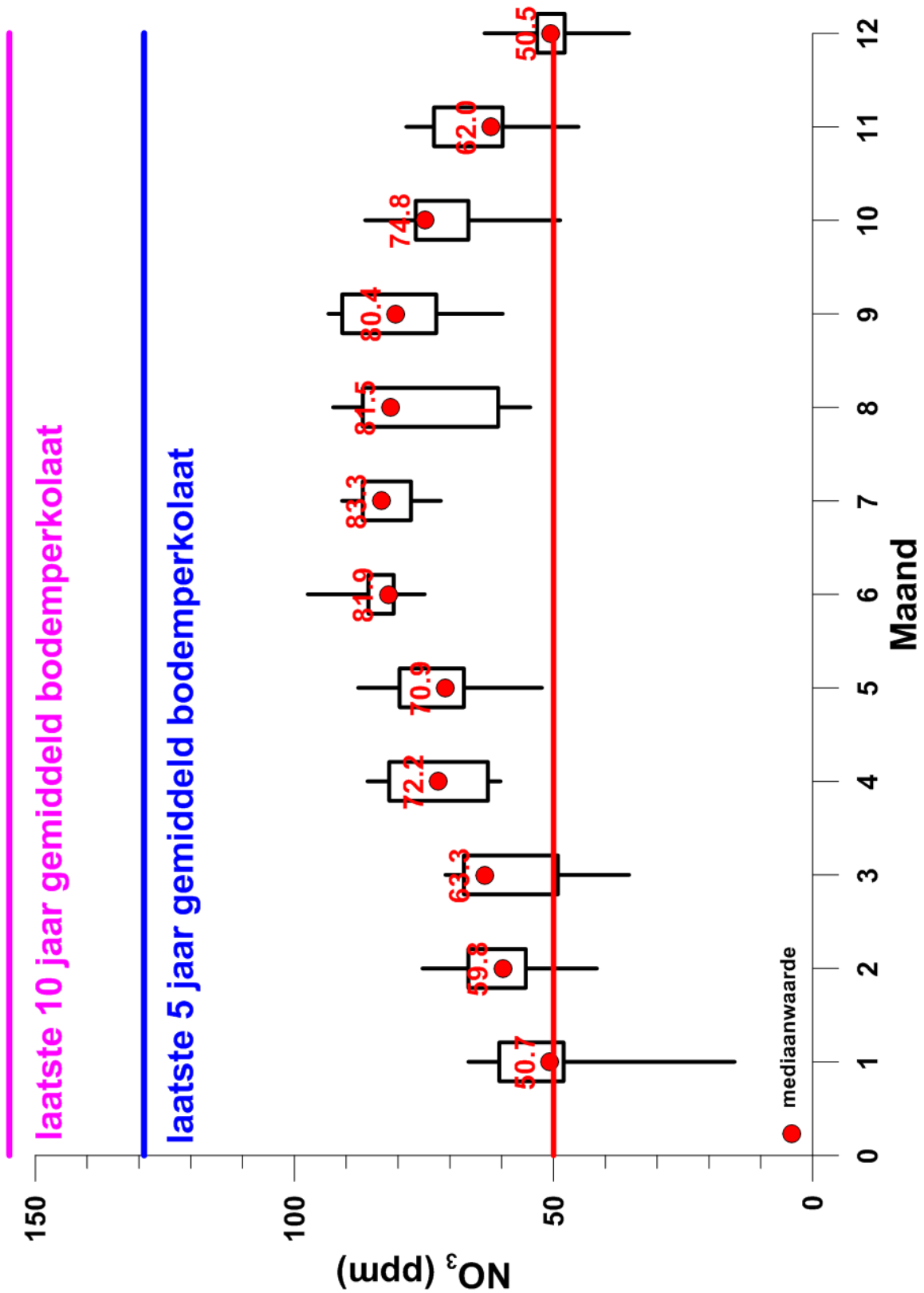


Fig 2.8 Maandelijks variatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 710800 in de testsite Wortegem-Petegem



3 Veldwerk

3.1 Installatie peilbuizen

Een verkennend veldbezoek vond plaats op 14 december 2017. Na het veldbezoek werden de 5 peilbuizen direct geplaatst op 14 en 19 december 2017 (fig 3.1). De coördinaten van de putten zijn opgenomen in tabel 3.1.

Alle peilbuizen bestaan uit een PVC buis met een diameter van 63 mm met onderaan een filterelement van 1 m lengte.

Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Wortegem-Petegem

| Peilbuis | Lambert-X | Lambert-Y | Diepte(m) |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| PB1 | 90550. | 170875. | 2.18 |
| PB2 | 90830. | 171045. | 2.41 |
| PB3 | 90920. | 171230. | 2.66 |
| PB4 | 91125. | 171350. | 3.10 |
| PB5 | 91775. | 171480. | 2.32 |

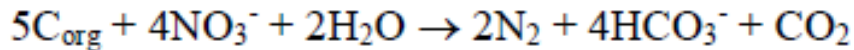
3.2 Wateranalysen

In juni 2018 werden tijdens een eerste meetronde watermonsters genomen. Op het einde van de zomer van 2018 werden de peilbuizen een tweede maal bemonsterd. Dit laat toe een vergelijking van beide meetcampagnes te maken. Tijdens de monsternamen werd ook de waterdiepte opgemeten, maar de peilbuizen zijn niet gewaterpast zodat de diepten niet kunnen omgerekend worden naar stijghoogten. De twee metingen zijn ook niet voldoende om een beeld te krijgen van de variatie van de watertafel met de tijd of gedurende de overgang van winter naar zomer.

Op alle watermonsters werden alle belangrijke kationen en anionen bepaald, wat toeliet de ionenbalans van de waters te controleren. De resultaten van de wateranalysen zijn opgenomen in tabel 3.2.

In vijf van de tien watermonsters werden hoge nitraatgehalten aangetroffen, in de andere vijf werd in een drietal bijna geen nitraat gevonden, in de overige twee niet meer dan 3 mg/l. De ijzergehalten waren steeds vrij laag (< 1 mg/l) . Dit is duidelijk op een grafiek van de redoxparameters ijzer versus nitraat (fig 3.1). Een grafiek van het bicarbonaatgehalte versus het nitraatgehalte (fig 3.2) toont dat het bicarbonaatgehalte toeneemt naarmate het nitraatgehalte lager is. De monsters met hoog nitraatgehalte (ca 100 mg/l) hebben een bicarbonaatgehalte van ongeveer 100 mg/l. Voor de nitraatarme monsters ligt het bicarbonaatgehalte rond de 300 mg/l, dus een toename van ca 200 mg/l, of ca 3 mmol/l voor een nitraatafname met ca 2 mmol/l.

Bij reductie van nitraat door organisch materiaal wordt per mmol nitraat telkens één mmol bicarbonaat gevormd en een kwart mmol CO₂. Elke mmol CO₂ wordt echter omgezet naar 2 mmol bicarbonaat, zodat in totaal 1.5 mmol bicarbonaat worden geproduceerd:



De waargenomen toename met 3 mmol/l bicarbonaat voor een nitraatafname met ca 2 mmol is dus conform de stochoïmetrische verhouding van nitraatreductie door organisch materiaal, in de aanname dat het oorspronkelijke nitraatgehalte in de nitraatarme monsters vergelijkbaar was met de 100 mg/l die in de andere monsters werd vastgesteld.

Er kan dus gesteld worden dat alle grondwater dat in de peilbuizen aangetroffen werd afkomstig is uit het geoxideerd deel van de omgevende heuvels en een nitraatgehalte heeft van ongeveer 100 mg/l, maar dat in de helft van de gevallen er lokaal nitraatreductie optreedt, wellicht ondiep waar het grondwater opwelt en uitstroomt. Het gehalte organisch materiaal in de ondiepe afzettingen, de quartaire valleioopvulling, is wellicht zeer heterogeen waardoor deze reductie zich enkel lokaal en niet op alle plaatsen voordoet.

Tabel 3.2 Opgemeten nitraat-, ijzer- en bicarbonaatgehalten in de twee meetcampagnes in testsite Wortegem-Petegem

| peilbuis | ronde | Nitraat (mg/l) | IJzer (mg/l) | bicarbonaat (mg/l) |
|----------|-------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| Pb1 | 1 | 0.0069 | 0.074 | 247.66 |
| Pb2 | 1 | 144.624 | 0.280 | 123.22 |
| Pb3 | 1 | 0.0079 | 0.370 | 358.68 |
| Pb4 | 1 | 91.272 | 0.090 | 89.06 |
| Pb5 | 1 | 0.0034 | 0.659 | 361.12 |
| Pb1 | 2 | 67.179 | 0.004 | 244.00 |
| Pb2 | 2 | 104.156 | 0.083 | 114.68 |
| Pb3 | 2 | 2.370 | 0.037 | 347.09 |
| Pb4 | 2 | 101.120 | 0.024 | 73.81 |
| Pb5 | 2 | 1.398 | 0.043 | 320.86 |

Tabel 3.3 Resultaten van de wateranalyses (ronde 1 en ronde 2)

| peilbuis | meetronde | PH | COND | Na+(ppm) | K+(ppm) | Ca2+(ppm) | Mg2+(ppm) | Fe2+/Fe3+(ppm) | Mn2+(ppm) |
|----------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|-----------|------------|----------------|-----------|
| PB1 | 1 | 6.91 | 944 | 22.200 | 1.277 | 186.100 | 8.100 | 0.074 | 0.362 |
| PB2 | 1 | 6.25 | 883 | 33.780 | 2.200 | 129.050 | 8.650 | 0.280 | 0.020 |
| PB3 | 1 | 6.73 | 1009 | 21.840 | 0.850 | 181.250 | 16.150 | 0.370 | 1.352 |
| PB4 | 1 | 6.11 | 724 | 26.000 | 3.260 | 99.900 | 7.150 | 0.090 | 0.035 |
| PB5 | 1 | 6.78 | 916 | 21.280 | 2.493 | 157.250 | 14.050 | 0.659 | 0.374 |
| peilbuis | meetronde | PH | COND | Na+(ppm) | K+(ppm) | Ca2+(ppm) | Mg2+(ppm) | Fe2+/Fe3+(ppm) | Mn2+(ppm) |
| PB1 | 2 | 7.35 | 938 | 23.020 | 1.684 | 183.050 | 7.200 | 0.004 | 0.015 |
| PB2 | 2 | 6.75 | 888 | 27.580 | 3.375 | 127.300 | 7.450 | 0.083 | 0.021 |
| PB3 | 2 | 7.01 | 1151 | 21.320 | 1.539 | 214.800 | 18.000 | 0.037 | 0.323 |
| PB4 | 2 | 6.34 | 734 | 26.240 | 4.100 | 110.400 | 6.400 | 0.024 | 0.005 |
| PB5 | 2 | 6.96 | 893 | 23.440 | 2.427 | 142.100 | 10.650 | 0.043 | 0.020 |
| peilbuis | meetronde | NH4+(ppm) | Cl-(ppm) | SO42-(ppm) | NO3-(ppm) | NO2-(ppm) | HCO3-(ppm) | PO42-(ppm) | TDS(ppm) |
| PB1 | 1 | 0.04 | 38.521 | 301.985 | 0.007 | 0.060 | 247.660 | 0.088 | 806.476 |
| PB2 | 1 | 0.03 | 53.245 | 150.405 | 144.624 | 0.058 | 123.220 | 0.000 | 645.563 |
| PB3 | 1 | 0.04 | 58.896 | 191.305 | 0.008 | 0.058 | 358.680 | 0.000 | 830.797 |
| PB4 | 1 | 0.02 | 43.464 | 123.405 | 91.272 | 2.802 | 89.060 | 0.000 | 486.462 |
| PB5 | 1 | 0.03 | 63.137 | 91.536 | 0.003 | 0.258 | 361.120 | 0.000 | 712.187 |
| peilbuis | meetronde | NH4+(ppm) | Cl-(ppm) | SO42-(ppm) | NO3-(ppm) | NO2-(ppm) | HCO3-(ppm) | PO42-(ppm) | TDS |
| PB1 | 2 | 0.05 | 38.899 | 205.280 | 67.179 | 0.017 | 244.000 | 0.049 | 770.443 |
| PB2 | 2 | 0.04 | 50.703 | 122.250 | 104.156 | 0.029 | 114.680 | 0.034 | 557.703 |
| PB3 | 2 | 0.05 | 51.016 | 229.140 | 2.370 | 0.018 | 347.090 | 0.025 | 885.728 |
| PB4 | 2 | 0.04 | 44.639 | 121.000 | 101.120 | 0.020 | 73.810 | 0.000 | 487.803 |
| PB5 | 2 | 0.05 | 57.367 | 105.390 | 1.398 | 0.013 | 320.860 | 0.029 | 663.789 |

Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Wortegem-Petegem



Fig 3.2 Crossplot van de redoxparameters ijzer en nitraat voor de grondwatermonsters

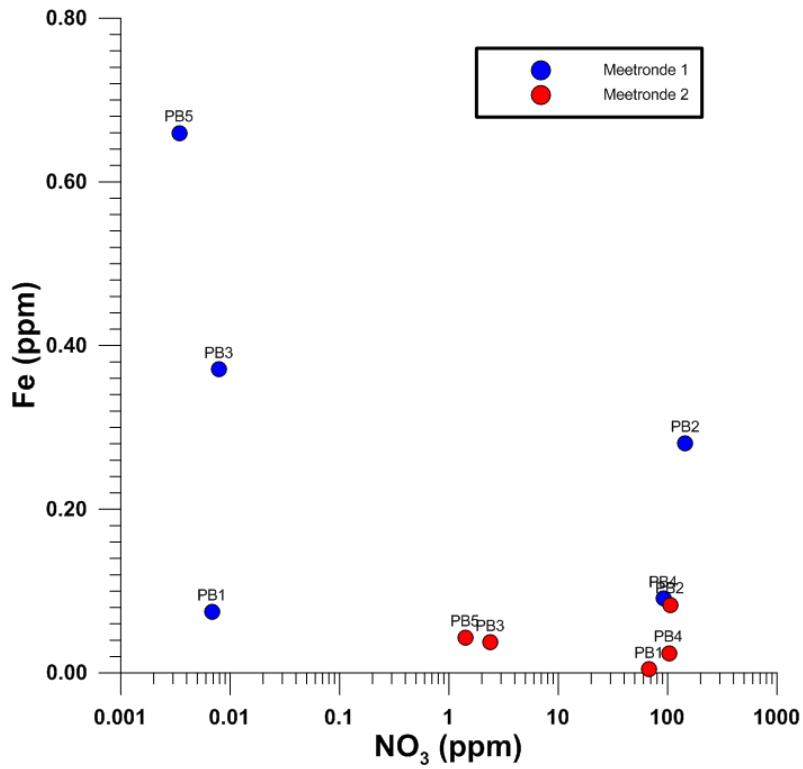
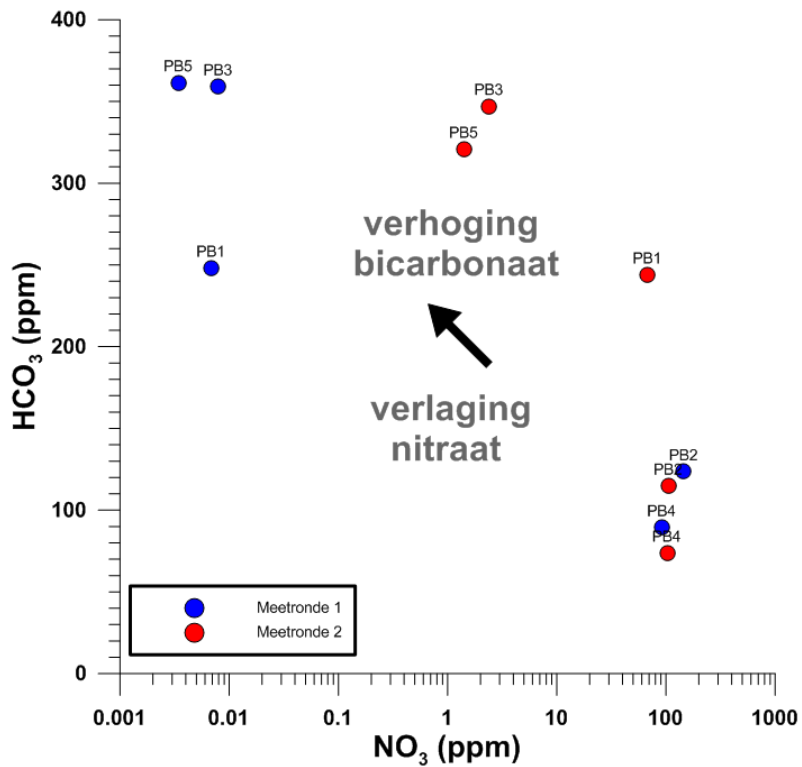


Fig 3.3 Crossplot van het bicarbonaatgehalte versus het nitraatgehalte voor de grondwatermonsters



4 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone

4.1 Inleiding

Het natuurlijk aquatisch ecosysteem kan ernstig verstoord worden door hoge nitraatconcentraties in het oppervlaktewater. Deze hoge nitraatconcentraties kunnen veroorzaakt worden door nitraatrijk grondwater, zowel instromend uit echte bronnetjes als onder disperse vorm langsheen de beken. Door de soms lange reistijden van dit grondwater kan de oorsprong van de nitraatverontreiniging zich tot tientallen jaren terug in de tijd situeren.

In dit eerste onderdeel, dat enkel de onverzadigde zone beslaat, werden simulaties uitgevoerd over een periode van 50 jaar (1968-2017), met als doel een inschatting te maken van de historische jaarlijkse aanvoer van nitraten naar het grondwater. De simulaties van de N-dynamiek werden uitgevoerd met het EU-rotate_N model met een ruimtelijke resolutie van 50 bij 50 meter. Het model werd over de gehele periode gevoed met gegevens over de bodem, teelt, bemesting, stikstofdepositie en weer. Op basis van dagelijkse simulatieresultaten konden de jaarlijkse water- en nitraatflux berekend worden op een diepte van 90 cm.

De gegenereerde gegevens werden uiteindelijk ingevoerd in het grondwatermodel, dat verder wordt toegelicht in het tweede onderdeel betreffende de verzadigde zone. Omwille van de ondiepe grondwatertafel in Wortegem-Petegem werd aangenomen dat de jaarlijkse fluxen op 90 cm zonder verdere vertraging het grondwater bereikten.

4.2 Werkwijze

4.2.1 Studiegebied

Het stroomgebied in Wortegem-Petegem werd afgebakend op basis van de resultaten van het grondwatermodel (fig 4.1). Het afgebakende gebied is ongeveer 327 ha groot. Het stroomgebied werd ingedeeld in een grid bestaande uit 1308 cellen van 50 meter bij 50 meter. Voor elk van de cellen werd een aparte simulatie uitgevoerd.

4.2.2 Twee simulatieperiodes

Het EU-rotate_N model kan maximaal 30 opeenvolgende jaren simuleren. Er werden daarom 2 rotaties van 30 jaar gesimuleerd: van 1965 t.e.m. 1994 en van 1988 t.e.m. 2017. Er is een overlap van enkele jaren aangezien het model een opwarmperiode vereist voor initialisatie van de parameters voor bodemorganische stof. Ook daarom werd maar betrouwbare output gegenereerd vanaf het jaar 1968 t.e.m. het jaar 2017.

4.2.3 Toekennen van modelparameters

4.2.3.1 Databanken

Het model werd gevoed met verschillende parameters (fig 4.2). Elke cel binnen het stroomgebied werd gekarakteriseerd a.d.h.v. de bodembedekking, de bodemtextuur

en het bodemorganische stofgehalte. Hiervoor werden gegevens geëxtraheerd uit respectievelijk de bodembedekkingskaart (opname 2012, uitgegeven door AGIV op 4 februari 2016), de bodemkaart (versie 2.0, uitgegeven door DOV op 20 juni 2016 en de kaart 'Soil Organic Carbon Stock Maps for Belgium' (opname 2017, uitgegeven door DOV op 15 januari 2018). Vervolgens werden aan de gridcellen op jaarlijkse basis teelten, nateelten, bemestingsvormen en bemestingshoeveelheden toegewezen, waarbij gebruik gemaakt werd van recente gegevens die ter beschikking werden gesteld door de VLM en oudere gegevens van Statbel. De gemiddelde stikstofdepositie werd berekend op basis van cijfers van de VMM en toegepast over het hele stroomgebied. Het KMI verschaftte specifiek voor de regio Wortegem-Petegem dagelijkse weersgegevens voor de periode 1965-2017.

4.3.2.2 Bodembedekking

Bodembedekkingsklassen werden samengenomen en herleid tot 7 klassen (Tabel 4.1). Op basis van de bodembedekking werd eveneens bepaald welk type rotatie per gridcel werd uitgevoerd. Het grid werd over de bodembedekkingskaart gelegd en elke gridcel kreeg de bodembedekking toegewezen die de grootste oppervlakte van de cel innam.

Tabel 4.1: Bodembedekking voor en na herleiding tot 7 klassen in het grid en het overeenkomstige rotatietype.

| Bodembedekking BBK | Bodembedekking na herleiding (grid) | Type rotatie |
|--|--|--|
| Akker | akkerland | jaarlijkse teelt + nateelt met jaarlijkse dierlijke en minerale bemesting |
| Bomen Bomen (WBN) Bomen (WTZ) | bos | meerjarige teelt zonder bemesting waarbij waarden voor percolatie en uitspoeling worden nagestreefd voor bos zoals uit de literatuur |
| Overig Onafgedekt | braak | geen teelt, geen bemesting |
| Gebouwen Autowegen Sporwegen Overig Afdgedekt | infrastructuur | simulatie zonder percolatie en uitspoeling |
| Gras, Struiken Gras, Struiken (WBN) Gras, Struiken (WBZ) | tuin+park | meerjarige grasteelt met beperkte jaarlijkse minerale bemesting en 5 maaibeurten per jaar |
| Water | water | simulatie zonder percolatie en uitspoeling |
| Gras, Struiken (Lbgebrperc) | weiland | blijvend grasland = meerjarige grasteelt met jaarlijkse dierlijke en minerale bemesting en 5 maaibeurten per jaar |

Het stroomgebied Wortegem-Petegem bestaat voor 69% uit akkerland en 22% weiland (fig 4.3). Daarnaast wordt 4% wordt ingenomen door tuinen en parken, 3% door infrastructuur en 2% door bos. Minder dan 1% werd toegewezen aan braakliggende gronden.

4.2.3.3 Bodemorganische stof

Het bodemorganisch koolstofgehalte werd eveneens volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. De kaart vertoont echter plekken waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn. Gridcellen die daarmee overlappen kregen waarden toegewezen die m.b.v. interpolatie berekend werden, waardoor weliswaar ook cellen met infrastructuur als bodembedekking een waarde toegewezen kregen. Het bodemorganisch koolstofgehalte werd nadien omwille van de modelinvoer omgezet in het bodemorganische stofgehalte door dit te vermenigvuldigen met een factor 2. Het aandeel koolstof in de bodemorganische stof werd in het model dan ook gepreciseerd als 50%. Het bodemorganische stofgehalte in Wortegem-Petegem is in grote mate bepaald door de bodembedekking (Fig 1 en Fig. 4.5): op akkerland ligt dit meestal tussen 1 en 3%, op weiland tussen 2 en 4% en onder bos tussen 3 en 5%. Voor tuinen en parken was het eerder variabel

4.2.3.4 Bodemtextuur

Ook de bodemtextuur werd volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. De bodemtextuur van het stroomgebied Wortegem-Petegem bestaat voornamelijk uit zandleem (Fig. 4.5).

Voor elke bodemtextuurklasse werden waarden toegekend aan de verschillende parameters die nodig zijn als modelinput (Tabel). Per textuurklasse werden gemiddelde zand, klei- en leemfracties gebruikt. De eigenschappen van antropogene bodems werden gelijkgesteld aan die van zandbodems omwille van het frequent voorkomen van grove elementen in dergelijke bodems. De pH-H₂O werd eerder neutraal ingeschat, aangezien verondersteld wordt dat landbouwers hun percelen regelmatig bekalken. Hoe dan ook heeft de waarde van de pH in de eerder neutrale zone slechts een beperkte invloed op de nitraatuitspoeling. Voor de bulkdensiteit werden de waarden overgenomen die gehanteerd worden in het Compendium voor bemonsterings- en analysemethodes, zij het dat voor de toplaag aan alle textuurklassen een waarde van 1450 kg m⁻³ werd toegekend. Tot slot werden ook de bodemvochtparameters ingeschat (Tabel 4.3) op basis van de door Weynants aangepaste pedotransferfuncties van Vereecken (Weynants, 2009).

Tabel 4.2 Bodemparameters per textuurklasse

| Textuurklasse | zand | leem | klei | pH-H ₂ O | bulkdensiteit (kg/m ³) | | |
|--------------------|------|------|------|---------------------|------------------------------------|----------|----------|
| | m% | m% | m% | | 0-30 cm | 30-60 cm | 60-90 cm |
| Zand (Z) | 91 | 5 | 4 | 6.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Lemig zand (S) | 75 | 16 | 9 | 6.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Licht zandleem (P) | 59 | 35 | 6 | 6.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Zandleem (L) | 33 | 58 | 10 | 6.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Leem (A) | 8 | 79 | 13 | 6.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Klei (E) | 41 | 27 | 32 | 7.5 | 1450 | 1500 | 1500 |
| Zware klei (U) | 33 | 8 | 60 | 7.5 | 1450 | 1500 | 1500 |

Tabel 4.3 Bodemvochtparameters per textuurklasse (REW = snel beschikbaar water voor verdamping, VC = veldcapaciteit, VP = verwelkingspunt, SAT = verzadiging).

| Textuurklasse | 0-30 cm | | | | | 30-90 cm | | | |
|--------------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|
| | REW mm | VC vol% | VP vol% | SAT vol% | PBW vol% | VC vol% | VP vol% | SAT vol% | PBW vol% |
| Zand (Z) | 6.849 | 0.171 | 0.050 | 0.404 | 0.121 | 0.167 | 0.049 | 0.396 | 0.118 |
| Lemig zand (S) | 7.922 | 0.223 | 0.085 | 0.410 | 0.138 | 0.219 | 0.083 | 0.402 | 0.136 |
| Licht zandleem (P) | 8.168 | 0.234 | 0.091 | 0.407 | 0.143 | 0.229 | 0.089 | 0.399 | 0.140 |
| Zandleem (L) | 8.949 | 0.272 | 0.118 | 0.412 | 0.154 | 0.267 | 0.115 | 0.404 | 0.152 |
| Leem (A) | 9.480 | 0.292 | 0.123 | 0.416 | 0.169 | 0.286 | 0.121 | 0.408 | 0.165 |
| Klei (E) | 9.814 | 0.347 | 0.213 | 0.440 | 0.134 | 0.341 | 0.209 | 0.432 | 0.132 |
| Zware klei (U) | 10.492 | 0.431 | 0.336 | 0.477 | 0.095 | 0.423 | 0.330 | 0.469 | 0.093 |

4.2.3.5 Teelten en nateelten

Voor gridcellen met bodembedekkingsklasse 'akkerland' werd jaarlijks een teelt en nateelt bepaald. De werkwijze hiervoor is afhankelijk van de simulatieperiode.

Simulatieperiode 1988-2017

Voor de periode 1998-2017 werd het grid over de teeltkaarten gelegd en werd volgens het principe van de grootste oppervlakte aan elke gridcel jaarlijks een teelt toegewezen. Op dezelfde wijze werd jaarlijks een nateelt (inclusief vanggewassen) aan het grid toegewezen.

De teeltgegevens die gekend zijn voor de periode 1998-2017 tonen aan dat de voedergewassen gras en maïs goed vertegenwoordigd zijn op het landbouwareaal in Wortegem-Petegem, naast akkerbouwteelten zoals wintergranen, aardappel en suikerbiet (Fig. 4.6). Alle door het model gekende teelten in het stroomgebied werden gesimuleerd, waarbij sommige teelten vervangen werden door vergelijkbare teelten (bv. andere granen door zomergerst, cichorei door witloof, schorseneer en rapen door wortel, triticale door wintertarwe). Enkel voor vlas konden geen modelparameters bepaald worden. Voor deze teelt op akkerland werd, net als voor de categorie 'andere' teelten, een éénjarige braak zonder bemesting gesimuleerd. Er is in dat geval geen simulatie van de opname, noch van de transpiratie, maar wel van de uitspoeling van minerale N vrijgesteld uit bodemorganische stof en uit de oogstresten van een mogelijke teelt van het voorafgaande jaar.

De precisie van de door de VLM verzamelde teeltgegevens neemt weliswaar toe in de tijd. Zo werd tijdens t.e.m. 2007 nog geen opsplitsing gemaakt tussen verschillende soorten groenten. Voor gridcellen met de waarde 'groenten' in die periode werd daarom willekeurig een groenteteelt toegekend die in de periode nadien (2008-2017) op hetzelfde perceel geregistreerd werd. Daarbij werd ook rekening gehouden met de frequentie van voorkomen van die groenteteelt. Indien in de periode 2008-2017 geen groente werd geteeld op het perceel, werd willekeurig

een teelt gekozen uit de lijst van de in het stroomgebied geregistreerde groenten. Ook de nateelten en met name de groenbemesters zijn niet altijd precies omschreven. Indien er 'groenbemester' staat wordt er willekeurig een groenbemester gekozen uit een lijst van groenbemesters.

Voor de periode 1988-1996 zijn er op perceelsniveau geen gegevens beschikbaar over de teelten en de nateelten en voor 1997 is deze informatie in Wortegem-Petegem slechts voor een deel van de percelen beschikbaar. Er werd daarom elk jaar willekeurig een teelt toegekend die in de periode nadien (1998-2017) op hetzelfde perceel geteeld werd. Daarbij werd ook rekening gehouden met de frequentie van voorkomen van die teelt. Voor de nateelt werd ervan uitgegaan dat voor ingang van het Mestdecreet (dus tot en met 1990) enkel groenbemesters werden geteeld na granen, en dit op 10% van de percelen met granen. Er werd willekeurig een groenbemester gekozen uit een lijst van groenbemesters. Voor de jaren 1991-1997 werd dit percentage voor percelen met granen verhoogd naar 50% en werd er bovendien op 25% van de percelen met snijmaïs een nateelt gras gesimuleerd. Daarnaast werd in de hele periode 1965-1997 een tweede teelt groenten gesimuleerd op 50% van de percelen met een mogelijke eerste teelt groenten.

Simulatieperiode 1965-1994

Voor deze periode zijn geen gegevens beschikbaar op perceelsniveau. Voor de recentere jaren 1980-1994 zijn cijfers beschikbaar over de indeling van het landbouwareaal per gemeente (Statbel). De verschillende teelten werden op jaarlijkse basis overeenkomstig hun aandeel voor de gemeente Wortegem-Petegem willekeurig verdeeld over de gridcellen met bodembedekking 'akkerland'. Voor de teeltcategorie 'groenten' werd willekeurig een groente toegewezen uit een lijst van groenten.

Voor de oudere jaren 1965-1979 zijn geen gegevens beschikbaar op gemeenteniveau, maar wel op niveau van de landbouwstroken (Statbel). Voor Wortegem-Petegem werden cijfers voor de Zandleemstreek aangewend. Hierbij werd uitgegaan van de laatst gekende teeltverdeling op gemeenteniveau (jaar 1980) en werd het aandeel van elke teelt terug in de tijd gewijzigd overeenkomstig de evolutie in de Zandleemstreek (met interpolatie per 5 jaar). De verdeling van de teelten over de gridcellen gebeurde opnieuw willekeurig.

4.2.3.6 Dierlijke bemesting

Voor gridcellen met bodembedekkingsklasse 'akkerland' en 'weiland' werd jaarlijks de toediening van dierlijke mest gesimuleerd. Er werd in de meeste gevallen jaarlijks één dosis dierlijke mest toegediend. Enkel voor percelen waarop twee groenteteelten na elkaar worden gesimuleerd, werd de bemesting opgedeeld in twee dosissen, één voorafgaand aan elke teelt. Op groenbemesters werd geen bemesting gesimuleerd. De gevolgde werkwijze voor het berekenen van de dierlijke bemestingsdosis is opnieuw afhankelijk van het jaartal.

Periode 2007-2017

Er werd verondersteld dat de teelt- en textuurspecifieke bemestingsnormen volledig werden gevolgd. Daarbij werd uitgegaan van een maximale invulling van de dierlijke bemestingsnorm, waarbij rekening werd gehouden met de bemestingsnormen voor zowel stikstof als fosfor.

Voor de simulatie van de dierlijke bemesting werd eveneens de mestsoort bepaald, waarbij een keuze gemaakt wordt tussen rundermengmest, varkensmengmest, vaste paardenmest en vaste kippenmest. Aan alle percelen van een landbouwbedrijf werd de mestsoort toegewezen die op het bedrijf het grootste aandeel in de totale productie aan dierlijke N innam. Deze cijfers zijn beschikbaar voor de periode 2007-2017 (VLM). In het stroomgebied Wortegem-Petegem komen voornamelijk runderen voor, maar ook paarden en varkens (fig 4.7).

Periode 1965-1995

Voor de jaren voorafgaand aan de ingang van het Mestdecreet (1991) en ook tijdens de eerste fase van het mestactieplan (MAP1, 1991-1995) werd aangenomen dat de geproduceerde dierlijke mest volledig afgezet werd op eigen grond of gronden in de onmiddellijke omgeving van het bedrijf. De jaarlijkse gemiddelde dosis dierlijke N werd dan ook berekend overeenkomstig de berekende uitscheiding op basis van de dieren aantallen, waarbij gebruik gemaakt werd van de oudste richtwaarden voor de mestproductie en mestsamenstelling (VLM). Cijfers over dieren aantallen zijn beschikbaar op gemeentelijk niveau voor de jaren 1980-1995 en op niveau van de landbouwstroken voor de jaren 1965-1980 (Statbel). Er werd, net als voor de teelten, uitgegaan van de laatst gekende dieren aantallen op gemeentelijk niveau (jaar 1980), die vervolgens terug in de tijd gewijzigd werden overeenkomstig de evolutie in de Zandleemstreek (Fig 4.8).

Voor de bepaling van de mestsoort werd vertrokken vanuit de oudste gekende situatie (2007) en werd de mestsoort behouden of veranderd volgens probabiliteiten overeenstemmend met jaarlijkse regionale veranderingen in het aandeel van de verschillende mestsoorten (Fig 4.9).

Aangezien ook voor ingang van het mestdecreet al rekening gehouden werd met de stikstofvraag van het gewas, werd de gemiddelde bemestingsdosis per teelt vermenigvuldigd met een factor. Deze teeltfactor werd bepaald door simulaties uit te voeren over een periode van 10 jaar en de gesimuleerde maximale stikstofopname van elke teelt te delen door de gemiddelde maximale stikstofopname van alle teelten. De teeltfactor werd jaarlijks herschaald door de voorwaarde op te leggen dat de gewogen gemiddelde teeltfactor over het hele stroomgebied elk jaar gelijk moet zijn aan 1. Op die manier werd verzekerd dat de bemestingsdruk in het stroomgebied werd gerespecteerd.

Periode 1996-2006

Voor deze overgangperiode werd aangenomen dat de norm nog steeds overschreden werd, zij het in steeds mindere mate door het stijgend aantal mesttransporten en de toename in mestverwerking. Daarom werd jaar na jaar het

verschil berekend tussen enerzijds de dierlijke N berekend uit de gemeentelijke dierenaantallen en anderzijds de bemestingsnorm. Dit verschil werd vermenigvuldigd met een met de tijd groter wordende afnamefactor en opgeteld bij de bemestingsnorm zodat er een lineaire afname van de bemesting werd gesimuleerd, tot in 2007 de bemestingsnorm werd gerespecteerd. In Wortegem-Petegem werd nog geen lineaire toename van de bemesting gesimuleerd, wat op weiland resulteerde in een plotse toename van de dierlijke bemesting tussen 2006 en 2007. In latere simulaties op andere stroomgebieden werd de lineaire toename wel geïmplementeerd, wat overeenkomt met de groeiende invoer van mest uit andere gebieden.

4.2.3.7 Minerale bemesting

Op gridcellen met bodembedekkingsklasse 'akkerland' en 'weiland' werd naast een dierlijke bemesting ook jaarlijks de toediening van een dosis kunstmest gesimuleerd, onder de vorm van ammoniumnitraat. Net als voor de dierlijke mest werd deze eenmalig toegediend, maar werd die opgedeeld in twee dosissen wanneer twee groenteteelten na elkaar werden gesimuleerd.

De berekening van de minerale bemestingsdosis is opnieuw afhankelijk van het jaartal.

Periode 2007-2017

Er werd verondersteld dat de teelt- en textuurspecifieke bemestingsnormen volledig werden gevolgd. De minerale N-dosis werd berekend uit het verschil van de totale N-bemestingsnorm en de berekende dierlijke N-dosis. Vanaf 2015 werd het systeem van de werkzame N gehanteerd.

Periode 1965-2006

Voor deze periode werd noodzakelijkerwijs gewerkt met nationale gemiddelden (Statbel en EMAV), aangezien er geen cijfers beschikbaar zijn op regionaal of gemeentelijk niveau. Tussen 1985 en 1990 ontbraken gegevens en werden de cijfers geïnterpoleerd (fig 4.10).

4.2.3.8 Stikstofdepositie

Voor de N-depositie in Wortegem-Petegem werden gegevens verkregen van het VLOPS-model van de VMM. Aangezien het model niet toelaat om jaarlijkse cijfers in te voeren, werd over de tweede simulatieperiode (1988-2017) een gemiddelde N-depositie berekend en toegepast. Deze bedroeg in Wortegem-Petegem 35 kg N ha^{-1} per jaar. Aangezien voor de eerste simulatieperiode (1965-1994) geen cijfers over depositie beschikbaar zijn, werd aangenomen dat de N-depositie vergelijkbaar was in de eerste en de tweede simulatieperiode. Gedurende de eerste periode werd immers een stijging van de N-depositie verondersteld, terwijl in de tweede periode de depositie afnam door specifieke maatregelen.

4.2.3.9 Weersgegevens

Specifiek voor Wortegem-Petegem werden ruimtelijk geïnterpoleerde gegevens door het KMI ter beschikking gesteld voor de periode 1965-2017:

- minimale, maximale en gemiddelde dagelijkse temperatuur
- dagelijkse hoeveelheid neerslag
- dagelijkse gemiddelde windsnelheid
- dagelijkse potentiële evapotranspiratie

4.3 Resultaten

4.3.1 Gesimuleerde uitspoeling in het stroomgebied Wortegem-Petegem

Zowel de nitraatuitspoeling als de waterpercolatie werd op dagelijkse basis gesimuleerd op een diepte van 90 cm en geaccumuleerd tot jaarlijkse cijfers, waarmee ook de gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water berekend werd. De ter illustratie weergegeven resultaten voor uitspoeling in zijn deze voor 2013, een jaar met een hoeveelheid aan percolerend water (284 mm) ver boven het langjarig gemiddelde voor Wortegem-Petegem (159 mm).

Voor 2013 bleek de percolatie afhankelijk van de teelt en nateelt in dat jaar: zo was er algemeen minder percolatie op percelen met wintergranen gevolgd door mosterd of gras (200-250 mm). De hoogste percolatie (> 400 mm) werd gesimuleerd onder ui en uiteraard ook onder braak (geen transpiratie). De hoeveelheid uitgespoelde nitraatstikstof in 2013 werd bepaald door de teelt en nateelt van zowel 2012 als 2013, aangezien de uitspoeling op de zandleembodems in beide winters zowel deels voor als deels na de jaarwisseling plaats greep. Opvallend zijn o.a. de algemeen hogere uitspoeling op weiland en de (sterk) verminderde uitspoeling op percelen waar in een van beide jaren wintergranen al dan niet gevolgd door vanggewassen werden geteeld. Ondanks de soms grote hoeveelheden stikstof die uitspoelen, blijft de nitraatconcentratie nog enigszins beperkt omwille van de relatief sterke verdunning. Onder bos, tuinen en parken werden lagere hoeveelheden nitraatuitspoeling en nitraatconcentraties gesimuleerd.

De jaarlijkse waterpercolatie op 90 cm over het hele stroomgebied (met inbegrip van ondoorlatende oppervlakken) fluctueert sterk en is gemiddeld 158 mm (fig 4.10). Indien de ondoorlatende oppervlakken niet in rekening worden gebracht is dit gemiddeld 163 mm per jaar. Dit gemiddelde is iets kleiner dan het langjarig gemiddelde gesimuleerd door het model Wetspass (Batelaan et al., 2006) voor zandleembodems in Vlaanderen (fig 4.11).

De gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie over het hele stroomgebied vertoont net als de waterpercolatie een erg grillig verloop, met waarden tussen 74 en 654 mg NO₃ L⁻¹ (fig 4.12). Er is sprake van een opwaartse trend tot eind de jaren '80, gevolgd door een gestage afname tot een concentratie wordt bereikt die schommelt tussen ongeveer 100 en 200 mg NO₃ L⁻¹ in de meest recente jaren. Pieken in de nitraatconcentratie treden vooral op tijdens en kort na drogere periodes. Tijdens

drogere periodes (bv. 1971-1973) spoelt slechts een beperkte hoeveelheid nitraat uit. In het nat jaar dat daarop volgt (bv. 1974) spoelen op zandleembodems de tijdens de drogere periode geaccumuleerde hoeveelheden nitraat snel uit, waardoor de concentratie ondanks de grote hoeveelheid percolerend water ook hoog ligt. Het grillige verloop van de nitraatconcentratie wordt bovendien geaccentueerd doordat de gemiddelde concentratie per kalenderjaar werd berekend: in een droog najaar zullen de nitraten immers pas grotendeels uitspoelen na 1 januari, waardoor er naast kalenderjaren met één periode van intense uitspoeling in het najaar ook kalenderjaren zijn zonder sterke uitspoeling en kalenderjaren met twee periodes van intense uitspoeling, in het voorjaar en in het najaar.

4.3.2 Nitraatconcentratie voor de verschillende bodembedekkingen

De jaarlijkse gemiddelde nitraatconcentratie is in het stroomgebied Wortegem-Petegem over de hele periode (1968-2017) het hoogst voor weiland en slechts iets lager voor akkerland, een stuk lager voor braakliggende gronden, veel lager voor tuinen en parken en het laagste voor bos (fig 4.13). De nitraatconcentratie is sinds de volledige implementatie van de bemestingsnormen in 2007 duidelijk afgenomen en is nu hoger voor akkerland dan voor weiland. Desondanks is de concentratie op akkerland, weiland en braakliggende gronden nog steeds groter dan $50 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$. Opvallend is de relatief grote concentratie die gesimuleerd wordt op braakliggende gronden, wellicht het gevolg van het hoge gehalte aan bodemorganische stof voor 1 van de 2 cellen.

4.3.3 Gesimuleerde bemesting, nitraatresidu en nitraatconcentratie op akkerland en weiland

De gesimuleerde bemestingsdruk op akkerland vertoont behoorlijk grote veranderingen doorheen de tijd (fig 4.14): er is een snelle toename tot het jaar 1990, waarna het bemestingsniveau enkele jaren gehandhaafd blijft om vervolgens terug te dalen tot in 2007, wanneer de bemestingsnormen ten volle geïmplementeerd worden, een evenwicht bereikt wordt. De nitraatconcentratie volgt dezelfde trend en vertoont een maximum van $850 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ in 1991 en een minimum van $69 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ in 2014.

Opvallend is de plotse toename van de bemesting met dierlijke N op weiland tussen 2006 en 2007 door instelling van de norm (fig 4.15). Voor dierlijke N werd in Wortegem-Petegem voor de periode 1996-2006 geen lineaire toenamefactor toegepast om invoer van mest te simuleren, deze werd nadien wel geïmplementeerd in andere stroomgebieden. We zien daardoor ook dat de trend in de nitraatconcentratie na een daling in de jaren '90 opnieuw licht toeneemt vanaf 2007. De maximale concentratie van $1138 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ wordt bereikt in 1974, de minimale concentratie van $32 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ in 2003.

Het gesimuleerde nitraatresidu wordt telkens voor 15 oktober weergegeven, zowel op akkerland (fig 4.16) als op weiland (fig 4.17). De gesimuleerde nitraatconcentratie en het nitraatresidu gaan hand in hand, zij het dat de respons van de nitraatconcentratie op het nitraatresidu vaak één jaar later komt wanneer de uitspoeling plaats vindt in het begin van het daaropvolgende kalenderjaar. Op akkerland en weiland wordt op

15 oktober een gemiddeld nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk 153 en 188 kg N ha⁻¹ over de volledige simulatieperiode. Bij implementatie van de bemestingsnormen in 2007-2017 is dat gemiddeld nog 80 en 70 kg N ha⁻¹. Er werd in Wortegem-Petegem een maximaal nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk 403 en 616 kg N ha⁻¹. Op akkerland schommelen de laagste nitraatresiduen op 15 oktober net onder 50 kg N ha⁻¹, terwijl de overeenkomstige gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentraties net onder de 100 mg NO₃ L⁻¹ liggen. Op weiland zijn de laagste nitraatresiduen ongeveer 20 kg N ha⁻¹ en liggen de overeenkomstige concentraties onder de 50 mg NO₃ L⁻¹. Merk op dat de laagste waarden op weiland worden gesimuleerd in de periode 2001-2007, waarin de bemestingsdruk in het stroomgebied is afgenomen en in de simulaties nog niet wordt gecompenseerd door de invoer van mest omwille van de ontbrekende lineaire toenamefactor.

4.4.4 Validatie nitraatresidu

De validatie van de modelresultaten werd uitgevoerd a.d.h.v. de door de VLM op jaarlijkse basis (2007-2017) in het stroomgebied gemeten nitraatresiduen tussen 1 oktober en 15 november. De gemeten nitraatresiduen werden vergeleken met de gesimuleerde waarden op 15 oktober, maar een puntsgewijze validatie was niet aan de orde. Het EU-Rotate_N model is gebruikt in eerdere studies waarbij telkens bleek dat indien de bodemeigenschappen van een specifiek perceel gekend en gekalibreerd zijn, de aan- en afvoer van nutriënten effectief gemeten worden en er precies geweten is welke handelingen wanneer zijn uitgevoerd op het perceel, de simulaties zeer nauw aansluiten bij metingen. In deze studie bevinden we ons echter in een totaal andere situatie. De simulaties gebeuren op basis van gegevens uit databanken (textuur, bodemorganische stof), die niet op perceelniveau verzameld zijn, maar op schaal van het stroomgebied wel betrouwbaar zijn. De simulaties zijn als gevolg daarvan niet altijd even accuraat op perceelniveau, maar de gemiddelde output van de verschillende simulaties is op jaarlijkse basis wel relevant voor het stroomgebied.

In deze validatie wordt daarom enkel nagegaan of de nitraatresidumetingen al dan niet systematisch onderschat of overschat werden door de modelresultaten. De gemiddelde fout (= simulatie - meting) bedraagt hier 21 kg N ha⁻¹ en toont aan dat in Wortegem-Petegem de gemeten nitraatresiduen door de simulatie enigszins overschat werden (fig 4.18). De trendanalyse van het nitraatresidu doorheen de tijd (fig 4.19) bevestigt dat er in de periode 2007-2010 sprake is van systematische en grote overschattingen, maar dat er vanaf 2011 zowel kleine over- als onderschattingen waren. Het is mogelijk dat de initiële overschattingen (deels) het gevolg zijn van een negatieve bias op de metingen. De gefitte lineaire trend is dan ook iets sterker dalend voor de gesimuleerde dan voor de gemeten nitraatresiduen.

4.4 Besluit

Het stroomgebied Wortegem-Petegem bestaat grotendeels uit zandleembodems en wordt voornamelijk gekarakteriseerd door landbouw (zowel akkerbouw als veeteelt). Het niet-landbouwgebonden bodemgebruik in het stroomgebied bedraagt minder dan 10% van de oppervlakte. De historische bemestingsdruk is er eerder gemiddeld t.o.v. de andere stroomgebieden. De gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse

nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm bedraagt 310 mg NO₃ L⁻¹ voor de periode 1968-2017. Door het kleine aandeel bos, tuinen en parken in dit stroomgebied is er slechts een beperkte verdunning van de nitraten die uitspoelen op akkerland en weiland. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van 174 mg NO₃ L⁻¹ gesimuleerd.

Fig.4.1: Stroomgebied Wortegem-Petegem

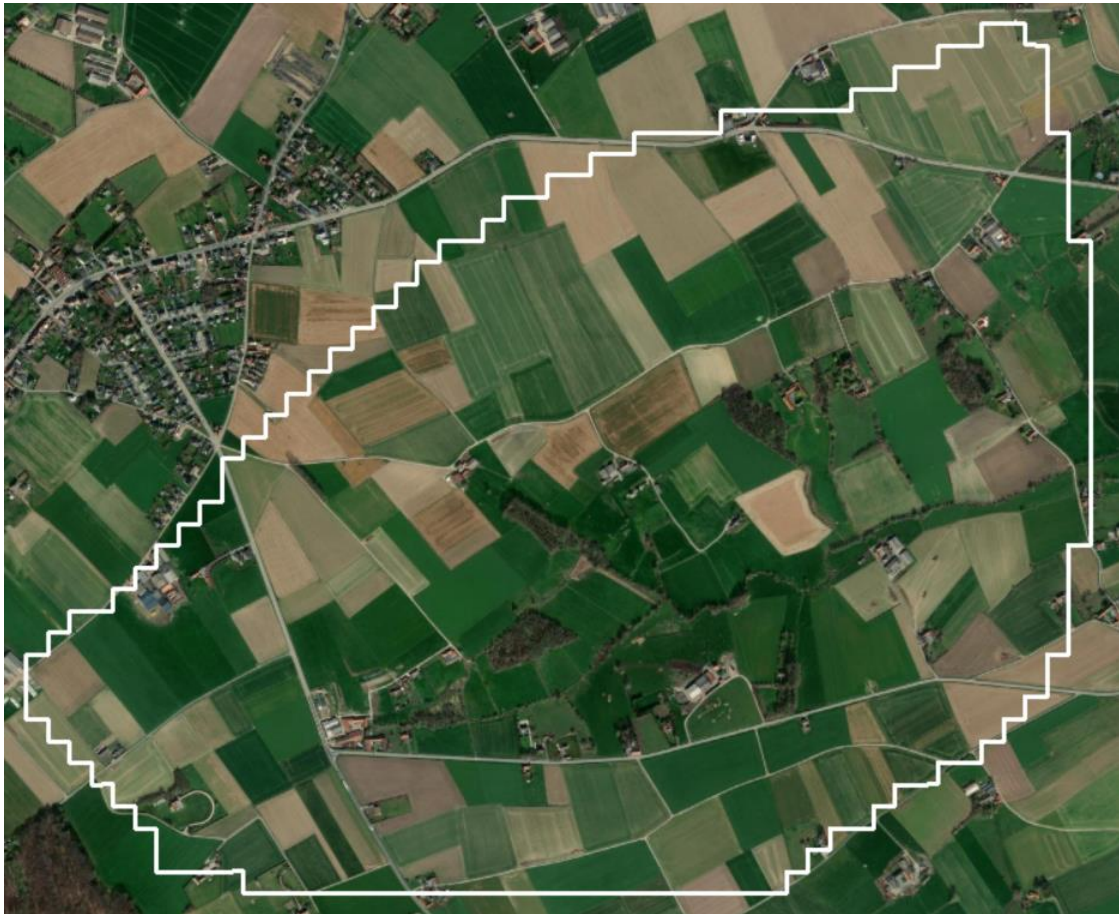


Fig 4.2 Overzicht van de modelinvoer.

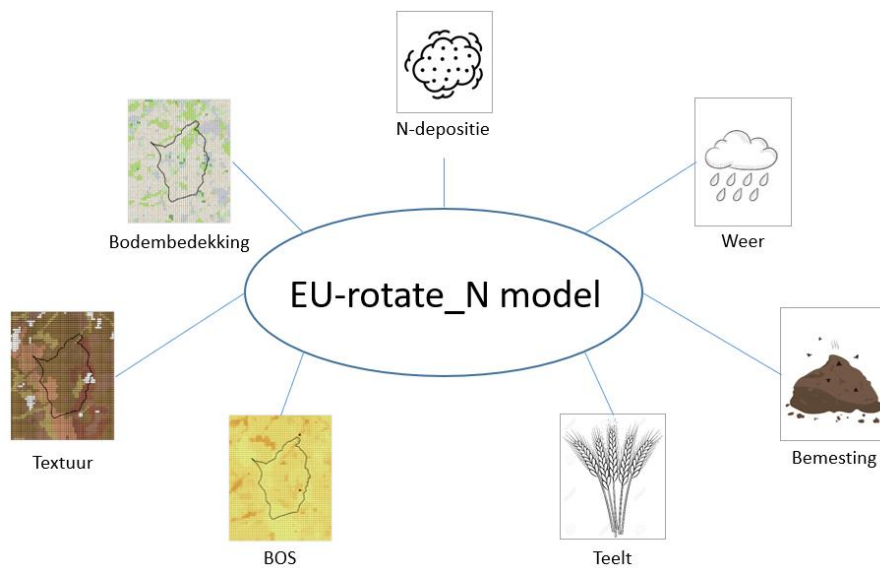


Fig 4.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied Wortegem

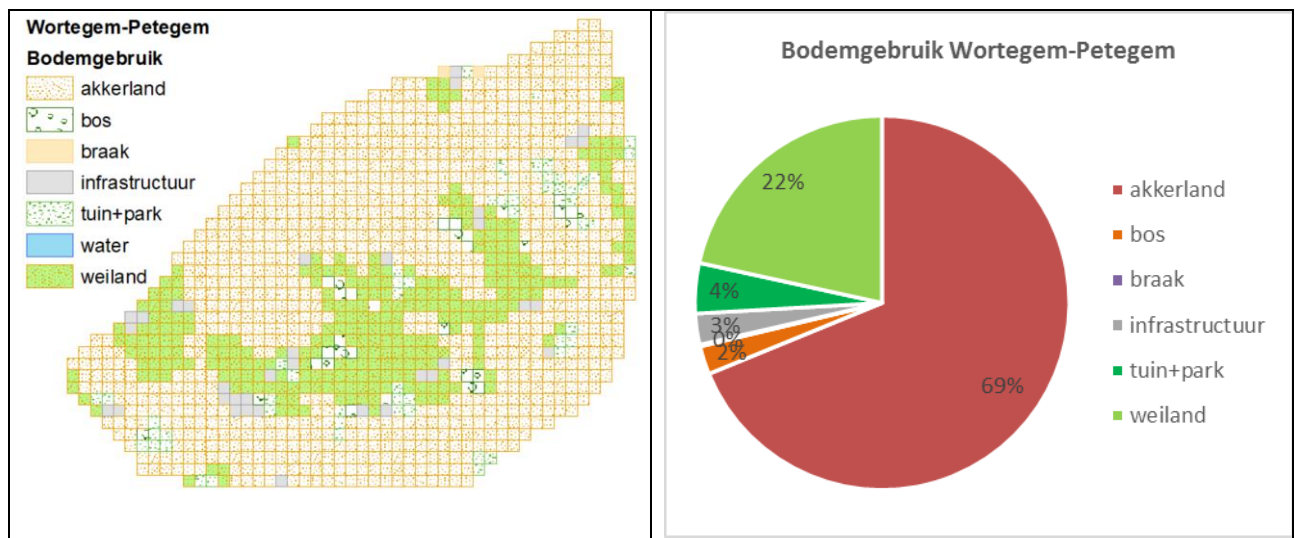


Fig 1.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g⁻¹ droge bodem) voor het stroomgebied Wortegem-Petegem

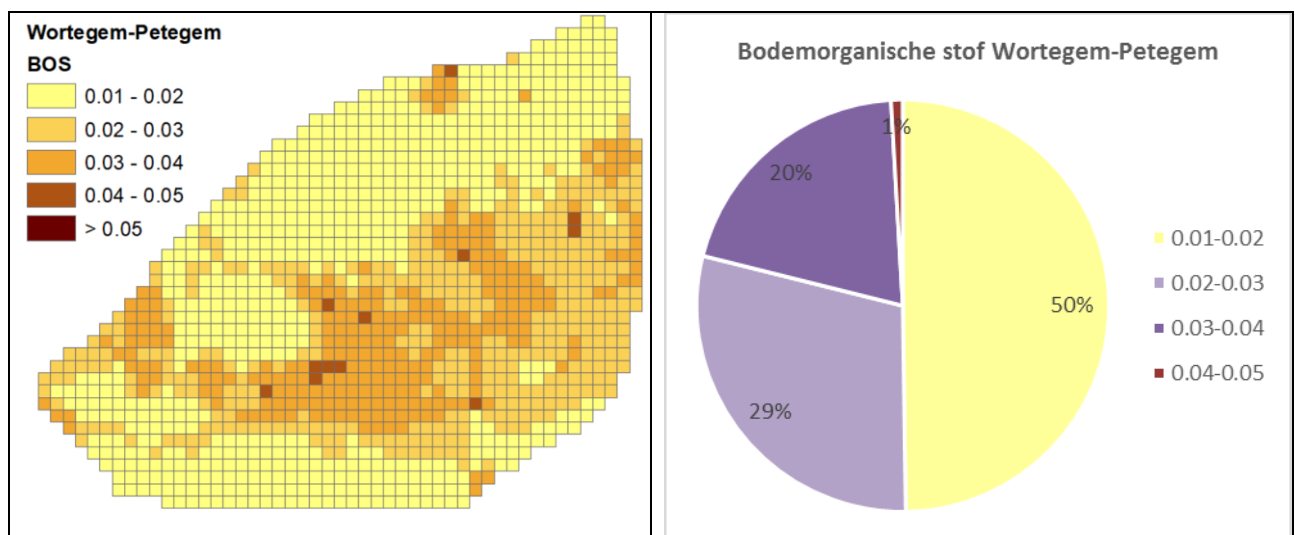


Fig 4.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Wortegem-Petegem

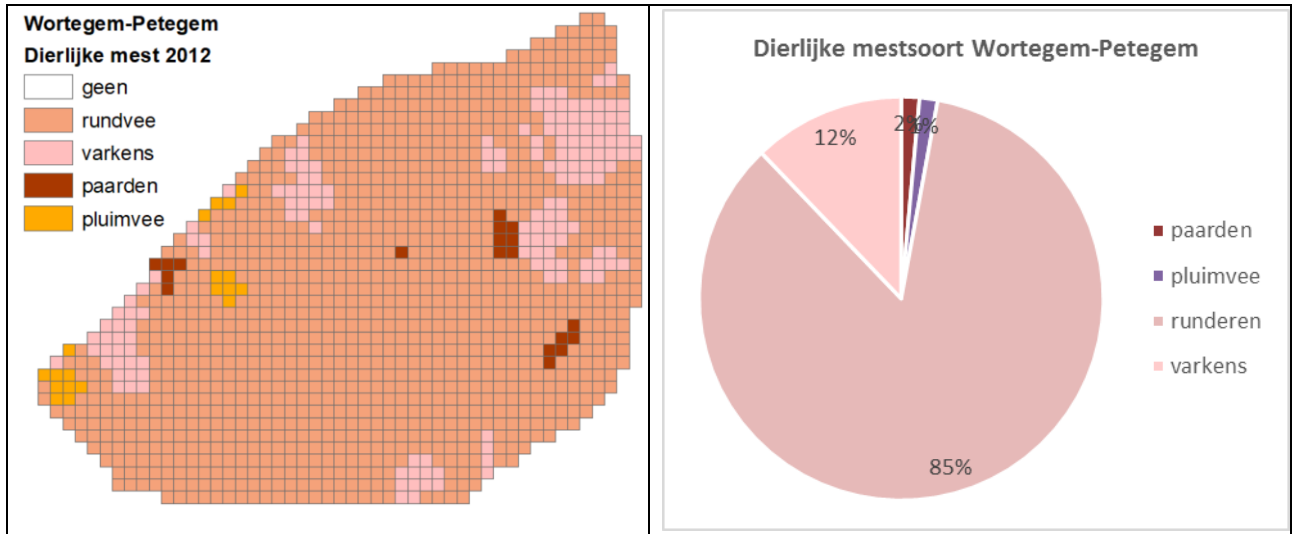


Fig 4.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha ndbouwgrond in de regio Wortegem-Petegem.

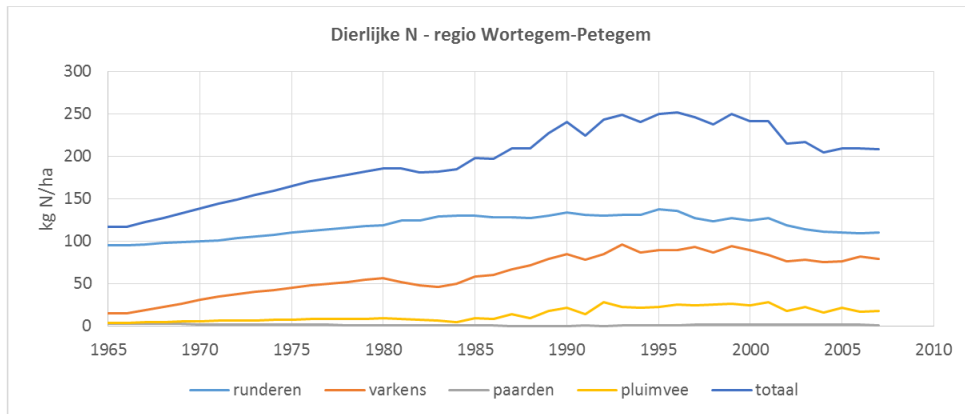


Fig 4.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België

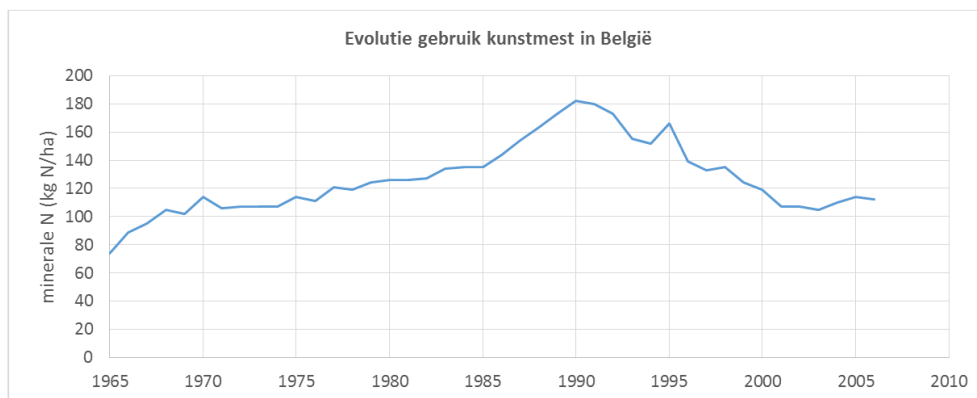
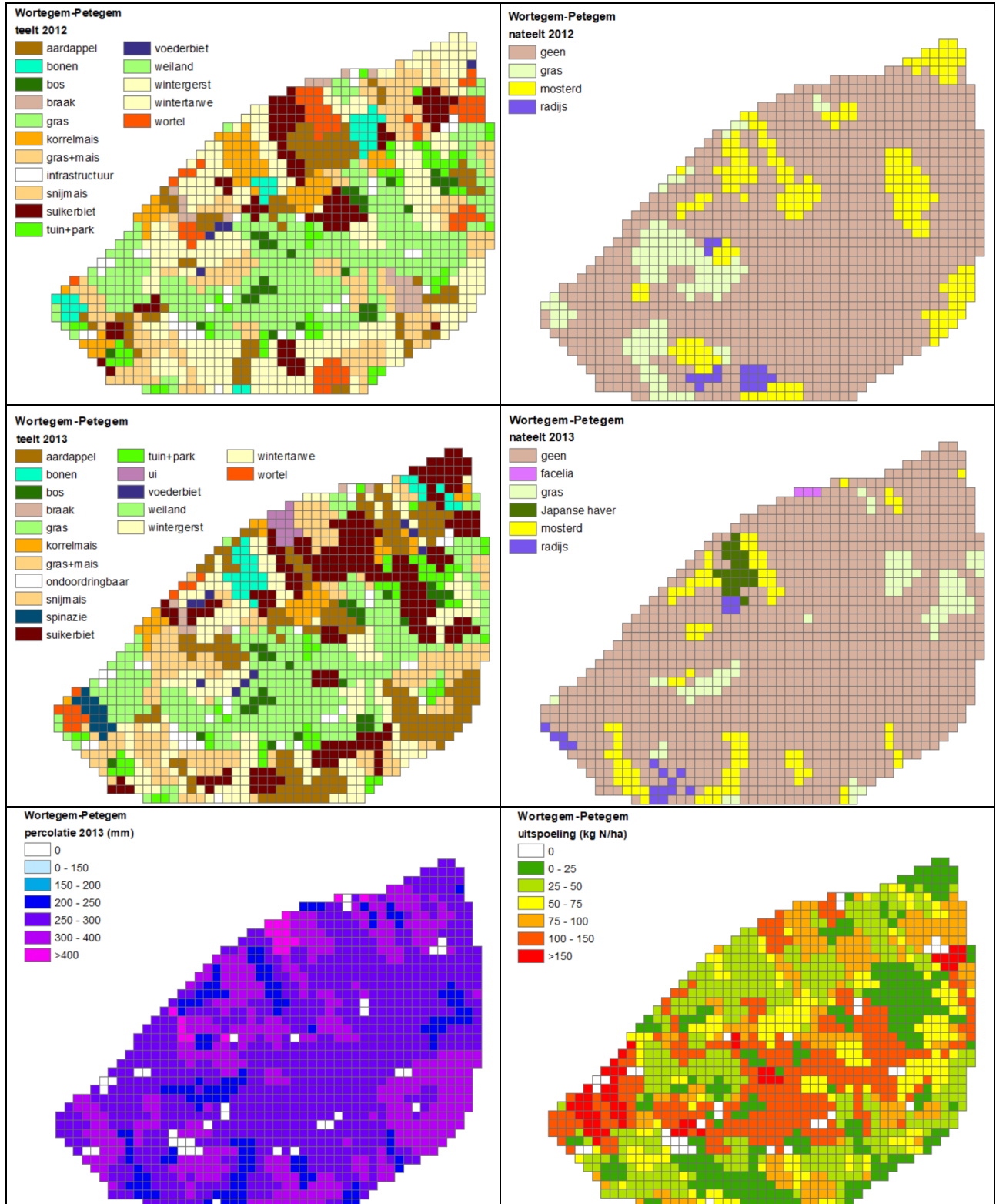


Fig 4.10 Gesimuleerde teelt en nateelt in 2012 en 2013 en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze.



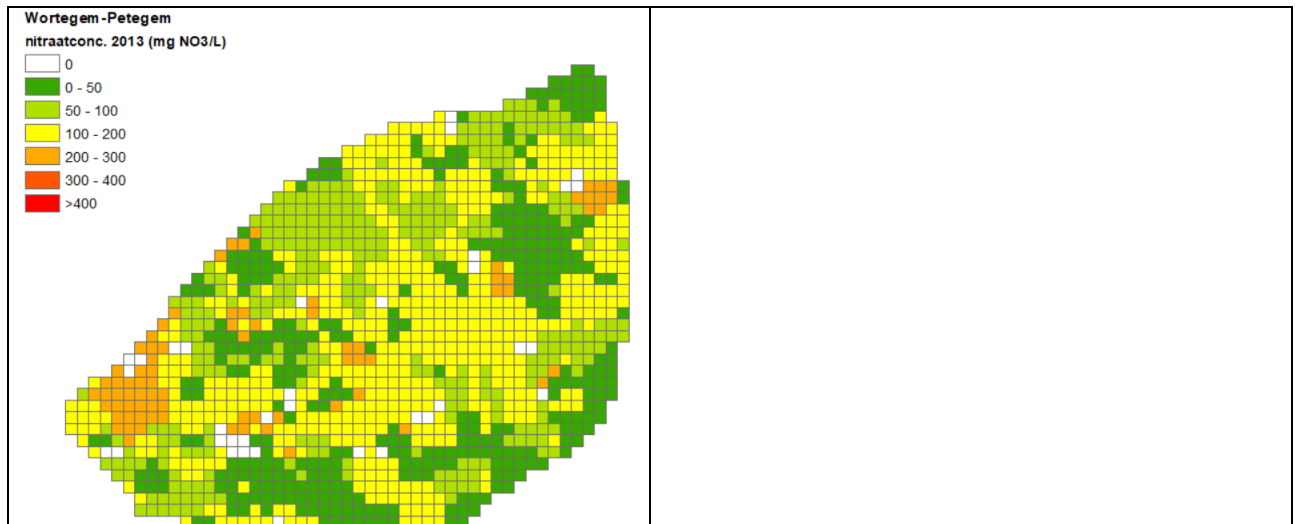


Fig 4.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied

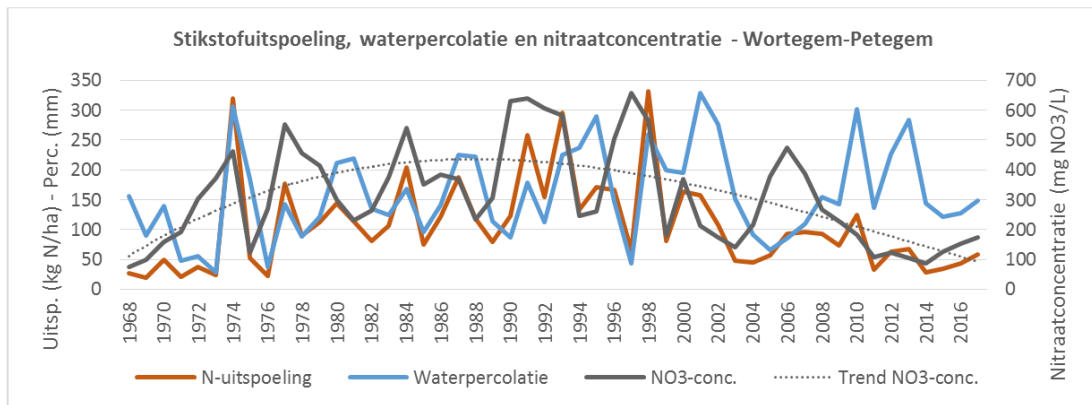


Fig 4.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.

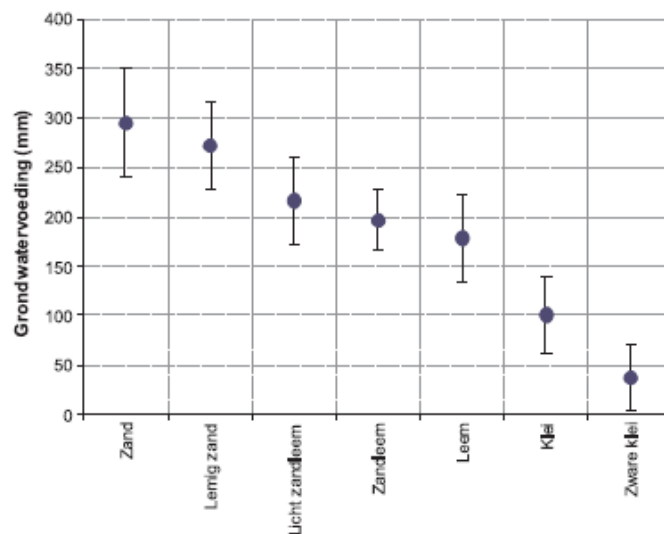
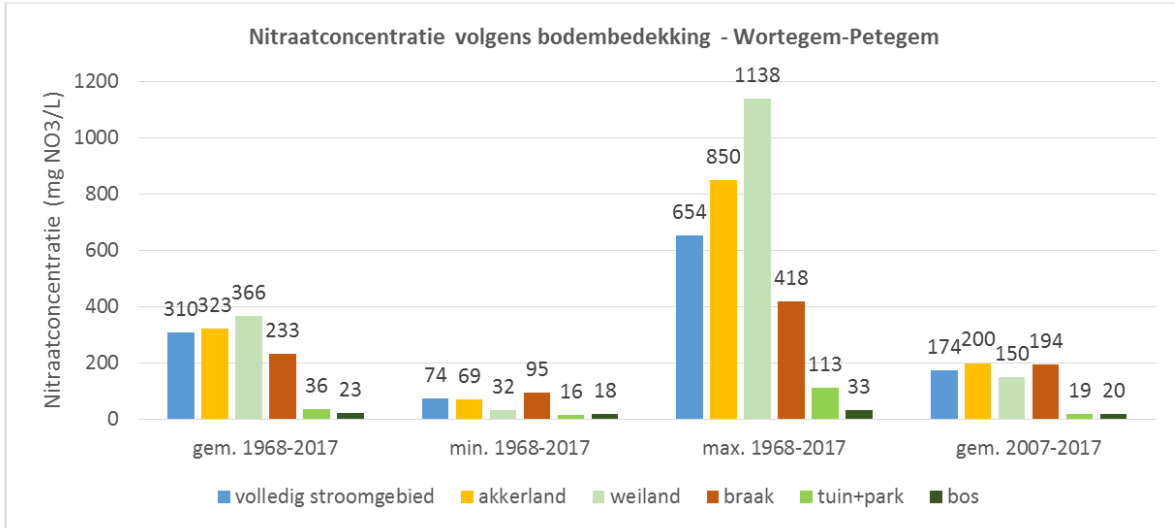


Fig 4.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven



4.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland.

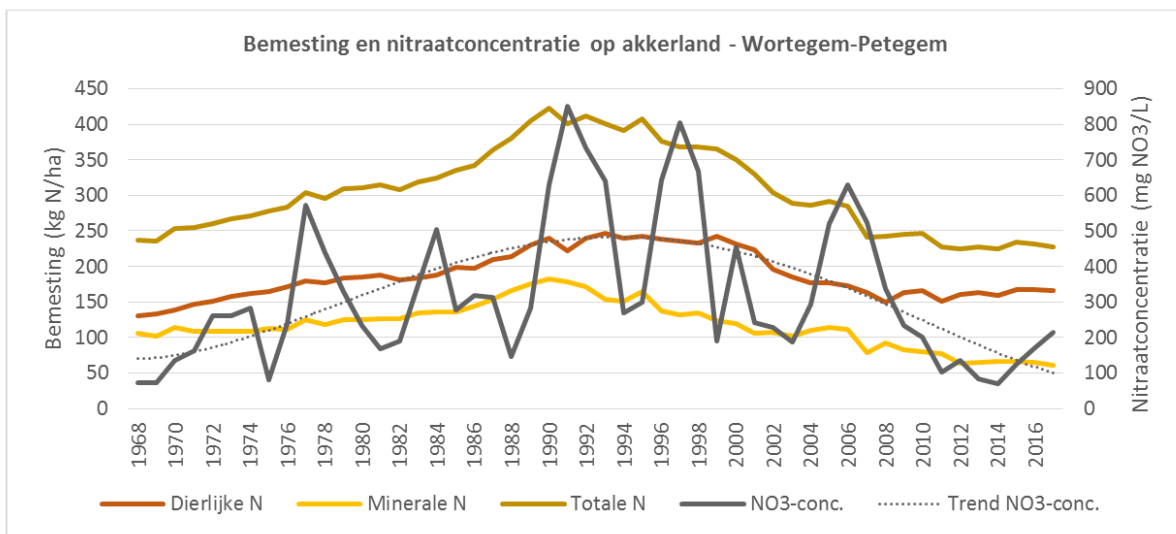


Fig 4.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

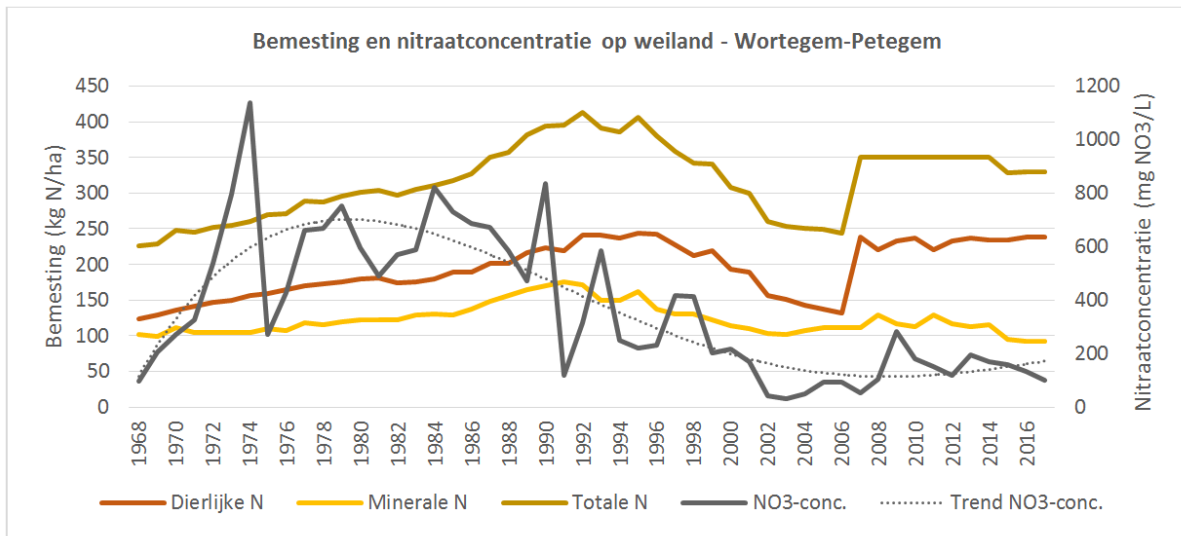


Fig 4.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

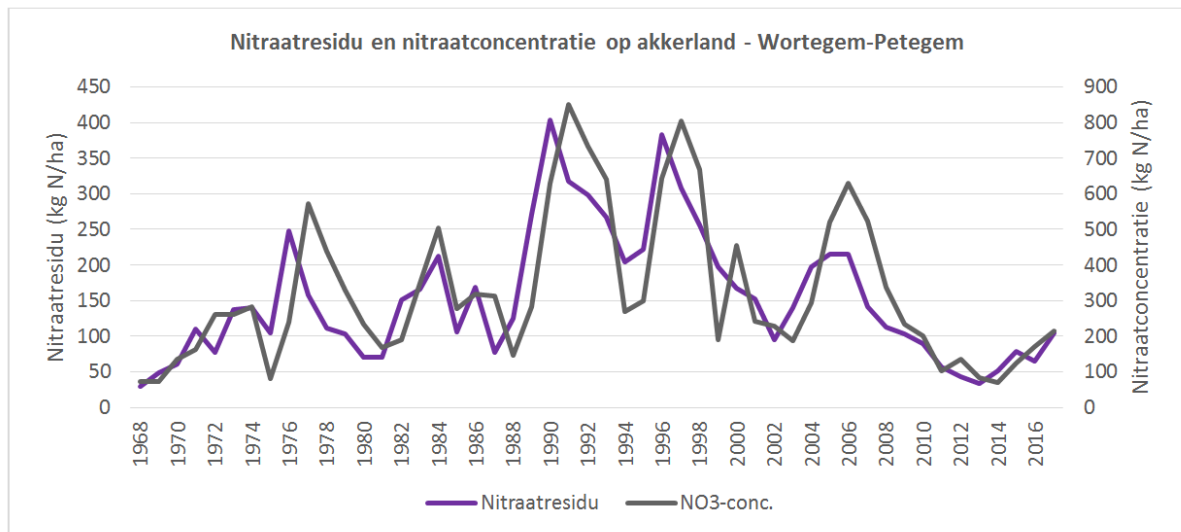


Fig 4.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

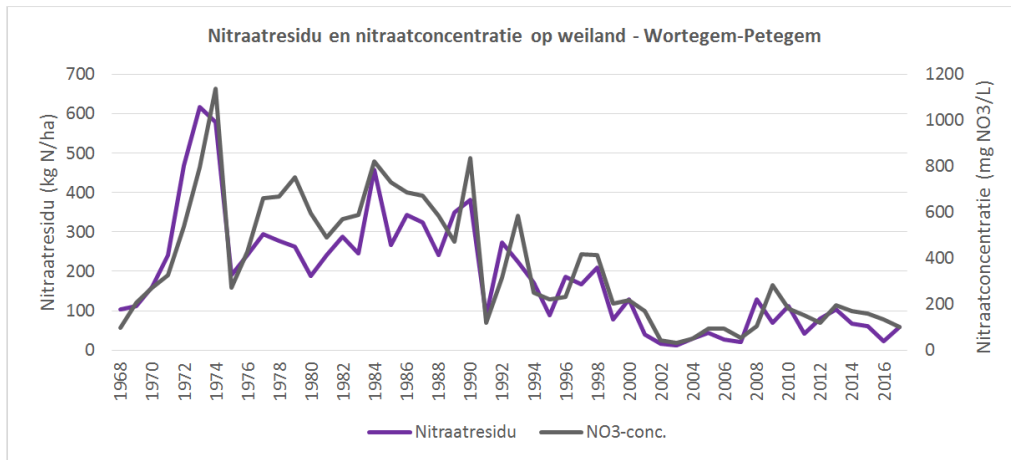


Fig. 4.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)

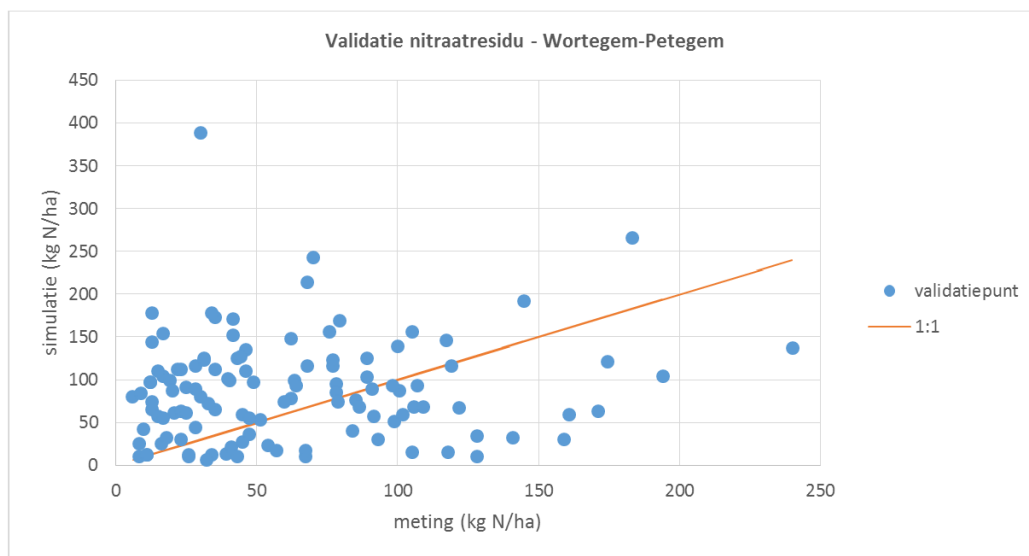
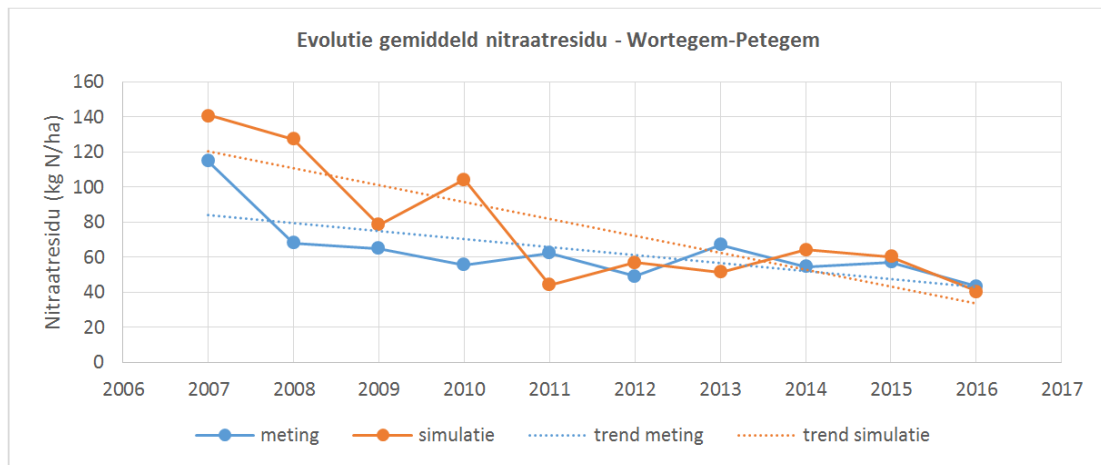


Fig 4.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)

5 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone

5.1 Modelinvoer

Resultaten model onverzadigde zone

Het BFN model van de verzadigde zone loopt over een periode van 50 jaar (1968-2017). Het model van de onverzadigde zone levert jaarlijkse waarden voor de grondwateraanvulling en de nitraatconcentratie in het bodemperkolaat in elke gridpunt van een netwerk met een spatiale resolutie van 50 m. Deze ruimtelijke distributie werd geaggregeerd in een spatiaal gemiddelde met jaarwaarden voor de gemiddelde aanvulling per jaar en gemiddeld nitraatgehalte. Deze spatiale gemiddelden werden grafisch voorgesteld d.m.v. bargrafieken.

Het grondwateraanvulling (fig 5.1) heeft over de hele periode een gemiddelde van 167 mm/jaar. In de natste jaren kan de aanvulling oplopen tot meer dan 300 mm/jaar, zoals in de periode rond 2000. Maar in droge jaren ligt de grondwateraanvulling onder de 100 mm/jaar.

Het nitraatgehalte in het bodemperkolaat (fig 5.2) toont dat vanaf begin jaren 70 tot eind jaren 90 zeer hoge concentraties voorkwamen. Deze lagen in sommige jaren boven de 600 mg/l. Tussen deze piekjaren kwamen ook jaren met veel lagere nitraattek voor, met minder dan 300 mg/l. De evolutie sinds 2000 is voorgesteld op fig 5.3 en toont een merkwaardige evolutie

De laatste 10 jaar (2008-2017) bedroeg de gemiddelde nitraatconcentratie in het bodemperkolaat in testsite Wortegem-Petegem nog 155 mg/l. De laatste 5 jaar (2013-2017) ligt dat nog steeds op 129 mg/l. Deze waarden liggen afgerond een factor 2.5 tot 3 boven de 50 mg/l norm.

Reistijden en grondwater ouderdom

Voor de site Wortegem-Petegem werd geen afzonderlijk MODFLOW/MODPATH model opgesteld, maar wel voor de volledige heuvelrug waarlangs de testsite gelegen is. Met dit model konden de stroomlijnen binnen het afstroomgebied gebruikt worden om de reistijddistributie af te leiden (fig 5.4). Door de grote range in reistijden werd de tijdas logaritmisch voorgesteld. De mediaanwaarde van de reistijden bedraagt ca 17.5 jaar, maar sommige stroomlijnen liepen niet tot aan de beek omdat de rand van het modelgebied gelokaliseerd was op de voorkomingsgrens van het Zand van Egem en niet doorliep tot in de as van de vallei. Daarom werd de mediaanwaarde van 17.5 jaar naar boven afgerond tot 20 jaar. Het BFN model gebruikt dus een mediaanwaarde van 20 jaar voor de exponentiële distributie van grondwaterouderdommen.

Fractionerings coëfficiënten en maandelijkse tijdwegingsfactoren

De lagere nitraatgehalten in de winterperiode worden vooral veroorzaakt door verdunning door afstromend neerslagwater dat het afgevoerd grondwater verdunt.

Vermits de testsite een beekvallei is zijn topografische gradiënten belangrijk en is oppervlakkige runoff een niet te verwaarlozen component om de nitraatbalans aan het MAP meetpunt goed te krijgen. Het in het BFN wordt de runoff benaderd als een fractie tussen 1 en 20% van de maandelijkse neerslag, maandelijks variërend (tabel 5.1). De maandelijkse runoff coëfficiënten werden begroot om de winterconcentraties voldoende te verlagen t.o.v. de zomerwaarden.

De overige gebruikte maandelijkse tijdwegingsfactoren voor de grondwateraanvulling en de baseflow afvoer staan opgelijst in tabel 5.1.

De helft, dus 50% van het grondwater dat in de Volkaartbeek terecht komt, ondergaat nog lokale nitraatreductie door organisch materiaal, conform de waarnemingen in de wateranalyses. Calibratie van het model, voor het bekomen van de juiste hoge zomerconcentraties, wijst op een bijdrage van 70% van grondwater uit de oxische zone, en 30% nitraatvrij grondwater uit de reductiezone. Dit is aannemelijk aangezien de heuvel wellicht voor driekwart uit geoxideerde sedimenten bestaat. Afvoer via drains werd in het model niet opgenomen : er was daarover geen informatie bekend.

Tabel 5.1 Maandelijkse wegingsfactoren in het BFN model van de testsite Wortegem-Petegem

| maand | Gwaanv | baseflow | Runoff |
|-------|--------|----------|--------|
| Jan | 25 | 2.50 | 0.20 |
| Feb | 11 | 2.75 | 0.15 |
| Mar | 12 | 3.00 | 0.12 |
| Apr | 10 | 2.50 | 0.08 |
| Mei | 5 | 2.00 | 0.05 |
| Juni | 0 | 1.50 | 0.02 |
| Juli | 0 | 1.25 | 0.01 |
| Aug | 0 | 1.00 | 0.01 |
| Sep | 2 | 1.00 | 0.01 |
| Oct | 9 | 1.25 | 0.02 |
| Nov | 18 | 1.50 | 0.10 |
| Dec | 21 | 2.00 | 0.12 |

5.2 Modelresultaten

De resultaten van het BFN model zijn voorgesteld op fig 5.5. Duidelijk is te zien dat de nitraatgehalten vanaf ca 1975 tot rond 1995 stelselmatig gestegen zijn. Tussen 2000 en 2005 moet er een tijdelijke daling zijn opgetreden, gevolgd door een stijging

tot ca 2010, toen de concentraties terug op het niveau van rond het jaar 2000 zaten. Vanaf 2010 is er wel een daling ingezet die tot vandaag aanhoudt.

Op fig 5.6 wordt enkel de periode weergegeven waarvoor metingen aan het MAP meetpunt beschikbaar zijn (vanaf 1999). In de natte jaren 2000-2002 werden grote concentratievariaties aan het MAP meetpunt opgemeten, die deels moeten te maken hebben met runoff pieken die in regenperioden voorkwamen. Deze kunnen door het model nooit precies gereproduceerd worden. Vanaf 2008 worden de seizoenale fluctuaties goed gereproduceerd al worden de zomermaxima van 2015 en 2016 wat onderschat. Sommige winterminima met sterk verlaagde waarden worden veroorzaakt door verdunning door intense runoff en kunnen zonder accurate runoff berekening nooit juist gereproduceerd worden.

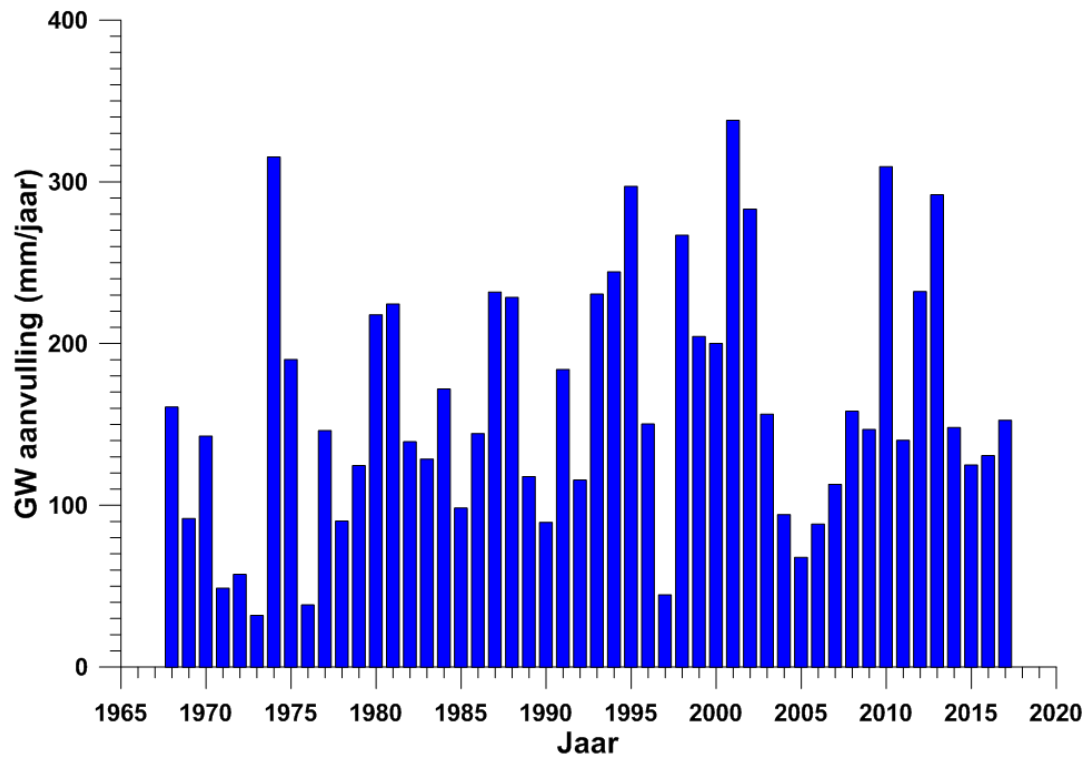
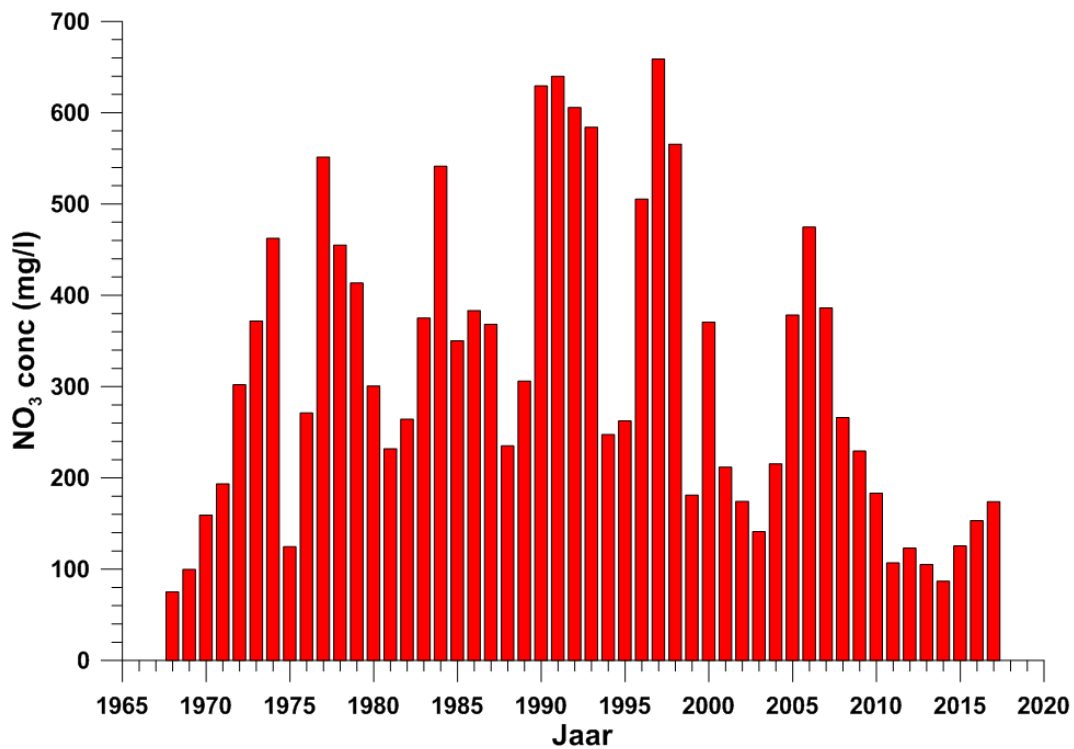
Fig 5.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone**Fig 5.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone**

Fig 5.3 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (vanaf 2000) berekend met het model van de onverzadigde zone

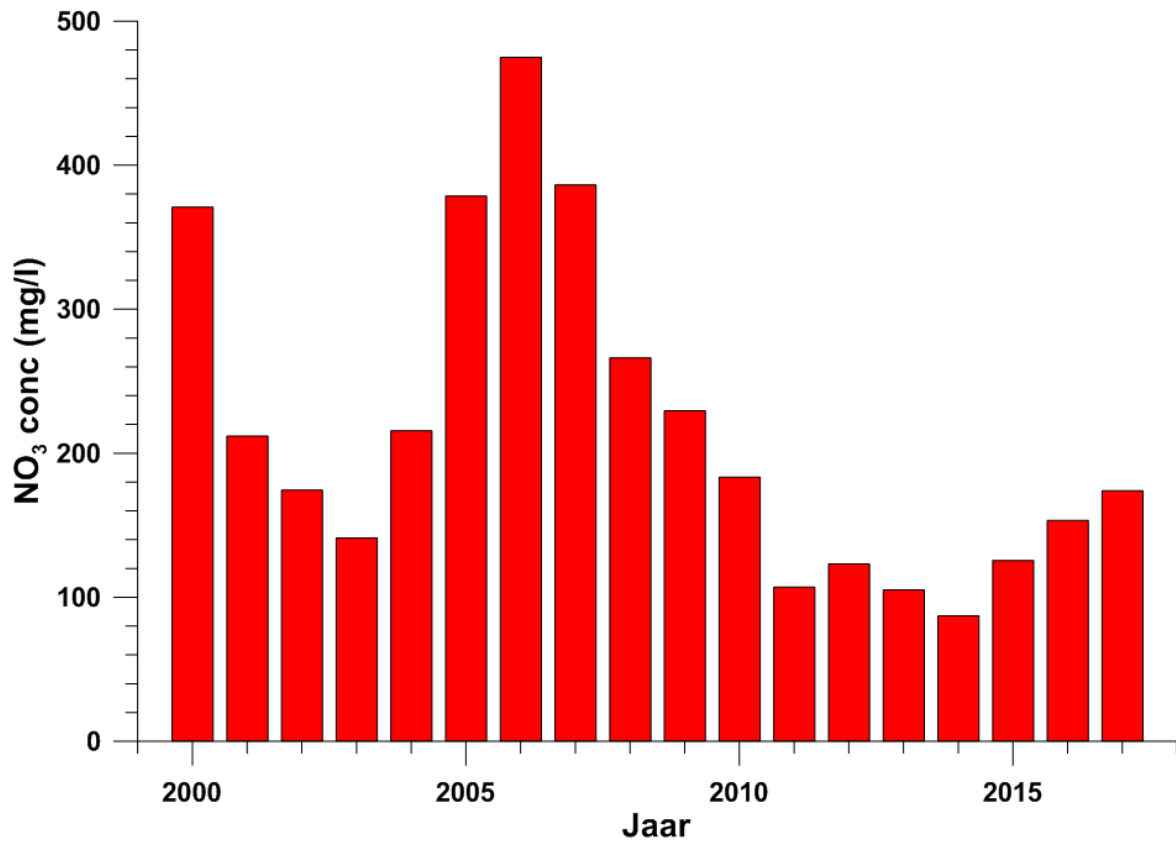


Fig 5.4 Reistijden en ouderdom van het grondwater in het afstroomgebied

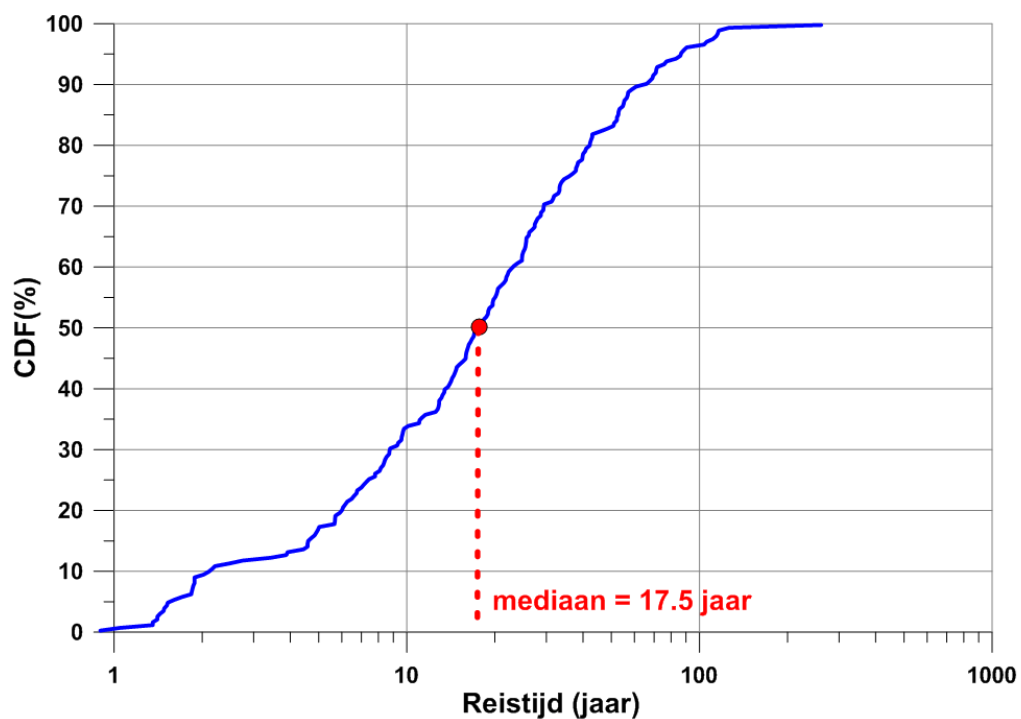


Fig 5.5 Resultaten van het BFN model van de testsite Wortegem-Petegem

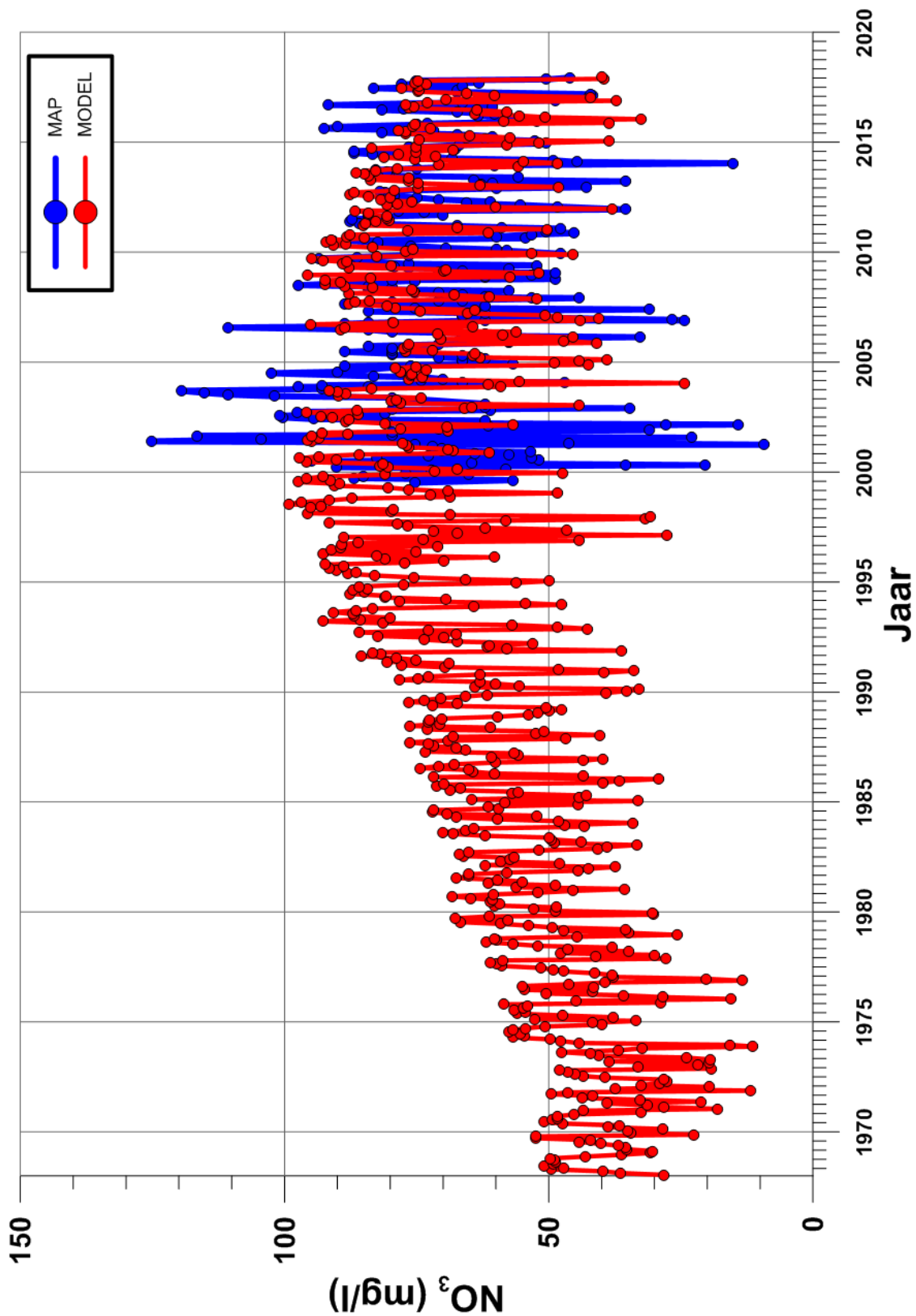
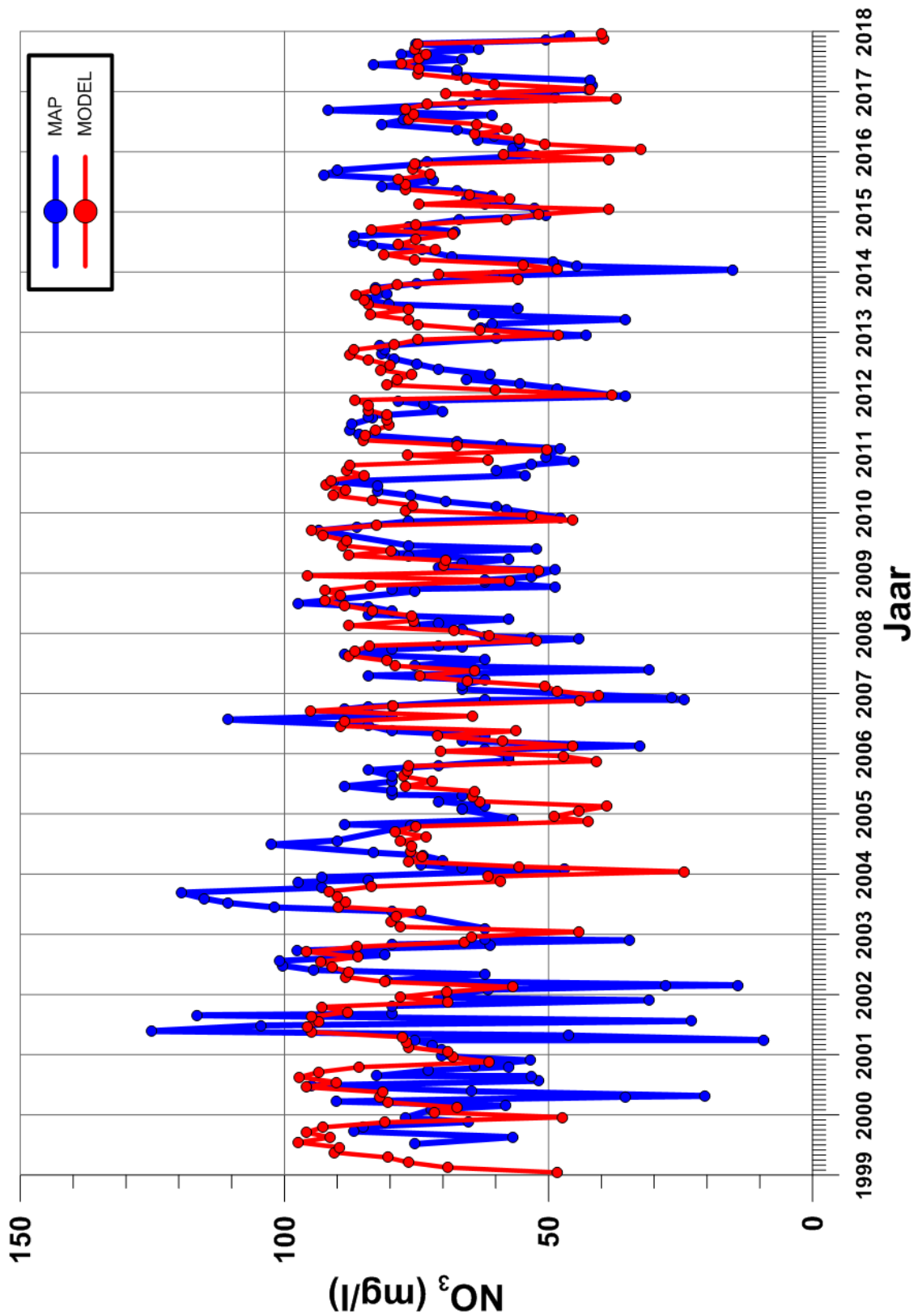


Fig 5.6 Resultaten van het BFN model van de testsite Wortegem-Petegem (vanaf 1999)



6 Isotopenonderzoek

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het isotopenonderzoek besproken dat op watermonsters van de testsites Staden (Luikbeek) en Wortegem-Petegem werd uitgevoerd. In elk van de twee testsites werd het MAP meetpunt en twee geselecteerde peilbuizen gedurende zes tweemaandelijks meetronden bemonsterd. Hierdoor was het mogelijk de tijdsvariaties gedurende een volledig hydrologisch jaar op te volgen. Om de sites te kunnen vergelijken, worden hier de resultaten van beide sites besproken. In de grafieken zijn daarom ook de meetresultaten van beide sites voorgesteld.

Isotopen van N ($\delta^{15}\text{N}$) en O ($\delta^{18}\text{O}$) in nitraat (NO_3^-) kunnen worden gebruikt als indicator voor de bron van nitraat in grond- en oppervlaktewater (fig. 6.1). In Fig. 6.1 zijn de isotopenranges voor verschillende nitraat bronnen weergegeven. In het kader van deze studie zijn vooral volgende bronnen van belang: “ NO_3^- fertilizer” (nitraatmeststof), “Soil N” (bodemstikstof) en “Manure and sewage” (mest en afvalwater). Verder duiden isotopensignalen die tussen de “manure and sewage” en de “ NO_3^- precipitation” boxen liggen op nitraatresiduen die onderhevig is geweest aan *in situ* denitrificatie (Xue et al., 2009).

Fig 6.2 toont de $\delta^{15}\text{N}$ - en $\delta^{18}\text{O}$ -nitraat waarden voor testsites Staden (Luikbeek) en Wortegem-Petegem.

Alle meetpunten voor Wortegem-Petegem clusteren rond ca. 10‰ voor $\delta^{15}\text{N}$; hetgeen duidt op een invloed van mest of afvalwater. Het onderscheid tussen mest en afvalwater kan niet via ^{15}N bepaald worden. Hiervoor kan bv. ^{11}B gebruikt worden (Widory et al., 2005) of dient de af- of aanwezigheid van de lozing van huishoudelijk afvalwater worden nagegaan. Er is geen indicatie voor *in situ* denitrificatie in de stalen van Wortegem-Petegem.

Voor Staden, geven de MAP stalen opnieuw aan dat mest of afvalwater de meest dominante bron van nitraat is. Hoewel, voor meetronde 5 (MAP_5, 4/8/20) een verhoogde input van nitraat-gebaseerde minerale meststoffen zou kunnen gesuggereerd worden. De stalen in de peilbuizen (PB1 en PB4) van Staden tonen een duidelijk *in situ* denitrificatiesignaal. Voor PB1 vertonen de meetrondes van 27/11/19 en 31/3/20 de sterkste *in situ* denitrificatie, voor PB4 is dit voor de meetrondes van 27/5/20, 4/8/20 en 23/9/20 het geval. Dit duidt er ook op dat deze *in situ* verwijdering van nitraat onderhevig is aan temporele variaties.

De mate van *in situ* denitrificatie en het verschil voor de meetplaatsen Staden en Wortegem-Petegem wordt bevestigd in Fig. 6.3. We merken dat voor een afnemende nitraatconcentratie in Wortegem-Petegem het $\delta^{15}\text{N}$ signaal niet wijzigt, terwijl dit voor het merendeel van de PB1 en PB4 stalen voor Staden (Luikbeek) wel duidelijk het geval is. Voor Staden (Luikbeek) vertonen de MAP stalen ook geen denitrificatie. Tijdens denitrificatie wordt nitraat *in situ* verwijderd uit het (grond)water en omgezet naar N_2 gas. Dit proces gaat gepaard met een isotopenfractionatie waardoor het residueel nitraat relatief aangerijkt wordt aan ^{15}N (i.e. hogere $\delta^{15}\text{N}$ waarden met afnemende nitraat concentraties).

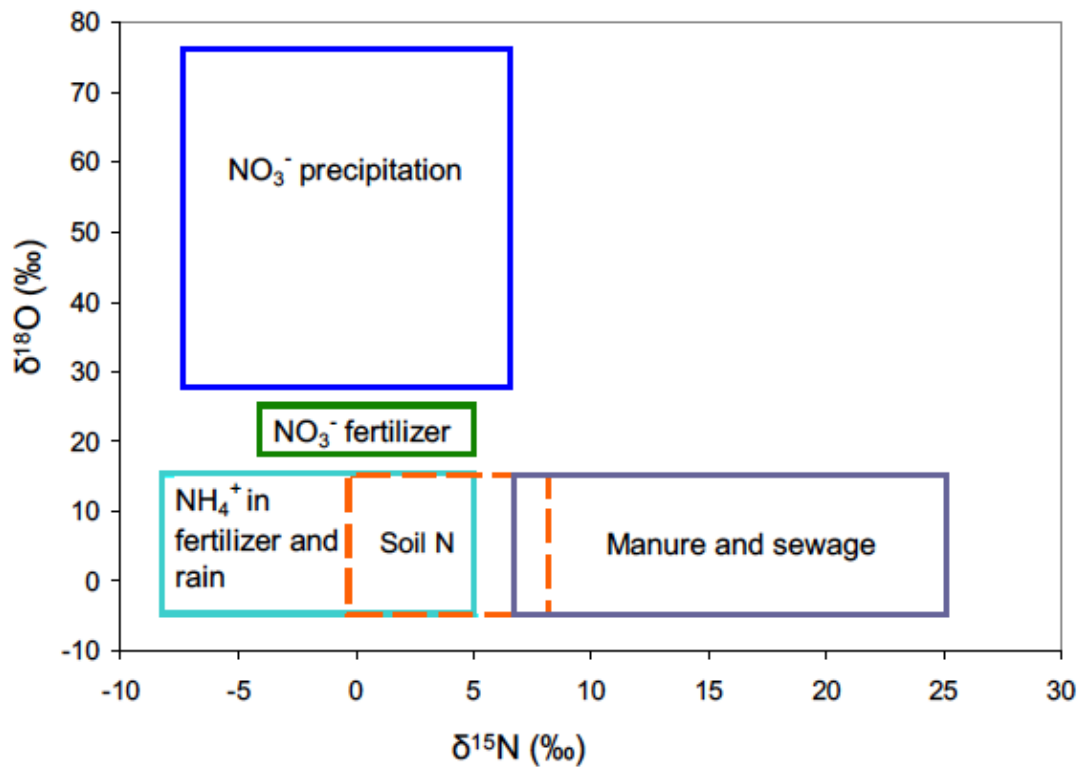
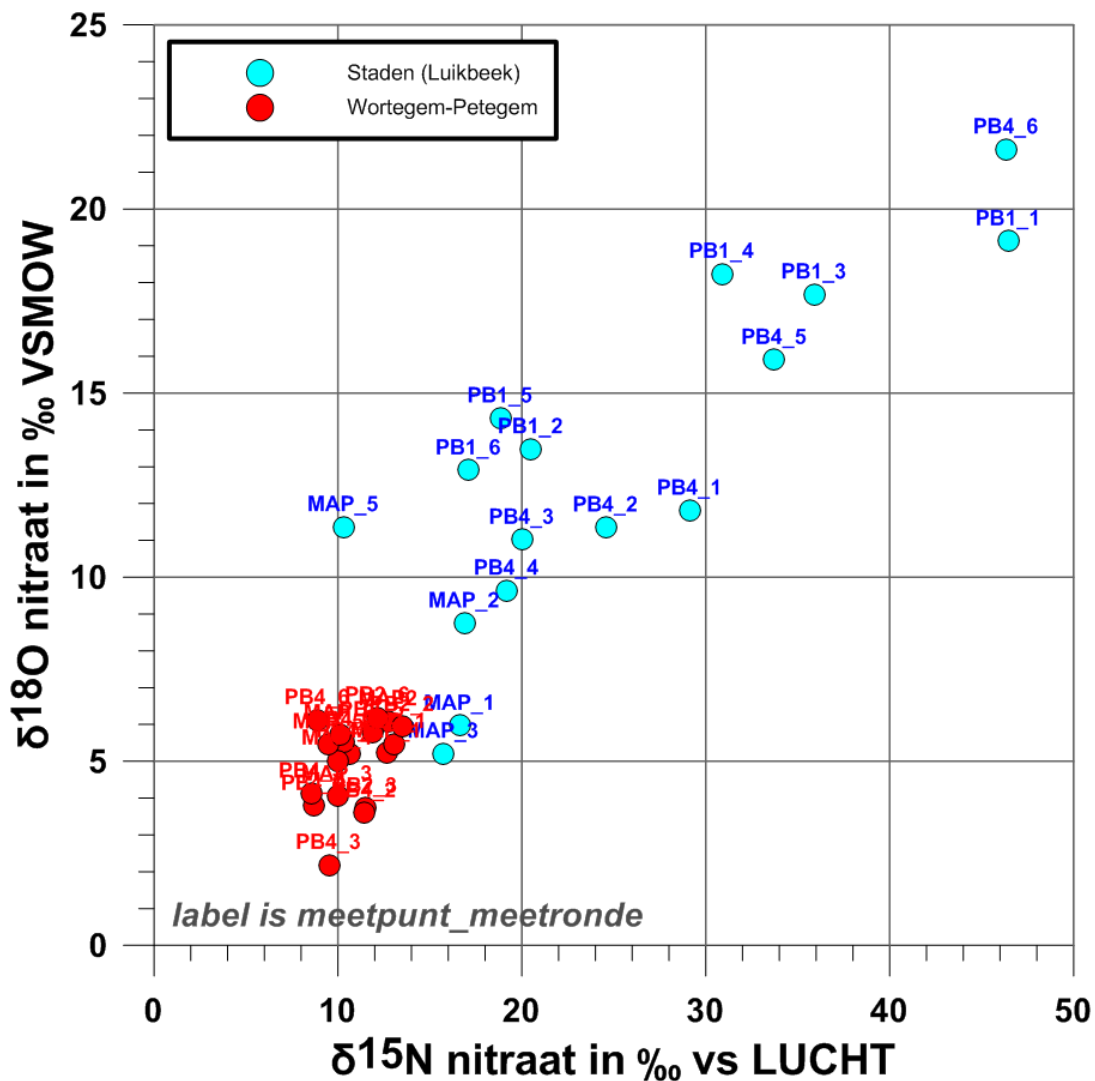
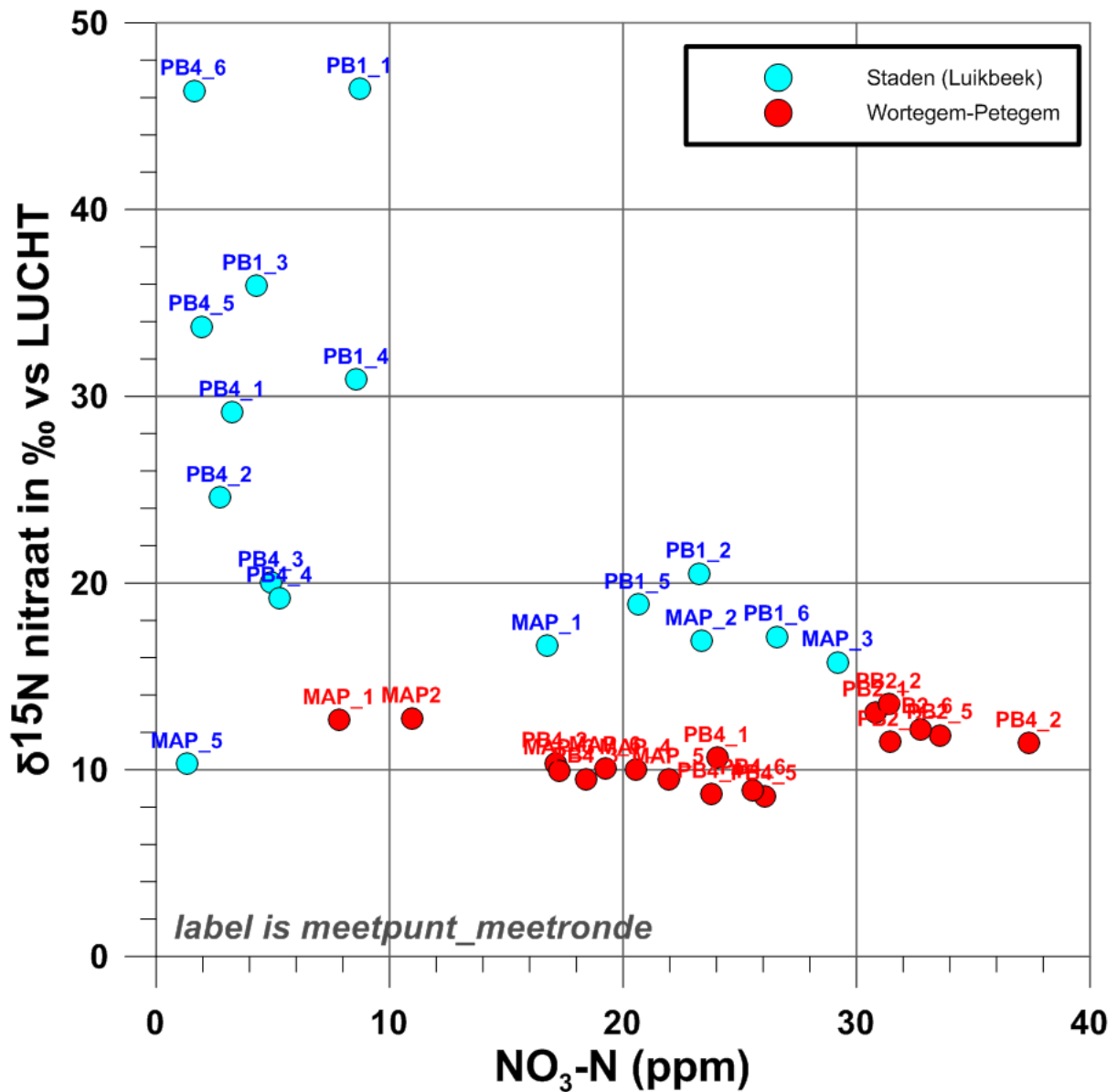
Fig 6.1. Isotopen ($\delta^{15}\text{N}$ en $\delta^{18}\text{O}$) ranges van nitraatbronnen (Xue et al., 2009)

Fig 6.2 Relatie tussen $\delta^{15}\text{N}$ - en $\delta^{18}\text{O}$ -nitraat voor de waterstalen van Staden en Wortegem-Petegem



MAP zijn de oppervlakte meetpunten en PB zijn peilbuizen; _1, _2, _3, _4, _5, en _6 refereren naar de meetrondes op 27/11/19, 31/1/20, 31/3/20, 27/5/20, 4/8/20, en 23/9/20, respectievelijk.

Fig 6.3. Relatie tussen $\delta^{15}\text{N}$ -nitraat en de nitraatconcentratie ($\text{NO}_3\text{-N}$) voor de sites Staden en Wortegem-Petegem



MAP zijn de oppervlakte meetpunten en PB zijn peilbuizen; _1, _2, _3, _4, _5, en _6 refereren naar de meetrondes op 27/11/19, 31/1/20, 31/3/20, 27/5/20, 4/8/20, en 23/9/20, respectievelijk.

7 Synthese en conclusies

De testsite Wortegem-Petegem is de tweede testsite die in het kader van het nitraatbronnen project in detail bestudeerd wordt. Het betreft MAP meetpunt 710800 op de Volkaartbeek. Het ligt op de oostflank van een heuvelrug die bestaat uit tertiaire mariene afzettingen van de Zanden van Egem (Formatie van Tielt) die rusten op een kleisubstraat van de Formatie van Kortrijk. Grondwateranalyses van peilbuizen van het VMM netwerk in de omgeving van het studiegebied tonen dat de Zanden van Egem in de heuvels meestal tot op aanzienlijke diepte geoxideerd zijn. Er worden nitraatrijke en ijzerarme grondwaters in aangetroffen. Enkel het diepere deel van de heuvels, enkele meter boven het kleisubstraat van de onderliggende Formatie van Kortrijk is nog gereduceerd. Men kan er dan ook van uitgaan dat zich in de hele heuvelkam een grote hoeveelheid nitraatrijk grondwater bevindt en dat de oxidatiezone misschien wel $\frac{3}{4}$ van het reservoir uitmaakt.

Het MAP meetpunt toont een sterke seizoentaliteit met hoge nitraatgehalten in de zomerperiode (> 100 mg/l) en wat lager in de winter, maar nog vaak boven de 50 mg/l. Overschrijdingen van de 50 ppm norm komen daardoor vooral in de zomer voor, maar toch ook frequent in de winter. Sporadisch worden lage concentraties vastgesteld, maar deze zijn meestal veroorzaakt door verdunning met regenwater na of tijdens een regenperiode.

Langsheen de Volkaartbeek werden 5 ondiepe peilbuizen geïnstalleerd. De grondwateranalyses tonen ofwel hoge nitraatgehalten (tot ruim 100 mg/l) ofwel lage gehalten (< 1 mg/l) waarbij het bicarbonaatgehalte verhoogd is. In de waters met lage gehalten heeft zich blijkbaar nitraatreductie voorgedaan met organische materiaal als elektrondonor. Dit werd vastgesteld in de helft van de monsters.

Met het model van de onverzadigde zone werd de nitraatlek vanuit het bodemprofiel tijdens de periode 1969-2017 gesimuleerd. De laatste 10 jaar wat binnen het studiegebied de gemiddelde nitraatlek nog 155 mg/l, de laatste 5 jaar 129 mg/l. De gemiddelde lange termijn grondwateraanvulling bedraagt 167 mm/jaar.

De lagere nitraatgehalten in de winterperiode worden vooral veroorzaakt door verdunning door afstromend neerslagwater dat het afgevoerd grondwater verdunt. Vermits de testsite een beekvallei is zijn topografische gradiënten belangrijk en is oppervlakkige runoff een niet te verwaarlozen component om de nitraatbalans aan het MAP meetpunt goed te krijgen. Het in het BFN wordt de runoff benaderd als een fractie tussen 1 en 20% van de maandelijkse neerslag, maandelijks variërend. De helft, dus 50% van het grondwater dat in de Volkaartbeek terecht komt, ondergaat nog lokale nitraatreductie door organisch materiaal, conform de waarnemingen in de wateranalyses. Calibratie van het model, voor het bekomen van de juiste hoge zomerconcentraties, wijst op een bijdrage van 70% van grondwater uit de oxische zone, en 30% nitraatvrij grondwater uit de reductiezone. Dit is aannemelijk aangezien de heuvel wellicht voor driekwart uit geoxideerde sedimenten bestaat. De maandelijkse runoff coëfficiënten werden begroot om de winterconcentraties voldoende te verlagen t.o.v. de zomer.

Vanaf 2008 kan het model de opgemeten seizoenale fluctuatie goed reproduceren , al worden de zomermaxima van 2015 en 2016 wat onderschat. Discrepanties in de winterperiode hebben wellicht te maken met de rudimentaire benadering die nu in het model zit.

References

Xue, D., Botte, J., De Baets, B., Accoe, F., Nestler, A., Taylor, P. Van Cleemput, O. Berglund, M., and Boeckx, P. 2009. Present limitations and future prospects of stable isotope methods for nitrate source identification in surface- and groundwater. *Water Research* 43: 1159-1170.

Widory, D., Petelet-Giraud, E., Ne'grel, P. and Ladouche, B. 2005. Tracking the sources of nitrate in groundwater using coupled nitrogen and boron isotopes: a synthesis. *Environmental Science and Technology* 39: 539–548.