



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 10

Heuvelrug

Kruishoutem – Wortegem-Petegem

Opdrachtgever

VLM

Leiding:

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

Studie en verslag:

M. Van Camp
J. De Waele

Dossiernummer: TGO 17/02

Datum: febr 2021

INHOUD

- 1 Inleiding
- 2 Beschrijving van het studiegebied
 - 2.1 Ligging en perimeter
 - 2.2 Topografie en hydrografie
 - 2.3 Geologie
 - 2.4 Hydrogeologie en hydrostratigrafie
 - 2.5 Grondwaterstroming
 - 2.6 MAP meetpunt
- 3 Veldwerk
 - 3.1 Installatie peilbuizen
 - 3.2 Wateranalysen
- 4 Beschrijving van het MODFLOW/MODPATH model
 - 4.1 Inleiding
 - 4.2 Opbouw van het MODFLOW model
 - 4.3 Resultaten
- 5 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone
 - 5.1 Inleiding
 - 5.2 Werkwijze
 - 5.2.1 Studiegebied
 - 5.2.2 Twee simulatieperiodes
 - 5.2.3 Toekennen van modelparameters
 - 5.2.3.1 Databanken
 - 5.2.3.2 Bodembedekking
 - 5.2.3.3 Bodemorganische stof
 - 5.2.3.4 Bodemtextuur
 - 5.2.3.5 Teelten en nateelten
 - 5.2.3.6 Dierlijke bemesting
 - 5.2.3.7 Minerale bemesting
 - 5.2.3.8 Stikstofdepositie
 - 5.2.3.9 Weersgegevens
 - 5.3 Resultaten
 - 5.3.1 Gesimuleerde uitspoeling in het stroomgebied Brecht
 - 5.3.2 Nitraatconcentratie voor de verschillende bodembedekkingen
 - 5.3.3 Gesimuleerde bemesting, nitraatresidu en nitraatconcentratie op akkerland en weiland
 - 5.3.4 Validatie nitraatresidu
 - 5.4 Besluit
- 6 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone
 - 6.1 Modelinvoer
 - 6.2 Modelresultaten
- 7 Synthese en conclusies

LIJST DER FIGUREN

- Fig 2.1 Ligging van de testsite “Heuvelrug”
- Fig 2.2 Topografie van de testsite “Heuvelrug”
- Fig 2.3 Hydrografie van de testsite “Heuvelrug”
- Fig 2.4 Geologische kaart van de testsite “heuvelrug”
- Fig 2.5 Isohypsens (in m TAW) van de top van de Formatie van Kortrijk
- Fig 2.6 Isopachen (in m) van het reservoir boven de Formatie van Kortrijk
- Fig 2.7 Ligging van MAP meetpunten langs de heuvelrug
- Fig 2.8 Nitraatevolutie in geselecteerde MAP meetpunten langs de heuvelrug
- Fig 2.9 Tijdsgrafiek nitraatgehalte in MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)
- Fig 2.10 Seizoensgrafiek nitraatgehalte in MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)
- Fig 2.11 Maandgemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)
- Fig 3.1 Ligging van de meetpunten en de gemeten nitraatgehalten in de testsite “Heuvelrug”
- Fig 3.2 Het ijzer- versus nitraatgehalte in de watermonsters
- Fig 3.3 Het bicarbonaat- versus nitraatgehalte in de watermonsters
- Fig 4.1 Ligging van het modelgebied
- Fig 4.2 Isohypsens (m TAW) van de basis van het Ieperiaan Aquifersysteem
- Fig 4.3 Isopachen (in m) van het Ieperiaan Aquifersysteem en de Quartaire bedekking
- Fig 4.4 Berekende stijghoogteverdeling in het Ieperiaan aquifersysteem
- Fig 4.5 Berekende stroomlijnen in het Ieperiaan aquifersysteem
- Fig 4.6 Berekende stroomlijnen naar de Plankbeek
- Fig 4.7 CDF van de grondwater reistijden naar de Plankbeek
- Fig 5.1: Stroomgebied Heuvelgebied
- Fig 5.2: Overzicht van de modelinvoer
- Fig 5.3 Verdeling van de bodembedekking voor het Heuvelgebied
- Fig 5.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g⁻¹ droge bodem) voor het Heuvelgebied
- Fig 5.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het Heuvelgebied
- Fig 5.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het heuvelgebied. Teelten met een aandeel < 1% werden wel opgenomen, maar zijn niet aangeduid in de grafiek.
- Fig 5.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het Heuvelgebied
- Fig 5.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in het Heuvelgebied (gedeelte Kruisem)
- Fig 5.9: Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België
- Fig 5.10: Gesimuleerde teelt en nateelt 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 5.11: Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied
- Fig 5.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.
- Fig 5.13 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 5.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland
- Fig 5.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland
- Fig 5.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland
- Fig 5.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland
- Fig 5.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)
- Fig 5.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)
- Fig 6.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone (gehele heuvelrug)
- Fig 6.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone (gehele heuvelrug)
- Fig 6.3 Evolutie van het 2 jaarlijks voortschrijdend gemiddelde van de nitraatconcentratie in het MAP meetpunt op de Plankbeek
- Fig 6.4 Evolutie van de gemiddelde nitraatconcentratie in het bodemperkolaat van het afstroomgebied Plankbeek
- Fig 6.5 Effect van een vertraging van 2 jaar op de werking van de drains
- Fig 6.6 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Heuvelrug (1968-2017)
- Fig 6.7 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Heuvelrug (vanaf 1999)

LIJST DER TABELLEN

Tabel 2.1 Redoxtoestand van het grondwater in de diepste filters van een aantal peilputten van het freatisch meetnet van VMM op de heuvelrug

Tabel 3.1 Nitraatgehalten op de meetpunten van de testsite "Heuvelrug"

Tabel 3.2 Resultaten van de wateranalyses van de eerste meetronde

Tabel 3.3 Resultaten van de wateranalyses van de tweede meetronde

Tabel 5.1 Bodembedekking voor en na herleiding tot 7 klassen in het grid en het overeenkomstige rotatietype

Tabel 5.2: Bodemparameters per textuurklasse

Tabel 5.3: Bodemvochtparameters per textuurklasse (REW = snel beschikbaar water voor verdamping, VC = veldcapaciteit, VP = verwelkingspunt, SAT = verzadiging)

Tabel 6.1 Maandelijks wegingsfactoren in het model van de testsite heuvelrug

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 "heuvelrug", de tiende van tien 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.

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 : Het grondwaterstromingsmodel

Hoofdstuk 5 : Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone

Hoofdstuk 6 : Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone

Hoofdstuk 7 : Synthese en conclusies

Het laatste hoofdstuk geeft een kort overzicht van de testsite "Heuvelrug".

2 Beschrijving van het studiegebied

2.1 Ligging en perimeter

Het project omvat één enkele testsite met een groter studiegebied. Daarvoor werd de heuvelrug gekozen die over het dorpscentrum van Kruishoutem in zuidelijke richting naar Wortegem-Petegem loopt. Langsheen deze heuvelrug ontspringen meerdere beken, waarvan sommige hoge nitraatgehalten tonen, veelal sterk seizoenaal. De begrenzing van de testsite (fig 2.1) is evenwel gebaseerd op een geologisch criterium, niet op de topografie. De heuvel bestaat uit afzettingen van de Formatie van Tielt. De dagzomingsgrens van deze formatie werd als de buitengrens van het studiegebied genomen.

2.2 Topografie en hydrografie

Topografie

De topografie (fig 2.2) is afgeleid uit het Digitaal Hoogtemodel Vlaanderen. Het hoogste punt van de heuvelrug bevindt zich in het zuidelijk deel en rijst tot meer dan +80 m TAW. De kruin van de heuvelrug daalt in noordelijke richting. De grootste hellingen bevinden zich op de laterale flanken, waarbij de westelijke flank steiler is dan de oostelijke.

Hydrografie

Het waterlopenstelsel zoals het opgenomen is in de Vlaamse Hydrografische Atlas staat voorgesteld op fig 2.3. De namen van de belangrijkste beken is aangegeven.

De beken zijn lateraal in de heuvelkam ingesneden. In het stroomopwaarts deel vormen afwateringsdrains een belangrijke voeding van de beken. Dit is zeker zo bij de Plankbeek die geselecteerd werd om het model te testen.

2.3 Geologie

De heuvelrug bestaat grotendeels uit de Formatie van Tielt en rust op het kleisubstraat gevormd door de Formatie van Kortrijk (fig 2.4). Deze dagzoomt rondom de heuvelrug (onder een quartair dek weliswaar). In het noordelijk deel van de heuvel wordt op de hoogste punten de Formatie van Tielt bedekt door het onderste deel van de Formatie van Gentbrugge, dat onderaan kleihoudend is. Zeer lokaal kan ook het zandige Lid van Vlierzele voorkomen.

Het DOV portaal vermeld de volgende lithologie voor de voorkomende eenheden:

Formatie van Gentbrugge, Lid van Vlierzele: groen tot grijsgroen fijn zand, soms kleihoudend, plaatselijk dunne zandsteenbankjes, glauconiethoudend, glimmerhoudend

Formatie van Gentbrugge : grijsgroen fijn zand, glauconiethoudend, overgaand in klei zandhoudend tot donkergrijze klei, plaatselijk zandsteenbanken (veldsteen)

Formatie van Tielt: grijsgroen zeer fijn zand tot silt, kleihoudend

Formatie van Kortrijk Lid van Aalbeke : donkergrijze tot blauwe klei, glimmers

Formatie van Kortrijk, Lid van Moen : grijze klei tot silt, kleihoudend, kleilagen; Nummulites planulatus

2.4 Hydrogeologie en hydrostratigrafie

De Formatie van Kortrijk kan als een quasi ondoorlatend substraat beschouwd worden voor de problematiek van de verspreiding van nitraten in de heuvelrug. De top van deze laag duikt in noordelijke richting (fig 2.5).

Het pakket boven het kleisubstraat vormt een watervoerende laag in de heuvelrug. De dikte van het pakket staat voorgesteld op fig 2.6. In VMM peilbuizen waarin de hoogste stijghoogten worden opgemeten (b.v. 470/74/9 en 320/74/2) staat de watertafel op niet meer dan enkele meter diepte. Het grootste deel van de watervoerende laag is dus verzadigd. De grootste dikte (fig 2.6) ligt tussen de 35 en 40 m en komt voor in het zuiden van de heuvelrug, maar de topografie het hoogste is, maar ook in het noorden, waar het kleisubstraat van de Formatie van Kortrijk dieper ligt. De Formatie van Gentbrugge kan lokaal een slechtdoorlatende laag vormen in de heuvelrug, maar deze komt slechts in een beperkt deel van de heuvel voor. Infiltrerend regenwater kan boven deze minder doorlatende laag lateraal vloeien en langs de randen naar de onderliggende Formatie van Tielt percoleren. In de totale waterbalans van de heuvel speelt het voorkomen van de Formatie van Gentbrugge dus geen grote rol.

Grens oxidatie/reductiezone

Peilputten van het freatisch meetnet van VMM die op de top van de heuvelrug lagen werden gecontroleerd op de redoxstatus van het grondwater. Daarbij werd gekeken naar de diepste filter (tabel 2.1). Deze bevindt zich steeds in het leperiaan aquifer systeem. Geoxideerd water bevat hoge nitraatgehalten (meer dan enkele mg/l) en lage ijzergehalten (< 0.5 mg/l). Bij hoge ijzergehalten en afwezigheid van nitraat is het water gereduceerd. In geen van de diepste filters werd gereduceerd water gevonden. Zelfs tot op een diepte van 22 m werd in een peilbuis hoge nitraatgehalten gevonden. Dat laat vermoeden dat de heuvelrug tot op grote diepte geoxideerd is en nitraathoudend grondwater bevat. Mogelijk bevat enkel het onderste deel, net boven het kleisubstraat, nog reactief materiaal.

Tabel 2.1 Redoxtoestand van het grondwater in de diepste filters van een aantal peilputten van het freatisch meetnet van VMM op de heuvelrug

put	X	Y	Z	Diepste filter (m)	OX/RED
350/74/15	90199	173491	61.38	13	OX
470/74/9	90748	173716	64.34	15	OX
470/74/6	91816	172805	63.36	10	OX
452/74/4	92296	172364	63.48	14.5	OX
452/74/2	91375	171805	63.64	13	OX
470/74/1	92314	177169	50.76	22	OX

2.5 Grondwaterstroming

Van de testsite heuvelrug is een MODFLOW grondwatermodel opgesteld dat de stijghoogteverdeling in de heuvelrug simuleert. Een stijghoogtekaart, aangemaakt met de resultaten van het model, wordt in hoofdstuk 4 gegeven.

Over de topografische hoofdkam loopt een grondwaterscheidingskam die een westelijk afstroomsysteem van een oostelijk afstroomsysteem scheidt. Langs beide zijden vindt lokaal de stroming naar de beekvalleien plaats die in de heuvelflanken zijn ingesneden. De hoogste stijghoogten komen voor onder het zuidelijk deel van de heuvelrug: de hoogste peilen opgemeten in het freatisch meetnet van VMM liggen rond de +62 m TAW. Naar het noorden toe daalt de top van het kleisubstraat van de Formatie van Kortrijk. Ook de stijghoogten in de heuvelrug volgen deze trend.

2.6 De MAP meetpunten

Vergelijking van de evolutie en de seizoensgrafiek van de nitraatgehalten in de MAP meetpunten die op de beken liggen die ontspringen op de flanken van de heuvelrug (fig 2.8) leidt tot de volgende conclusies:

- De nitraatgehalten zijn hoger aan de oostzijde dan aan de westzijde.
- Overschrijdingen van de 50 mg/l norm komen vooral voor op de oostflank.
- De hoogste concentraties komen voor in MAP meetpunt 710800 op de Volkaartbeek. Ze liggen bijna steeds boven de 50 mg/l. In dit meetpunt komen de hoogste concentraties in de zomer voor.
- In de andere twee meetpunten op de oostflank vallen de hoogste concentraties in de winter. De hoge nitraatvracht is dan afkomstig uit drains die vooral in de winter lopen.

Omdat de verschillende beken allemaal aparte afstroomgebieden vormen, werd één MAP meetpunt geselecteerd als testafstroomgebied voor het BFN model. Daarbij viel de keuze op de Plankbeek in Kruishoutem. Dit afstroomgebied is ook één van de twee testgebieden in het project "Attenuatiefactor". De resultaten van het huidige model kunnen dan gebruikt in dat project.

MAP meetpunt 709400 op de Plankbeek

De evolutie van het nitraatgehalte (fig 2.9) toont de volgende aspecten:

- Er treedt een grote seizoenaliteit op, met hoge winterwaarden en lage zomerwaarden.
- Overschrijdingen van de 50 mg/l deden zich enkel in de winter voor, maar niet meer na 2009.
- In de periode 2009-2013 kwamen zeer lage zomerconcentraties voor (< 10 mg/l).
- De grootte van de jaarlijkse fluctuatie lijkt ongeveer constant, maar het jaargemiddelde varieert over de jaren. Dit was hoger tussen 2006 en 2009, verlaagde in de jaren daarna maar is na 2013 terug gestegen. Dat manifesteert zich in hogere zomerminima.

Een meer kwantitatief beeld van de seizoenaliteit (fig 2.10) 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). De meetpunten worden gefit met een sinusfunctie die een gemiddelde en regelmatige seizoendale fluctuatie weergeeft. Voor de hele meetreeks, ligt het gemiddelde rond de 32 mg/l. De gemiddelde winterconcentratie ligt ca 10 mg/l hoger, de zomerconcentratie 10 mg/l lager.

De echte seizoendale 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 2.11) 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.

Enkel de metingen van de laatste 10 jaar (2009-2018) zijn gebruikt. Op de boxplot kan gemakkelijk afgelezen worden dat de hoogste mediaan concentratie in februari voorkomt (42.7 ppm), de laagste in oktober met 20.4 mg/l.

Fig 2.2 Topografie van de testsite “Heuvelrug”

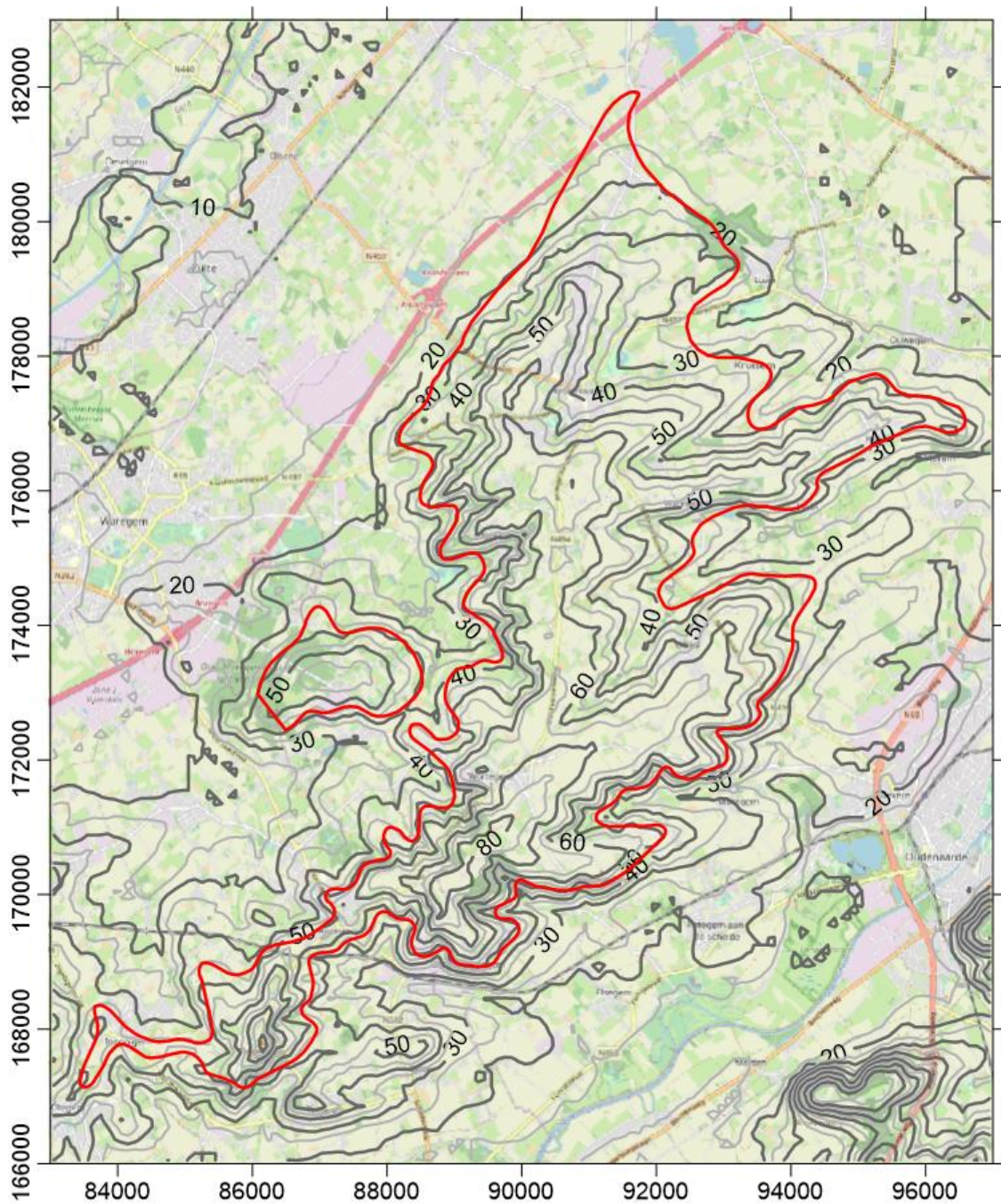


Fig 2.3 Hydrografie van de testsite "Heuvelrug"

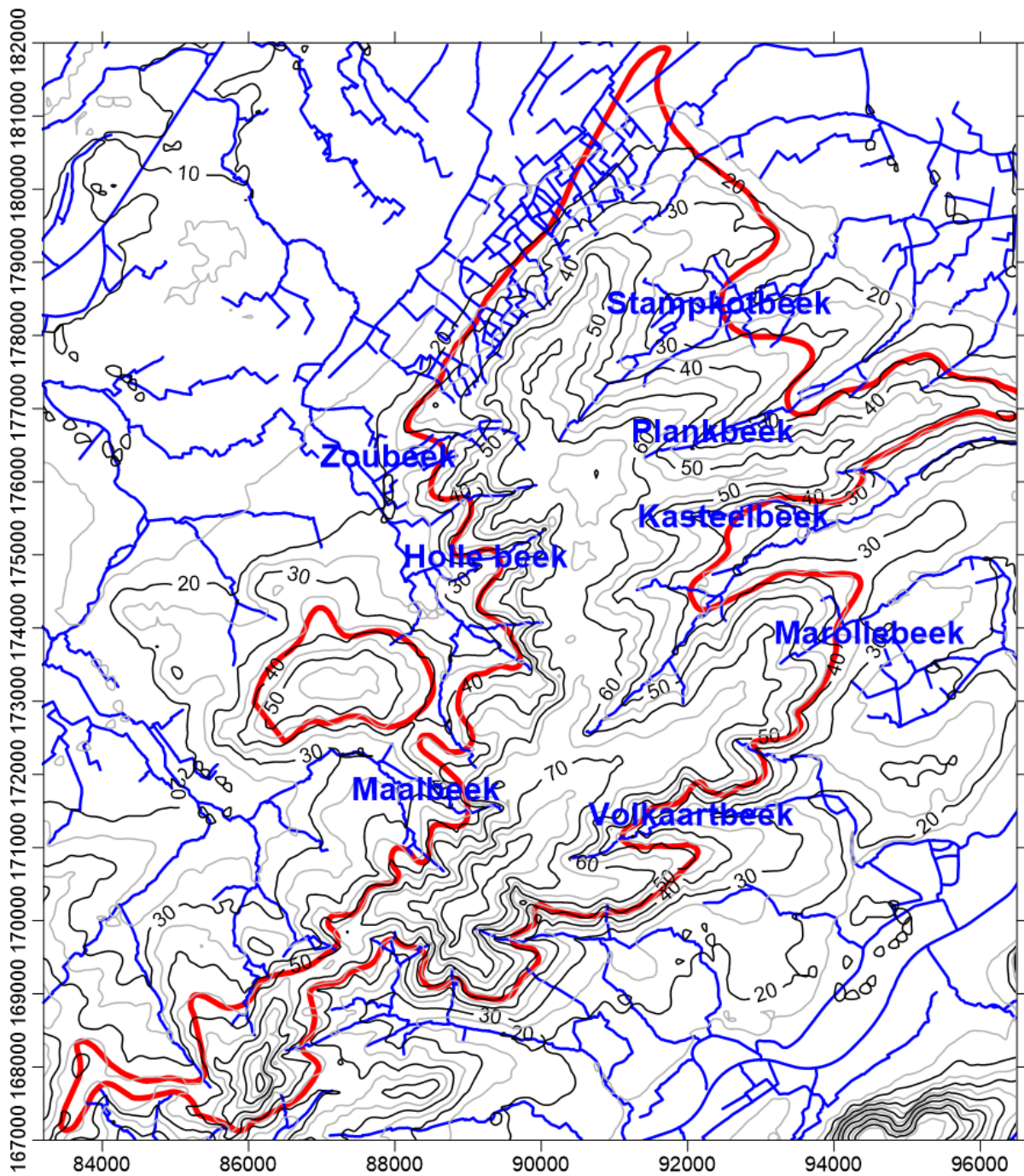


Fig 2.4 Geologische kaart van de testsite “heuvelrug”

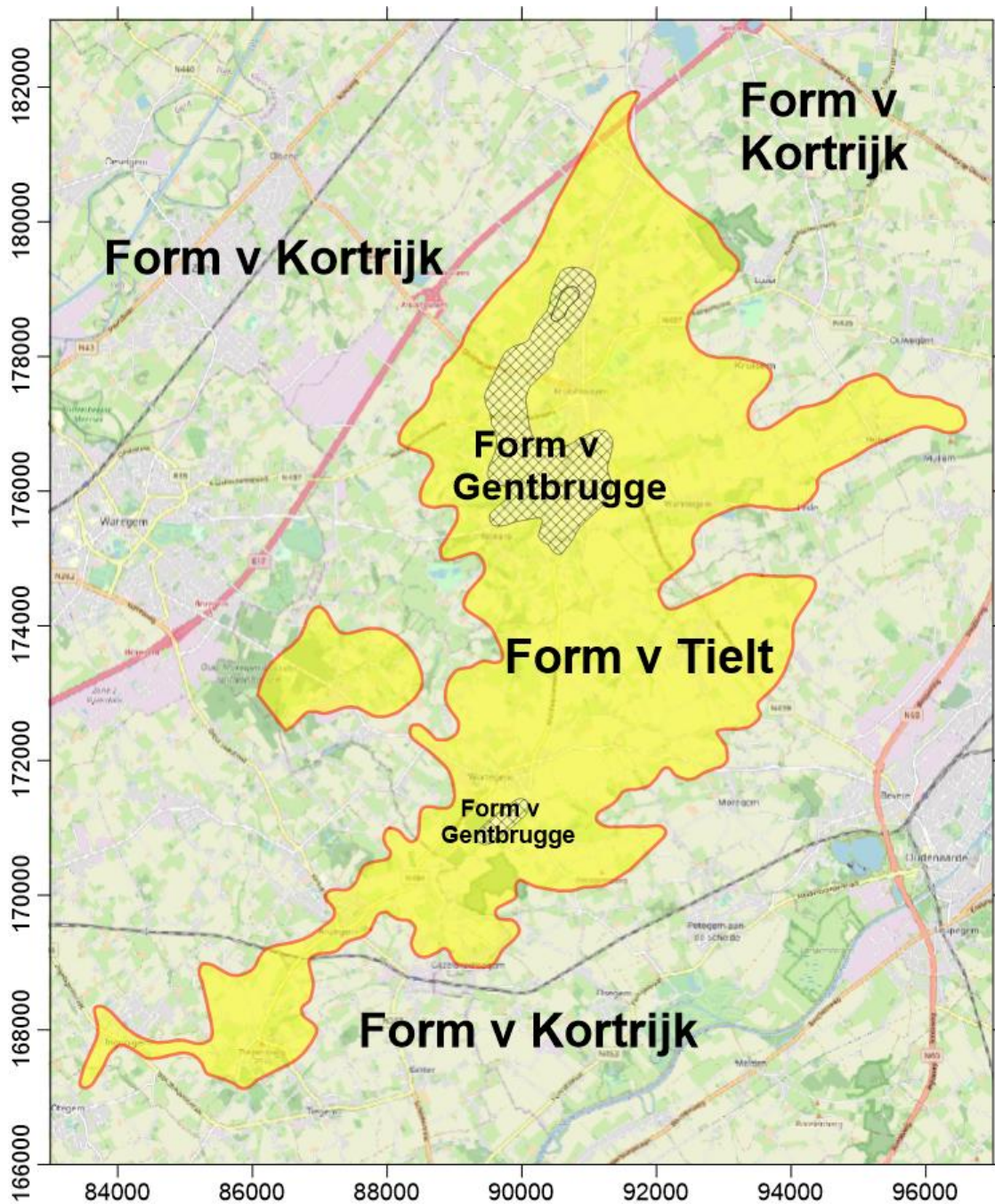


Fig 2.5 Isohypsen (in m TAW) van de top van de Formatie van Kortrijk

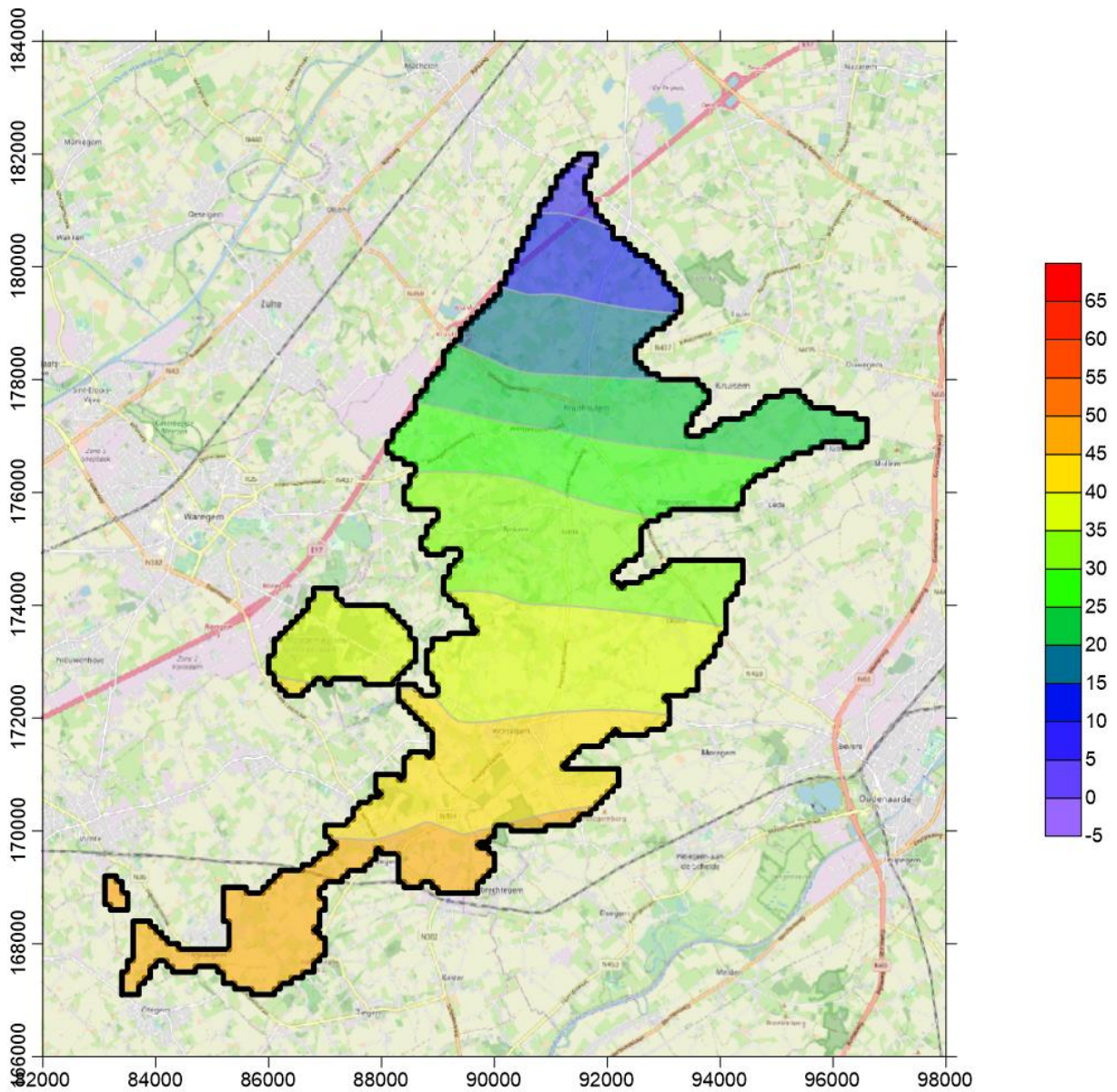


Fig 2.6 Isopachen (in m) van het reservoir boven de Formatie van Kortrijk

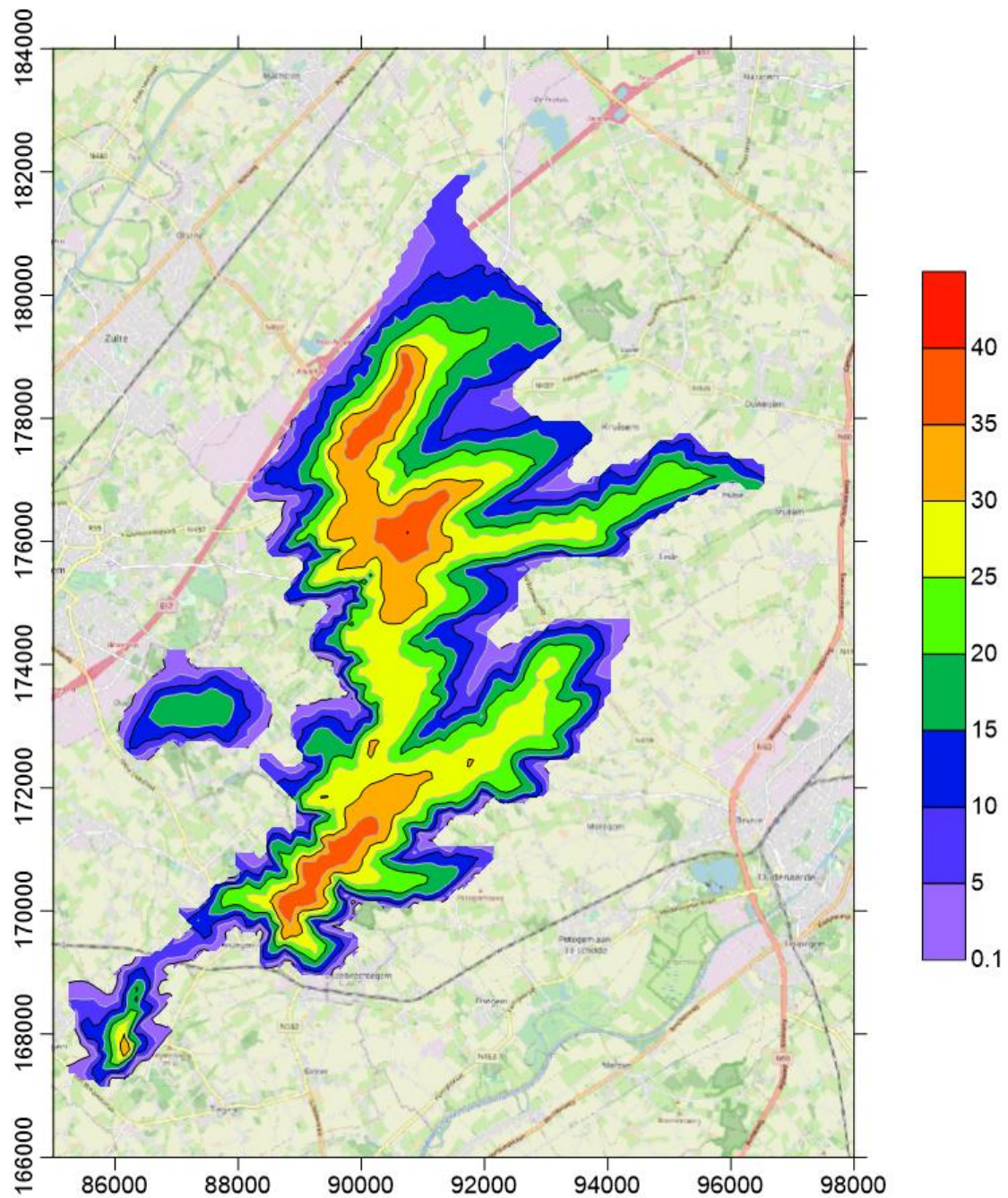


Fig 2.7 Ligging van MAP meetpunten langsheen de heuvelrug

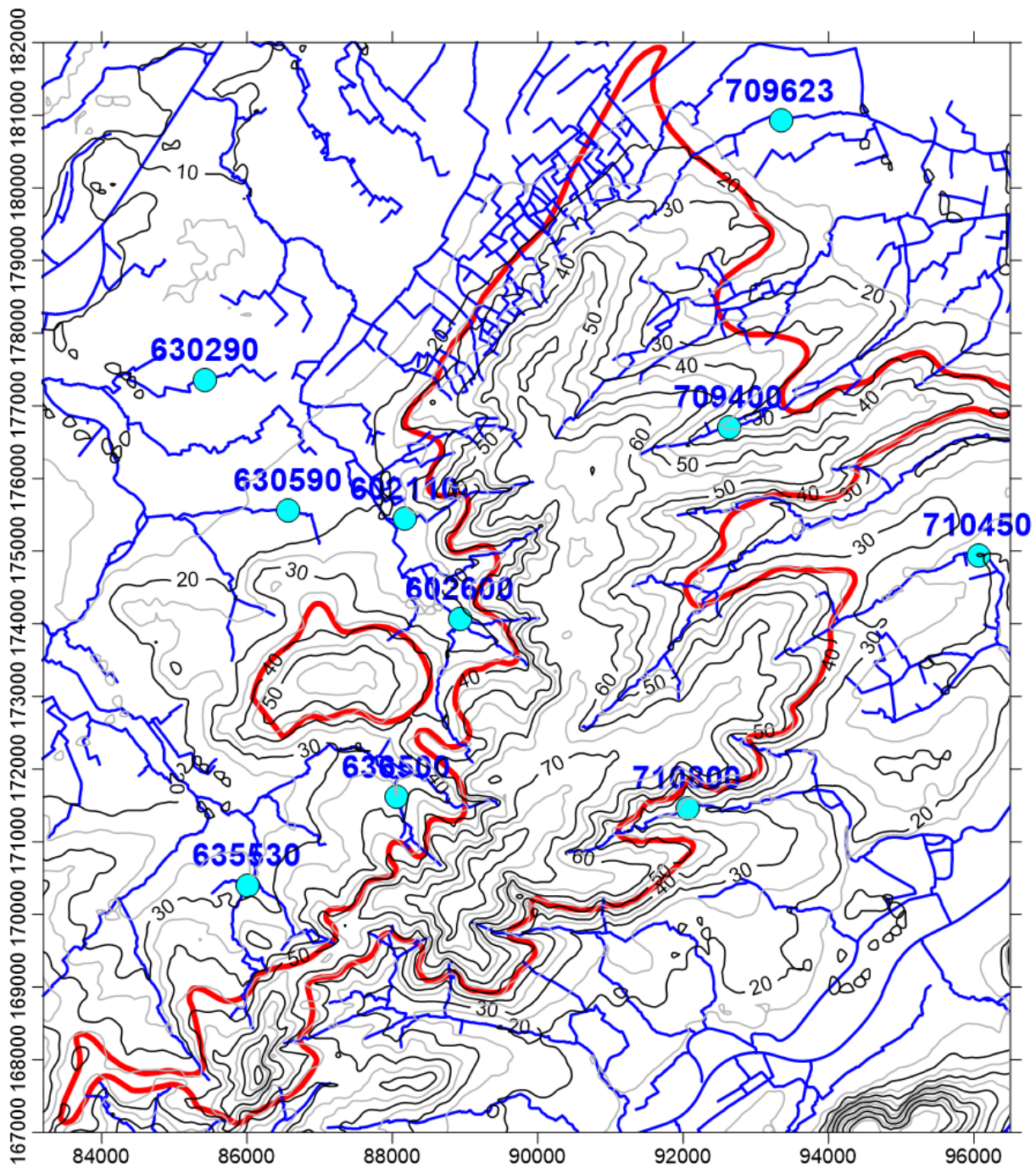


Fig 2.8 Nitraatevolutie in geselecteerde MAP meetpunten langsheen de heuvelrug

MAP meetpunten OOST zijde heuvelrug

MAP meetpunten WEST zijde heuvelrug

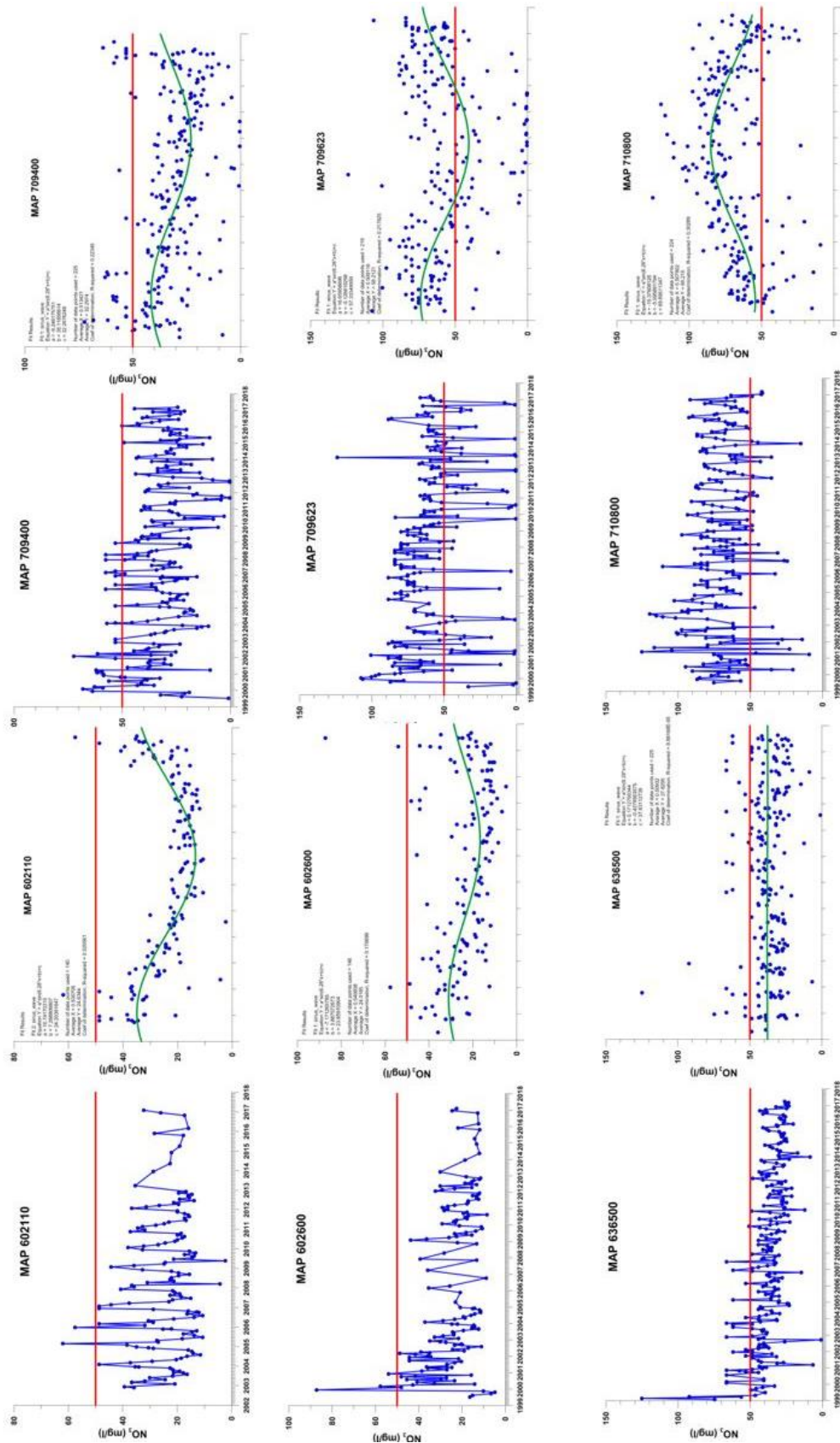


Fig 2.9 Tijdsgrafiek nitraatgehalte in MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)

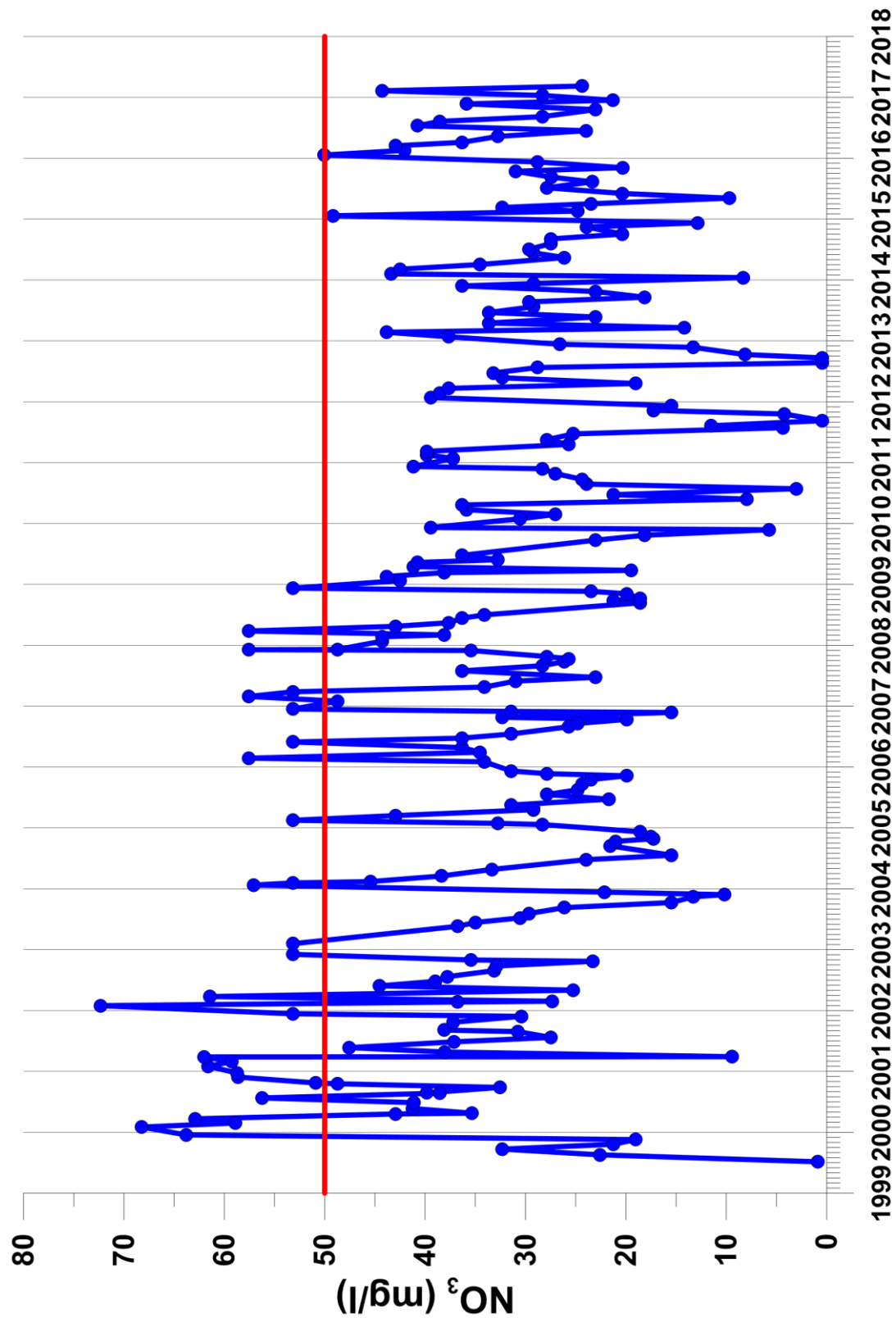


Fig 2.10 Seizoensgrafiek nitraatgehalte in MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)

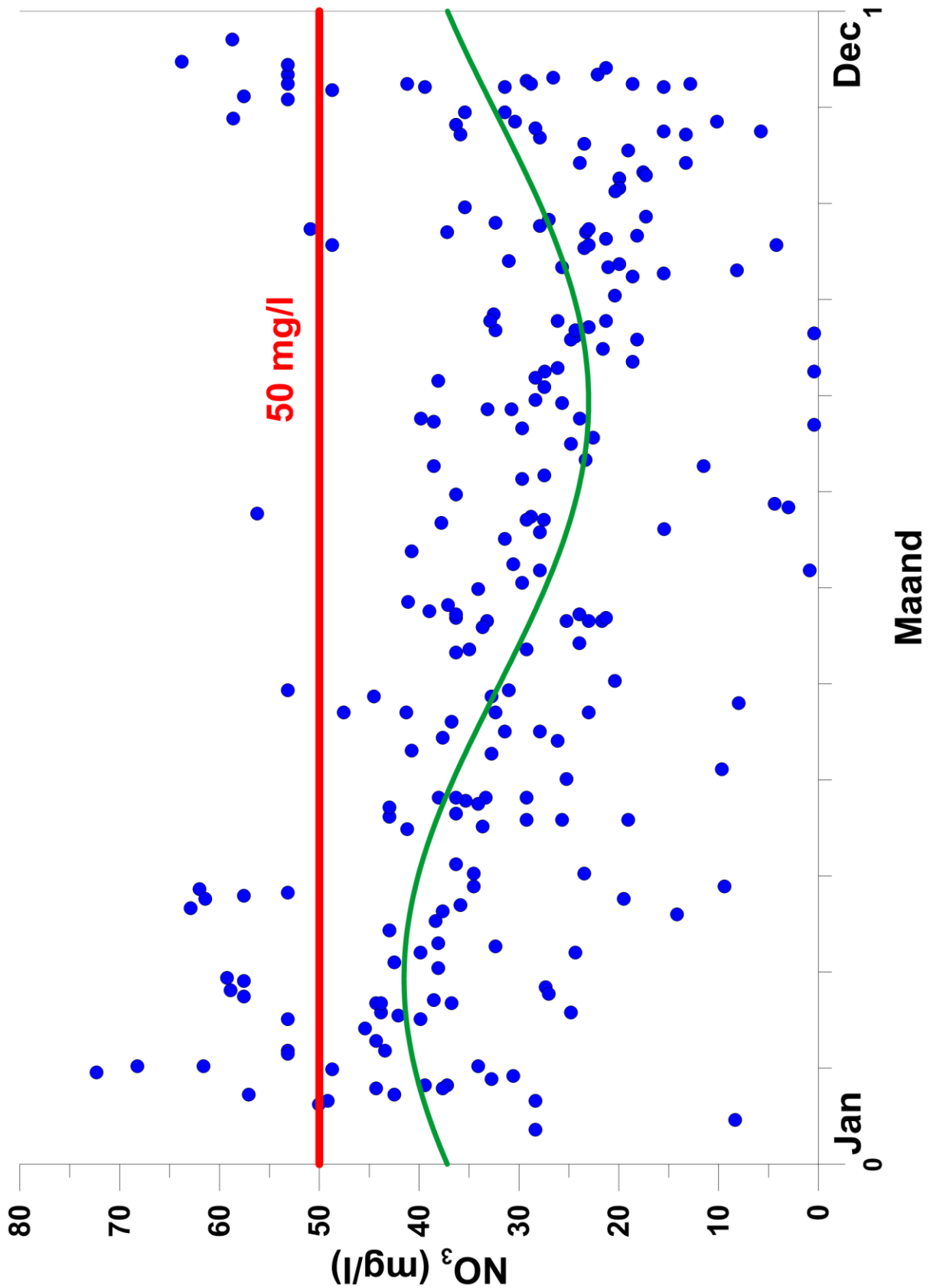
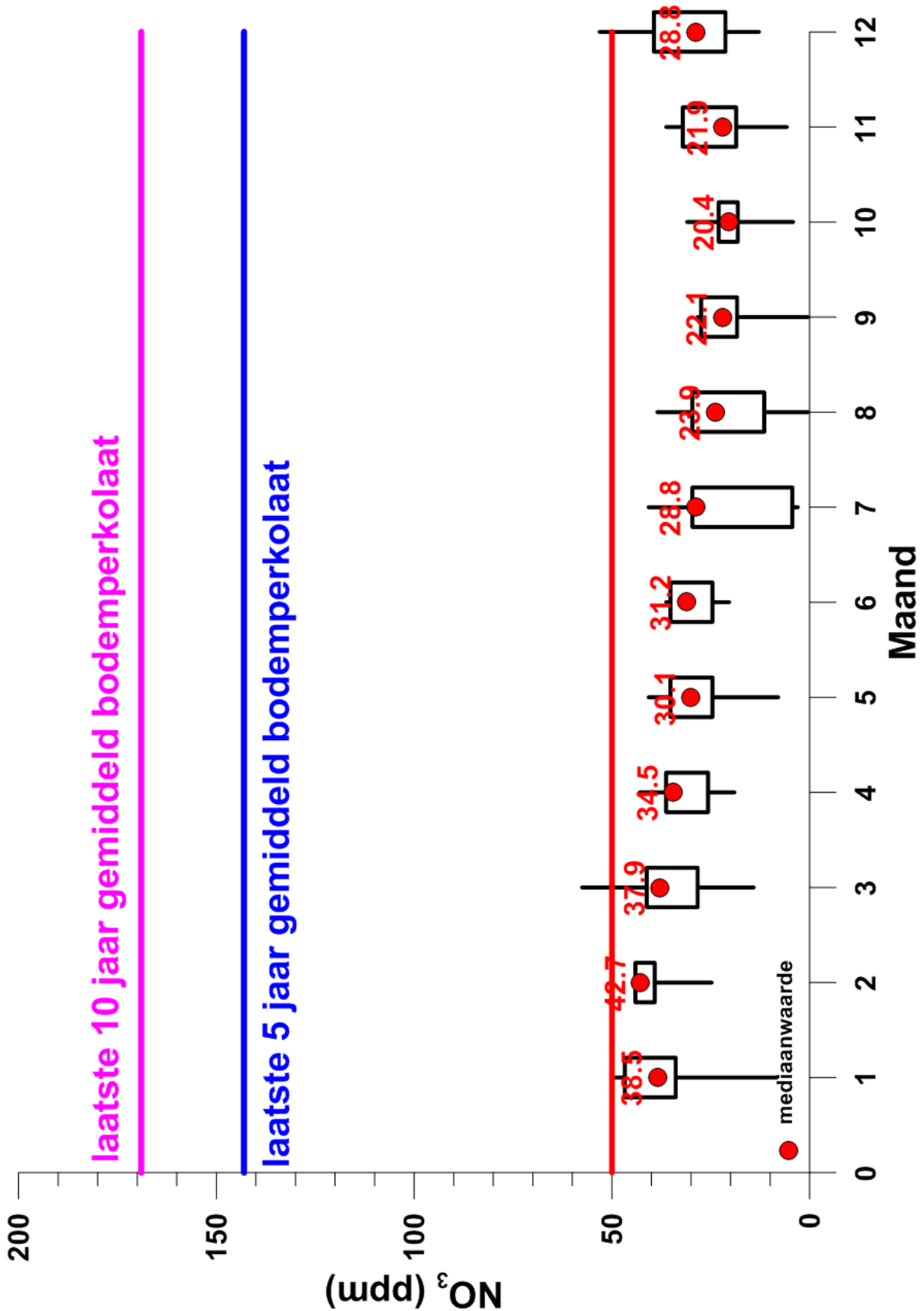


Fig 2.11 Maandgemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 709400 (Plankbeek)



3 Veldwerk

3.1 Installatie peilbuizen

Omdat het voorjaar van 2018 zeer droog was en daardoor de waterafvoer in de beken toch bijna uitsluitend uit grondwatervoeding bestaat, werd er voor gekozen geen peilbuizen te plaatsen maar de oppervlaktewaters te bemonsteren en beschouwen als een proxy van de grondwaterkwaliteit. Dit liet ook toe om meer punten te bemonsteren op meerder waterlopen, zowel langs de west- als de oostzijde van de heuvel. In totaal werden op 20 punten watermonsters genomen (fig 3.1).

In het najaar van 2018 werden de punten een tweede maal bemonsterd. Maar mogelijk was er toen ook een bijdrage aan oppervlakkige afvoer.

Deze site werd ook gebruikt om een vergelijking te maken tussen nitraatgehalten bepaald in het laboratorium, en in situ met een reflectometer. De afwijkingen waren meestal kleiner dan 10%.

3.2 Wateranalysen

Vergelijking van de twee meetronden (tabel 3.1) toont dat de gehalten tijdens de tweede ronde meestal lager waren dan tijdens de eerste ronde, wat laat vermoeden dat er tijdens de tweede ronde meer verdunning optrad door bijmenging met oppervlakkige afvoer. Enkel één meetpunt op de Vrankaartbeek en het meetpunt op de Kasteelbeek waren hoger bij de tweede meting.

De opgemeten nitraatgehalten van de eerste meetronde werden voorgesteld op kaart (fig 3.1) om een beeld te verkrijgen over de ruimtelijke variatie van de concentratie langsheen de heuvelrug. De waarden van de tweede ronde werden niet als representatief voor de grondwaterkwaliteit beschouwd. De volgende conclusies kunnen getrokken worden:

Stampkotbeek (oostzijde)

Deze beek loopt ten NE van het centrum van Kruisem. Op het enige meetpunt werd ca 25 mg/l nitraat gemeten.

Plankbeek (oostzijde)

De Plankbeek loopt ten zuidoosten van Kruishoutem. De hoogste concentratie werd in het meest stroomopwaartse meetpunt vastgesteld, en lag boven de 50 mg/l, maar stroomafwaarts daalt de concentratie en ligt dan onder de 50 mg/l.

De Kasteelbeek (oostzijde)

Het enige meetpunt gaf een vrij laag gehalte van ca 16 mg/l.

De Vrankaartbeek (oostzijde)

Op deze beek zijn de nitraatgehalten vrij laag.

De Marollebeek (oostzijde)

Deze beek loop op de zuidoostflank van de heuvelrug. Hier werden op alle meetpunten zeer hoge nitraatgehalten vastgesteld: telkens was er een overschrijding van de 50 mg/l.

De Hollebeek (westzijde)

Hier werd slechts 13 mg/l opgemeten.

De Moeraskordaalbeek (westzijde)

Ook hier werden geen hoge nitraatgehalten vastgesteld.

Langsheen de westzijde van de heuvelrug werden geen overschrijdingen van de 50 mg/l opgemerkt. Langs de oostzijde bleek de Marollebeek overal zeer hoge nitraatgehalten te hebben, en de bovenloop van de Plankbeek, dicht bij de bron. Meer stroomafwaarts treedt daar blijkbaar verdunning op.

Correlatie van chemische parameters

Een crossplot van het ijzer- versus nitraatgehalte (fig 3.2) toont dat alle monsters lage ijzergehalten hebben, minder dan één mg/l. Wel lag het ijzergehalte tijdens de eerste meetronde hoger dan in de tweede ronde.

Een crossplot van het bicarbonaat- versus nitraatgehalte (fig 3.3) toont dat het bicarbonaatgehalte van de monsters met hoog nitraatgehalte (> 50 mg/l) meestal lager ligt dan in de monsters met laag nitraatgehalte (< 50 mg/l). In deze laatste groep komen bicarbonaatconcentraties tot 400 mg/l voor. Dit geldt zowel voor de monsters van de eerste als de tweede meetronde. Mogelijk zijn de lagere nitraatgehalten veroorzaakt door de bijmenging met water dat nitraatreductie door organische materiaal heeft ondergaan. Dit proces verhoogt het bicarbonaatgehalte.

Tabel 3.1 Nitraatgehalten op de meetpunten van de testsite “Heuvelrug”

Meetpunt	Beek	Ronde 1 nitraat (mg/l)	Ronde 2 nitraat (mg/l)
PI1	Plankbeek	36.67	7.33
PI2	Plankbeek	46.03	16.61
PI3	Plankbeek	33.63	13.70
PI4	Plankbeek	46.12	
PI5	Plankbeek	87.05	20.12
PI6	Plankbeek		18.70
MK1	Moeraskordaalbeek	18.13	17.79
MK2	Moeraskordaalbeek	28.37	14.63
MK3	Moeraskordaalbeek	21.92	15.25
VR1	Vrankaartbeek	10.11	11.04
VR2	Vrankaartbeek	15.35	40.63
VR3	Vrankaartbeek	39.69	32.71
MR1	Marollebeek	63.88	30.68
MR3	Marollebeek	78.08	
MR4	Marollebeek	93.29	
MR5	Marollebeek	118.22	91.97
MR6	Marollebeek	88.14	82.59
MR7	Marollebeek		97.94
MR8	Marollebeek	60.65	
KS1	Kasteelbeek	16.24	47.52
HB1	Holle Beek	13.07	
ML1	Stampkotbeek	21.83	
ML2	Stampkotbeek		23.72

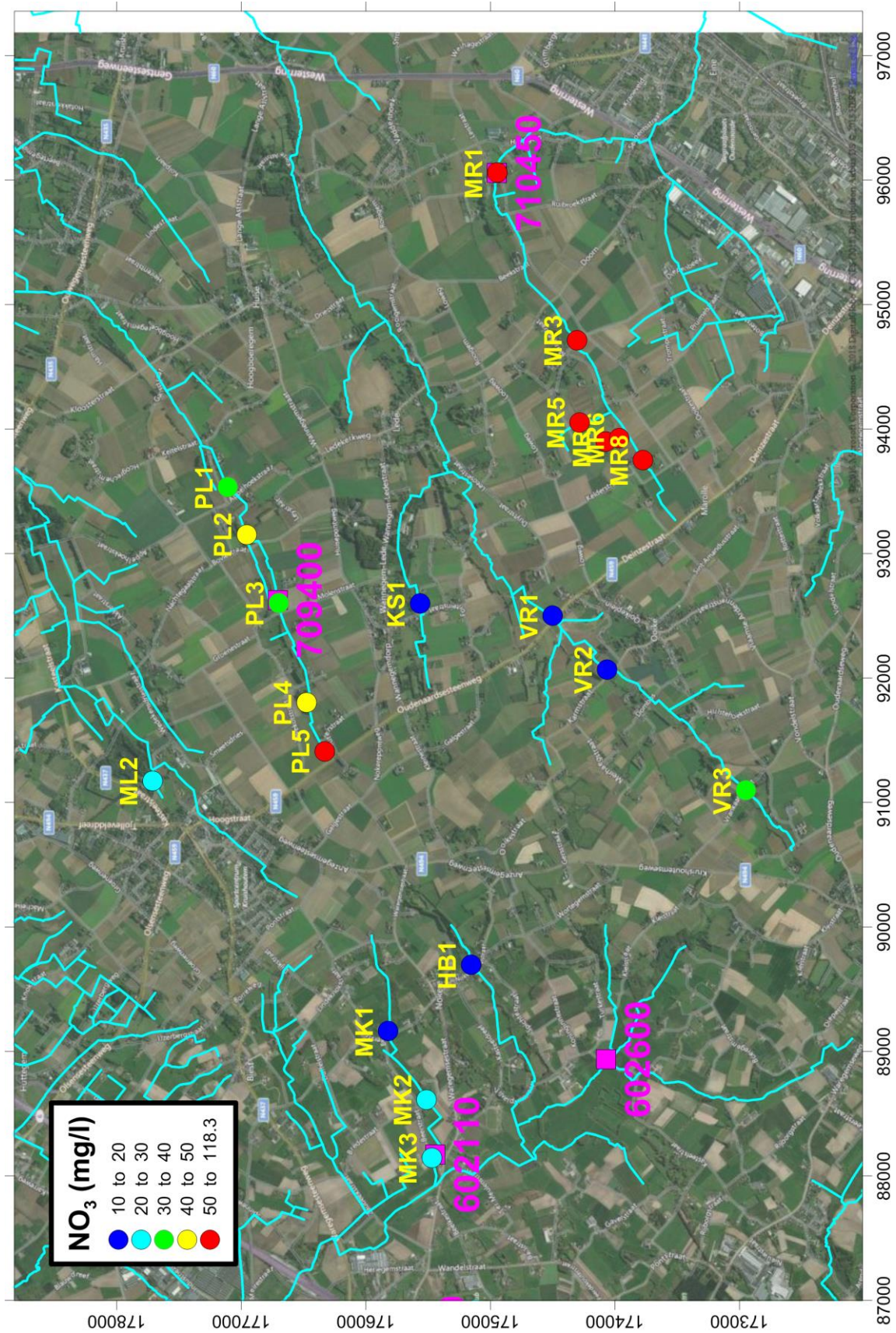
Tabel 3.2 Resultaten van de wateranalyses van de eerste meetronde

NAAM	waterloop	PH	COND	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	Fe2+/Fe3+	Mn2+	NH4+	Cl-	SO42-	NO3-	NO2-	HCO3-	PO42-	TDS
PI1	Plankbeek	7.580	991	27.840	5.020	163.000	17.900	0.131	0.062	0.206	56.496	106.186	36.67	0.332	354.410	0.706	768.955
PI2	Plankbeek	7.79	1035	27.240	5.52	167.2	18.2	0.241	0.023	0.1224	63.862	139.31	46.03	0.3188	352.58	0.6082	821.259
PI3	Plankbeek	7.72	1019	25.96	6.86	164	18.65	0.393	0.225	0.1817	60.152	144.83	33.63	0.5722	348.92	0.6374	805.007
PI4	Plankbeek	7.74	984	24.04	7.64	159.65	18.2	0.216	0.033	0.1203	53.938	154.642	46.12	0.4391	323.3	0.6496	788.984
PI5	Plankbeek	7.22	1090	59.98	3.16	182.9	19.05	0.025	0.006	0.1319	60.843	88.642	87.05	0.028	345.87	0.1241	847.807
MK1	Moerskordaalbeek	7.39	527	19.52	2.88	71.9	5.4	0.122	0.056	0.09	25.747	86.851	18.13	0.1804	127.49	0.6093	358.974
MK2	Moerskordaalbeek	7.55	656	22.96	3.32	91.4	7.85	0.138	0.03	0.3065	37.387	84.281	28.37	0.5354	177.51	0.9173	455.008
MK3	Moerskordaalbeek	7.69	675	26.82	3.52	93.3	8.15	0.067	0	0.1074	41.267	86.719	21.92	0.0663	181.78	0.7678	464.486
VR1	Vrankaartbeek	7.75	817	28.74	18.46	100.75	13	0.202	0.327	3.9872	53.131	103.69	10.11	0.6225	277.55	1.4168	611.987
VR2	Vrankaartbeek	7.58	945	28.22	40.52	101.6	13.95	0.121	0.268	99.602	55.477	112.65	15.35	11.059	269.01	0.6453	748.470
VR3	Vrankaartbeek	7.73	687	22.66	3.927	90.6	11.75	0.159	0.096	0.2223	43.443	92.909	39.69	0.7231	181.17	0.3574	487.710
MR1	Marollebeek	7.62	797	31.64	2.92	101.7	12.5	0.054	0.015	0.2788	55.956	89.802	63.88	0.769	197.64	0.8309	557.989
MR3	Marollebeek	7.61	690	22.88	2.36	88.5	11.5	0.107	0.014	0.107	46.293	91.69	78.08	0.2684	120.17	0.4009	462.369
MR4	Marollebeek	7.26	623	23.26	1.487	76.4	10.15	0.077	0.044	0.1257	43.237	78.655	93.29	0.6128	73.2	0.1007	400.636
MR5	Marollebeek	7.2	624	20.44	2.64	70.85	10.05	0.104	0	0.1439	41.837	77.769	118.22	0.2275	45.14	0.3182	387.740
MR6	Marollebeek	7.22	640	23.5	1.714	78.8	10.25	0.068	0	0.0958	48.093	99.768	88.14	0.0297	82.35	0.0668	432.876
MR8	Marollebeek	7.24	991	24.52	1.513	167.15	15.95	0.049	0.011	0.1385	55.126	89.169	60.65	0.2375	384.3	0.4634	799.272
KS1	Kasteelbeek	7.48	680	24.96	4.86	80.9	12.3	0.077	0.012	2.9377	51.44	104.274	16.24	0.3298	159.82	0.1389	458.288
HB1	Holle Beek	7.55	802	38.96	3.3	106.45	10.3	0.081	0.01	1.3494	58.048	84.317	13.07	0.607	253.76	1.0775	571.329
ML1	Stampkotbeek	7.72	2280	268.6	13.54	100.55	11.4	0.23	0.028	0.1709	407	99.816	21.83	0.7862	308.66	4.6322	1237.247

Tabel 3.3 Resultaten van de wateranalyses van de tweede meetronde

MEETPUNT	WATERLOOP	PH	COND	Na+	K+	Ca2+	Mg2+	Fe2+/Fe3+	Mn2+	NH4+	Cl-	SO42-	NO3-	NO2-	HCO3-	PO42-	TDS
VR1	Vrankaartbeek	7.180	771	29.900	9.220	103.750	10.300	0.008	0.004	0.062	52.080	97.652	11.041	0.044	224.480	0.387	538.928
VR2	Vrankaartbeek	6.66	917	49.900	15.32	95.35	10.45	0.018	0.001	0.0388	87.215	88.193	40.633	0.028	202.52	4.0989	593.766
VR3	Vrankaartbeek	7.07	706	24.1452	3.81	103.25	9.5	0	0	0.0321	47.832	100.65	32.713	0.0046	158.6	0.1224	480.659
MK1	Moeraskordaalbeek	7.12	1033	52	4.18	142.35	10	0	0	0.0403	83.635	120.395	17.792	0.0273	267.79	1.2439	699.454
MK2	Moeraskordaalbeek	7.26	759	29.6	3.07	110.9	6.85	0	0	0.0341	44.695	120.99	14.637	0.0356	189.71	0.3673	520.889
MK3	Moeraskordaalbeek	7.31	822	36.88	2.88	114.5	7.3	0	0	0.0372	64.374	109.64	15.259	0.1688	199.47	0.382	550.891
PI1	Plankbeek	6.28	358	18.28	23.81	26.35	4.25	0.497	0.54	0.047	18.021	18.806	7.3354	0.3417	110.41	3.8737	232.562
PI2	Plankbeek	8.04	998	27.08	5.93	147.55	15.55	0	0	0.048	64.398	99.23	16.615	0.0103	353.19	0.3918	729.993
PI3	Plankbeek	7.69	979	24.58	5.3	146.3	15.35	0.015	0	0.0424	57.084	106.565	13.699	0.016	342.82	0.2008	711.972
PI5	Plankbeek	7.71	962	21.94	3.54	151.05	15.35	0.001	0	0.052	51.731	118.35	20.12	0.0164	306.22	0.2204	688.591
PI6	Plankbeek	7.56	960	22.46	3.76	146.5	15.45	0	0	0.0576	52.08	93.66	18.706	0.0152	307.44	0.2889	660.418
MR1	Marollebeek	7.12	678	29.28	5.47	77.45	8.35	0	0	0.0403	48.399	75.931	30.685	0.0135	153.72	1.7875	431.126
MR5	Marollebeek	7.08	636	24.08	2.335	80.95	9.05	0.003	0	0.0506	46.378	86.782	91.972	0.0566	64.05	0.0441	405.751
MR6	Marollebeek	7.01	637	24.6	1.839	85.5	9.45	0.004	0.001	0.1122	41.147	88.341	82.596	0.0199	78.08	0.0049	411.695
MR7	Marollebeek	6.79	638	23.34	2.022	83.2	9.1	0	0	0.0317	48.665	89.075	97.943	0.0071	50.02	0	403.404
MR8	Marollebeek	7.31	989	23.1	1.124	156.3	13.1	0.002	0.003	0.0501	49.38	83.802	47.521	0.0656	370.88	0.0049	745.333
ML2	Stampkotbeek	7.66	2350	282.2	17.47	110.8	10.8	0.044	0.002	0.0544	397.94	111.53	23.725	0.0559	314.15	2.9432	1271.715
KS1	Kasteelbeek	7.04	698	25.44	4.55	96.7	10.25	0.014	0	0.0391	48.245	100.37	14.629	0.0323	165.31	0.5191	466.099

Fig 3.1 Ligging van de meetpunten en de gemeten nitraatgehalten in de testsite “Heuvelrug”



4 Beschrijving van het MODFLOW/MODPATH model

4.1 Inleiding

De testsite Heuvrug is één van drie testsites waarvoor een grondwaterstromingsmodel werd opgesteld. Het grondwaterstromingsmodel MODFLOW (Harbaugh, 2005) werd gekoppeld aan het stroomlijnenprogramma MODPATH (Pollock, 2016) om een antwoord te bekomen op volgende onderzoekspunten:

- Beter inzicht krijgen in de grondwaterstroming (stijghoogteverdelingen, fluxen)
- Bepalen stroomlijnen : van waar komt grondwater en naar waar stroomt het? In welk deel/segment van de beek komt het infiltratiewater terecht?
- Bepalen reistijden langsheen de stroomlijnen : vooral van belang in de oxidatiezone , vermits in de reductiezone de nitraatvracht quasi nihil is.

Eerst werd met het MODFLOW model de gemiddelde stromingssituatie berekend a.h.v. een evenwichtsberekening ("steady state"). Voor deze gemiddelde situatie werden stroomlijnen getraceerd en bepaald welke doorheen de oxidatiezone en welke tot in de reductiezone lopen.

4.2 Opbouw van het MODFLOW/MODPATH model

Modelbegrenzing

De rand van het actief model valt samen met het dagzomingsgebied van de Formatie van Tielt (fig 4.1).

Modelnetwerk en reservoirschematisering

De spatiale resolutie bedraagt 100 m. Het modelgrid bestaat uit 100 kolommen en 170 rijen.

In het model is een enkele laag ingebouwd: het Ieperiaan aquifersysteem. De laag heeft een freatisch regime en de basis ligt aan de top van de Formatie van Kortrijk (fig 4.2). De basis van de laag helt van zuid naar noord, van ca +50 in het zuidwesten tot minder dan +10 in het noordoosten.

De maximale dikte van de modellaag, berekend als het hoogteverschil tussen de basis en het maaiveld, is voorgesteld op fig 4.3. Deze bedraagt op het hoogste punt van de heuvrug tussen 35 en 40 m. Vermits de watertafel er enkele meter diep staat, is de effectieve dikte enkele meters kleiner.

Hydraulische parameterisatie

De horizontale doorlatendheid van de Formatie van Tielt werd op 1 m/d genomen. De porositeit (gebruikt door MODPATH) werd op 40% geschat op basis van Morris en Johnson (1967).

De transmissiviteit van de modellaag wordt door het model zelf berekend uit de stijghoogte en de opgegeven basis van de laag.

Randvoorwaarden

De randvoorwaarden betreffen de grondwateraanvulling, de waterpeilen in de beken.

De aanvulling van de watertafel bedraagt 172 mm/jaar, het lange termijn gemiddelde berekend met het BFN model van de onverzadigde zone.

De waterpeilen in de beken werden afgeleid uit het DTM grid en op 1 m onder maaiveld genomen. Ze worden in MODFLOW als DRAIN cellen gedefinieerd. Ze werken daardoor enkel drainerend indien de stijghoogte hoger staat dan het bodempeil.

4.3 Resultaten

Het model simuleert de gemiddelde stromingssituatie. Het gebruikt een evenwichtsstromingssituatie ("steady state").

De berekende stijghoogteverdeling is voorgesteld op fig 4.4. De hoogste stijghoogten komen voor onder het zuidelijk deel van de heuvelrug en liggen rond de +62 m TAW. De hoogste waterpeilen die in het VMM meetnet gemeten worden in de heuvelrug zijn in peilbuis 470/74/9 n liggen rond de +62.5 m TAW. Dit is een peilbuis van het freatisch meetnet en wordt slechts twee maal per jaar opgemeten. Het gemiddeld peil is daardoor een benadering van de echte lange termijn waarde.

Door MODPATH werden stroomlijnen getraceerd in heel de heuvelrug (fig 4.5). Op deze kaart is goed te zien hoe de grondwaterstroming naar de beken op de flanken van de heuvelrug verloopt. De stroomlijnen die naar de Plankbeek toe stromen, staan zijn in detail voorgesteld op fig 4.6. Voor deze stroomlijnen werd de CDF curve van de reistijden opgesteld (fig 4.7). Hieruit blijkt een mediaan reistijd van 27.2 jaar, wat vrij aanzienlijk is.

Fig 4.1 Ligging van het modelgebied

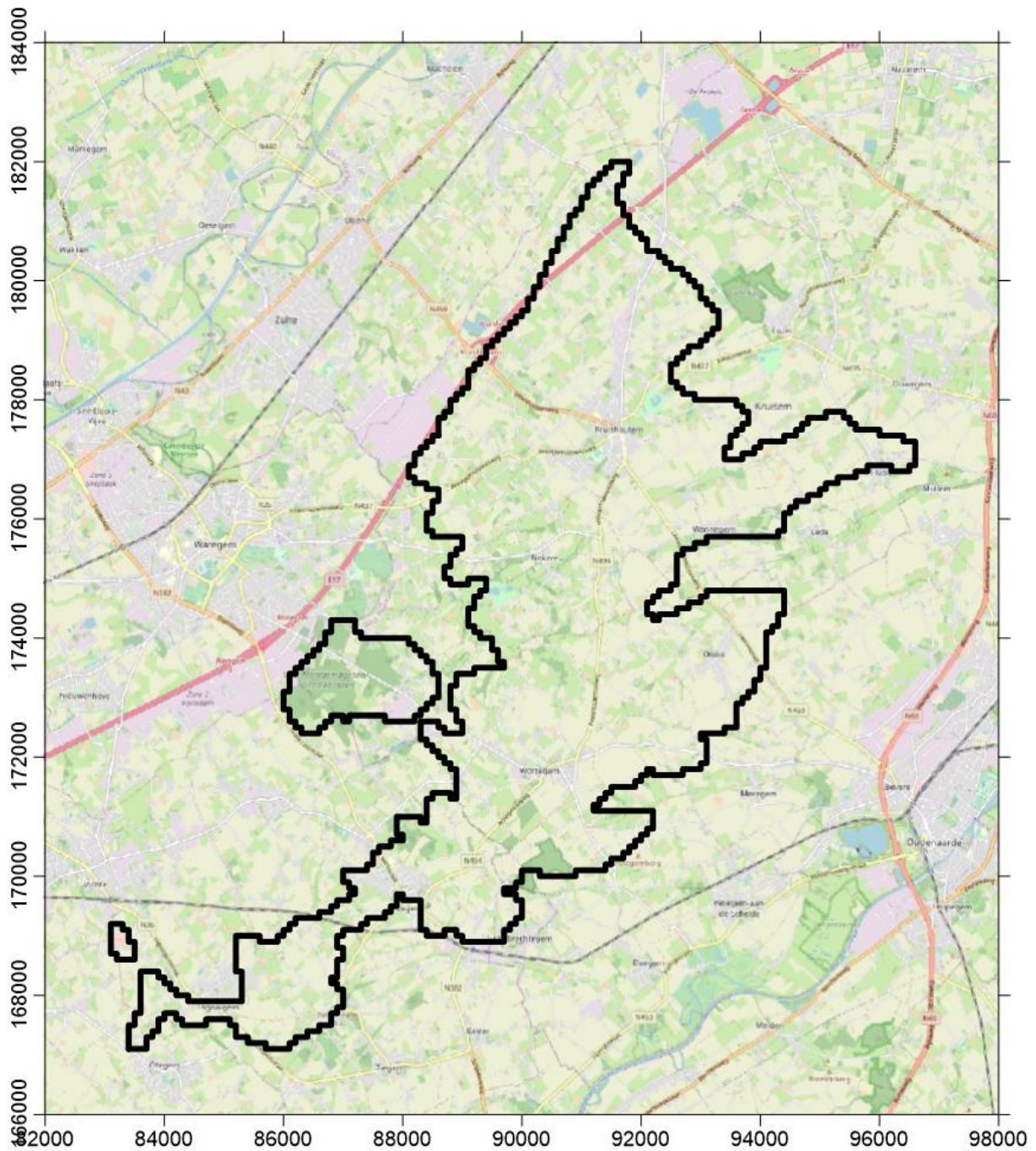


Fig 4.2 Isohypsen (m TAW) van de basis van het Ieperiaan Aquifersysteem

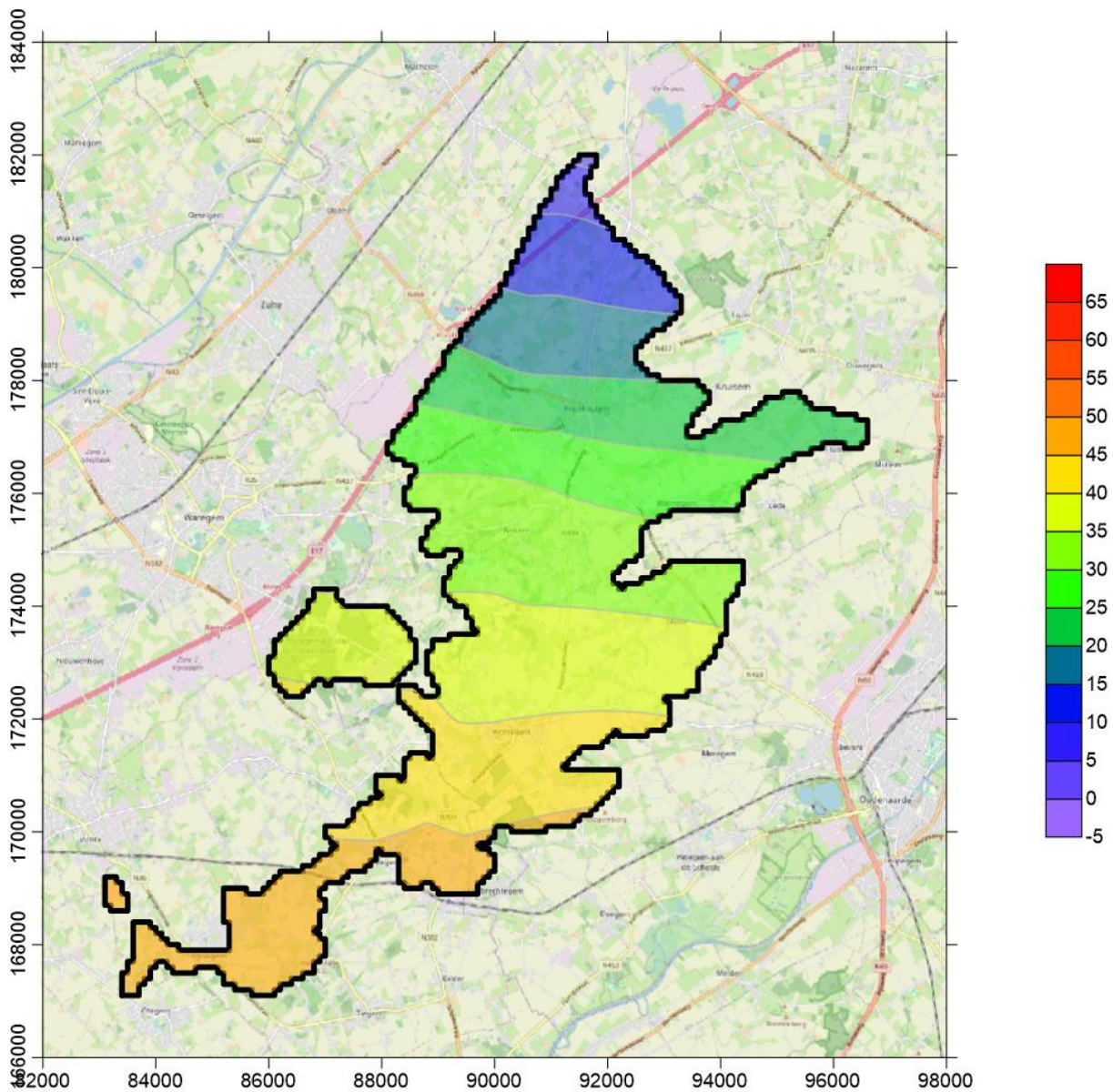


Fig 4.3 Isopachen (in m) van het Ieperiaan Aquifersysteem en de Quartaire bedekking

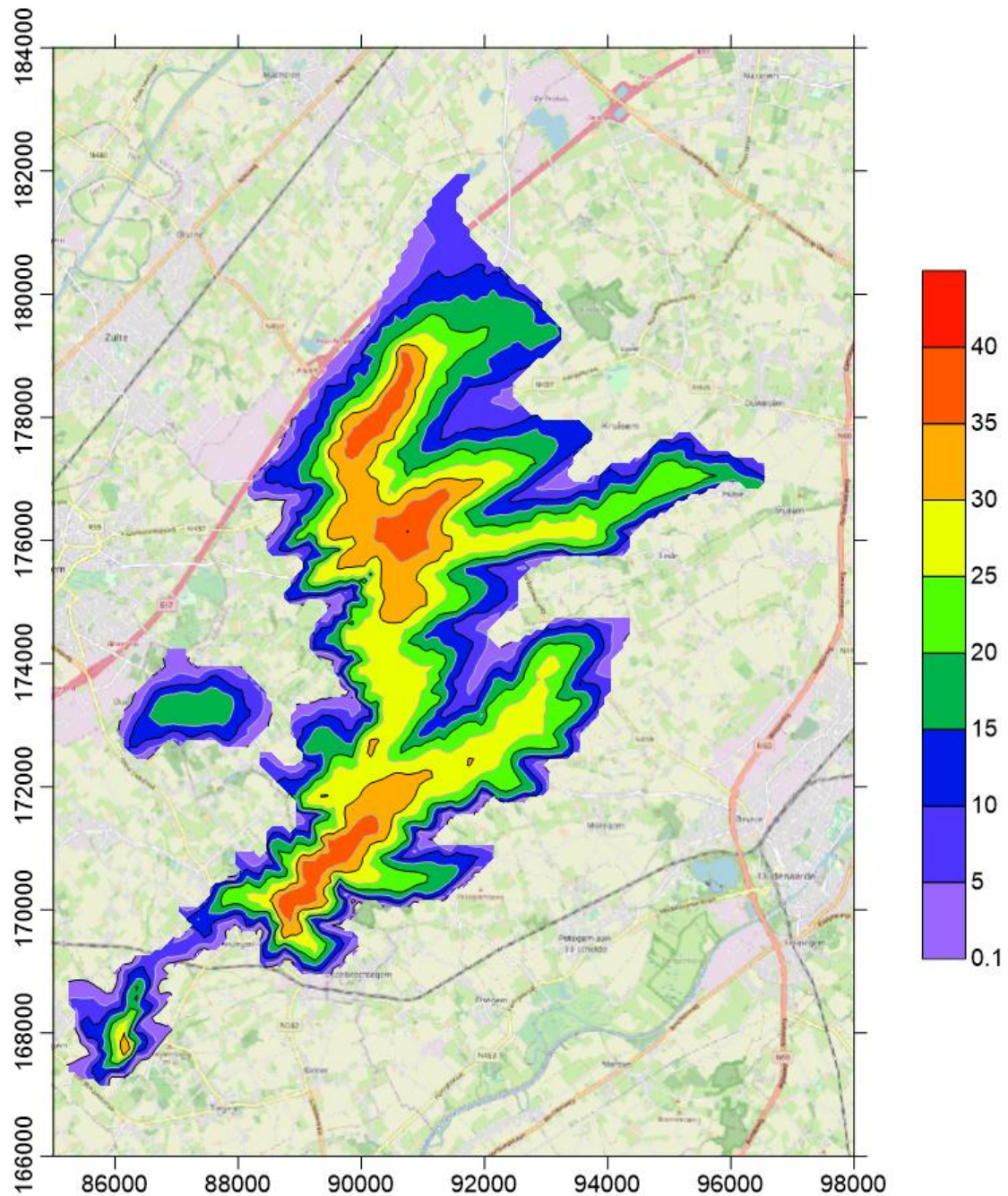


Fig 4.4 Berekende stijghoogteverdeling in het Ieperiaan aquifersysteem

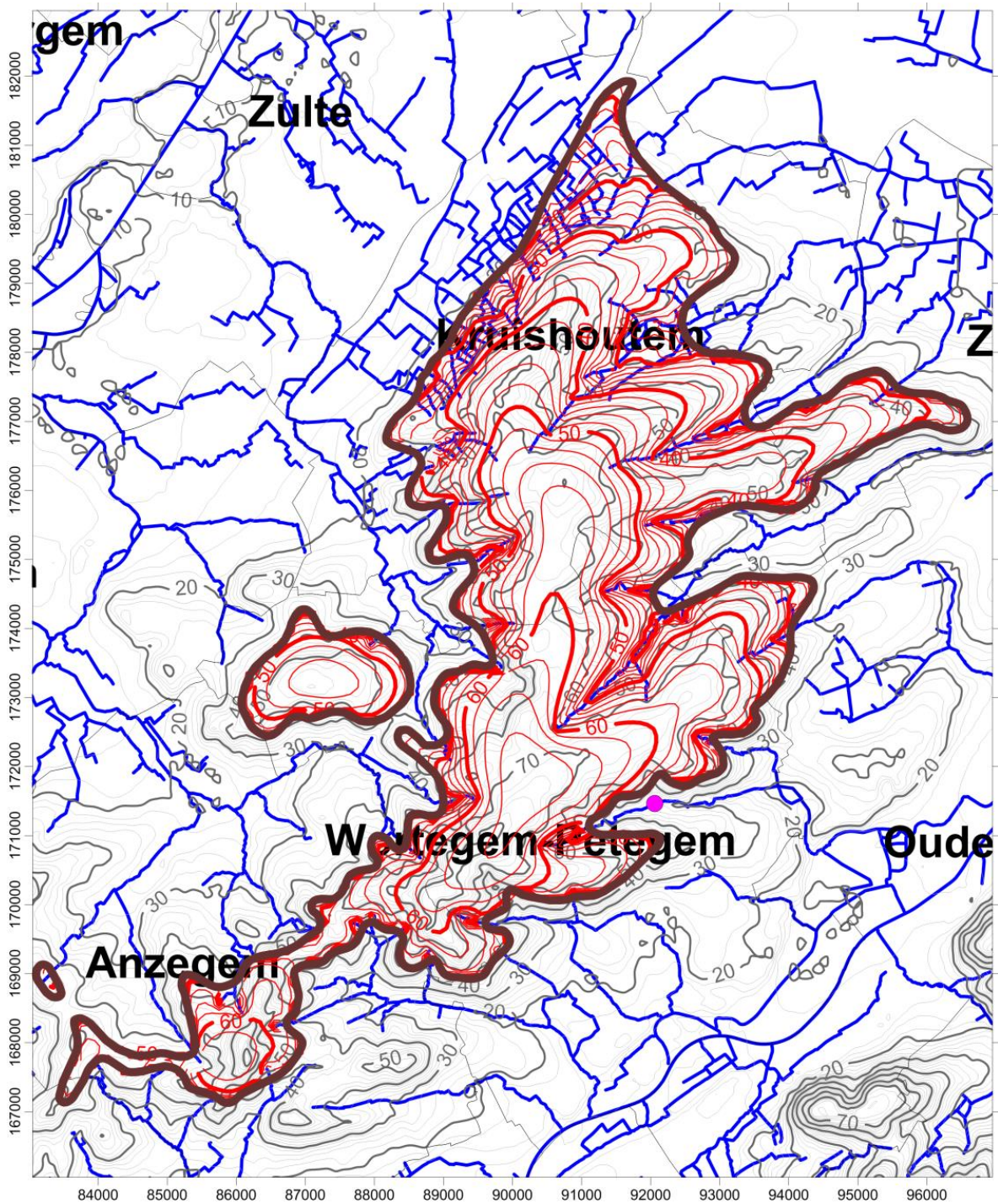


Fig 4.5 Berekende stroomlijnen in het Ieperiaan aquifersysteem

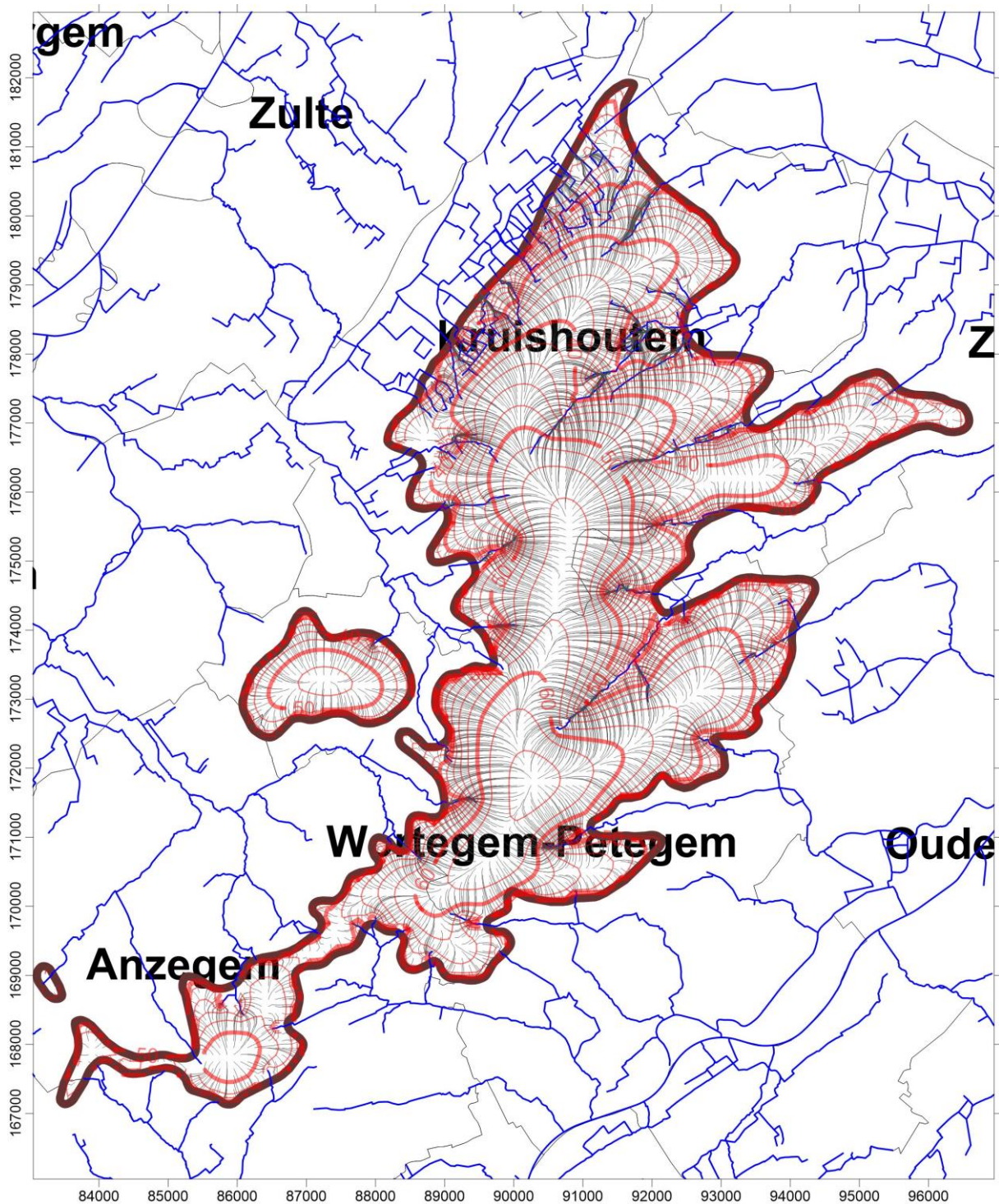
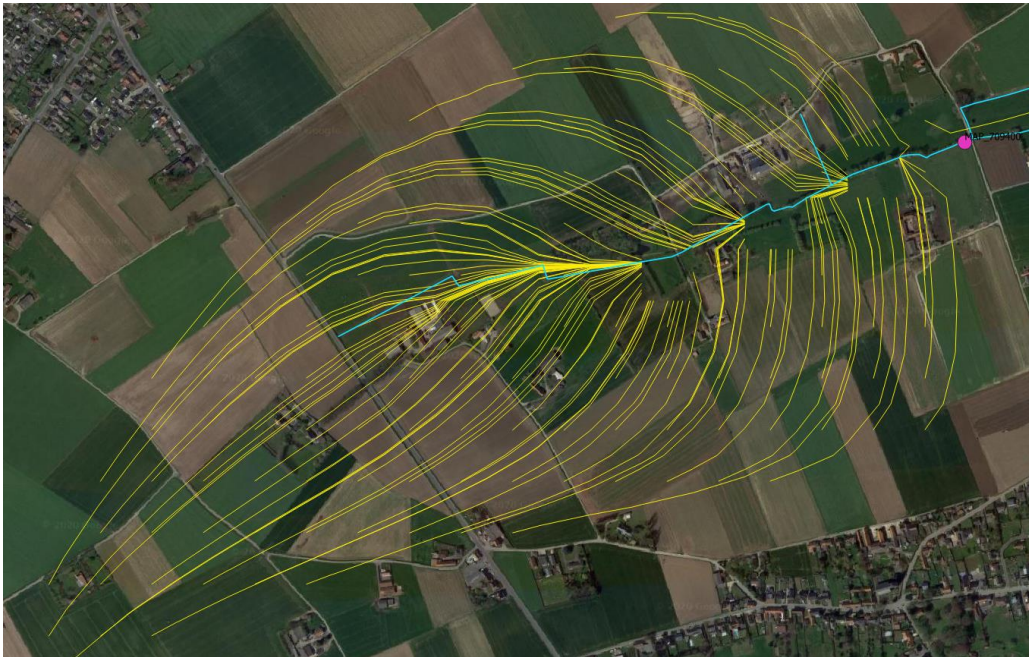
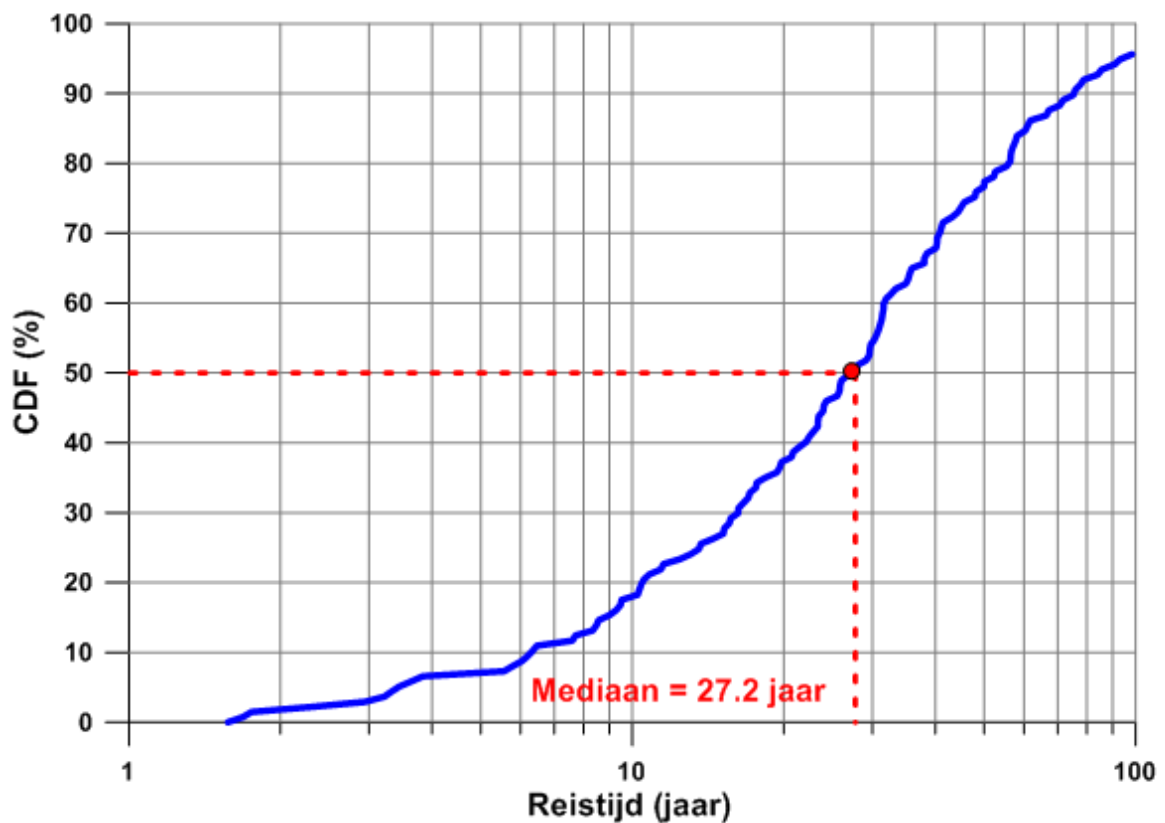


Fig 4.6 Berekende stroomlijnen naar de Plankbeek**Fig 4.7 CDF van de grondwater reistijden naar de Plankbeek**

5 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone

5.1 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 het Heuvelgebied werd aangenomen dat de jaarlijkse fluxen op 90 cm zonder verdere vertraging het grondwater bereikten.

5.2 Werkwijze

5.2.1 Studiegebied

Het stroomgebied van het Heuvelgebied werd afgebakend op basis van de resultaten van het grondwatermodel (**Fig 5.1**). Het afgebakende gebied is 5533 ha groot. Het stroomgebied werd ingedeeld in een grid bestaande uit 22132 cellen van 50 meter bij 50 meter. Voor elk van de cellen werd een aparte simulatie uitgevoerd.

5.2.2 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.

5.2.3 Toekennen van modelparameters

5.2.3.1 Databanken

Het model werd gevoed met verschillende parameters (**Fig 5.2**). 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 van het Heuvelgebied dagelijkse weersgegevens voor de periode 1965-2017.

5.2.3.2 Bodembedekking

Bodembedekkingsklassen werden samengenomen en herleid tot 7 klassen (**Tabel 5.1**). 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.

Het Heuvelgebied bestaat voor 54% uit akkerland en 20% weiland (fig 5.3). Daarnaast wordt 9% wordt ingenomen door infrastructuur, 9% door tuinen en parken en 7% door bos. Ongeveer 1% werd toegewezen aan braakliggende gronden.

Tabel 5.1 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 Spoorwegen Overig Afgedekt	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

5.2.3.3 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 het Heuvelgebied is variabel en wordt sterk beïnvloed door het bodemgebruik (fig 5.3 en fig 5.4): het is algemeen lager op akkerland, gemiddeld op weiland en tuinen en parken en hoger onder bos.

5.2.3.4 Bodemtextuur

Ook de bodemtextuur werd volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. Het Heuvelgebied ligt op de grens van de Zandstreek en de Zandleemstreek en bestaat in het noordwesten uit zand, lemig zand en licht zandleem en in het zuiden en het oosten grotendeels uit zandleem (**Fig 5.5**). Daarnaast komen heel wat antropogene en enkele kleibodems voor.

Voor elke bodemtextuurklasse werden waarden toegekend aan de verschillende parameters die nodig zijn als modelinput (**Tabel 5.2**). 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. Voor alle bodems werd de pH-H₂O 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 5.3**) op basis van de door Weynants aangepaste pedotransferfuncties van Vereecken (Weynants, 2009).

Tabel 5.2: 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 5.3: 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

5.2.3.5 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 1988-2017 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 voor het hele gebied gekend zijn voor de periode 1988-2017 tonen aan dat de voedergewassen gras, maïs en voederbieten samen ongeveer 49% van het landbouwareaal in het Heuvelgebied innemen (**Fig 5.5**). De belangrijkste akkerbouwgewassen zijn wintertarwe, aardappel en suikerbiet. Alle door het model gekende teelten in het stroomgebied werden gesimuleerd, waarbij sommige teelten vervangen werden door vergelijkbare teelten (bv. cichorei door witloof, triticale door wintertarwe). Voor de teelten aardbei, asperge, azalea, boomkweek, fruitbomen, hennep, kleinfruit, koolzaad, Mariadistel, miscanthus, rabarber, sierplanten, tuingewassen en vlas konden geen modelparameters bepaald worden. Voor deze teelten op akkerland werd, net als voor de categorie andere en niet-gekende teelten, een éénjarige braak zonder bemesting gesimuleerd. Dit kwam voor het Heuvelgebied overeen met 2,2% van de oppervlakte. 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. Voor het jaar 1997, waarin door de VLM gestart werd met het verzamelen van de teeltgegevens, ontbreken nog heel wat gegevens. Er werd daarom voor deze periode 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 waar mogelijk na een 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 per gemeente binnen het Heuvelgebied (Anzegem, Kruisem, Oudenaarde, Wortegem-Petegem en Zwevegem) 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 landbouwstreken (Statbel). Voor het Heuvelgebied werden gemiddelde cijfers voor de Zandstreek en 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 gemiddelde evolutie in beide landbouwstreken (met interpolatie per 5 jaar). De verdeling van de teelten over de gridcellen gebeurde opnieuw willekeurig.

5.2.3.6 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 Heuvelgebied komen voornamelijk runderen voor, maar ook varkens, paarden en pluimvee (fig 5.6). Merk op dat niet aan alle cellen een mestsoort kon worden toegewezen door interpolatie: vaak was dit op percelen met bos of infrastructuur, aan cellen akkerland en weiland waarop de mestsoort ontbrak werd uiteindelijk willekeurig een mestsoort toegewezen, rekening houdend met het relatieve voorkomen van de verschillende mestsoorten in het gebied.

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 Zand- en Zandleemstreek. Daarvoor werd per gemeente een aparte relatie opgesteld, zoals weergegeven voor de gemeente Kruisem, die ongeveer de helft van de oppervlakte van het Heuvelgebied inneemt (fig 5.7).

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 5.7**).

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.

5.2.3.7 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 5.8).

5.2.3.8 Stikstofdepositie

Voor de N-depositie in het Heuvelgebied 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 voor de verschillende gemeenten binnen het Heuvelgebied tussen 30 en 34 kg N ha⁻¹ jaar⁻¹. 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.

5.2.3.9 Weersgegevens

Specifiek voor elke gemeente binnen het Heuvelgebied 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

5.3 Resultaten

5.3.1 Gesimuleerde uitspoeling in het stroomgebied heuvelrug

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 **Fig 5.9** zijn deze voor 2013, een jaar met een hoeveelheid aan percolerend water (278 mm) ver boven het langjarig gemiddelde voor het Heuvelgebied (157 mm).

De percolatie was duidelijk afhankelijk van de bodemtextuur en was groter op de zandbodems in het noordwesten en kleiner op de zandleembodems in het zuidoosten van het stroomgebied. De percolatie was op beide bodemtexturen groter dan 400 mm op de braakliggende percelen, waar geen transpiratie werd gesimuleerd. Op het grootste deel van de percelen op zandige bodems lag de percolatie tussen 300 en 350 mm. Op zandleembodems was de percolatie algemeen lager en was de variatie – door toedoen van teelten en nateelten – groter. Onder aardappel zonder nateelt was de percolatie bv. iets hoger (300 tot 350 mm) en onder granen gevolgd door vanggewassen iets lager (200 tot 250 mm). Bemerkt in **Fig 5.9** ook de willekeurige toewijzing van de nateelten over de gridcellen indien de geregistreerde groenbemester niet gespecificeerd werd door de landbouwer (perceel centraal in het stroomgebied).

De hoeveelheid uitgespoelde nitraatstikstof in 2013 werd op de zandige bodems grotendeels bepaald door de teelt en nateelt in 2013, aangezien de uitspoeling daar in beide winters (2012-2013 en 2013-2014) door de overvloedige regenval voornamelijk voor de jaarwisseling plaats greep. Op de zandleembodems hing de nitraatuitspoeling eveneens af van de teelt en de nateelt van 2012 (niet weergegeven), aangezien die op dergelijke bodems deels voor en deels na de jaarwisseling optrad. Het is dus niet mogelijk om de teeltafhankelijke uitspoeling op zandleembodems te evalueren op basis van deze figuren. Op de zandbodems is dit wel mogelijk: opvallend zijn de algemeen hogere uitspoeling op grasland en de verminderde uitspoeling op percelen waar wintergranen (meestal gevolgd door vanggewassen) werden geteeld. Ook de nitraatconcentratie was voor 2013

algemeen het hoogst op grasland en lager op percelen met wintergranen. Onder bos, tuinen en parken (niet weergegeven in de figuur) werden kleine hoeveelheden nitraatuitspoeling en lage nitraatconcentraties gesimuleerd.

De jaarlijkse waterpercolatie op 90 cm over het hele stroomgebied (met inbegrip van ondoorlatende oppervlakken) fluctueert sterk en is gemiddeld 157 mm (Fig 5.10). Indien de ondoorlatende oppervlakken niet in rekening worden gebracht is dit gemiddeld 172 mm per jaar. Dit gemiddelde ligt onder het langjarig gemiddelde gesimuleerd door het model Wetspass (Batelaan et al., 2006) voor zand- en zandleembodems in Vlaanderen (**Fig 5.11**).

De gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie over het hele stroomgebied vertoont net als de waterpercolatie een erg grillig verloop, met waarden tussen 85 en 725 mg NO₃ L⁻¹ (Fig 5.10). Er is sprake van een opwaartse trend tot begin de jaren '80, gevolgd door een gestage afname vanaf eind de jaren '80 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, maar is er ook weinig verdunning. In het nat jaar dat daarop volgt (bv. 1974) spoelen op zand- en 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.

5.3.2 Nitraatconcentratie voor de verschillende bodembedekkingen

De jaarlijkse gemiddelde nitraatconcentratie is in het Heuvelgebied over de hele periode (1968-2017) het hoogst voor weiland en iets lager voor akkerland, heel wat lager voor braakliggende gronden, nog lager voor tuinen en parken en het laagste voor bos (**Fig 5.12**). De nitraatconcentratie is sinds de volledige implementatie van de bemestingsnormen in 2007 duidelijk afgenomen maar nog steeds veel groter dan 50 mg NO₃ L⁻¹ op akkerland, weiland en braakliggende gronden.

5.3.3 Gesimuleerde bemesting, nitraatresidu en nitraatconcentratie op akkerland en weiland

De gesimuleerde bemestingsdruk op akkerland vertoont behoorlijk grote veranderingen doorheen de tijd (Fig 5.13): er is een snelle toename tot het jaar 1990, waarna het bemestingsniveau enkele jaren hoog blijft om vervolgens terug te dalen tot in 2007, wanneer de bemestingsnormen ten volle geïmplementeerd worden, min of meer een evenwicht bereikt wordt. De nitraatconcentratie volgt dezelfde trend en vertoont een maximum van 926 mg NO₃ L⁻¹ in 1991 en een minimum van 78 mg NO₃

L⁻¹ in 2014. De stijging in de laatste jaren is vooral het gevolg van een verminderde verdunning van 2014 tot 2017 (zie Fig 5.10).

De gesimuleerde bemestingsdruk op weiland volgt dezelfde trend als op akkerland, zij het dat de bemesting na 2007 groter is dan op akkerland omwille van de hogere bemestingsnorm (fig 5.14). De nitraatconcentratie vertoont op weiland iets minder sterk uitgesproken pieken dan op akkerland. De maximale concentratie van 1180 mg NO₃ L⁻¹ wordt bereikt in 1974, de minimale concentratie van 123 mg NO₃ L⁻¹ in 2017. Voor weiland lijkt er - in tegenstelling tot voor akkerland - geen effect te zijn van de verminderde percolatie in de periode 2014-2017, misschien als gevolg van de in 2015 aangescherpte bemestingsnorm.

Het gesimuleerde nitraatresidu wordt telkens voor 15 oktober weergegeven, zowel op akkerland (Fig 5.15 5.15) als op weiland (Fig 5.16). De gesimuleerde nitraatconcentratie en het nitraatresidu gaan hand in hand, zij het dat de respons van de nitraatconcentratie op het nitraatresidu soms 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 185 en 233 kg N ha⁻¹ over de volledige simulatieperiode. Bij implementatie van de bemestingsnormen in 2007-2017 is dat gemiddeld nog 83 en 81 kg N ha⁻¹. Er werd in het Heuvelgebied een maximaal nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk 450 en 654 kg N ha⁻¹. Op akkerland en weiland schommelen de laagste nitraatresiduen op 15 oktober rond de 50 kg N ha⁻¹, terwijl de overeenkomstige gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentraties op akkerland rond de 100 mg NO₃ L⁻¹ en op weiland rond de 150 mg NO₃ L⁻¹ liggen.

5.3.4 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. Daarnaast werd ervan uitgegaan dat vanaf 2007 de bemestingsnormen volledig werden ingevuld. 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 17 kg N ha⁻¹ en toont aan dat in het Heuvelgebied de gemeten nitraatresiduen door de simulatie algemeen licht

overschat werden, hoewel er zowel overschattingen als onderschattingen werden vastgesteld (fig 5.18). De trendanalyse van het nitraatresidu doorheen de tijd (**Fig 5.19**) bevestigt dat er voor enkele jaren (2007, 2008 en 2010) sprake is van grote overschattingen, maar dat er nadien zowel kleinere 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. Aangezien voor een groot stroomgebied als het Heuvelgebied veel nitraatresidumetingen beschikbaar zijn, werd ook voor de meest voorkomende teelten een validatie uitgevoerd. Daaruit bleek met name op eenjarig grasland en in mindere mate op weiland een systematische en relatief grote overschatting van het nitraatresidu, ondanks de eerdere aanpassing van de opnameparameters voor gras op basis van de validatie uitgevoerd voor de stroomgebieden van de Luikbeek en Peer.

5.4 Besluit

Het stroomgebied van het Heuvelgebied is uitgestrekt en ligt op de grens van de Zandstreek en de Zandleemstreek, wat zich ook weerspiegelt in de bodemtextuur. Het gebied wordt voornamelijk gekarakteriseerd door landbouwgebruik, waarvan bijna de helft wordt ingenomen door grasland en maïs en de rest grotendeels door wintergranen, aardappel en suikerbiet. De historische bemestingsdruk is er gemiddeld t.o.v. de andere stroomgebieden. Een validatie op basis van gemeten nitraatresiduen toont aan dat het gesimuleerde nitraatresidu algemeen werd overschat in enkele jaren en dat er een systematische en relatief grote overschatting was op grasland. De gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm bedraagt $347 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ voor de periode 1968-2017. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van $173 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ gesimuleerd.

Fig 5.1: Stroomgebied Heuvelgebied



Fig 5.2: Overzicht van de modelinvoer

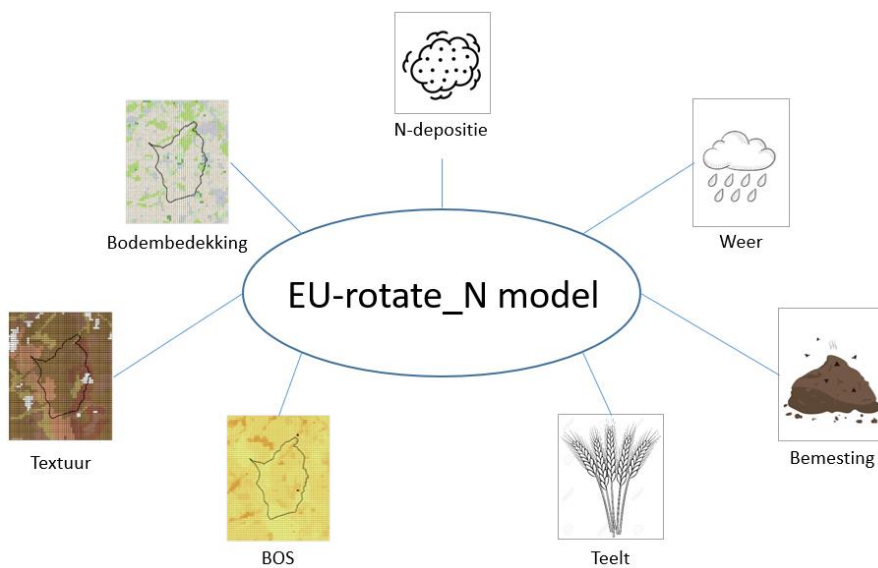


Fig 5.3 Verdeling van de bodembedekking voor het Heuvelgebied

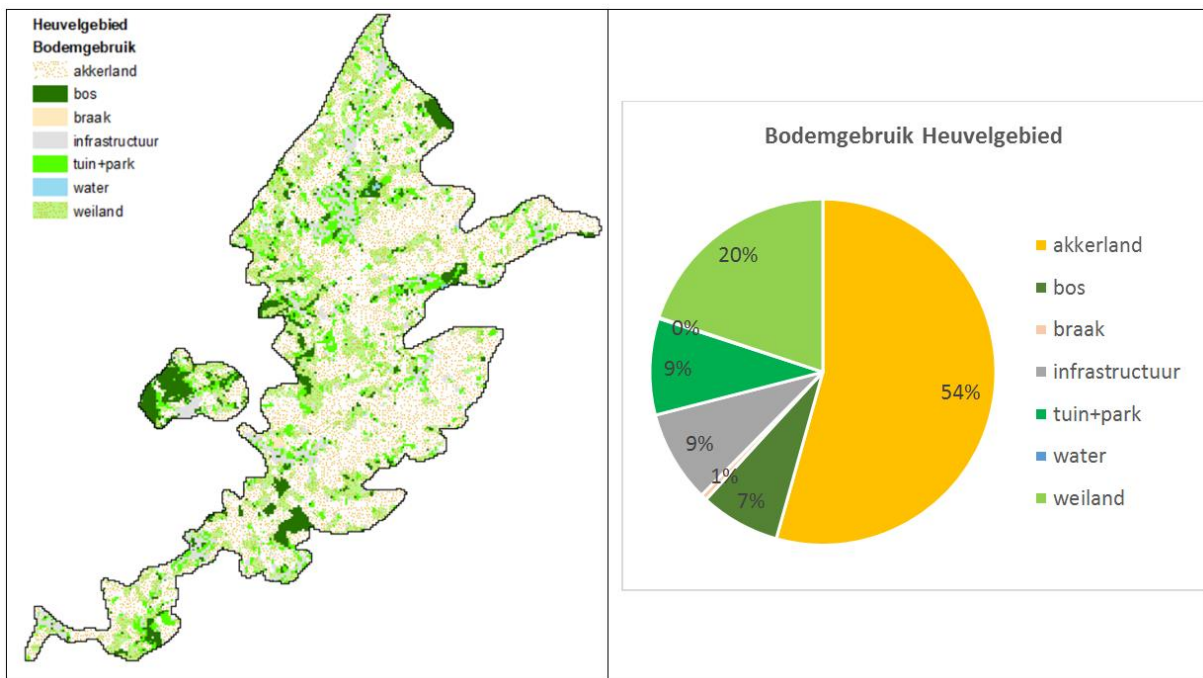


Fig 5.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g⁻¹ droge bodem) voor het Heuvelgebied

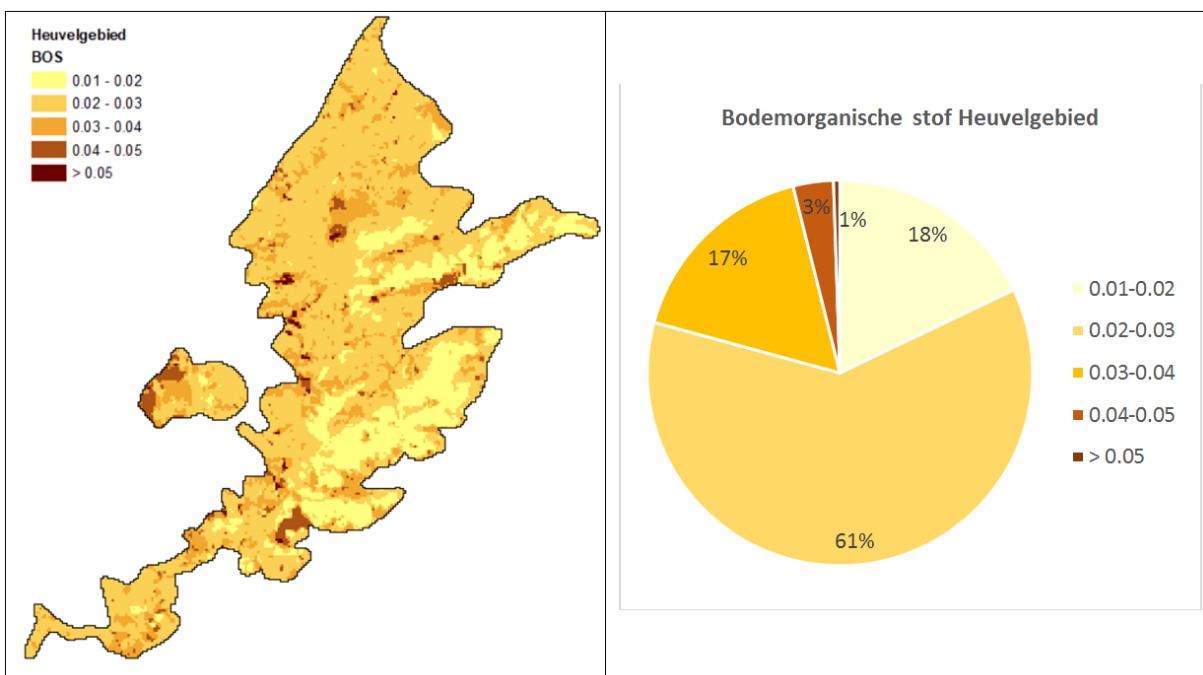


Fig 5.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het Heuvelgebied

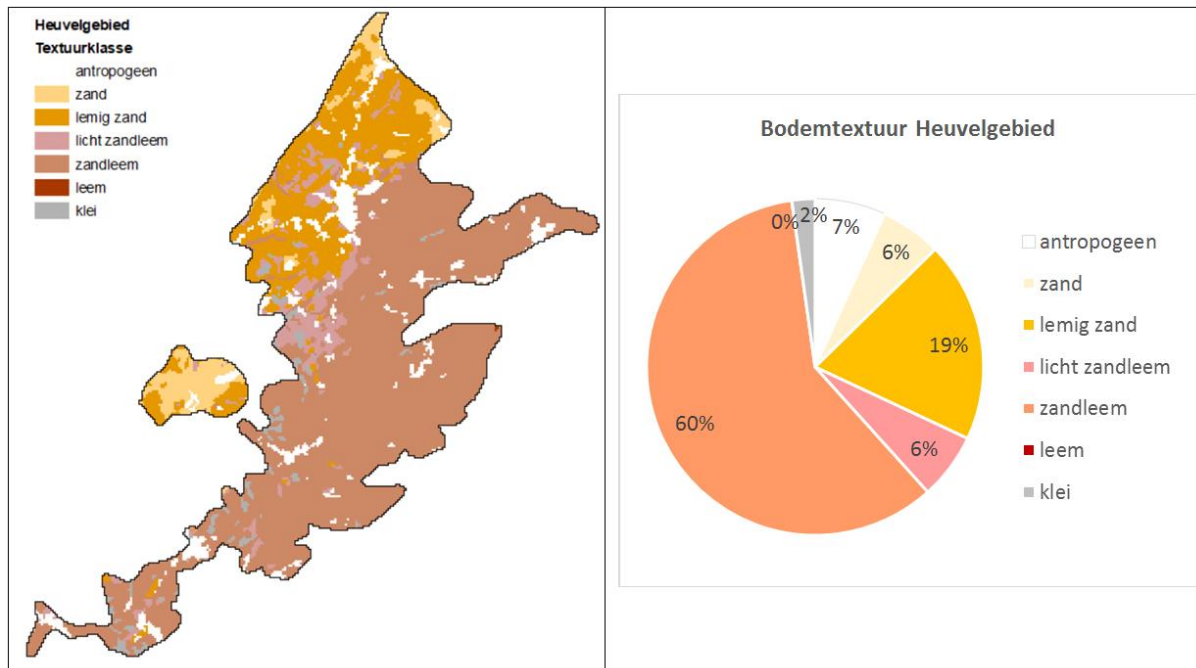


Fig 5.5 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het heuvelgebied.
Teelten met een aandeel < 1% werden wel opgenomen, maar zijn niet aangeduid in de grafiek.

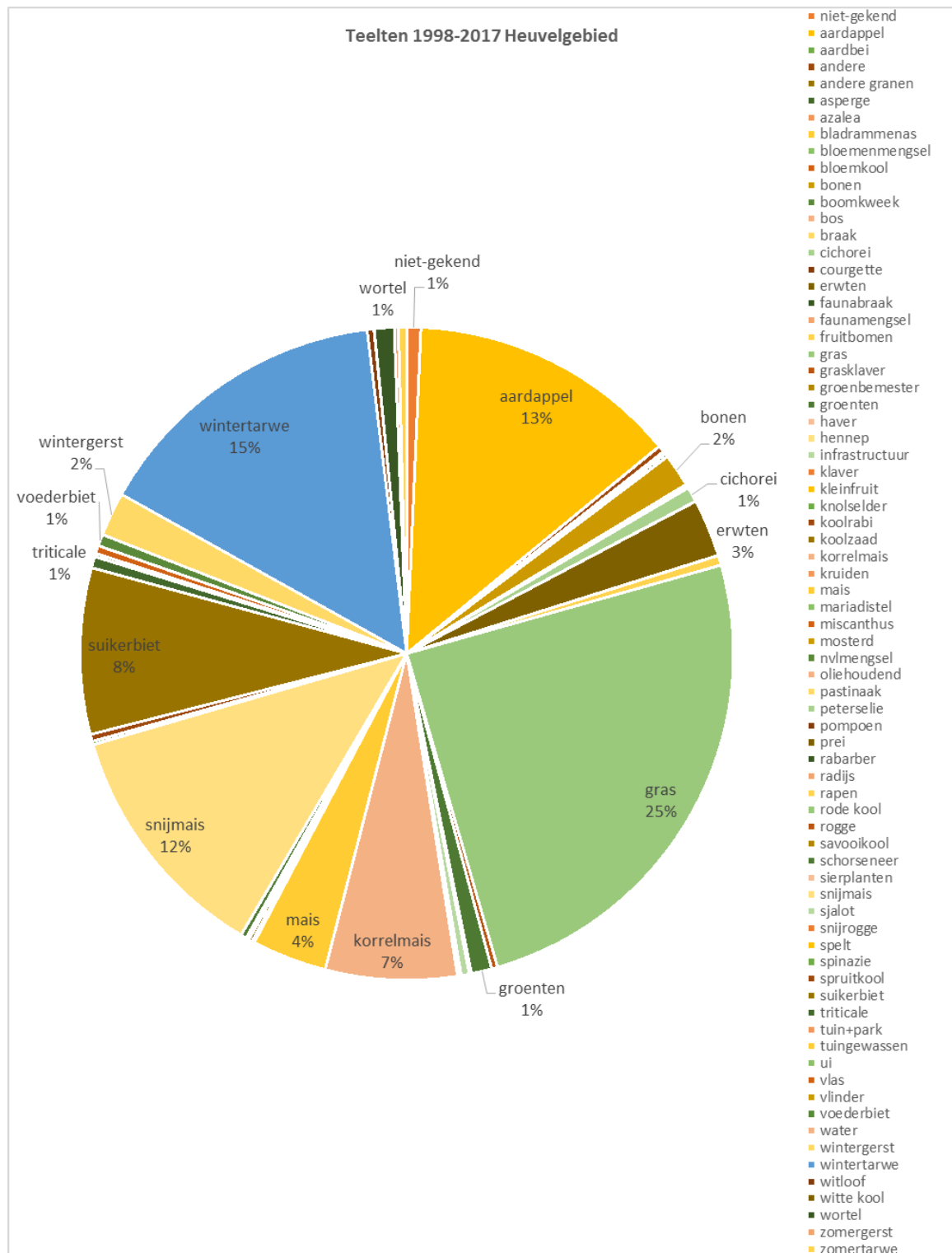


Fig 5.6 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het Heuvelgebied

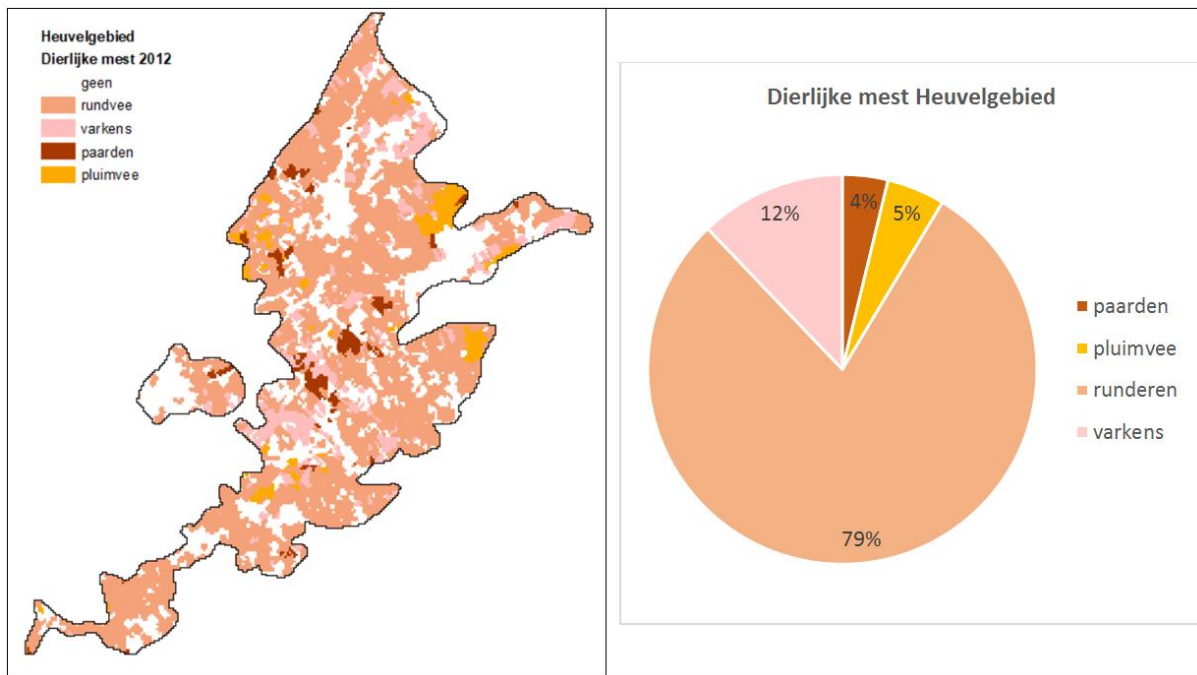


Fig 5.7 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in het Heuvelgebied (gedeelte Kruisem)

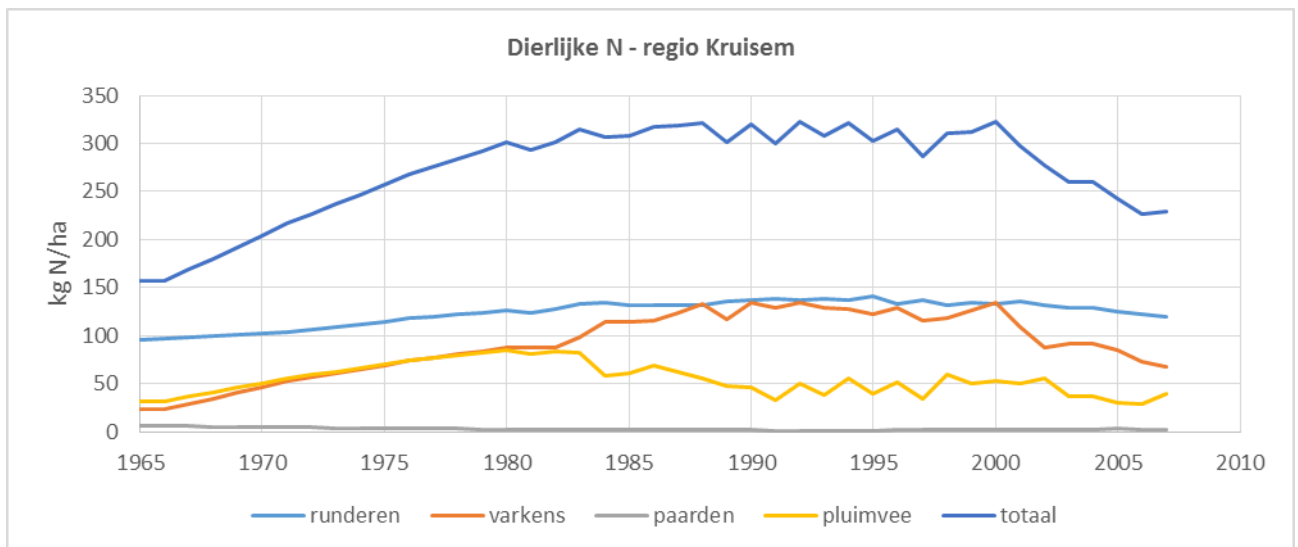


Fig 5.8: Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België

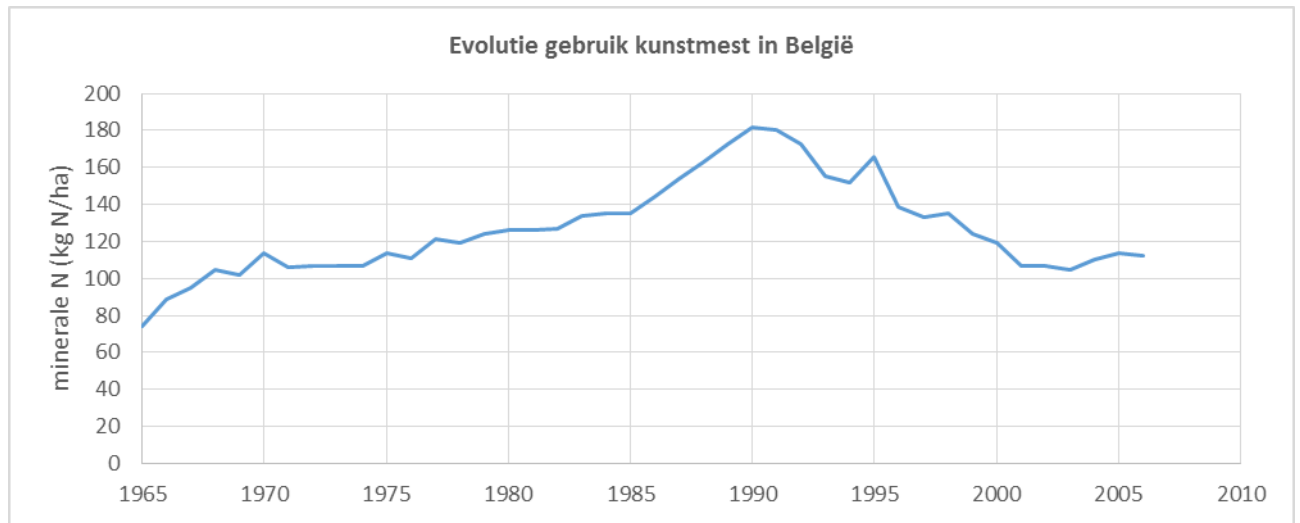


Fig 5.9: Gesimuleerde teelt en nateelt en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze

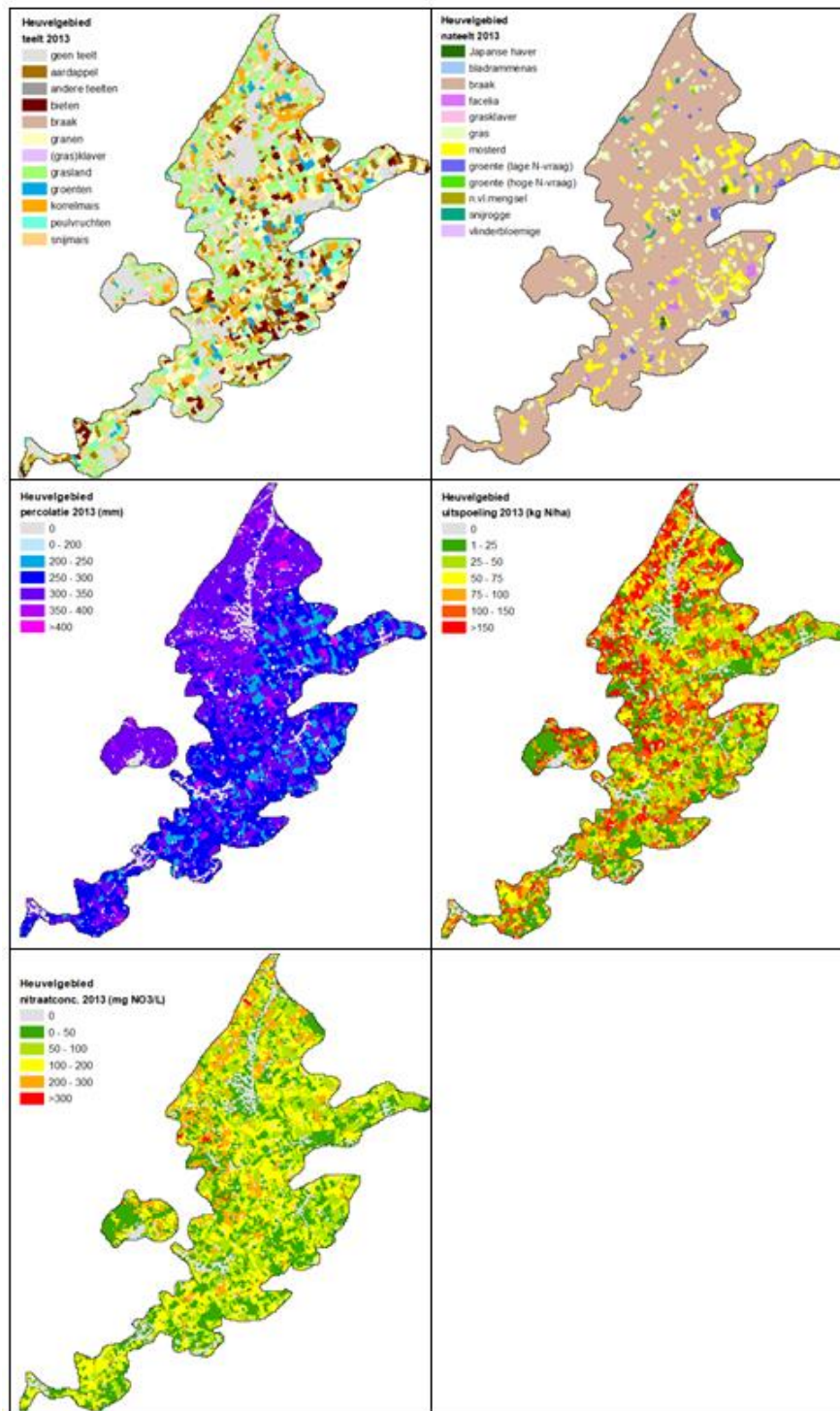


Fig 5.10: Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied

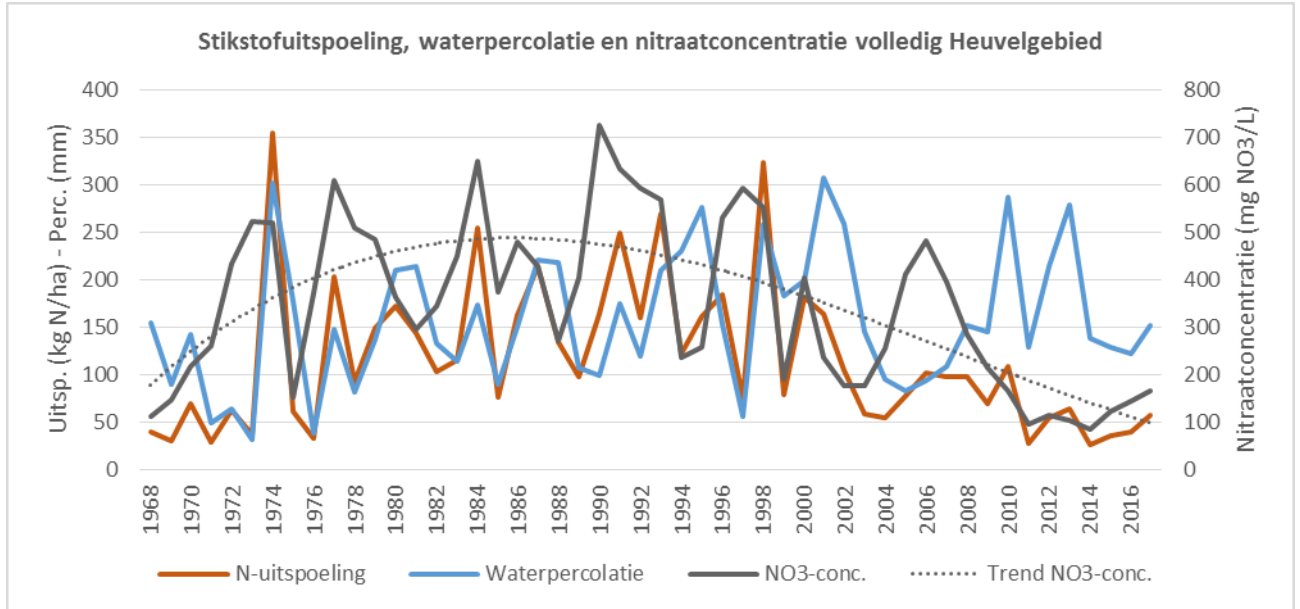


Fig 5.11 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.

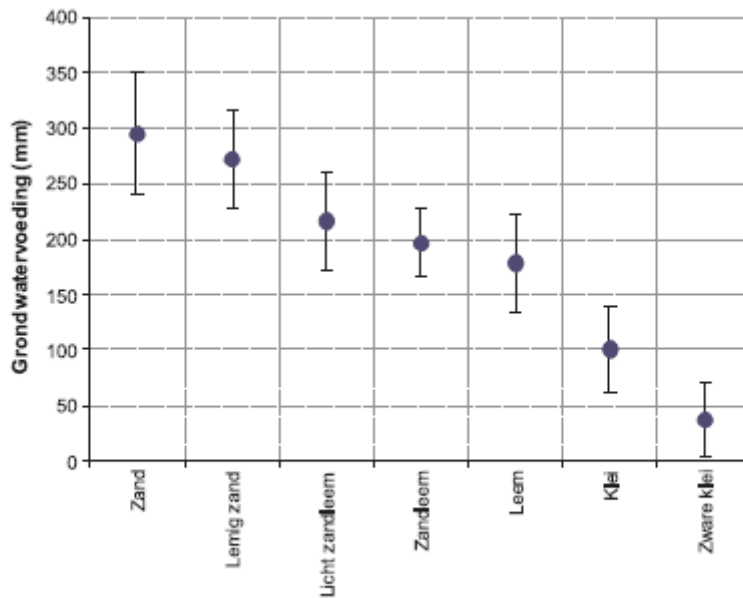


Fig 5.12 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven.

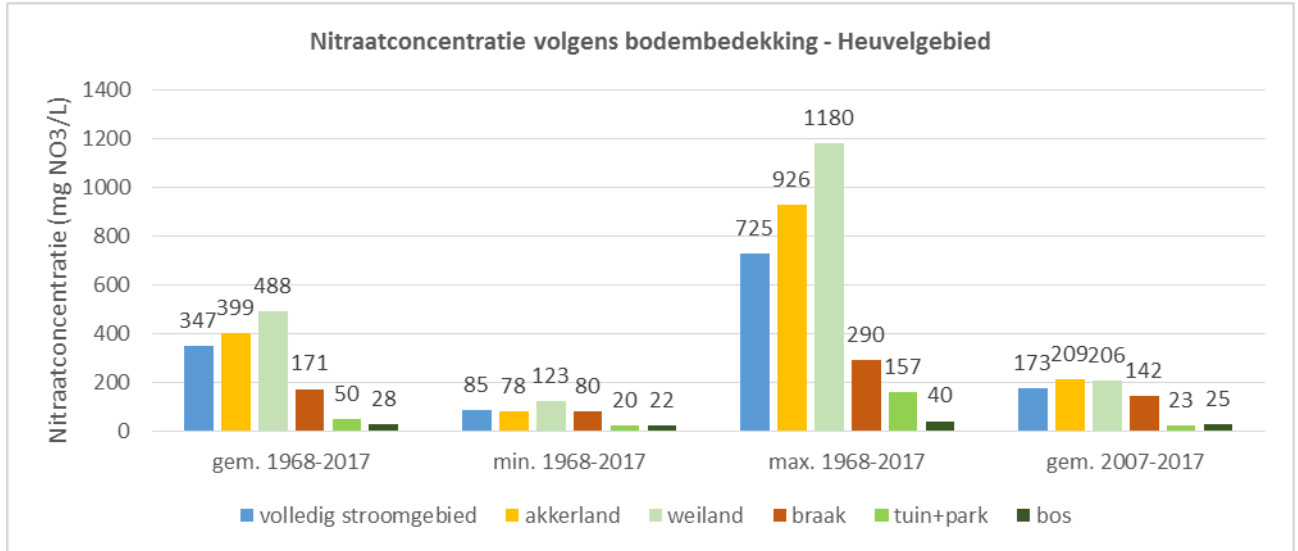


Fig 5.13 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

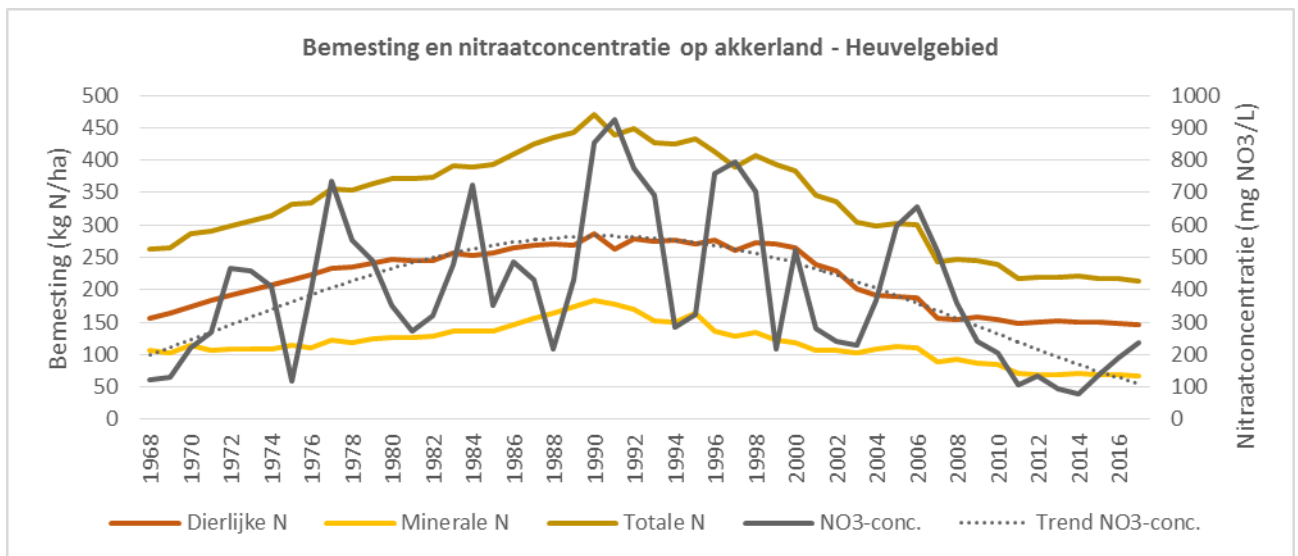


Fig 5.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

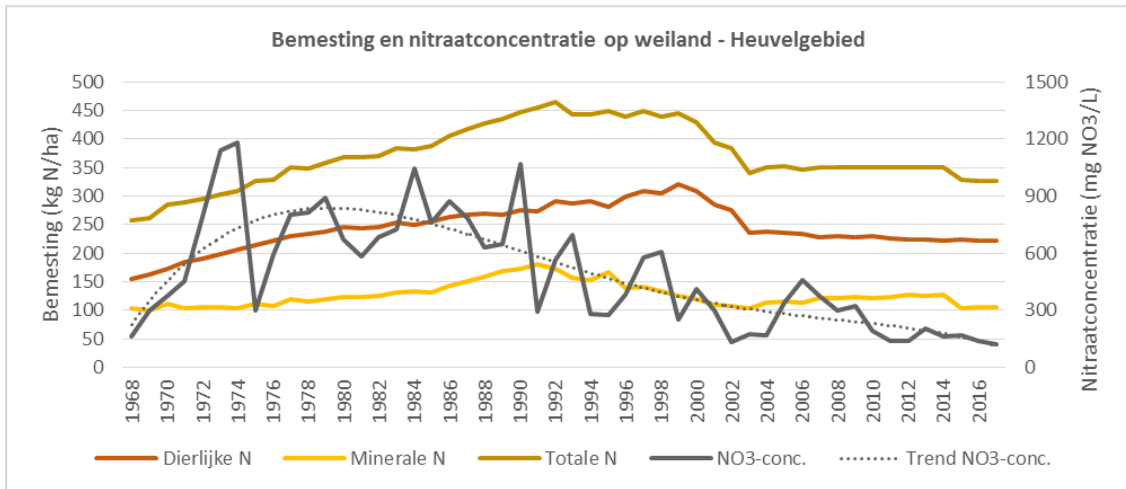


Fig 5.15 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

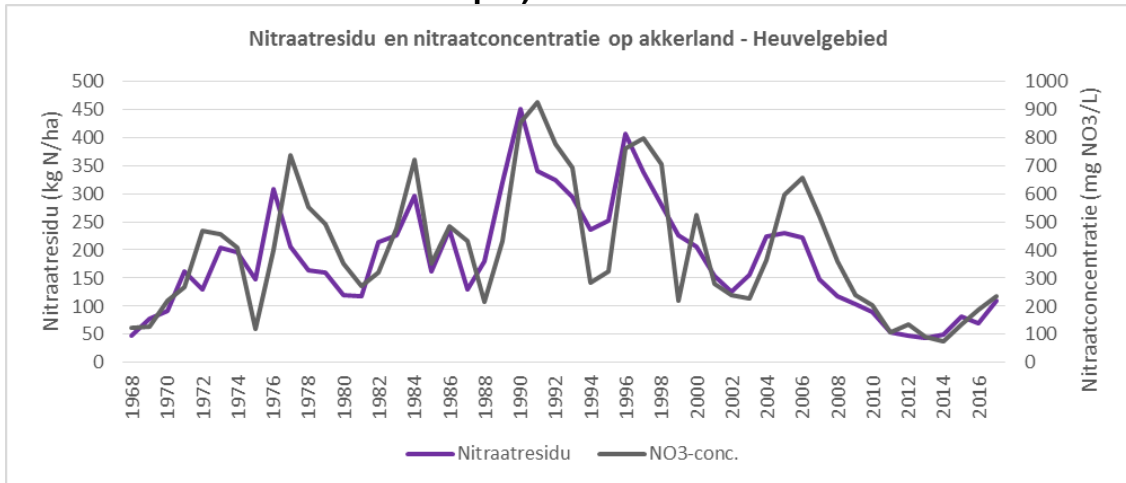


Fig 5.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

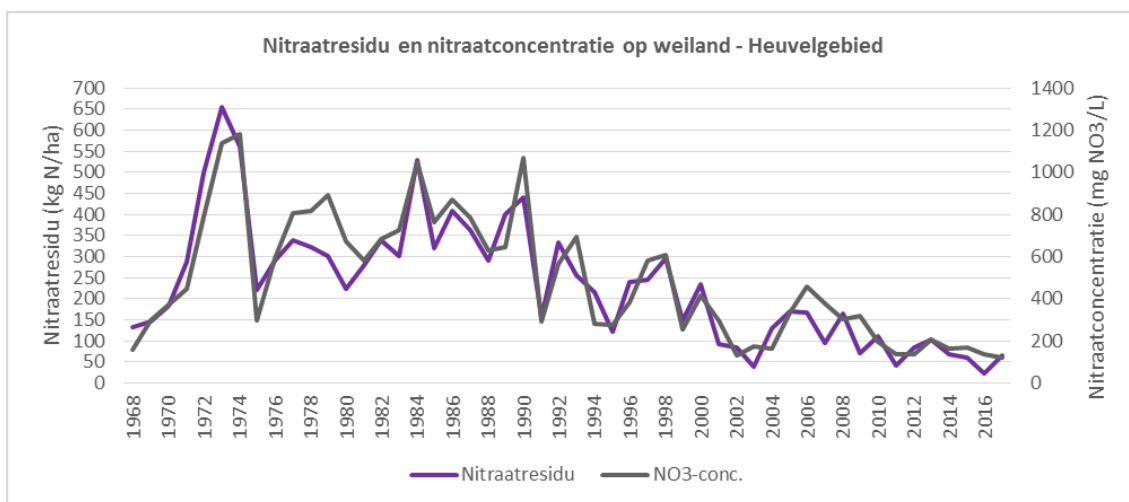


Fig 5.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)

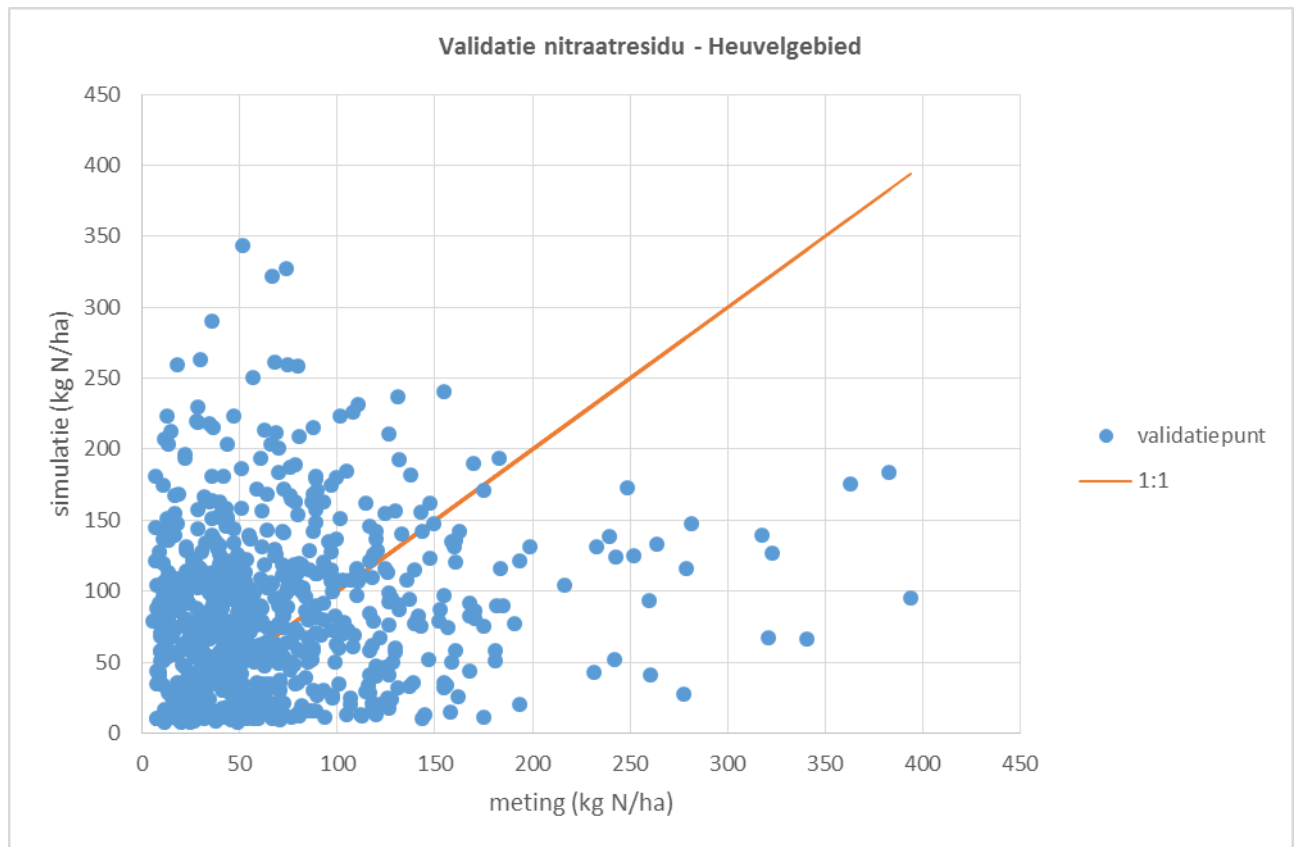
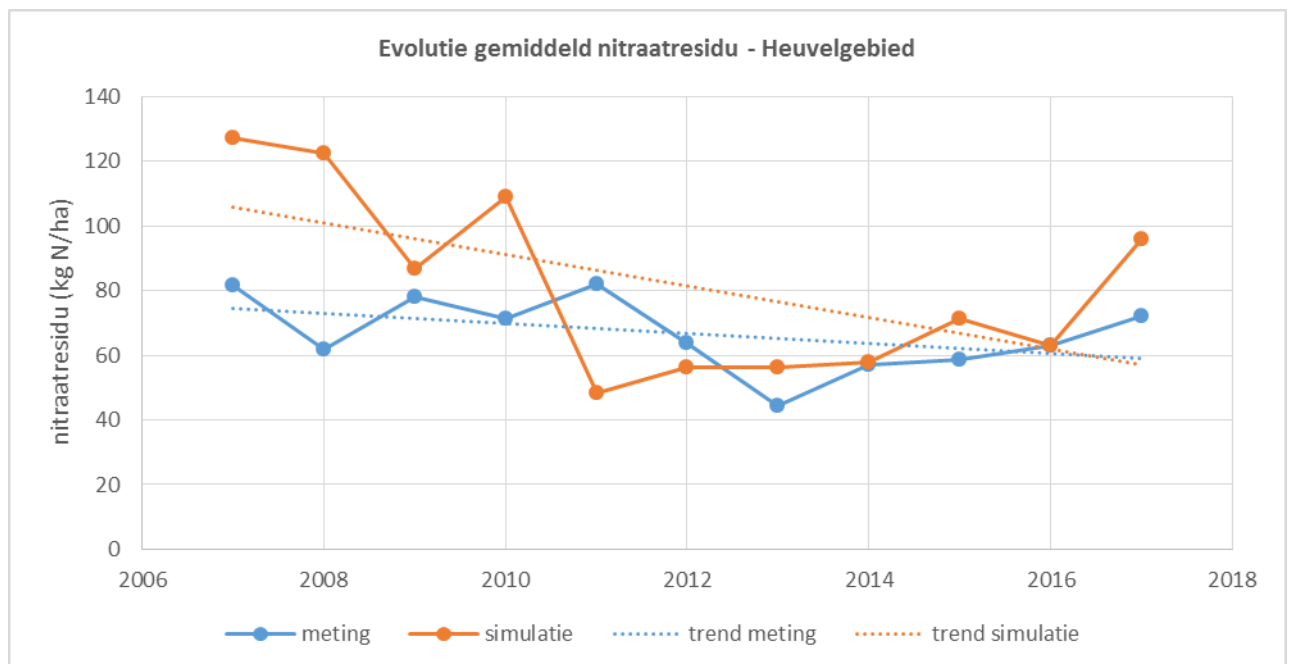


Fig 5.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)



6 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone

6.1 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 6.1) heeft over de hele periode een gemiddelde van 229 mm/jaar. In de natste jaren kan de aanvulling oplopen tot meer dan 400 mm/jaar, zoals in de periode rond 2000.

Het nitraatgehalte in het bodemperkolaat (fig 6.2) toont dat tussen begin jaren 1970 en eind jaren 1990 soms heel hoge nitraatgehalten voorkwamen, tot bijna 1000 mg/l. De laatste 10 jaar (2008-2017) bedroeg het gemiddelde 189 mg/l.

Reistijden en grondwater ouderdom

Met het MODFLOW/MODPATH model van de heuvelrug konden stroomlijnen in de leperiaan aquifer van de heuvelrug getraceerd worden. Uit deze stroomlijnen werden diegene geselecteerd die in de Plankbeek uitkomen. Met de reistijden langsheen deze stroomlijnen werd de CDF curve van de grondwater ouderdommen opgesteld. Daaruit blijkt een mediaan ouderdom van 27.2 jaar. Deze waarde werd in het BFN model gebruikt.

Fractionerings coëfficiënten

De fractioneringscoëfficiënten werden door calibratie bepaald.

De helft van de grondwateraanvulling wordt op een snelle wijze via drains afgevoerd (FR_DRN is op 0.50 gesteld). Wordt het 2 jaarlijks voortschrijdend gemiddelde van de waargenomen concentraties aan het MAP meetpunt (fig 6.3) vergeleken met de berekende concentratie in het bodemperkolaat in het afstroomgebied (fig 6.4) dan blijkt in de MAP reeks een piek rond het jaar 2008 voor te komen, terwijl dit in het bodemperkolaat rond 2006 was. Blijkbaar treedt er een vertraging op van ca 2 jaar, en hebben de drains een vertraagde respons van ca 2 jaar t.o.v. de voeding (fig 6.5). Dat is de tijd die het grondwater nodig heeft om naar de drainbuis te stromen. Deze vertraging van 2 jaar wordt hier voor de drains verrekend.

Door modelcalibratie werd bepaald dat 20% van het grondwater dat naar de beek stroomt door de oxidatiezone passeert (FR_OX is 0.20). Het overige deel moet uit nitraatvrij gereduceerd water bestaan.

Maandelijkse tijdwegingsfactoren

De gebruikte factoren staan opgelijst in tabel 6.1.

De maandelijkse factoren van drains moesten gelijk genomen worden gedurende het jaar om het waargenomen patroon aan het MAP meetpunt te bekomen. De seizoensale schommelingen in het nitraatgehalte zijn dan toe te schrijven aan maandelijks variërende instroming van de baseflow.

Tabel 6.1 Maandelijkse wegingsfactoren in het model van de testsite heuvelrug (afstroomgebied Plankbeek)

maand	Wegingsfactoren Aanvulling (%)	Wegingsfactoren baseflow	Wegingsfactoren geoxideerde drains	Wegingsfactoren Gereduceerde drains
Jan	25	0.90	0.05	1.00
Feb	11	0.70	0.05	1.00
Mar	12	0.45	0.05	1.00
Apr	10	0.40	0.05	1.00
Mei	5	0.25	0.05	1.00
Jun	0	0.20	0.05	1.00
Jul	0	0.15	0.05	1.00
Aug	0	0.10	0.05	1.00
Sep	2	0.05	0.05	1.00
Oct	9	0.10	0.05	1.00
Nov	18	0.30	0.05	1.00
Dec	21	0.50	0.05	1.00

6.2 Modelresultaten

De resultaten van het BFN model zijn voorgesteld op fig 6.6. Seizoensale overschrijdingen van de 50 mg/l norm hebben zich in de periode 1990-2010 voorgedaan. Sindsdien

Op fig 6.5 wordt enkel de periode weergegeven waarvoor metingen aan het MAP meetpunt beschikbaar zijn (vanaf 1999). De grootste afwijkingen zitten in de zomerminima. Die worden door het model te hoog berekend. Hierdoor is de seizoensale fluctuatie, het verschil tussen winter- en zomerconcentraties, aan het MAP meetpunt groter. In de periode 2009-2013 werden aan het MAP meetpunt zeer lage concentraties opgemeten, ze waren lager dan 10 mg/l. In het model is de verhouding tussen de hoeveelheid geoxideerd nitraathoudend water en gereduceerd nitraatvrij grondwater dat tot de baseflow bijdraagt constant over het jaar, en ook van jaar tot jaar (dat is de FR_OX parameter in het model). Misschien verandert die in Plankbeek seizoensaal en/of van jaar tot jaar.

Fig 6.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone (gehele heuvelrug)

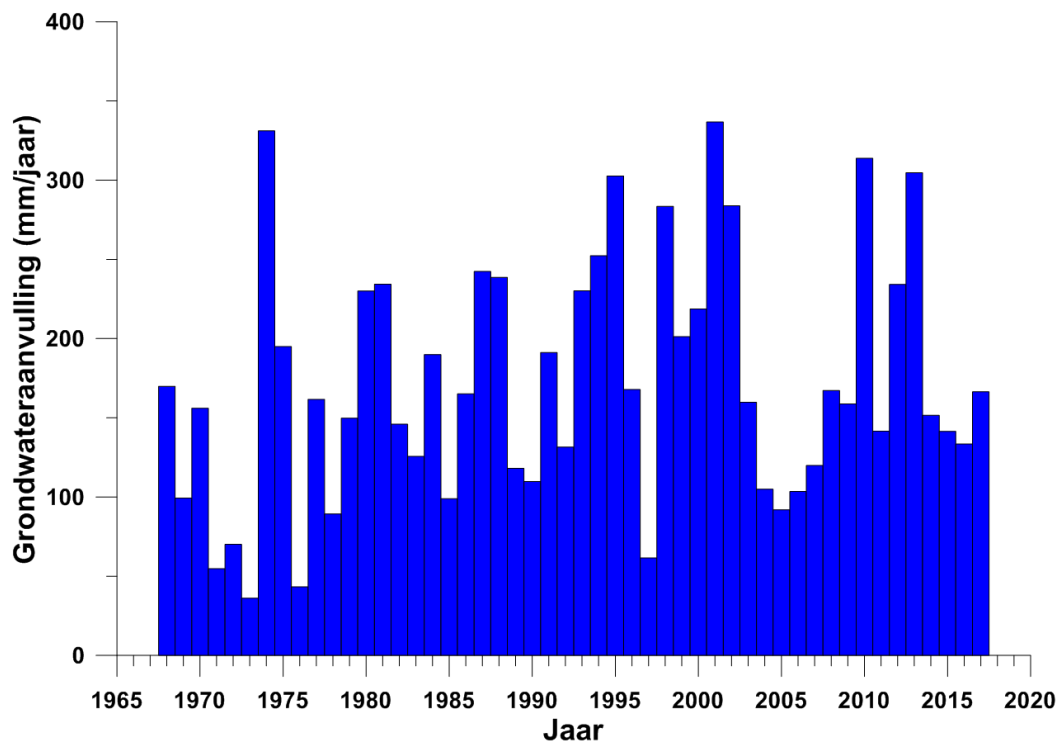


Fig 6.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone (gehele heuvelrug)

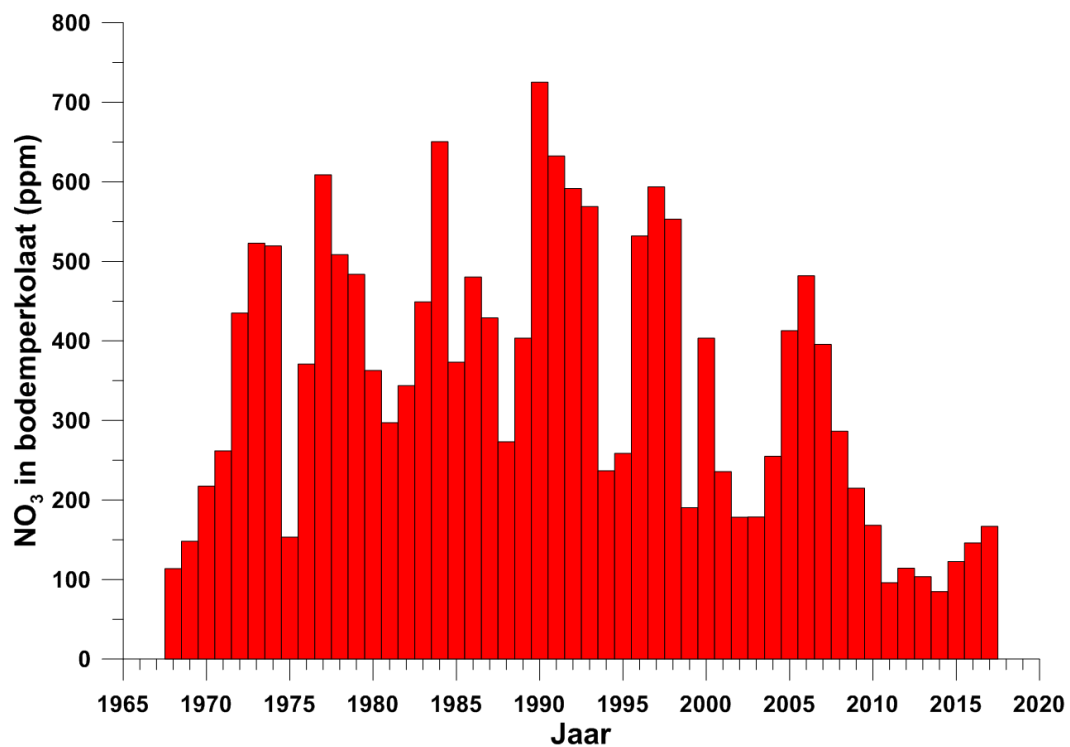


Fig 6.3 Evolutie van het 2 jaarlijks voortschrijdend gemiddelde van de nitraatconcentratie in het MAP meetpunt op de Plankbeek

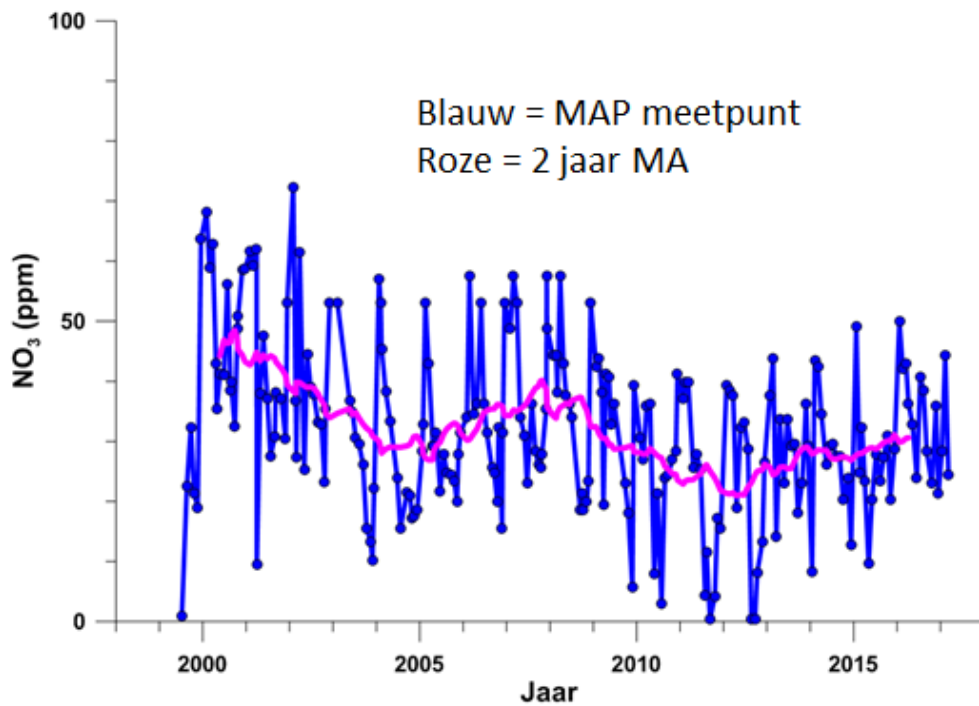


Fig 6.4 Evolutie van de gemiddelde nitraatconcentratie in het bodemperkolaat van het afstroomgebied Plankbeek

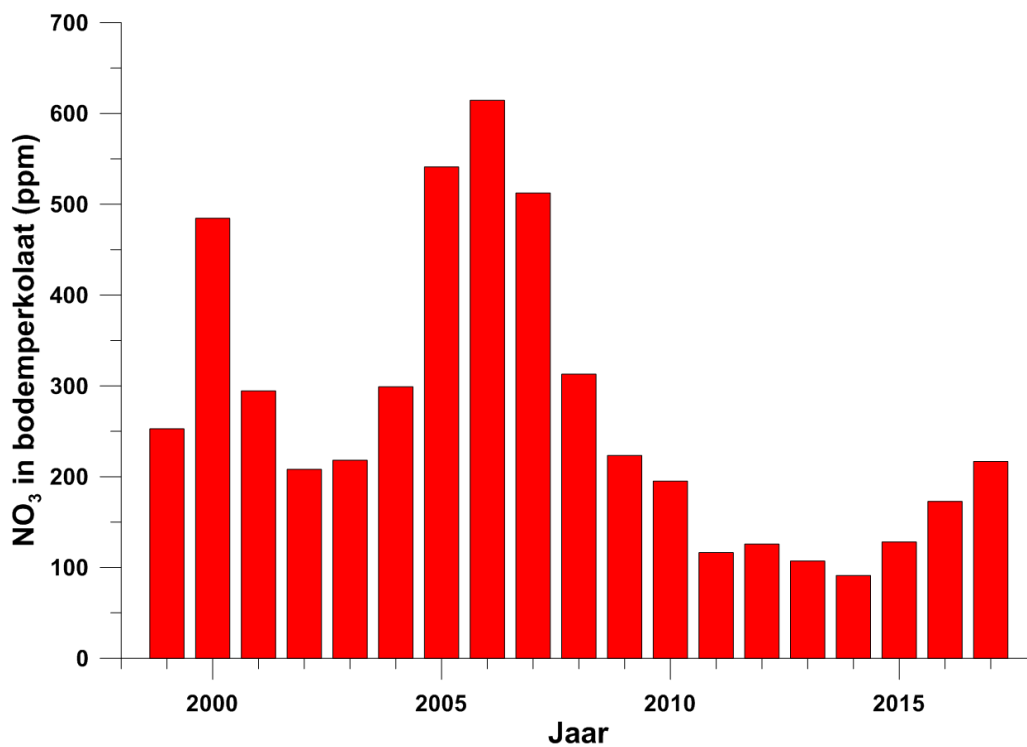


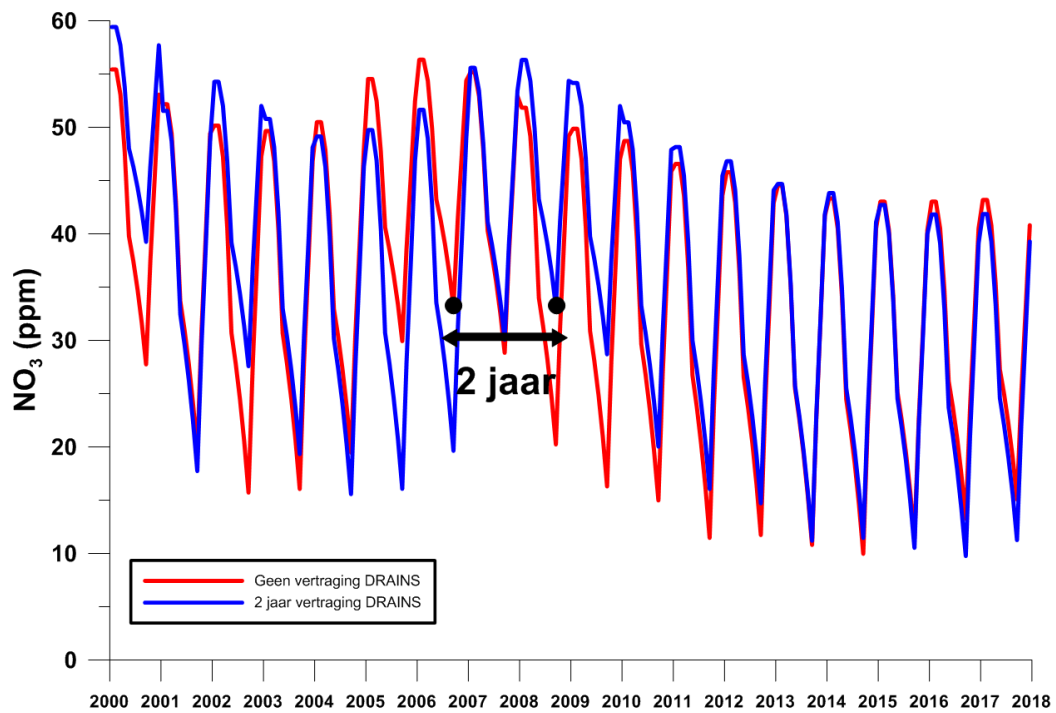
Fig 6.5 Effect van een vertraging van 2 jaar op de werking van de drains

Fig 6.6 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Heuvelrug (1968-2017)

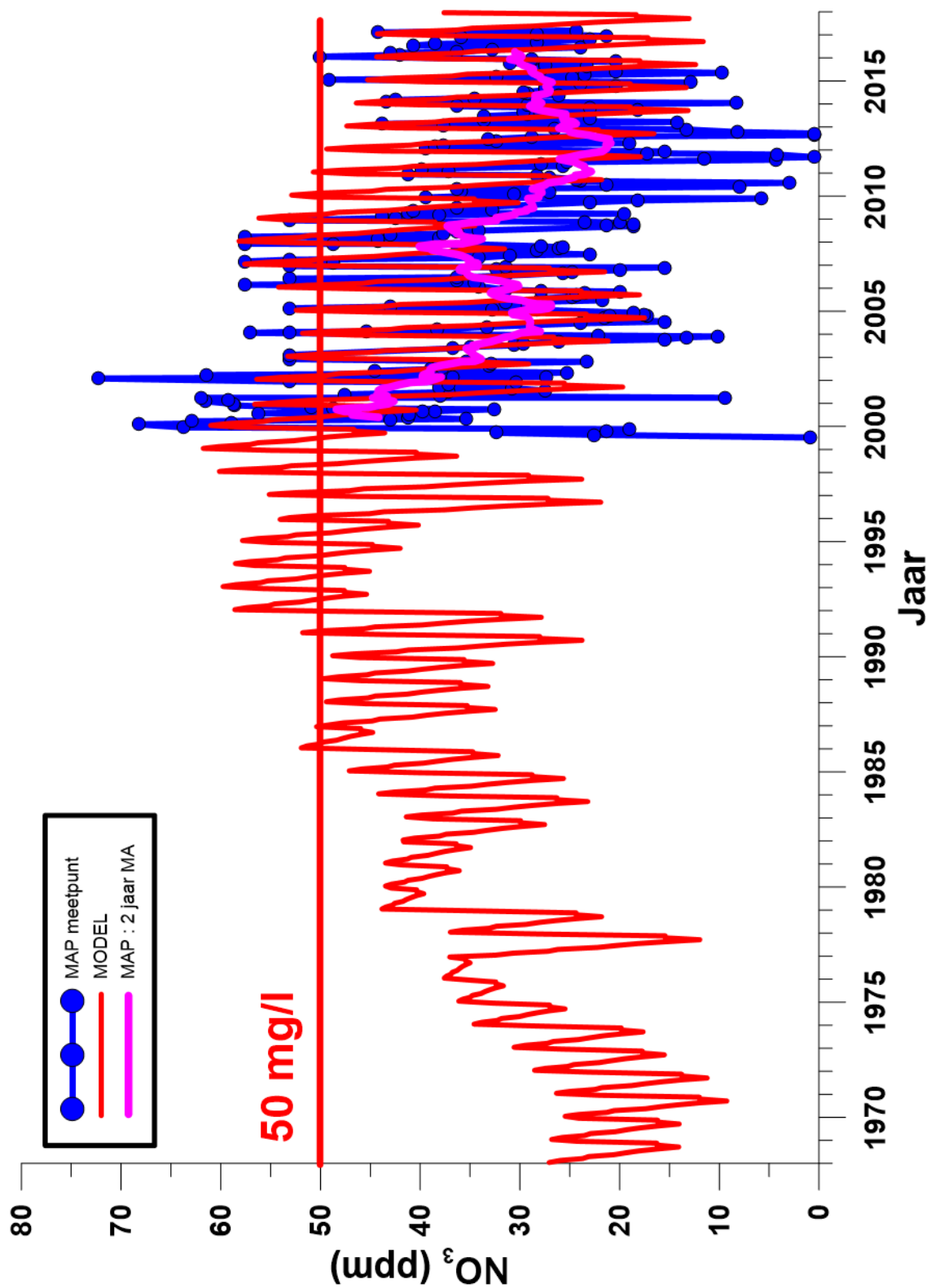
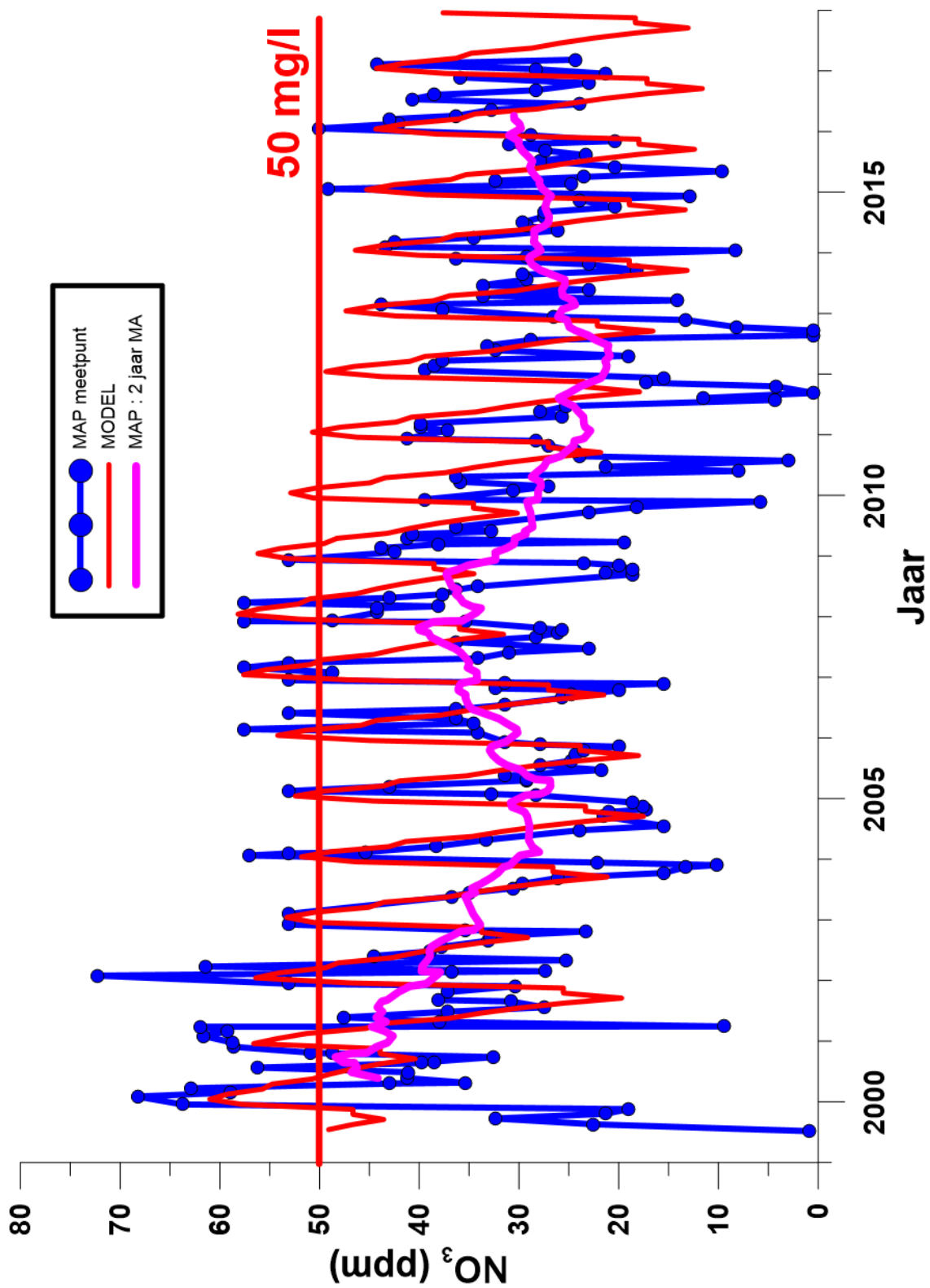


Fig 6.7 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Heuvelrug (vanaf 1999)



7 Synthese en conclusies

De testsite “Heuvelrug” omvat een groter gebied dat meerdere aparte afstroomzones omsluit. Daarvoor werd gekozen voor de heuvelrug die van Kruishoutem in het noorden naar Wortegem-Petegem in het zuiden loopt. Dit is een regio waar veel MAP meetpunten zeer hoge nitraatwaarden hebben en overschrijdingen van de 50 mg/l norm veelvuldig voorkomen. Zowel langs de west- als de oostzijde van de heuvelrug zijn er meerdere beken die ontspringen op de heuvelflanken.

Omdat er per testsite slechts 5 peilbuizen voorzien waren, was dit te weinig om een globaal beeld van de waterkwaliteit in dit groot gebied te bekomen, en werden geen grondwatermonsters maar oppervlaktewatermonsters genomen na een lange droge periode in het voorjaar van 2018. De afvoer in de beken bestond dan uitsluitend uit baseflow en geeft een representatief beeld van de grondwaterkwaliteit die het waterlopenstelsel voedt. In bijna alle meetplaatsen werden verhoogde (meer dan enkele mg/l) nitraatgehalten gemeten, wat erop wijst dat de hele heuvelrug gevuld is met nitraatrijk grondwater. Langs de westzijde liggen de gehalten lager. De hoogste nitraatgehalten werden vastgesteld in de Marollebeek. Daar hadden alle meetpunten meer dan 50 mg/l nitraat.

Geologisch gezien bestaat de heuvel uit “leperiaanzand” (Formatie van Egem) dat rust op het “leperiaanklei” (Formatie van Kortrijk) substraat. De tertiaire lagen hellen naar het noordoosten, wat misschien ook de asymmetrische nitraatverdeling verklaart. Op het hoogste punt van de heuvel zou ook nog onder-Paniseliaan klei aanwezig zijn: misschien heeft dit de infiltratie van nitraatrijk water lokaal wat beperkt. Het grootste deel van het leperiaan aquifer systeem in de heuvel is geoxideerd en bevat nitraatrijk water. Dat is vastgesteld in de peilbuizen van het VMM meetnet. Enkel het dieper deel, net boven het kleisubstraat, kan mogelijk gereduceerd nitraavrij water bevatten. De fractie geoxideerd water dat een beek als baseflow ontvangt, kan wellicht van beek tot beek variëren en zorgt voor de verschillen tussen de MAP meetpunten en beekvalleien.

Uit de verschillende beken die lateraal ontspringen op de flanken van de heuvelrug, werd de Plankbeek, ten zuidoosten van Kruishoutem, als afstroomgebied geselecteerd om het model te testen. Het MAP meetpunt vertoont een sterke seizoensaliteit met hogere winter concentraties en lagere zomerwaarden. Overschrijdingen van de 50 mg/l norm vonden voor 2010 plaats, sindsdien is er een dalende trend bezig. Nitraatinstroom vanuit drains is hier belangrijk, al ontbreken momenteel meetgegevens om dit te kwantificeren.

Om een beter inzicht in de grondwaterstroming te verkrijgen werd een MODFLOW model opgesteld en werden stroomlijnen getraceerd. Hieruit konden reistijden afgeleid worden. De stroomlijnen en reistijden naar de Plankbeek wijzen op een mediaan grondwaterouderdom van 27.2 jaar voor de baseflow naar de beek. Het intrekgebied van de Plankbeek werd afgeleid a.h.v. de stroomlijnen.

Het stroomgebied van het Heuvelgebied is uitgestrekt en ligt op de grens van de Zandstreek en de Zandleemstreek, wat zich ook weerspiegelt in de bodemtextuur. Het gebied wordt voornamelijk gekarakteriseerd door landbouwgebruik, waarvan

bijna de helft wordt ingenomen door grasland en maïs en de rest grotendeels door wintergranen, aardappel en suikerbiet. De historische bemestingsdruk is er gemiddeld t.o.v. de andere stroomgebieden. Een validatie op basis van gemeten nitraatresiduen toont aan dat het gesimuleerde nitraatresidu algemeen werd overschat in enkele jaren en dat er een systematische en relatief grote overschatting was op grasland. De gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm bedraagt $347 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ voor de periode 1968-2017. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van $173 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ gesimuleerd.

In het model van de verzadigde zone wordt twee componenten gecombineerd:

- Een component met een lange reistijd van 27.2 jaar maar een sterk seizoenaal variërende bijdrage : hoog in de winter, laag in de zomer, en bestaat voor de helft uit geoxideerd water. Deze component is afkomstig uit de inloop vanuit drains.
- Een component die grotendeels uit gereduceerd water bestaat en een beperkt deel geoxideerd water. Het geoxideerd, nitraathoudend water heeft een reistijd van 2 jaar.

Het model reproduceert de seizoenale variaties aan het MAP meetpunt, maar niet de zeer lage zomerconcentraties die in de periode 2009-2013 werden opgemeten.

REFERENTIES

Harbaugh, A.W. (2005) MODFLOW-2005, the U.S. Geological Survey modular ground-water model -- the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.

Morris, D.A. en Johnson, A.I. (1967) Summary of Hydrologic and Physical Properties of Rock and Soil Materials, as Analyzed by the Hydrologic Laboratory of the U.S. Geological Survey, 1948-1960. USGS Water Supply Paper: 1839-D.

Pollock, D.W., (2016) User guide for MODPATH Version 7 -- A particle-tracking model for MODFLOW: U.S. Geological Survey Open-File Report 2016-1086, 35 p.