



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 6**

**Peer**

**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:** feb 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 Peer
- Fig 2.2 Ligging van het MAP meetpunt in de Achelmansstraat
- Fig 2.3 Zicht op de Hoevevijerloop vanaf het MAP meetpunt in noordelijke richting
- Fig 2.4 Topografie en hydrografie van de testsite Peer
- Fig 2.5 Geologische en hydrogeologische opbouw ter hoogte van het MAP meetpunt (volgens de DOV portaalsite)
- Fig 2.6 Profiel met de nitraatverspreiding in het grondwater (Eppinger et al., 2002)
- Fig 2.7 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt van de testsite Peer
- Fig 2.8 Gemiddelde seizoenale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer
- Fig 2.9 Maandgemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer
- Fig 2.10 Evoluite jaargemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer
- Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Peer
- Fig 3.2 In alle boringen werd onder de bodem zandig materiaal van de Hoogterrasafzettingen aangetroffen
- Fig 3.3 Bij het boren van PB2 en PB5 werden ondiepe compacte kleilaagjes aangetroffen
- Fig 3.4 Nitraat en ijzergehalten in de grondwatermonsters van de testsite Peer
- Fig 3.5 Ligging van 3 peilbuizen van het VMM meetnet in de omgeving van de testsite Peer
- Fig 3.6 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/15a
- Fig 3.7 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/14
- Fig 3.8 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/13
- Fig 3.9 Schematisch profiel langsheen de 3 VMM peilbuizen
- Fig 4.1 Begrenzing van het MODFLOW modelgebied met aanduiding van de hoogtelijnen (in m TAW)
- Fig 4.2 Top (in m TAW) van de Formatie van Kasterlee in het modelgebied
- Fig 4.3 Basis (in m TAW) van de Formatie van Kasterlee in het modelgebied
- Fig 4.4 Top (in m TAW) van de "Boomse Klei" (Formatie van Rupel)
- Fig 4.5 Berekende stijghoogten in model laag 1
- Fig 4.6 Berekende stijghoogten in model laag 2
- Fig 4.7 Berekende stijghoogten in model laag 3
- Fig 4.8 Berekende stijghoogten in model laag 4
- Fig 4.9 Stijghoogteverschil tussen de watertafel en de Formatie van Diest
- Fig 4.10 Stroomlijnen gegenereerd met het MODPATH programma
- Fig 4.11 CDF van de reistijden van het grondwater naar het MAP meetpunt via de Oxidatiezone
- Fig 5.1 Stroomgebied Peer
- Fig 5.2 Overzicht van de modelinvoer
- Fig 5.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied Peer
- Fig 5.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g-1 droge bodem) voor het stroomgebied Peer
- Fig 5.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Peer
- Fig 5.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1997-2017 in het stroomgebied Peer

- Fig 5.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Peer
- Fig 5.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in de regio Peer
- 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 5.20 Verloop van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm) op eenjarig grasland en op weiland
- Fig 6.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone
- Fig 6.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone
- Fig 6.3 Debietsgegevens van de Dommel gebruikt voor het afleiden van de maandelijkse wegingsfactoren van baseflow
- Fig 6.4 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Peer (1968-2017)
- Fig 6.5 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Peer (vanaf 2003)

## LIJST DER TABELLEN

- Tabel 2.1 Lagenopbouw volgens het geologisch 3D model (v3)
- Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Peer
- Tabel 3.2 Geselecteerde chemische parameters tijdens de eerste monsternamecampagne in de testsite Peer (voorjaar 2018)
- Tabel 3.3 Geselecteerde chemische parameters tijdens de tweede monsternamecampagne in de testsite Peer (najaar 2018)
- Tabel 3.4 Resultaten van de grondwateranalyses
- 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 Peer

## 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 "Peer", de zesde 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: beschrijving van 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 Peer.

## 2 Beschrijving van het studiegebied

### 2.1 Ligging en perimeter

Het betreft het afstroomgebied van MAP meetpunt 99580, gelegen op de Hoevevijerloop in Peer (fig 2.1). Het testgebied ligt ten zuiden van de baan van Hechtel-Eksel naar Peer, net voor het gehucht Wijchmaal. Het MAP meetpunt zelf ligt aan de duiker van de Hoevevijerloop in de Achelsmansstraat (fig 2.2).

### 2.2 Topografie en hydrografie

#### Hydrografie

De Hoevevijerloop beek (fig 2.3) is een zijbeek van de grotere Bollisenbeek in het westen. Deze mondt verder naar het noorden in de Dommel uit. De Hoevevijerloop vormt dus een kleinere vallei tussen de Bollisenbeek en Dommel.

#### Topografie

De algemene topografie daalt in noordelijke richting (fig 2.4). De bron van de Hoevevijerloop ligt op ongeveer +69 m TAW, terwijl het MAP meetpunt op ca +62 m TAW ligt.

### 2.3 Geologie

De geologische opbouw volgens DOV staat aangegeven in tabel 2.1.

**Tabel 2.1 Lagenopbouw volgens het geologisch 3D model (v3)**

laag	Top (m onder mv)	Basis (m onder mv)	Dikte (m)	stratigrafie
Fm van Arenberg / Stokkem	0.0	0.7	0.7	Quartair
Fm van Sterksel	0.7	4.9	4.2	Quartair
Fm van Mol	4.9	20.8	15.9	Pliocleen
Fm van Kasterlee	20.8	35.7	14.9	Pliocleen
Fm van Fiest	35.7	194.8	159.1	Mioceen

DOV geeft volgende lithologie voor de verschillende formaties:

- Fm Arenberg en Stokkem : organisch rijk zand, grind met veen.
- Fm van Sterksel : grof zand met grind.
- Fm van Mol: middel to grof wit zand met ligniet.
- Fm van Kasterlee : fijn tot middel kleirijk zand met glauconiet.

- Fm van Diest : middel tot grof zand met glauconiet.

## 2.4 Hydrogeologie en hydrostratigrafie

Eigenlijk is heel het pakket boven de klei van Boom (Formatie van Boom) als een dikke freatische laag te beschouwen. Dit substraat bevindt zich op ongeveer 195 m diepte (tabel 2.1).

In deze regio komen wel op vele plaatsen zgn. “kliplagen” voor : verharde horizonten die meestal op 1 tot 2 m diepte worden aangetroffen. Tijdens het boren van PB3 werd op ca 1 m diepte een dunne (ca 10 cm) maar wel compacte kleilaag aangeboord naast vrij grote silexkeien (tot enkele cm groot). Ook in PB 5 werd een compact kleilens doorboord. De aanwezigheid van een ondiepe slechtdoorlatende laag kan wel een belangrijke invloed hebben op de ondiepe grondwaterstroming : infiltrerend regenwater kan niet dieper doordringen en wordt dan lateraal boven de kliplaag weggedraineerd. Door de ondiepe ligging blijft het water aeroob en is er geen kans op nitraatreductie als het infiltraat nitraat beladen is.

### Oxidatie-reductiezone

Een vroegere studie over nitraatverspreiding in het grondwater (Eppinger et al., 2002) bestuurde de nitraatverspreiding in een profiel dat ten zuidwesten van de testsite gelegen was (fig 2.5). In dit profiel bleken hoge nitraatgehalten voor te komen in de Hoogterrasafzettingen en de Formatie van Kasterlee, maar niet in de onderliggende Formatie van Diest. Bepalingen van de totale reductiecapaciteit (TRC) op sedimentmonsters toonde duidelijk een sterke toename van de TRC bovenaan in de Formatie van Diest. De Hoogterrasafzettingen en de Formatie van Kasterlee vormen dus blijkbaar de oxidatiezone, terwijl de Formatie van Diest de reductiezone is.

## 2.5 Grondwaterstroming

De grondwaterstroming volgt grotendeels de topografie. Doordat de regionale topografische trend afhellend naar het noorden is, ook de richting waarin het waterlopenstelsel zich heeft ontwikkeld, gebeurt de grondwaterstroming vooral noordwaarts. Door de drainerend werking van de waterlopen vindt in de valleien, die hier topografisch weinig geprononceerd zijn, de stroming wel in noordwestelijke richting (op de rechteroever) of noordoostelijke richting (op de linkeroever) plaats.

Door de grote dikte van de freatische laag en de goed doorlatende sedimenten zijn hier ook de verticale stromingscomponenten belangrijk. De grondwaterstroomlijnen lopen niet enkel horizontaal, maar kunnen ook, afhankelijk van de grootte van het stroomsysteem, dieper of minder diep doordringen. Dit betekent dat de instroom in de beken niet alleen door lateraal toevloeiend water gebeurt, maar ook door opwellend water dat van grote(re) diepte kan komen: vanuit de Formatie van Kasterlee of zelfs vanuit de Formatie van Diest.



## 2.6 MAP meetpunt

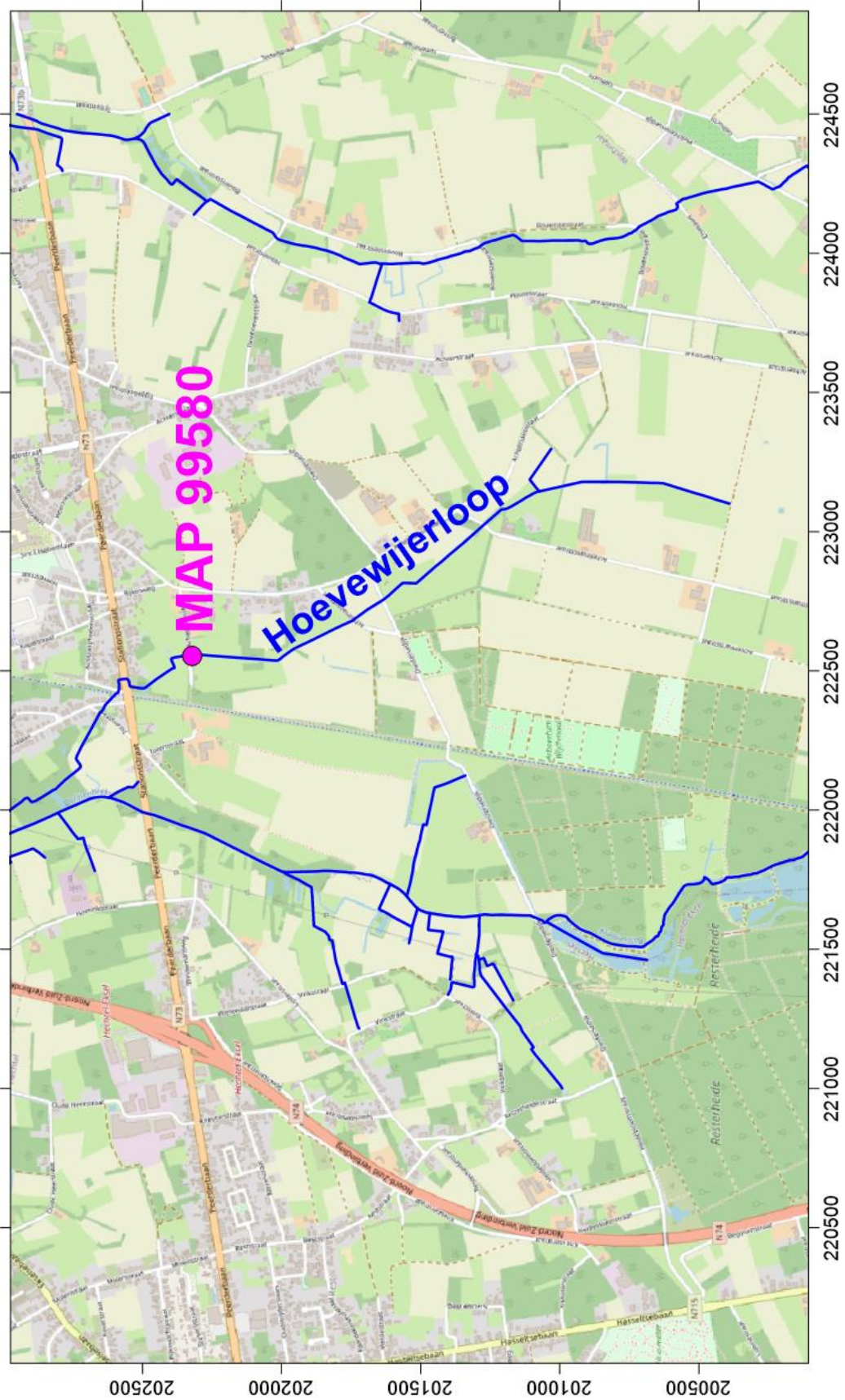
Op het tijdsverloop van het nitraatgehalte (fig 2.7) is te zien dat het nitraatgehalte bijna steeds boven de 50 mg/l ligt. Slechts sporadisch komen lage concentraties voor, meestal één maal per jaar. De lage concentraties bedragen meestal nog wel ca 20 mg/l, en zijn dus niet te wijten aan in situ denitrificatie, maar wellicht aan verdunning.

De grafiek van de seizoentaliteit (fig 2.8) toont dat de seizoenfluctuatie eerder beperkt is en tussen ca 60 mg/l in de winter en ca 75 mg/l in de zomer varieert. Ook is duidelijk te zien dat de metingen met sterk verlaagde concentraties (die liggen meestal tussen 20 en 30 mg/l), bijna uitsluitend in de wintermaanden voorkomen : van november tot februari. Het fitten van de seizoencurve houdt uiteraard ook rekening met deze lage waarden : daardoor valt het minimum van de sinusfunctie in de winterperiode.

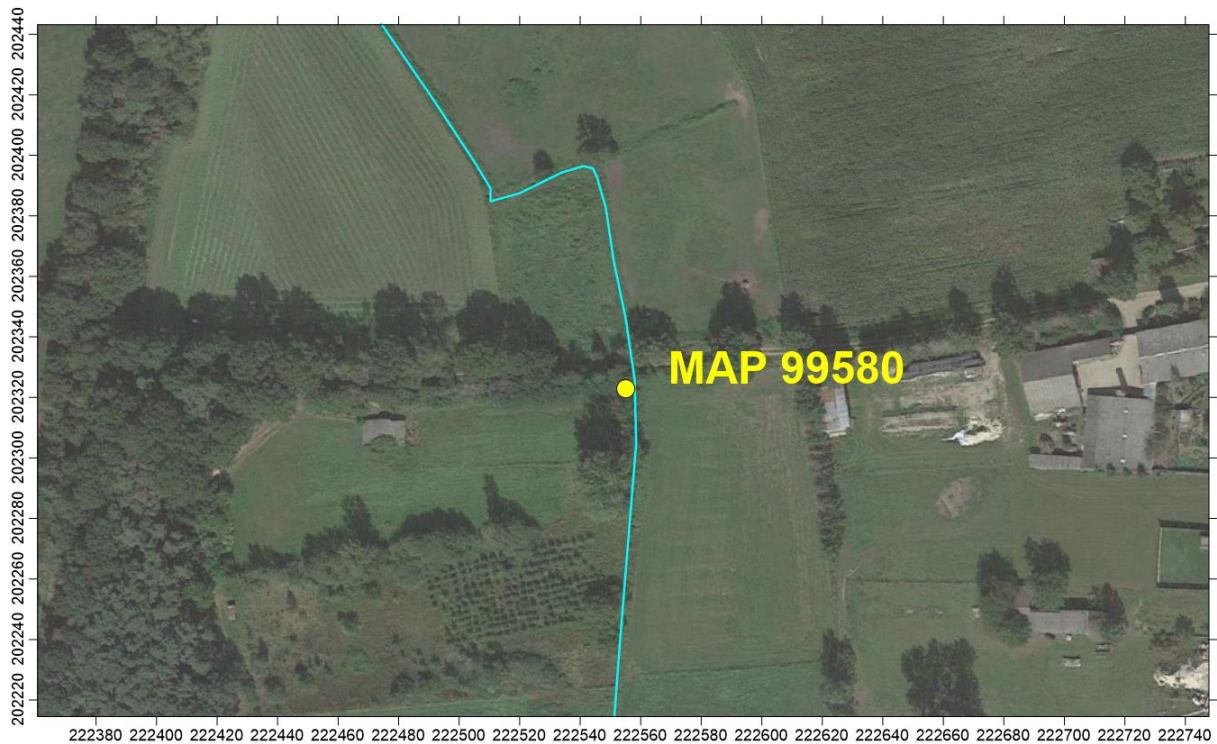
Vergelijking van de mediaanwaarden van de maanden (fig 2.9) toon hetzelfde patroon. In de zomer ligt de mediaanwaarde rond de 70 mg/l, in de wintermaanden rond de 60 mg/l.

Dit MAP meetpunt vertoont constant hoge nitraatgehalten die het jaar rond boven de 50 mg/l liggen, iets hoger in de zomer dan in de winter. Enkel na hevige regenval worden concentraties van onder de 50 mg/l gemeten.

Fig 2.1 Ligging van de testsite Peer



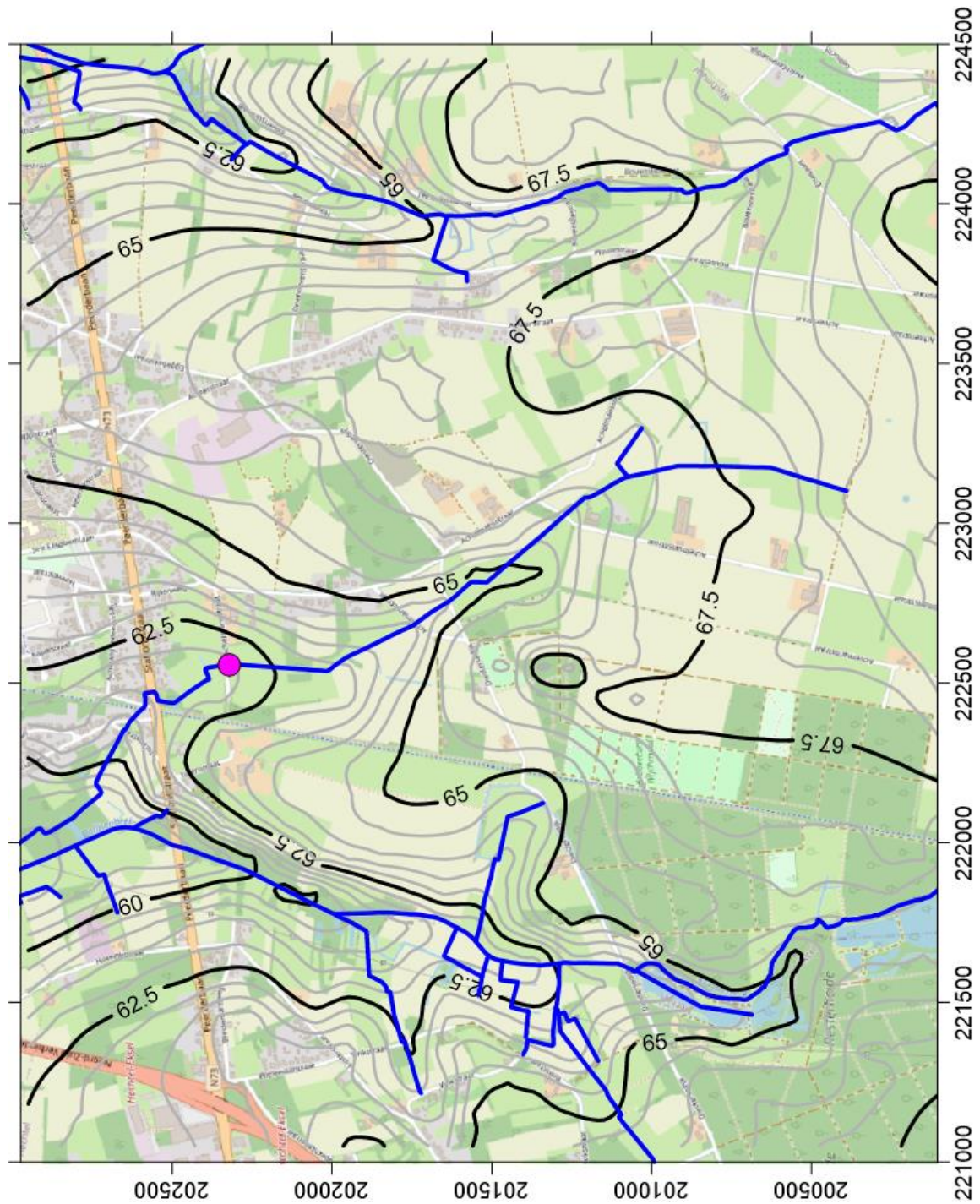
**Fig 2.2 Ligging van het MAP meetpunt in de Achelmansstraat**



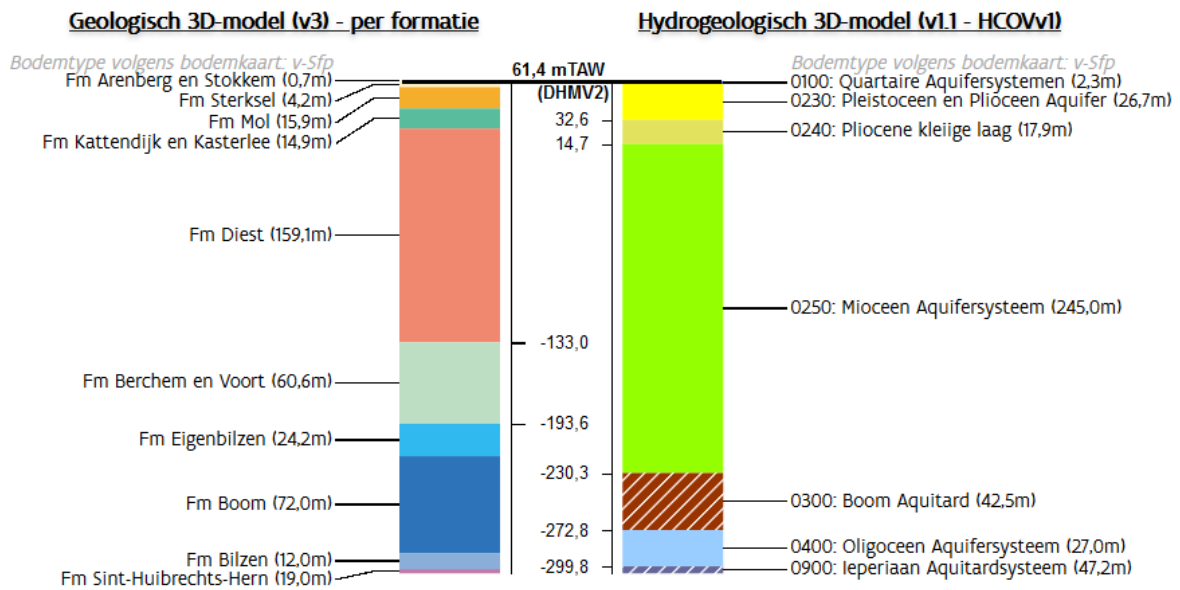
**Fig 2.3 Zicht op de Hoevevijerloop vanaf het MAP meetpunt in noordelijke richting**



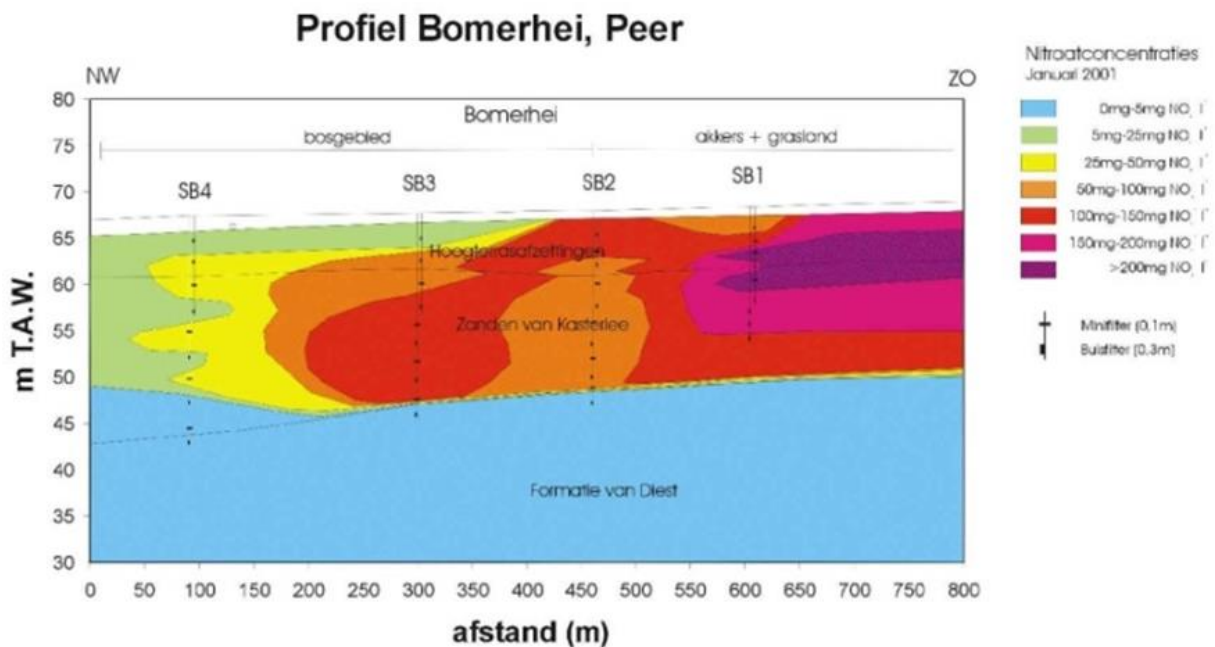
Fig 2.4 Topografie en hydrografie van de testsite Peer



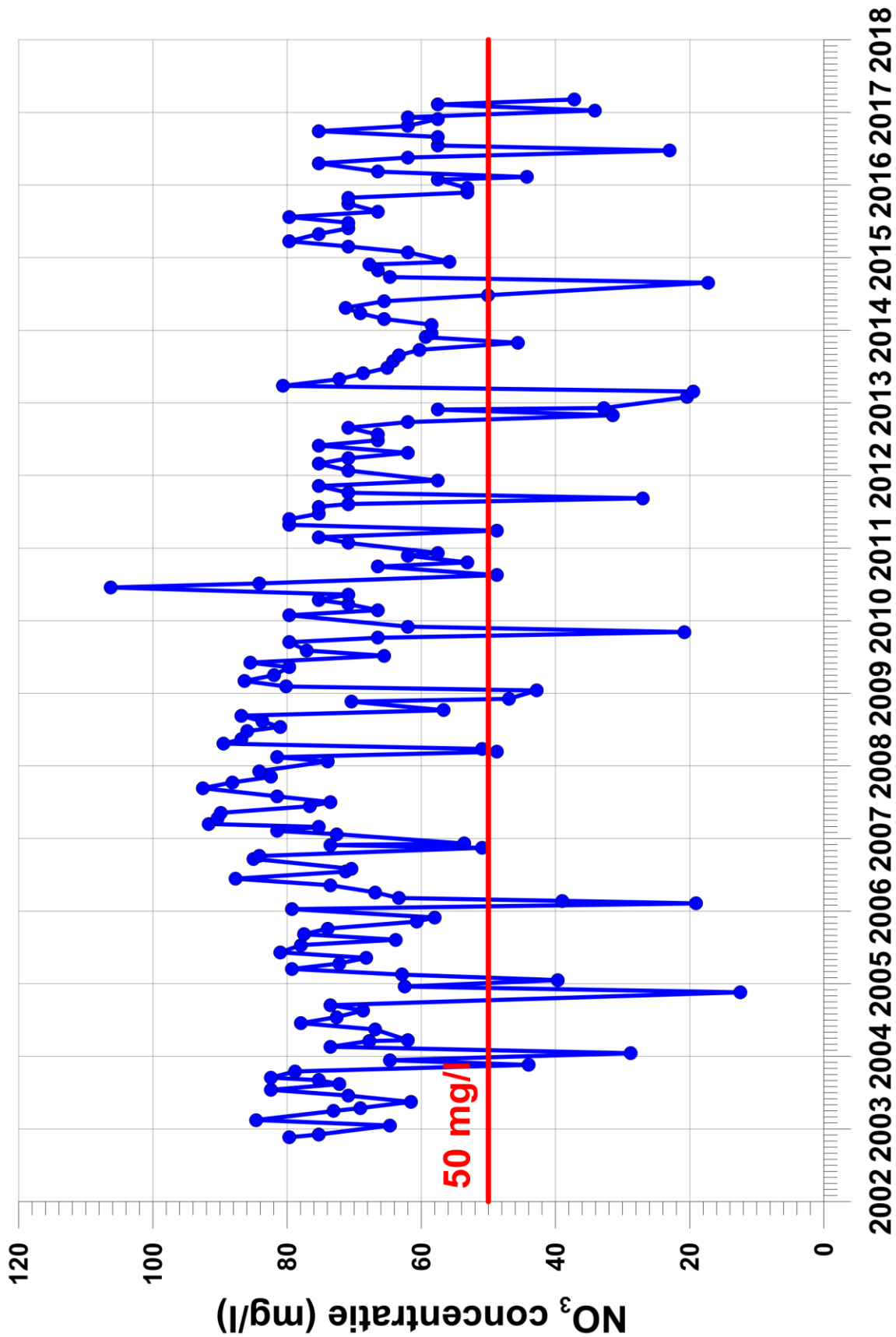
**Fig 2.5 Geologische en hydrogeologische opbouw ter hoogte van het MAP meetpunt (volgens de DOV portaalsite)**



**Fig 2.6 Profiel met de nitraatverspreiding in het grondwater (Eppinger et al., 2002)**



**Fig 2.7 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt van de testsite Peer**



**Fig 2.8 Gemiddelde seizoens fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer**

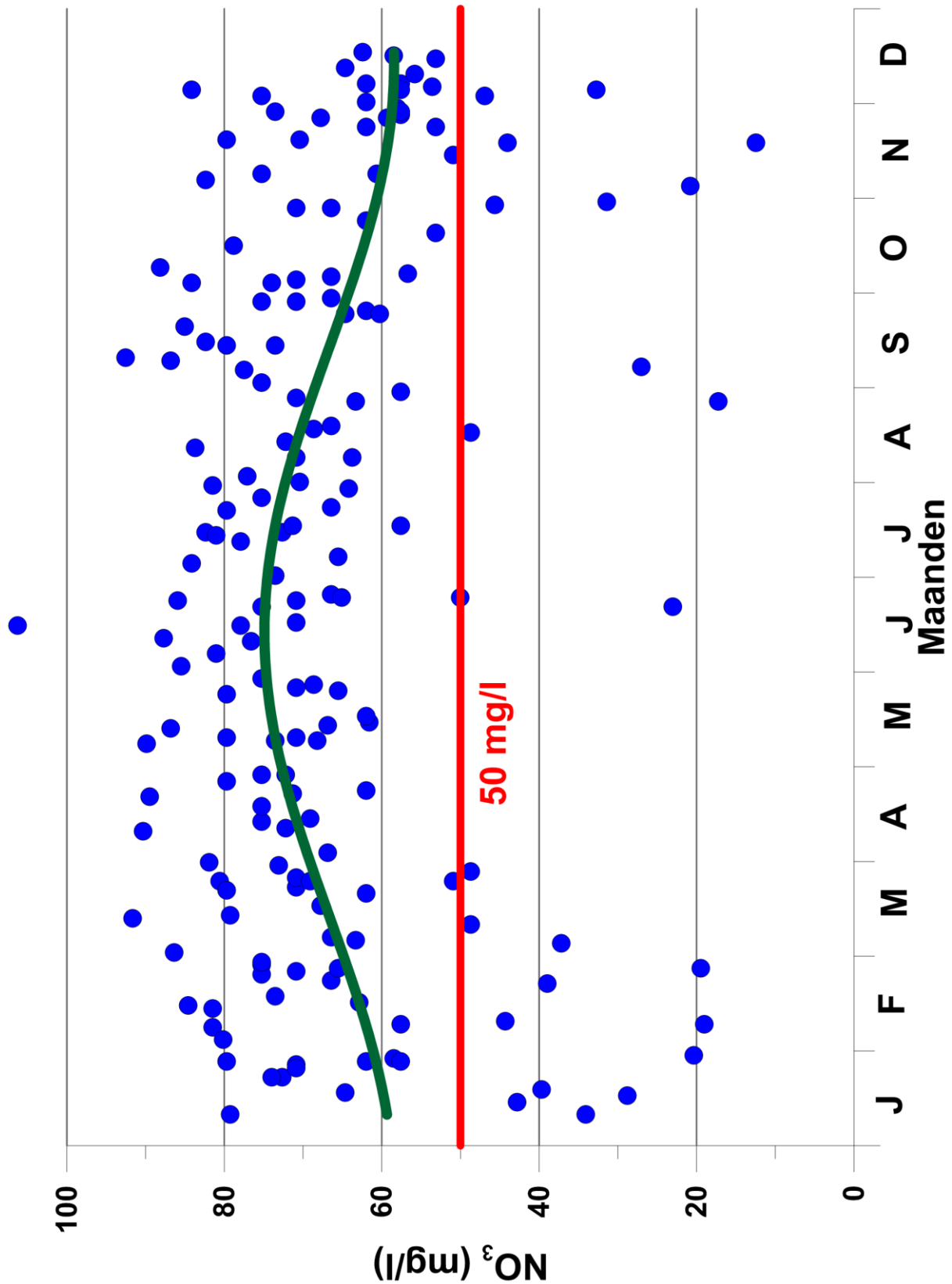
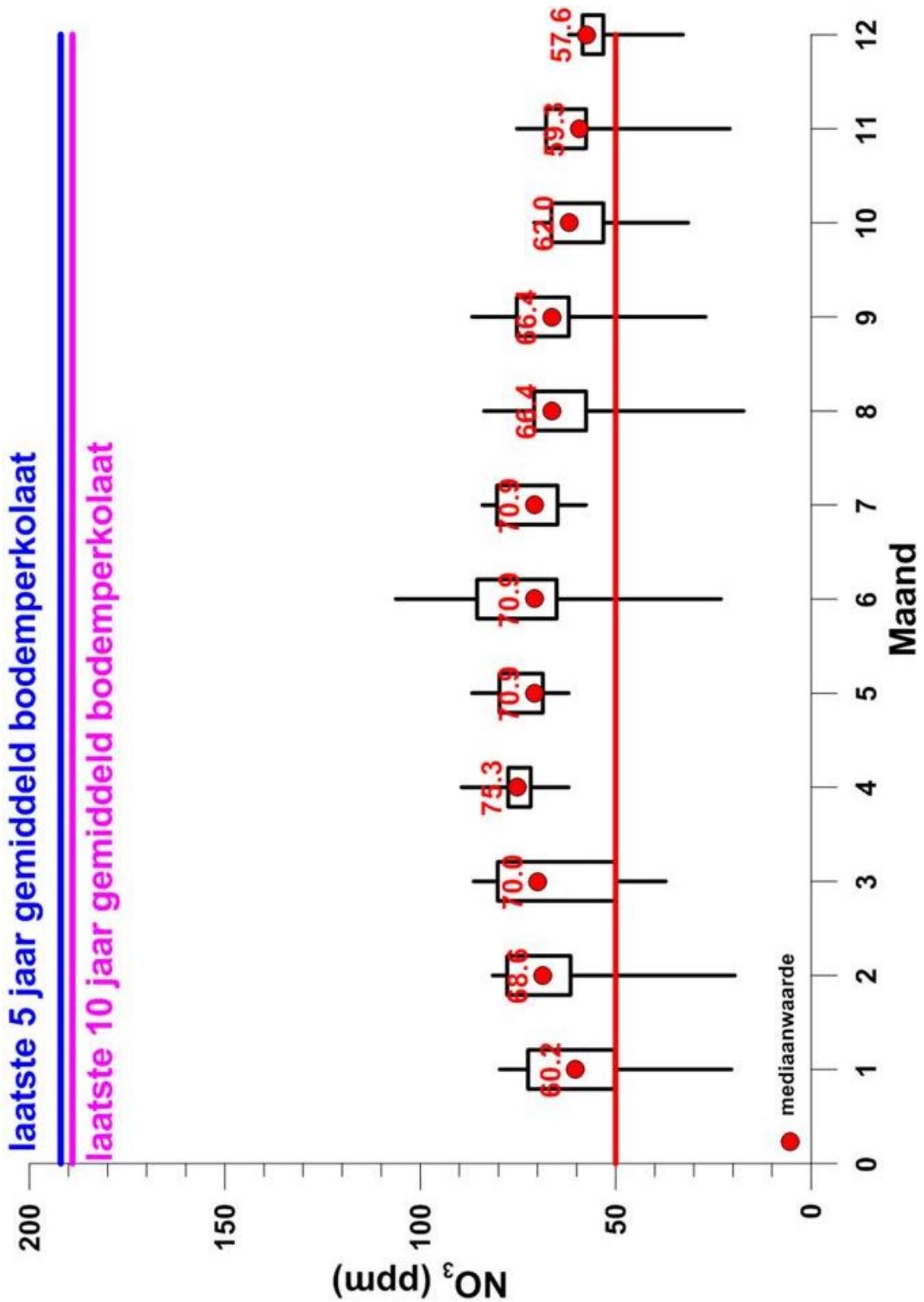
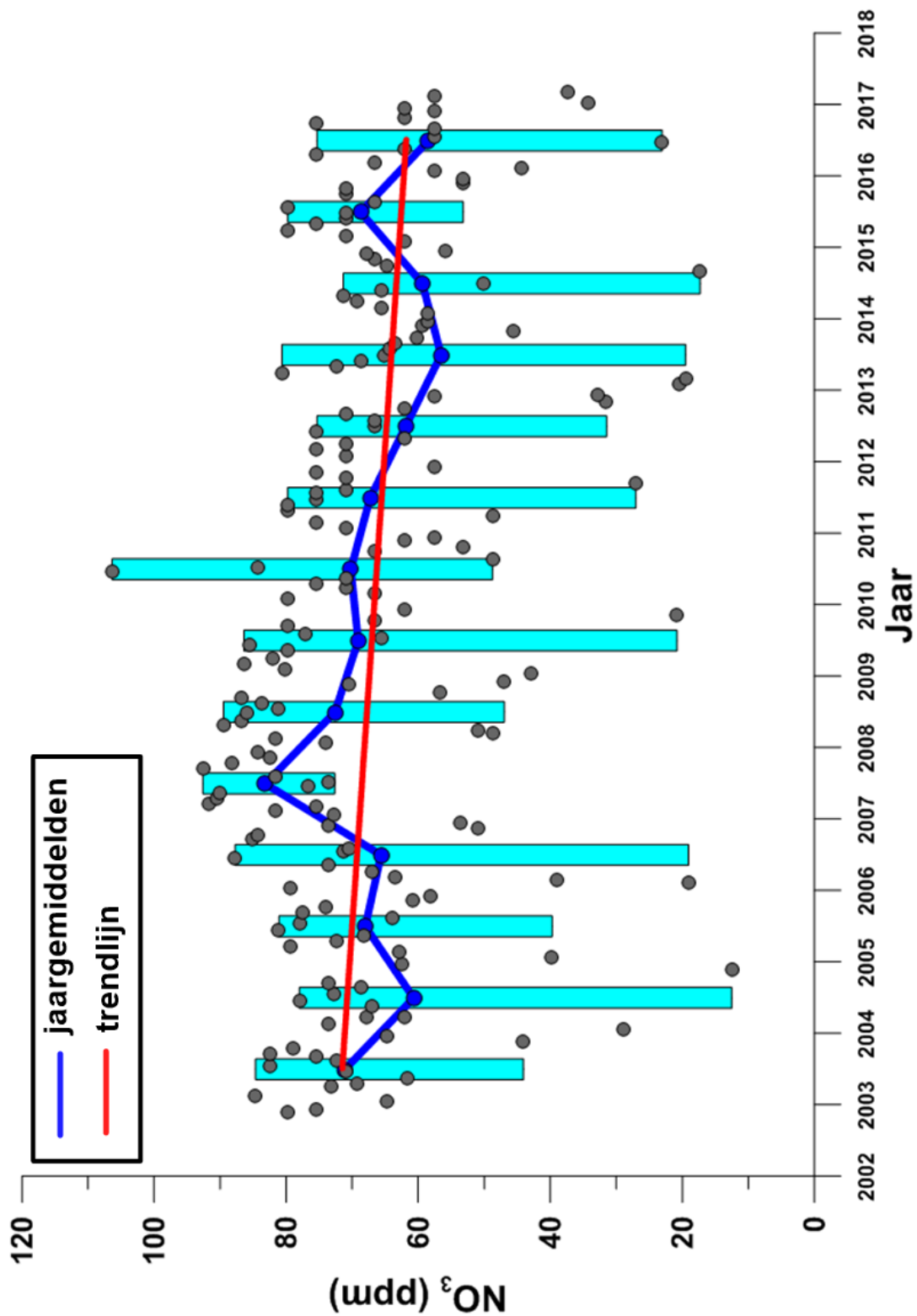


Fig 2.9 Maandgemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer





**Fig 2.10** Evoluite jaargemiddelden van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt in de testsite Peer



## 3 Veldwerk

### 3.1 Installatie peilbuizen

Na een veldbezoek op 21 maart 2018 werd de locatie van 5 peilbuizen uitgekozen (fig 3.1). De meest stroomafwaartse peilbuis werd ter hoogte van het MAP meetpunt geplaatst. Alle peilbuizen werden dicht bij de beek geboord. De coördinaten en diepte van de putten is aangegeven in tabel 3.1. De peilbuizen zijn onderaan afgewerkt met een filterelement van 1 m.

**Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Peer**

Peilbuis	Lambert-X	Lambert-Y	Diepte(m)
PB1	222551	202329	1.30
PB2	222678	201750	1.75
PB3	223027	201274	1.72
PB4	223173	200833	1.45
PB5	223168	200632	1.16

### 3.2 Wateranalysen

Na plaatsing van de peilbuizen werden in maart 2018 watermonsters genomen. Een tweede monsternameronde vond plaats in oktober 2018. Toen stonden de peilputten PB1 en PB2 droog.

De resultaten voor enkele geselecteerde chemische parameters in de 5 peilbuizen staan in tabellen 3.2 en 3.3. Daaruit kunnen de volgende vaststellingen gedaan worden:

- In slechts één enkel monster werd meer dan 50 mg/l nitraat gevonden: in PB4. In het najaar was er nog ongeveer 25 mg/l aanwezig. Enkel aan PB4 kon een bewijs gevonden worden van een duidelijk hoge nitraatinstroom.
- De drie meest stroomafwaartse peilbuizen (PB1 aan het MAP meetpunt, PB2 en PB3) bevatten enkele mg/l ijzer. Dit water is duidelijk gereduceerd en kan dus geen nitraat bevatten. In PB1 werd ook een hoger chloridegehalte gevonden (ca 100 mg/l) dan in de andere peilbuizen (30 a 40 mg/l). Ook het natriumgehalte is hoger.
- Het bicarbonaatgehalte is vrij laag, meestal < 100 mg/l.
- De waters zijn zuur met een pH van rond de 6. Er is dus geen kalkbuffering aanwezig in de ondiepe afzettingen.

**Tabel 3.2 Geselecteerde chemische parameters tijdens de eerste monsternamecampagne in de testsite Peer (voorjaar 2018)**

Peilbuis	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Fe (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	pH	Cl (mg/l)
PB1	0.00	7.50	101.3	5.99	99.9
PB2	0.00	2.45	59.8	5.94	38.8
PB3	0.84	4.09	40.9	6.12	31.2
PB4	81.45	0.103	20.7	5.49	32.8
PB5	0	0.03	126.3	6.22	44.5

**Tabel 3.3 Geselecteerde chemische parameters tijdens de tweede monsternamecampagne in de testsite Peer (najaar 2018)**

Peilbuis	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Fe (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	pH	Cl (mg/l)
PB3	1.97	0.244	53.6	6.27	30.1
PB4	25.66	0.038	45.1	6.22	28.6
PB5	9.63	0.070	22.0	6.05	24.7

De 5 geplaatste peilbuizen langsheen de beek vinden slechts op 1 plaats nitraat : in de 3 peilbuizen die het dichtst bij het MAP meetpunt liggen wordt ijzerrijk water gevonden: dit moet kwelwater zijn dat doorheen de reductiezone is gepasseerd en waarschijnlijk vanuit de Formatie van Kasterlee of dieper afkomstig is. Maar de bijdrage van dit diep kwelwater aan het stromingsdebiet is blijkbaar onvoldoende om voor een sterke verdunning te zorgen. Van de twee meest stroomopwaartse peilbuizen bevat er veel nitraat al varieerde de concentratie wel tussen ca 80 mg/l tijdens de eerste meetcampagne en ca 25 mg/l tijdens de tweede campagne.

#### Peilbuizen VMM meetnet

In de omgeving van de Hoevevijerloop liggen drie peilbuizen van het VMM meetnet (fig 3.5). Deze geven interessant inlichtingen over de grondwaterkwaliteit.

#### *Peilbuis 935/23/15a (fig 3.6)*

Deze ligt het meest noordelijk en ligt ongeveer 50 m van de beek naast de geplaatste peilbuis PB2. Deze peilput heeft 3 filters :

- Een bovenste filter zit tussen 3.7 en 4.2 m diepte en heeft zeer hoge nitraatgehalten : tussen 150 en 250 mg/l.
- Een tweede filter zit tussen 9.5 en 10.5 m diepte en heeft tussen 50 en 100 mg, maar is wel verlaagd de laatste jaren. Er zit weinig ijzer in dit water, het is dus geoxideerd.
- Een onderste filter zit tussen 13 en 14 m diepte, heeft geen nitraat maar wel meer dan 10 mg/l ijzer. Dit water is gereduceerd.

*Peilbuis 935/23/14 (fig 3.7)*

Dit meetpunt heeft een diepe filter tussen 5.5 en 6.5 m en dan twee veel diepere tussen resp 22-23 en 25-26 m:

- In de bovenste filter werden vroeger hoge nitraatgehalten gevonden (tot 150 mg/l) maar er is een dalende trend en de laatste jaren zijn de concentraties lager dan 50 mg/l.
- De diepe filters bevatten geen nitraat, wel hoge ijzergehalten. Dus duidelijk gereduceerd water.

*Peilbuis 935/23/13 (fig 3.8)*

Dit is de meest zuidelijk gelegen peilbuis en ligt niet ver van PB5. De meetput heeft 3 filters :

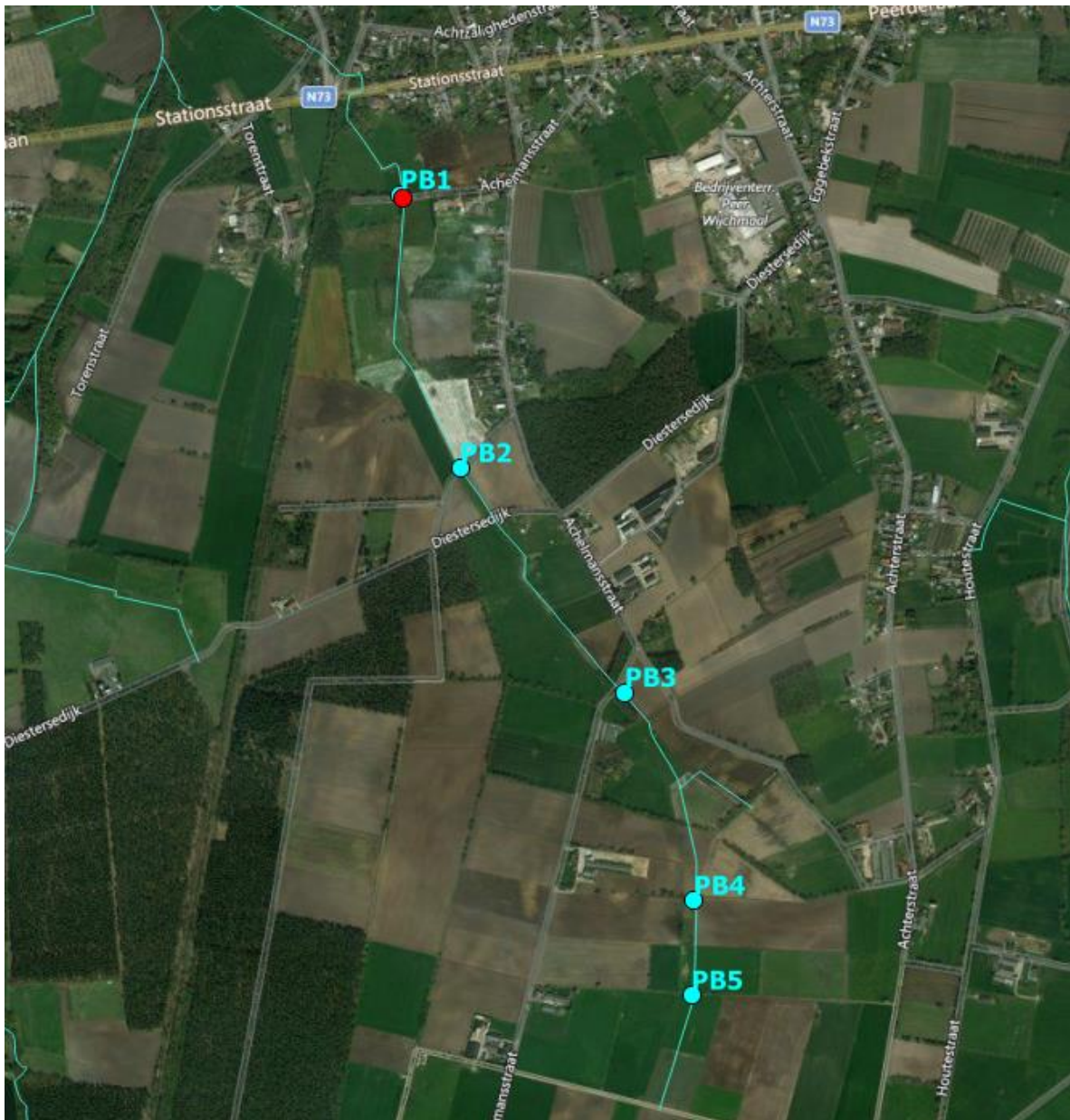
- De bovenste filter zit tussen 9 en 10 m diepte en heeft hoge nitraatgehalten: van 100 tot 150 mg/l en stijgend over de jaren.
- De middelste filter zit van 35.5 – 36.5 m diep en heeft nitraatgehalten van 10 tot 25 mg/l. Opmerkelijk is dat het ijzer gehalte ook hoog is met waarden van 10 tot 15 mg/l. Dit water moet een mix zijn van geoxideerd (bron nitraat) en gereduceerd (bron ijzer) water.
- De diepste filter zit van 42-43 m ,heeft geen nitraat en hogere ijzergehalten dan de middelste filter.

Uit de VMM peilbuizen blijkt dat het reservoir zeker tot op 10 m diepte gevuld is met nitraatrijk geoxideerd grondwater met concentraties boven de 100 mg/l. Dit blijkt in op alle 3 de plaatsen het geval te zijn, deze liggen noord-zuid gespreid ca 50 van de beek stroomopwaarts het MAP meetpunt. Het voorkomen van nitraat tot op 35 m diepte in één van de VMM peilbuizen lijkt wel vreemd en niet consistent met wat in de andere 2 peilbuizen wordt vastgesteld.

Tabel 3.4 Resultaten van de grondwateranalysen

peilbuis	meetronde	PH	COND	Na+(ppm)	K+(ppm)	Ca2+(ppm)	Mg2+(ppm)	Fe2+/Fe3+(ppm)
PB1	1	5.990	339	58.000	14.720	25.200	7.500	7.500
PB2	1	5.94	261	20.980	5.32	20.4	6.25	2.457
PB3	1	6.12	342	18.54	3.6	26.35	6.05	4.09
PB4	1	5.49	478	20.4	8	29.85	15.15	0.103
PB5	1	6.22	562	16.6	39.48	43.7	17.55	0.03
peilbuis	meetronde	Mn2+(ppm)	NH4+(ppm)	Cl-(ppm)	SO42-(ppm)	NO3-(ppm)	NO2-(ppm)	HCO3-(ppm)
PB1	1	0.108	0.252	99.900	52.350	0.000	0.567	101.260
PB2	1	0.133	0.0874	38.822	42.409	0	0.1134	59.78
PB3	1	0.411	0.0053	31.244	71.21	0.8439	0.0672	40.87
PB4	1	0.427	0.2392	32.88	78.475	81.449	0.6251	20.74
PB5	1	0.352	0.0409	44.521	98.802	0	0.0988	126.27
peilbuis	meetronde	PH	COND	Na+(ppm)	K+(ppm)	Ca2+(ppm)	Mg2+(ppm)	Fe2+/Fe3+(ppm)
PB3	2	6.27	375	30.34	3.472	34.3	5.9	0.244
PB4	2	6.22	381	21.08	8.06	31.55	8.5	0.038
PB5	2	6.05	367	17.76	8.7	29.3	7.4	0.07
peilbuis	meetronde	Mn2+(ppm)	NH4+(ppm)	Cl-(ppm)	SO42-(ppm)	NO3-(ppm)	NO2-(ppm)	HCO3-(ppm)
PB3	2	0.239	0.0367	30.102	73.545	1.9695	0.0872	53.58
PB4	2	0.21	0.0417	28.648	54.024	25.666	0.0351	45.14
PB5	2	0.095	0.0288	24.761	76.023	9.6303	0.0248	21.96

**Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Peer**



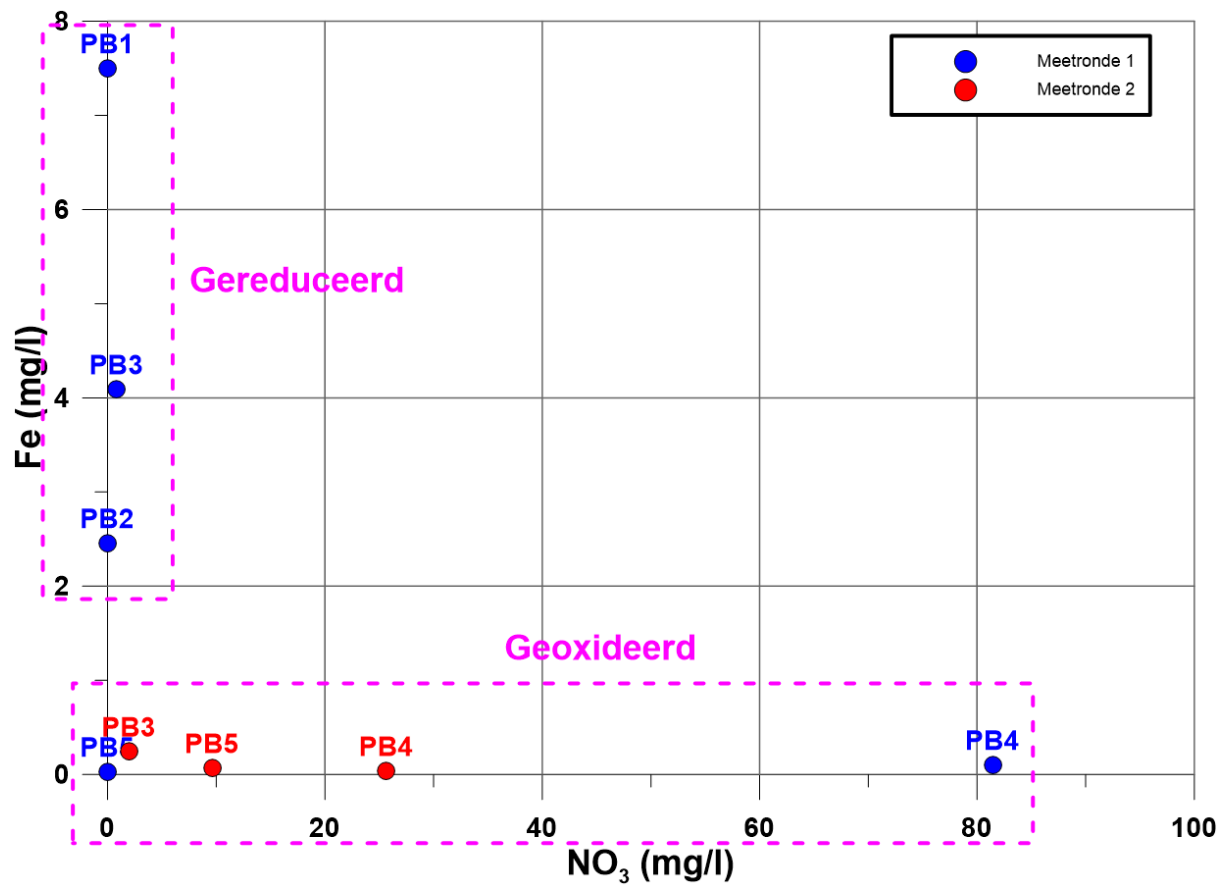
**Fig 3.2 In alle boringen werd onder de bodem zandig materiaal van de Hoogterrasafzettingen aangetroffen**



**Fig 3.3 Bij het boren van PB2 en PB5 werden ondiepe compacte kleilaagjes aangetroffen**



Fig 3.4 Nitraat en ijzergehalten in de grondwatermonsters van de testsite Peer

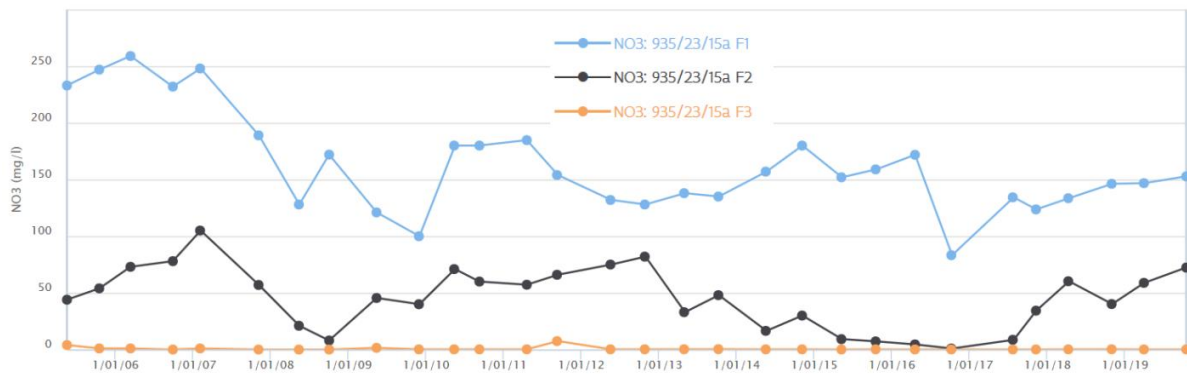




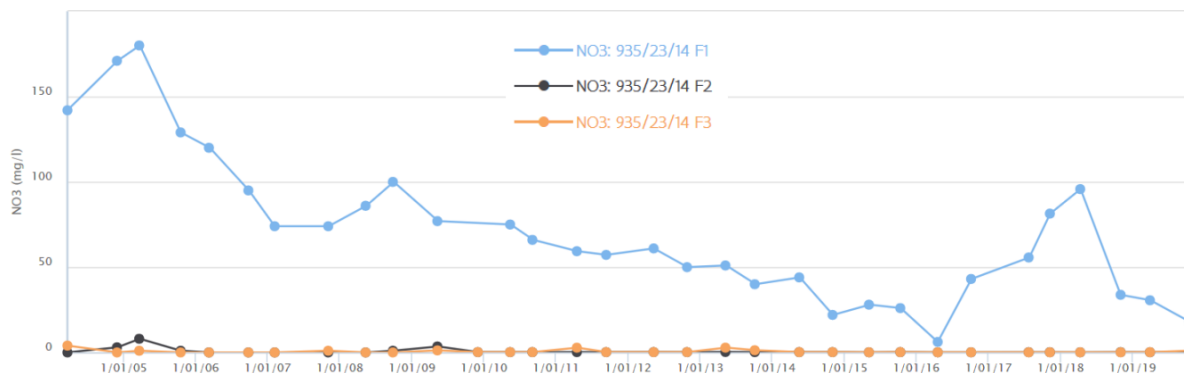
**Fig 3.5 Ligging van 3 peilbuizen van het VMM meetnet in de omgeving van de testsite Peer**



**Fig 3.6 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/15a**



**Fig 3.7 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/14**



**Fig 3.8 Nitraatverloop in peilbuis Peilbuis 935/23/13**

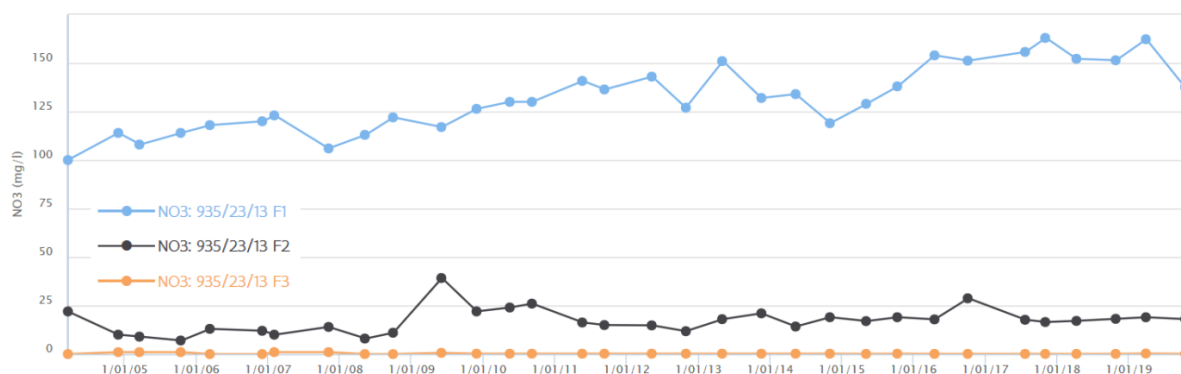
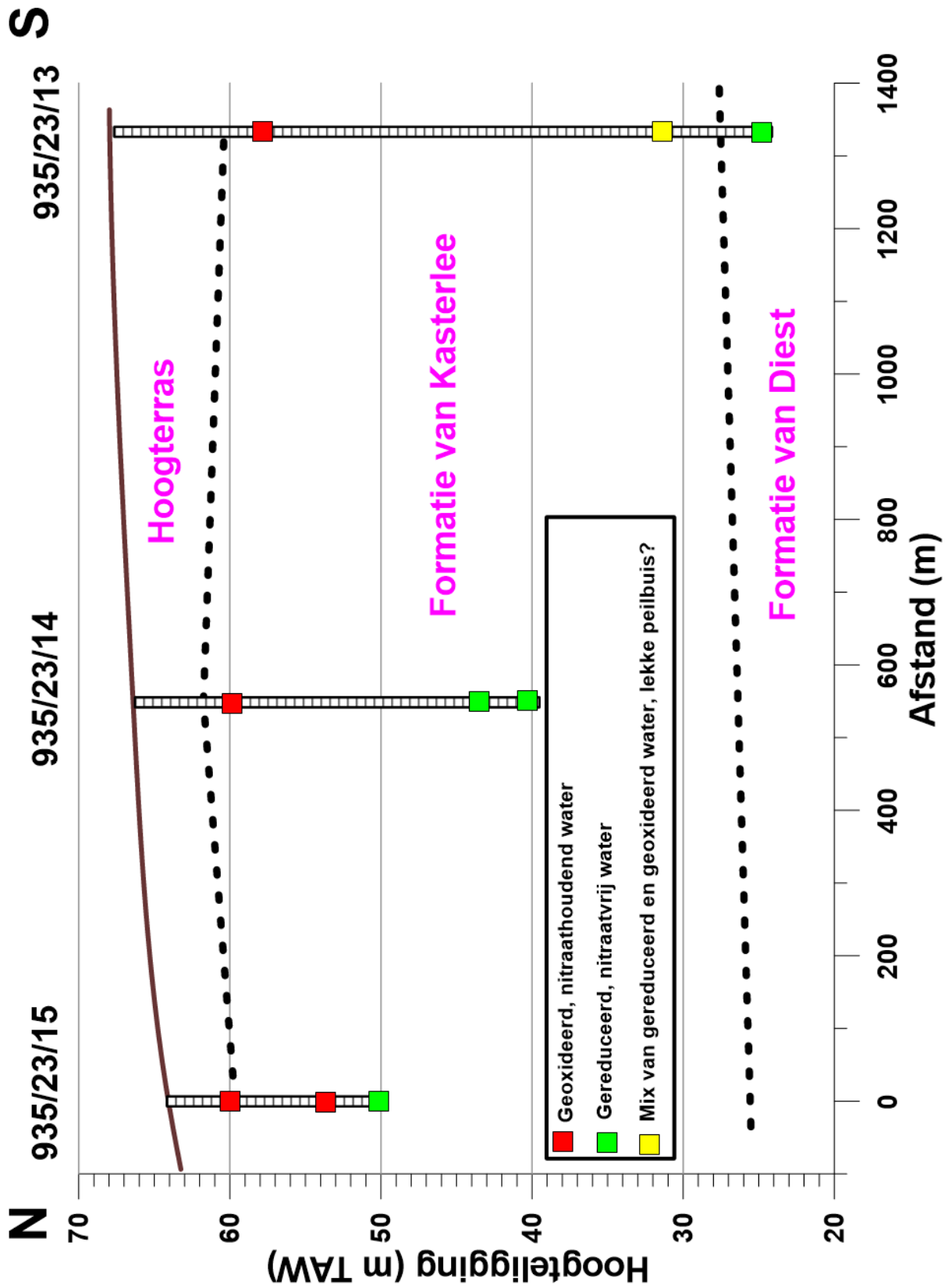


Fig 3.9 Schematisch profiel langsheen de 3 VMM peilbuizen



## 4 Beschrijving van het MODFLOW/MODPATH model

### 4.1 Inleiding

De testsite Peer 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 nitraatvrucht 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 model

#### *Modelbegrenzing*

Het modelgebied van het MODFLOW model is veel ruimer genomen dan het afstroomgebied van de Hoewewijerloop alleen (fig 4.1). Het was immers ook een doel een beter inzicht te krijgen in de wisselwerking tussen de bovenste lagen, die de oxidatiezone vormen, en de diepere Formatie van Diest, waar nitraatreductie gebeurt en dus nitraatvrij water levert.

De westgrens volgt de Bollisenbeek noordwaarts tot waar die in de Dommel uitmondt. De oostgrens wordt gevormd door de Dommel. Het noordelijkste punt van het model is de samenvloeiing van deze twee beken. De zuidgrens werd op Y Lambertcoördinaat 198000 gelegd. De hoofdkam van het Kempisch plateau vormt eigenlijk de waterscheiding tussen het stroomsysteem dat naar het noorden vloeit en een zuidelijk systeem, maar ligt nog enkele km verder naar het zuiden. De zuidgrens werd daarom op het punt gelegd waar de Dommel in het oosten en de Bollisenbeek in het westen op een minimale afstand (ongeveer 1.5 km) van mekaar komen.

Model modelgebied is op zijn breedste punt ongeveer 5 km in west-oost richting en 7 km in noord-zuid richting.

#### *Modelnetwerk en reservoirschematisering*

Het MODFLOW model grid gebruikt een spatiale resolutie (celgrootte) van 20 op 20 m.

De basis van het grondwaterreservoir in het model is de “Klei van Boom” (Formatie van Rupel). Alle bovenliggende lagen zijn in het model opgenomen. Het reservoir is daarbij geschematiseerd tot 4 modellagen (tabel 4.1):

De diepte en dikte van de laagvlakken werden opgesteld a.h.v. het geologisch 3D model van Vlaanderen (G3D). Het peil van de top van de Formatie van Kasterlee staat aangegeven op fig 4.2, de basis van de Formatie van Kasterlee op fig 4.3 en de basis van de Formatie van Diest (de top van de “Boomse Klei”) op fig 4.4. Op de isohypsdenkaarten is te zien dat deze laagvlakken vrij monoclinaal naar het noordoosten hellen.

**Tabel 4.1 Lagenopbouw in het MODFLOW model**

<b>Modellaag</b>	<b>Eenheid</b>	<b>doorlatendheid (m/d)</b>
1	Quartair	5.0
2	Hoogterras	6.5
3	Formatie van Kasterlee	6.5
4	Formatie van Diest	6.0

#### *Hydraulische parameterisatie*

Hydraulische parameters (doorlatendheden) werden ingeschat. Er zijn binnen het studiegebied geen in situ proeven beschikbaar om ze uit af te leiden.

#### *Randvoorwaarden*

De randvoorwaarden betreffen de grondwateraanvulling, de waterpeilen in de beken en opgelegde stijghoogten in de onderste model laag (laag 4).

Voor een evenwichtsberekening (“steady state”) werd een gemiddelde grondwateraanvulling gebruikt van 229 mm/jaar, overeenkomend met de gemiddelde areale aanvulling berekend met het EU\_rotate\_N model.

Voor de ligging van de waterlopen werd het vectorieel bestand van de VHA gebruikt. Het waterpeil in de rivercellen werd ingeschat op basis van de topografie volgens het DHM Vlaanderen. Het gemiddeld waterpeil werd 1 m onder de maaiveldshoogte genomen.

De stijghoogten in de Formatie van Diest worden in grote mate bepaald door de regionale hydrogeologische opbouw en randvoorwaarden op een grotere schaal dan het modelgebied. Ze kunnen dan ook niet binnen het modelgebied zelf juist gesimuleerd worden. Daarom werden ze opgelegd a.h.v. een stijghoogteverdeling die dezelfde gradiënt heeft als de gemiddelde topografische gradiënt in het modelgebied, bepaald door fitting van een lineair vlak aan de topografie, en een peil dat 2 m onder dit lineair trendvlak ligt.

#### *MODPATH*

Voor het berekenen van de stroomlijnen en reistijden werd voor de porositeit 40 % gebruikt, afgeleid uit Morris en Johnson (1967).

Voor het afleiden welke stroomlijnen enkel doorheen de oxidatiezone en welke ook doorheen de reductiezone passeren, wordt de aanname gedaan dat de bovenste drie modellagen geoxideerd zijn en de onderste laag (de Formatie van Diest) gereduceerd.

### 4.3 Resultaten

#### Stijghoogteverdelingen

De berekende stijghoogteverdelingen in de 4 model lagen staan voorgesteld op fig 4.5 t.e.m. 4.8. De grondwaterstroming volgt min of meer de algemene topografie, daardoor dalen de stijghoogten van zuid naar noord.

#### Verticale stijghoogteverschillen

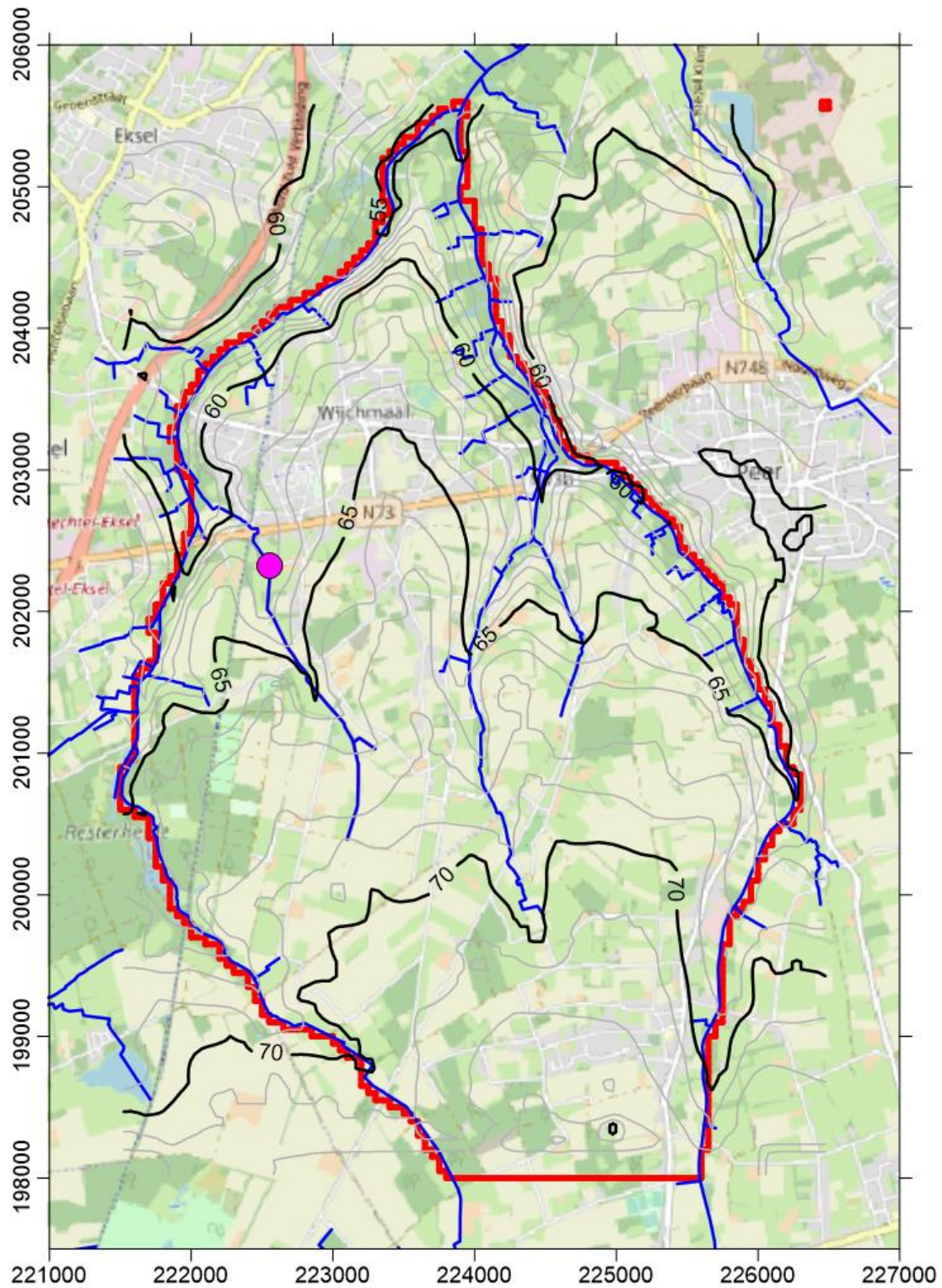
De verticale stijghoogteverschillen bepalen waar en in welke mate er op- en neerwaartse stroming plaatsvindt. Van belang is vooral waar er opwaartse stroming vanuit de Formatie van Diest kan plaatsvinden. Dat grondwater is gereduceerd en bevat dus geen nitraat meer. Hierdoor kan het verdunnend optreden. Een kaart werd gemaakt (fig 4.9) met het stijghoogteverschil tussen de watertafel en de stijghoogten in de Formatie van Diest, dus tussen model laag 1 en laag 4. Waar het verschil positief is staat de watertafel hoger en zal neerwaartse stroming plaatsvinden, is het verschil negatief kan dieper water vanuit de Formatie van Diest opwellen en als bijdrage aan de baseflow in de waterlopen voor een verdunning zorgen.

#### Stroomlijnen en reistijden

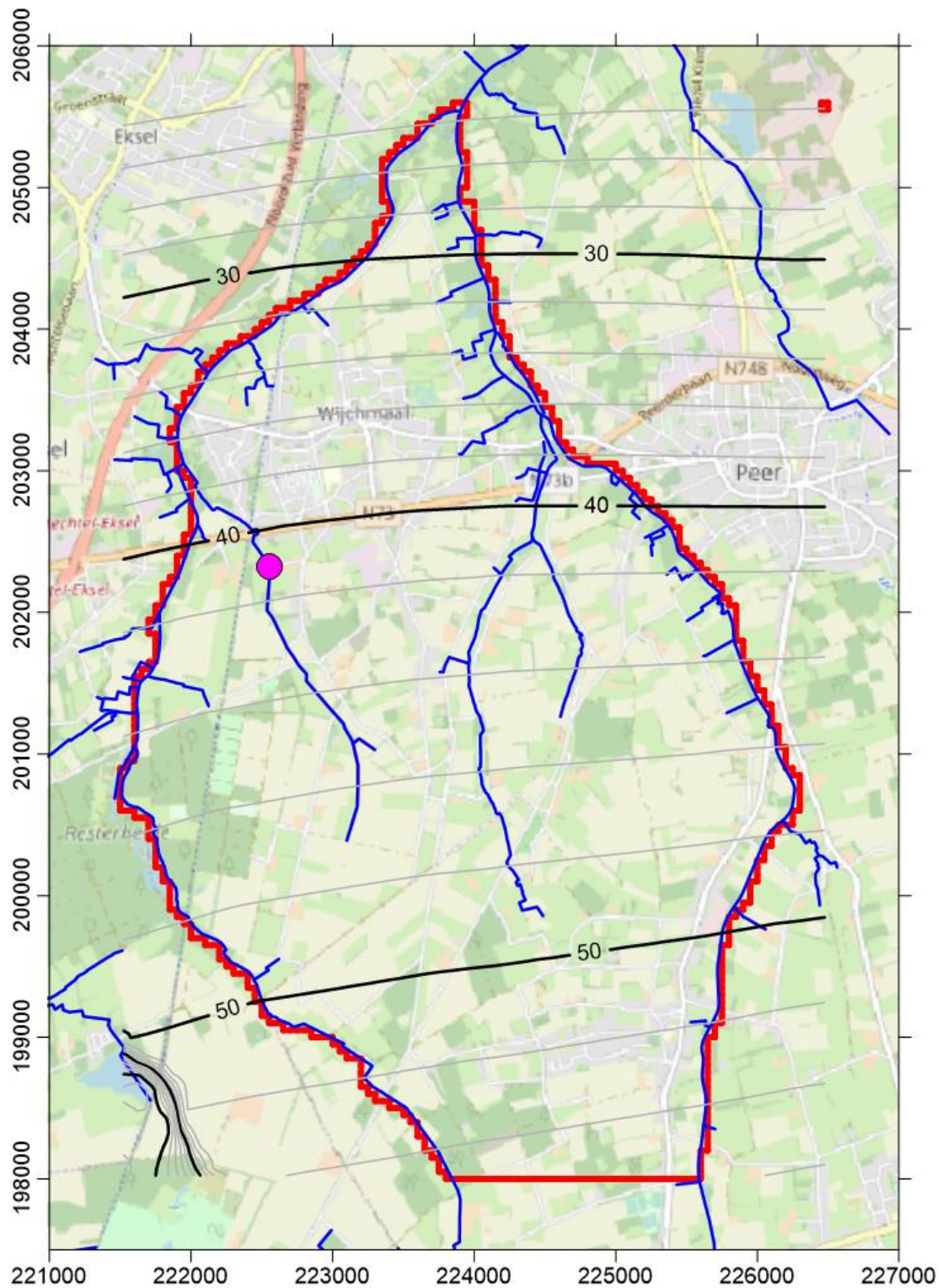
Met het MODPATH programma werden stroomlijnen getraceerd (fig 4.10). Op de kaart zijn alleen de stroomlijnen die door de oxidatiezone passeren getekend. Dit water zal geen reductie ondergaan en dus nitraathoudend zijn. Ze zijn in de grijze kleur aangeduid. De stroomlijnen die in de Hoevevijerloop terechtgekomen zijn in een zwarte kleur aangegeven. Duidelijk is te zien dat het intrekgebied van de beek vrij smal is in west-oost richting, maar wel langgerekt in noord-zuid richting, volgens de helling van het terrein.

Uit de MODPATH resultaten werden voor de stroomlijnen die in de Hoevevijerloop ten zuiden (stroomopwaarts) van het MAP meetpunt in de beek instromen, de reistijden geselecteerd. Alleen de stroomlijnen die doorheen de oxidatiezone lopen werden hiervoor gebruikt. Met deze reistijden werd de empirische CDF curve voorgesteld en gefit aan een exponentiële distributiemodel (fig 4.11). Uit de fitting blijkt dat de mediaan ouderdom van het nitraathoudend water dat in de Hoevevijerloop voor het MAP instroomt, ca 16.9 jaar bedraagt. Deze waarde werd gebruikt bij de runs met het BFN model van de verzadigde zone (zie hoofdstuk 6).

**Fig 4.1 Begrenzing van het MODFLOW modelgebied met aanduiding van de hoogtelijnen (in m TAW)**

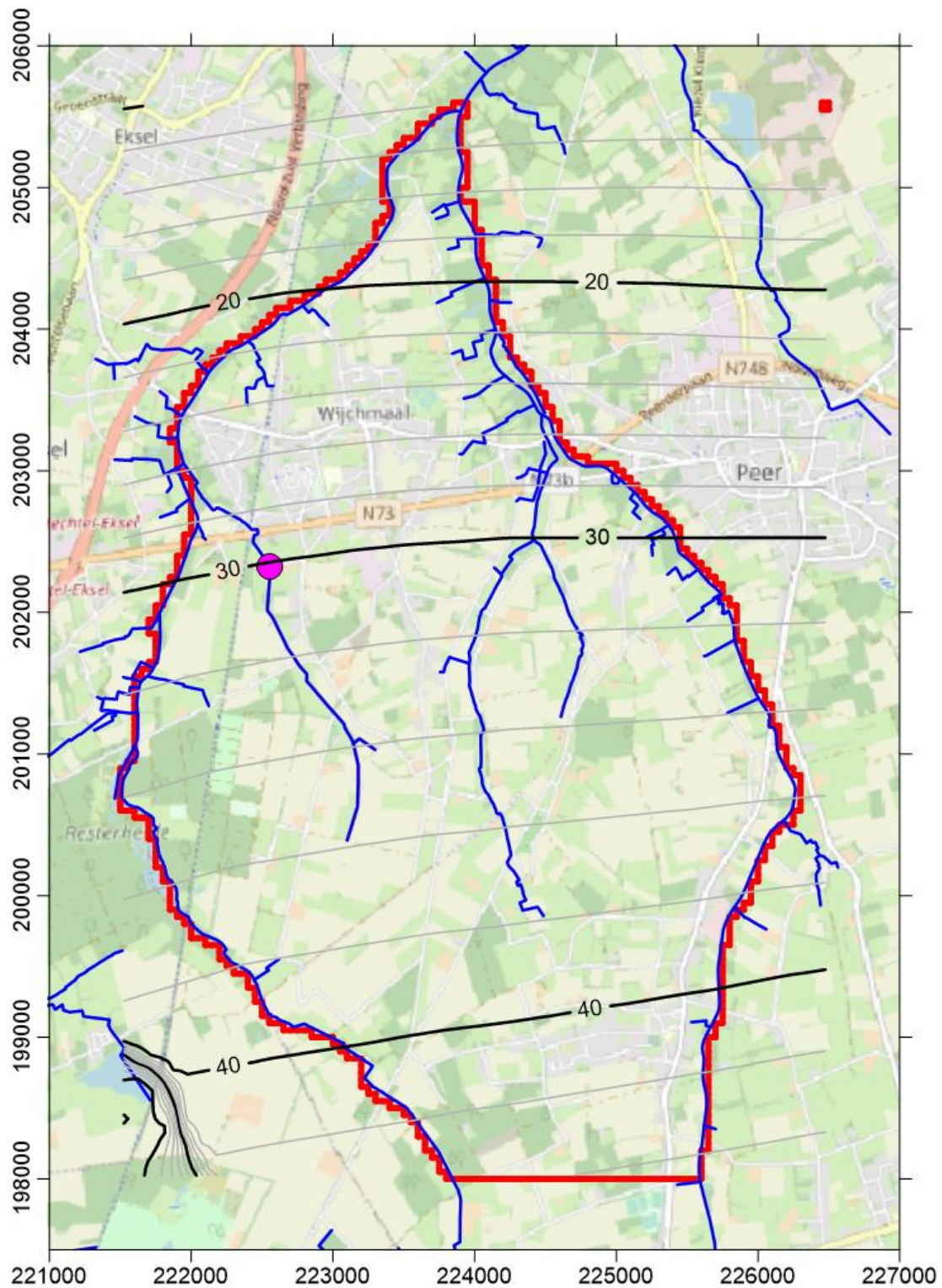


**Fig 4.2 Top (in m TAW) van de Formatie van Kasterlee in het modelgebied**





**Fig 4.3 Basis (in m TAW) van de Formatie van Kasterlee in het modelgebied**



**Fig 4.4 Top (in m TAW) van de “Boonse Klei” (Formatie van Rupel)**

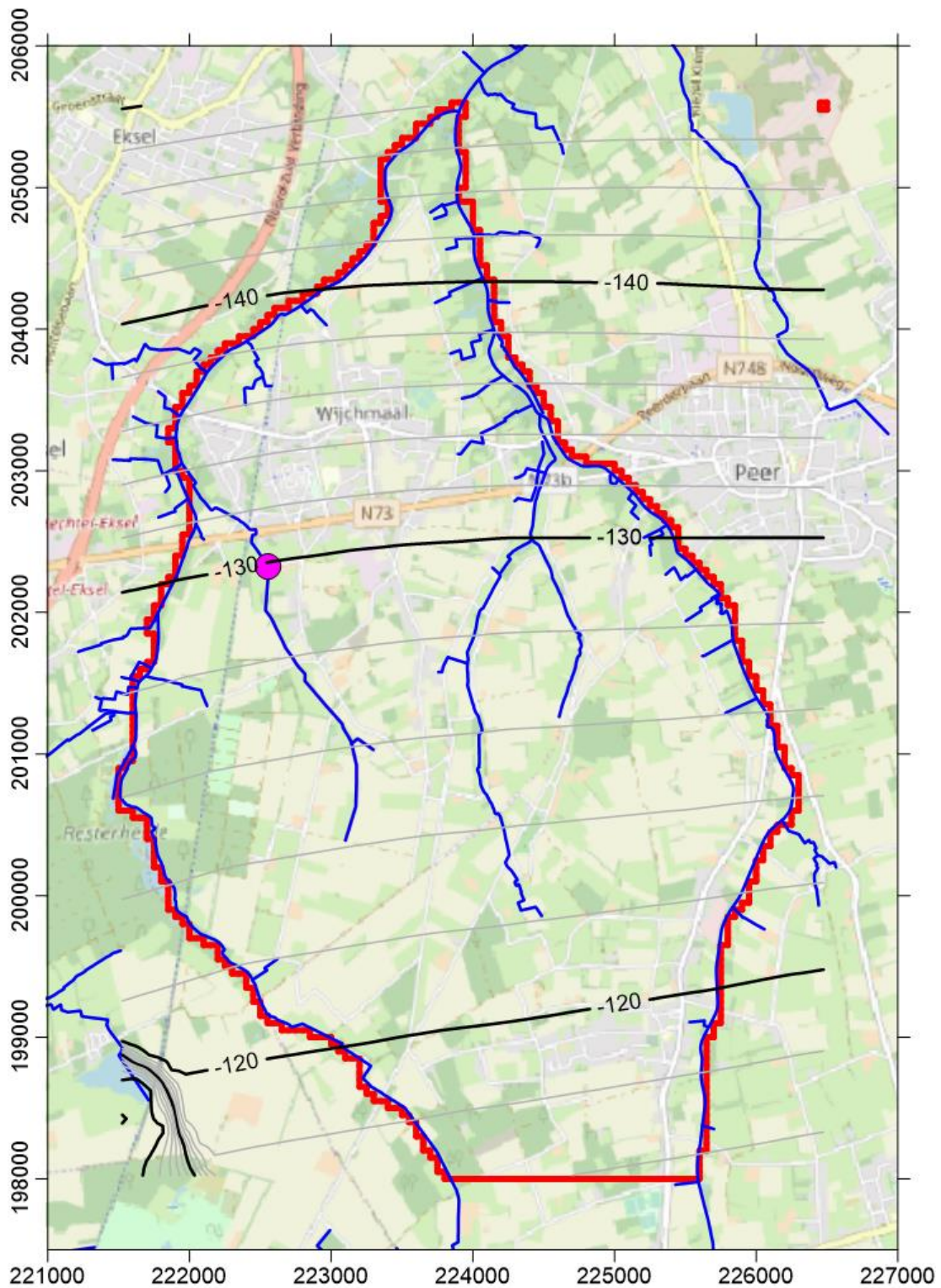
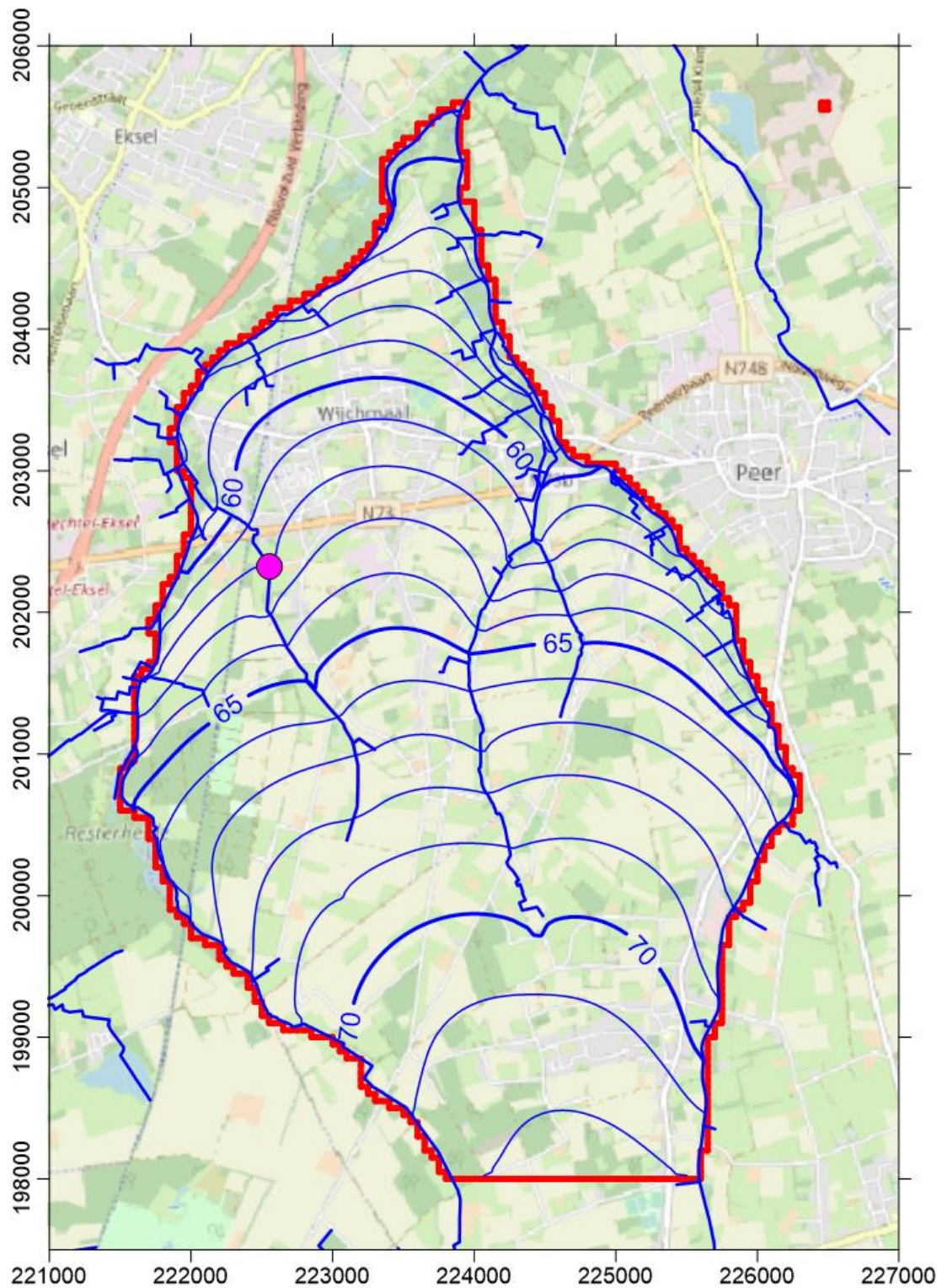
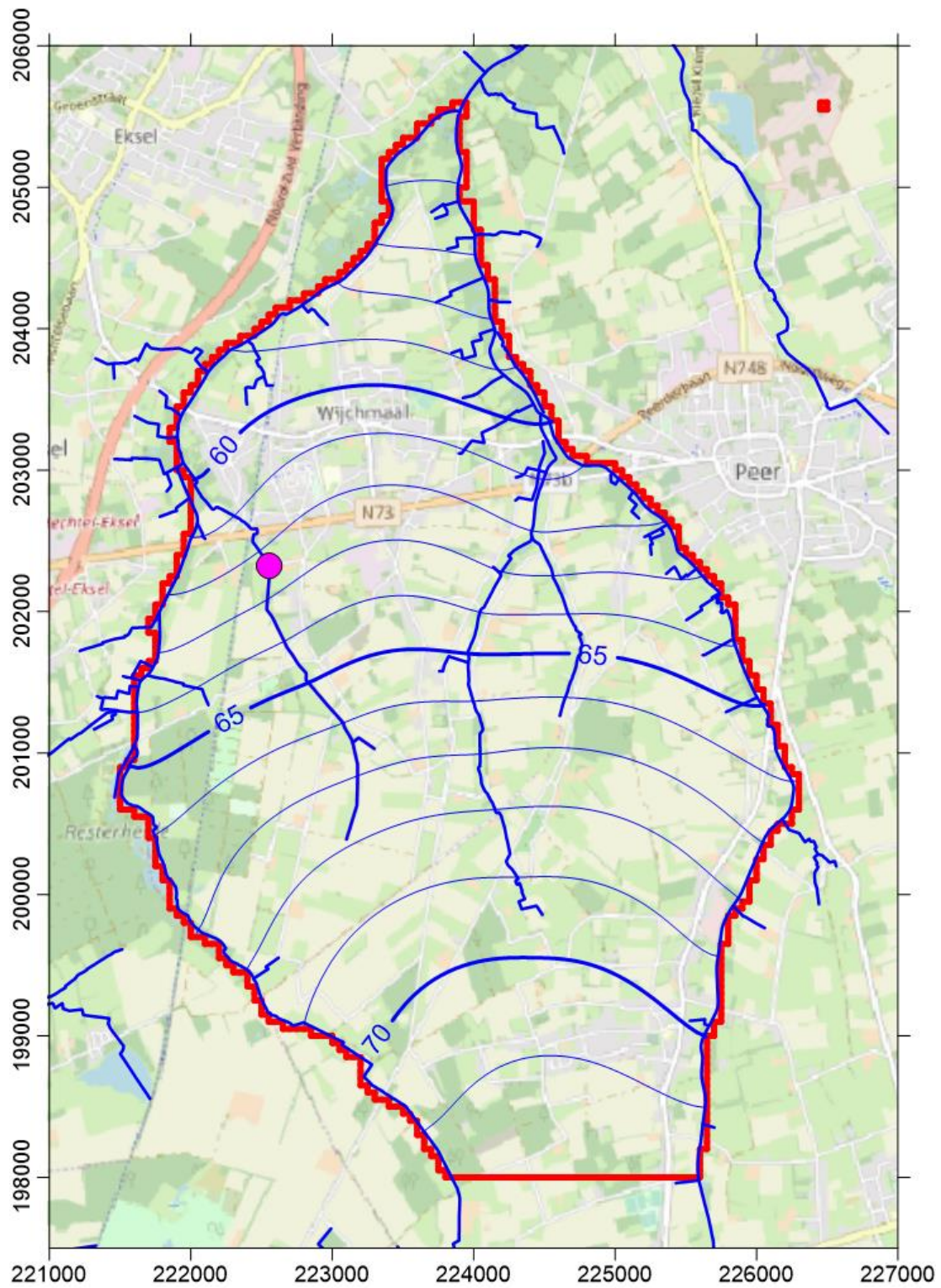


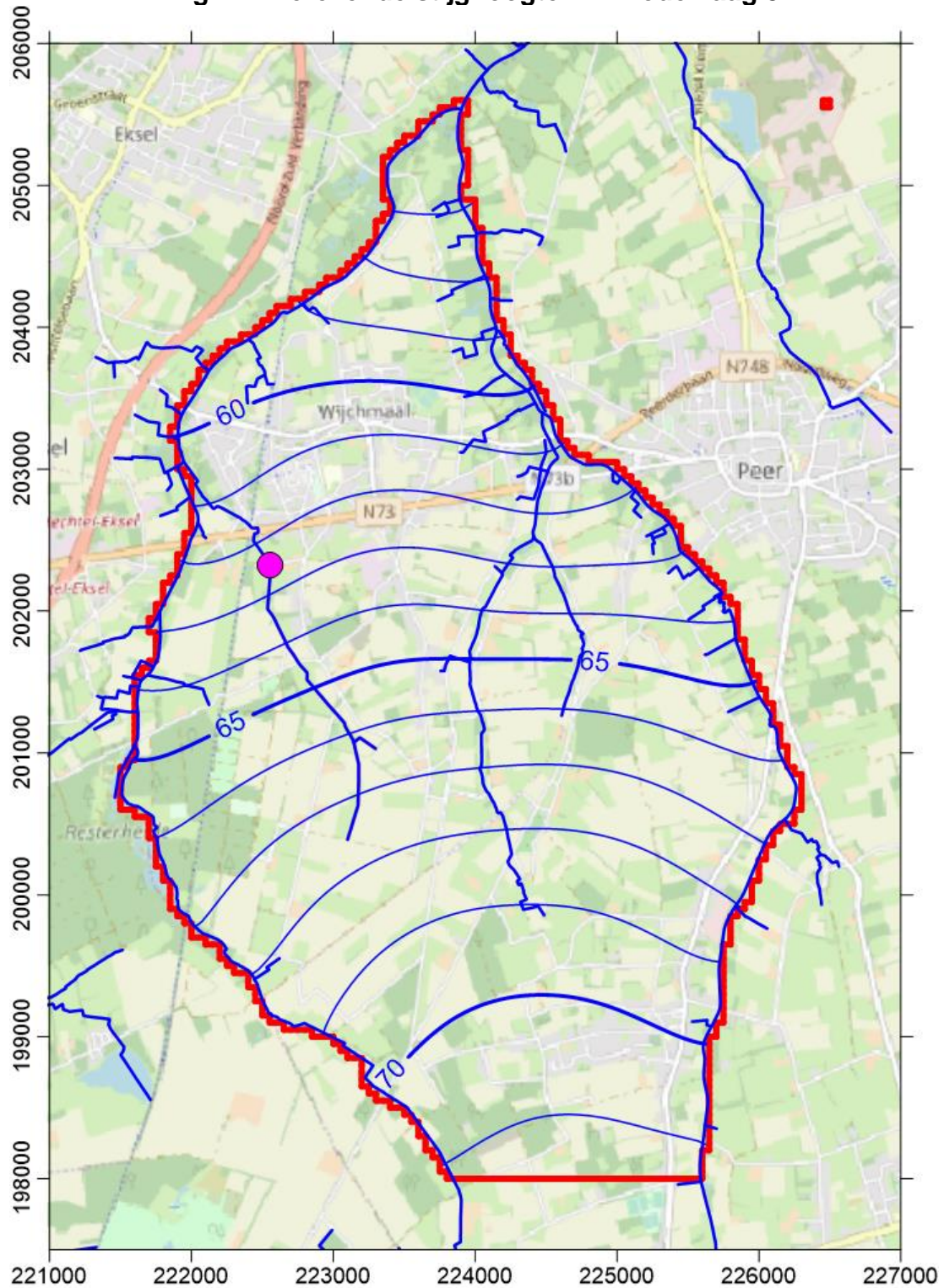
Fig 4.5 Berekende stijghoogten in model laag 1



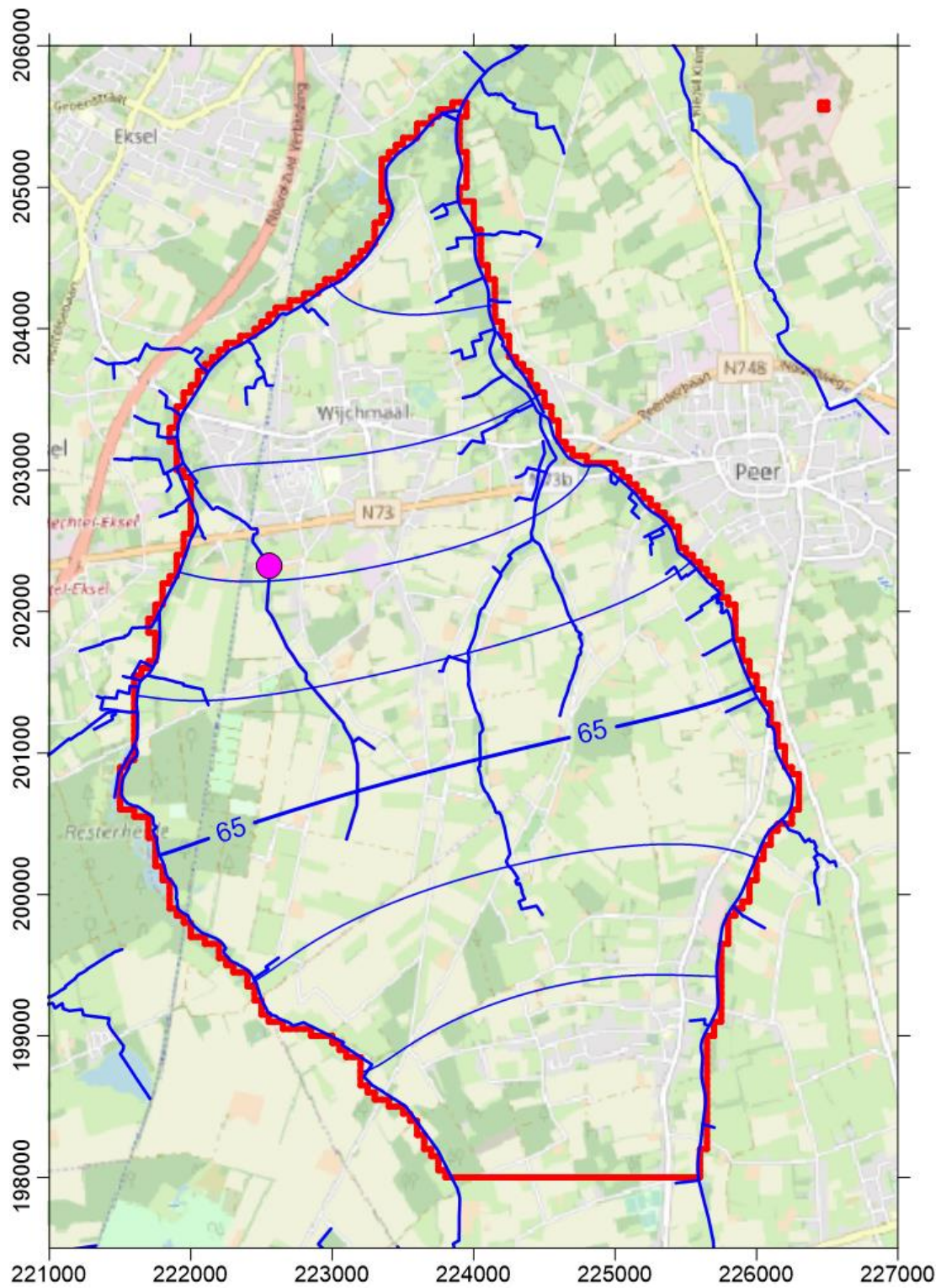
**Fig 4.6 Berekende stijghoogten in model laag 2**



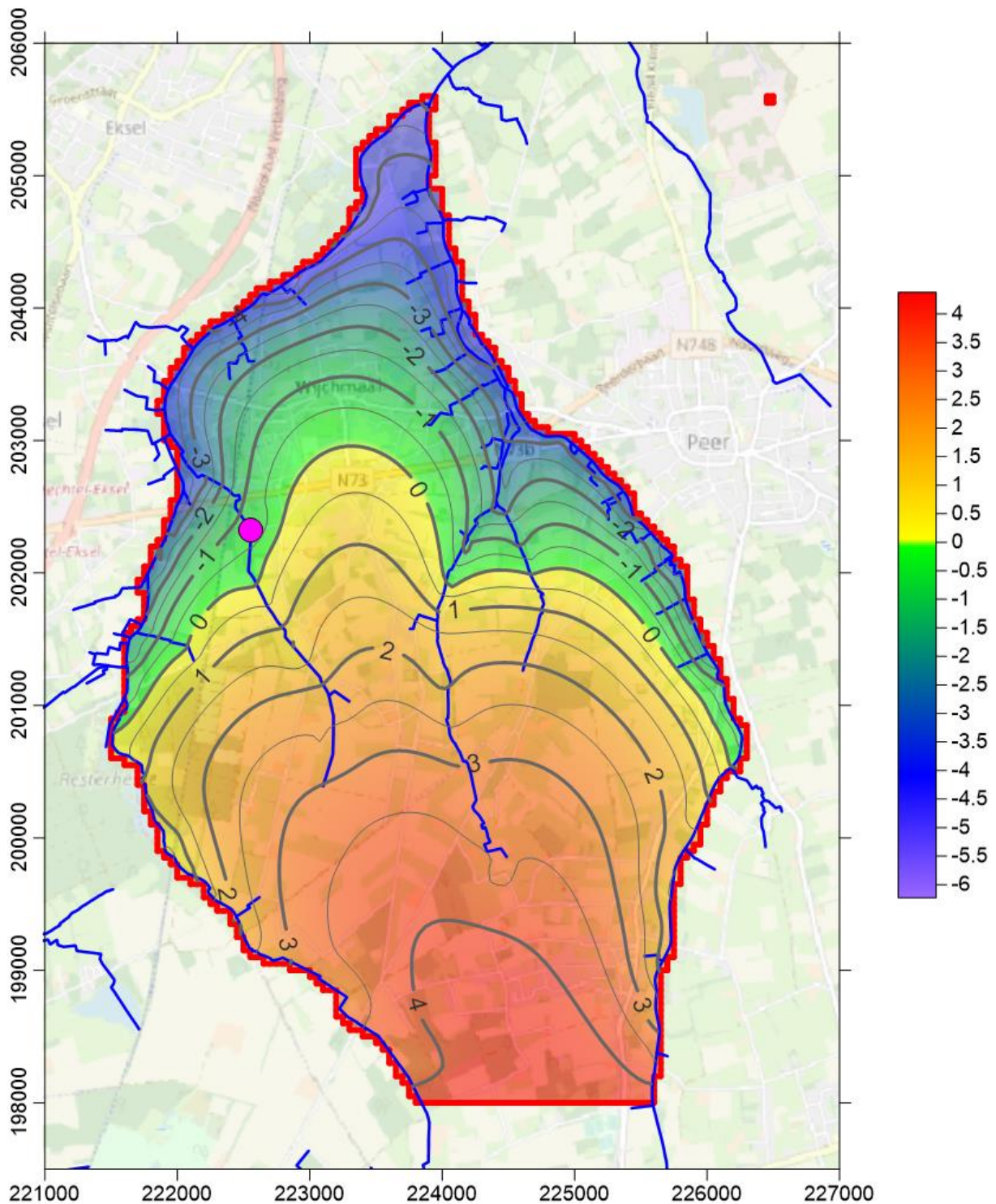
**Fig 4.7 Berekende stijghoogten in model laag 3**



**Fig 4.8 Berekende stijghoogten in model laag 4**



**Fig 4.9 Stijghoogteverschil tussen de watertafel en de Formatie van Diest**



**Fig 4.10 Stroomlijnen gegenereerd met het MODPATH programma**

De kaart geeft een bovenzicht. De stroomlijnen lopen in realiteit driedimensionaal: de diepte varieert langsheen hun tracé. De grijze stroomlijnen lopen enkel door de oxidatiezone. De zwarte stroomlijnen komen in de Hoevevijerloop uit stroomopwaarts van het MAP meetpunt.

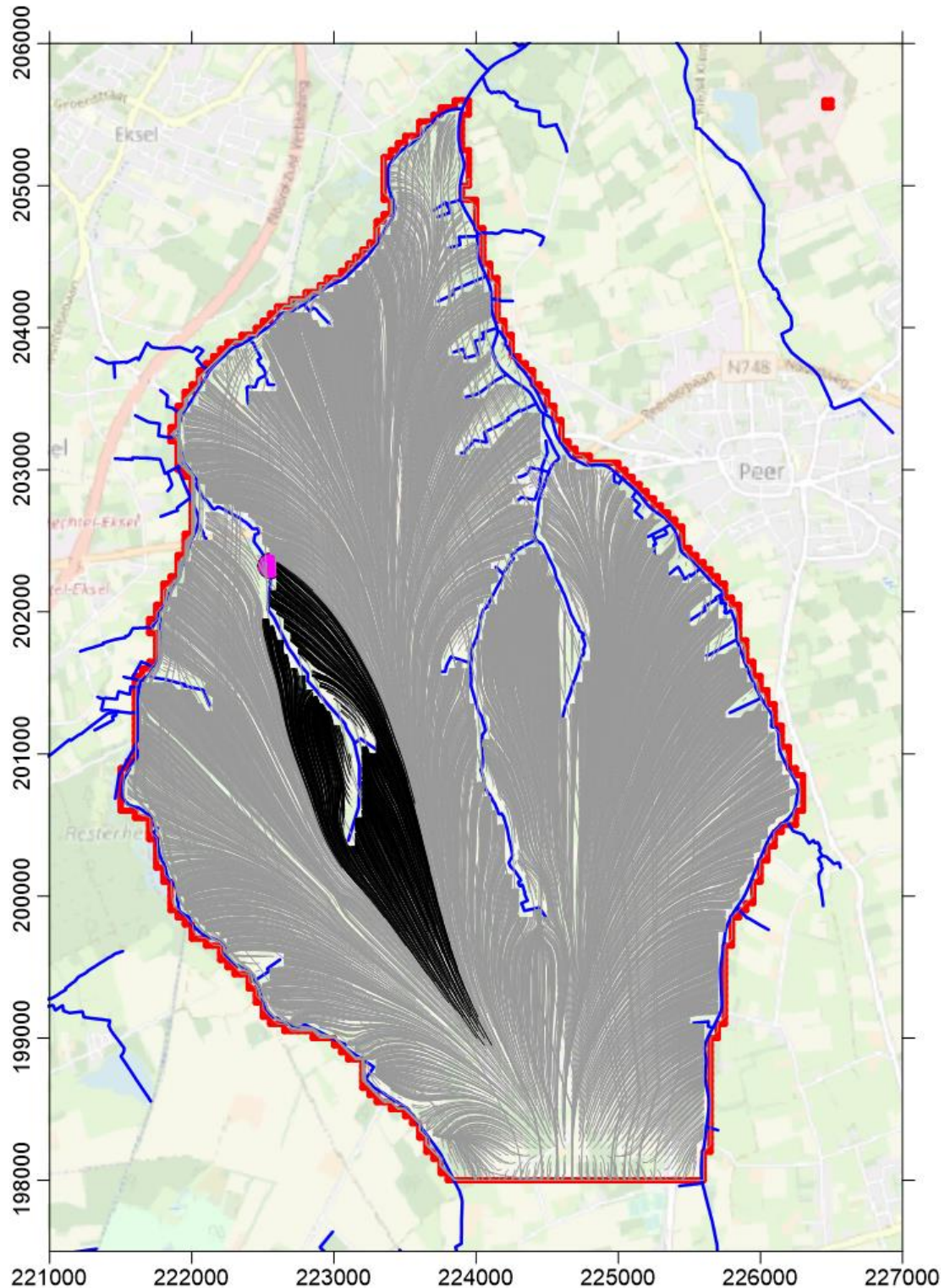
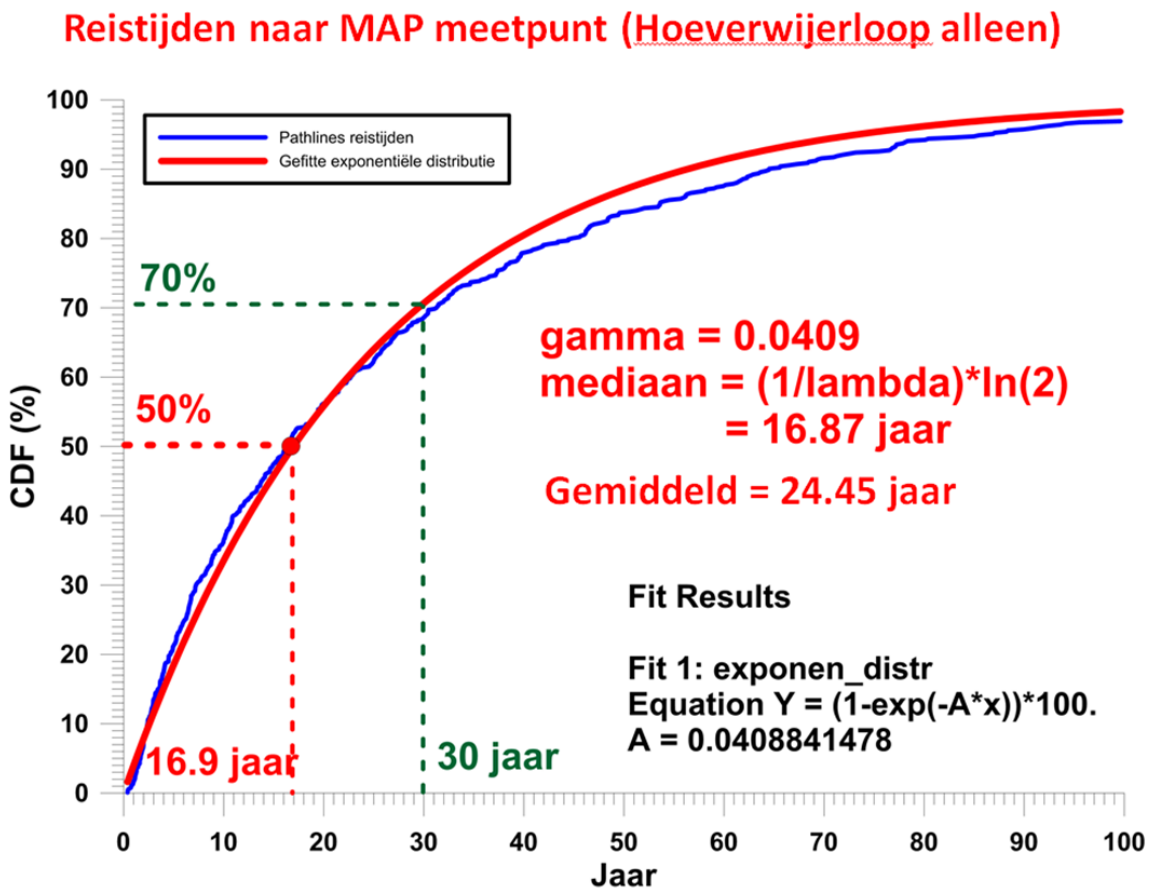




Fig 4.11 CDF van de reistijden van het grondwater naar het MAP meetpunt via de oxidatiezone



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

### 5.2 Werkwijze

#### 5.2.1 Studiegebied

Het stroomgebied in Peer werd afgebakend op basis van de resultaten van het grondwatermodel (Fig 5.1). Het afgebakende gebied is ongeveer 1032 ha groot. Het stroomgebied werd ingedeeld in een grid bestaande uit 4127 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 Peer 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 stroomgebied Peer bestaat voor 44% uit akkerland en 29% weiland (**Fig 5.3**). Daarnaast wordt 19% wordt ingenomen door bos, 4% door tuinen en parken en 4% door infrastructuur. Minder dan 1% werd toegewezen aan braakliggende gronden en wateroppervlakken.

**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 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

### 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 Peer is in grote mate bepaald door de bodembedekking (fig 5.3 en fig 5.4): op akkerland ligt dit meestal tussen 1 en 3%, op weiland tussen 2 en 4% en onder bos tussen 3 en 5% en hoger (op enkele venige bosbodems tot 15%). Voor tuinen en parken was het eerder variabel.

### 5.2.3.4 Bodemtextuur

Ook de bodemtextuur werd volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. De bodemtextuur van het stroomgebied Peer bestaat voornamelijk uit zand en lemig zand (fig 5.5). Daarnaast komen antropogene en veenbodems 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. Aan veenbodems werden de eigenschappen van kleibodems toegewezen omwille van het grote watervasthoudend vermogen. Voor alle bodems werd de pH-H<sub>2</sub>O 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<sup>-3</sup> 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 <sub>2</sub> O	bulkdensiteit (kg/m <sup>3</sup> )		
	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: Bodemvochtparamters 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 1997-2017 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 1997-2017 tonen aan dat de voedergewassen gras en maïs samen ongeveer 88% van het landbouwareaal in Peer innemen (fig 5.6) De belangrijkste akkerbouwgewassen zijn de granen, samen goed voor 6% van het areaal. Alle door het model gekende teelten in het stroomgebied werden gesimuleerd, waarbij sommige teelten vervangen werden door vergelijkbare teelten (bv. pompoen door courgette, kruiden door peterselie, rogge en triticale door wintertarwe, schorseneer door wortel, andere granen en zomertarwe

door zomergerst). Voor de teelten boomkweek, hennep, kleinfruit en sierplanten konden geen modelparameters bepaald worden. Voor deze teelten 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. Er werd daarom elk jaar willekeurig een teelt toegekend die in de periode nadien (1997-2017) 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 1991-1996 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 1965-1996 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 Peer 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 Peer werden cijfers voor de Kempen 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 Kempen (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 stroomgebied Peer komen voornamelijk runderen voor, maar ook varkens en paarden (fig 5.7). Merk op dat niet aan alle cellen een mestsoort kon worden toegewezen door interpolatie: vaak was dit op bospercelen, 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 Kempen (**Fig 5.8**).

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 5.8**).

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 5.9**).



### 5.2.3.8 Stikstofdepositie

Voor de N-depositie in Peer 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 Peer 40 kg N ha<sup>-1</sup> 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.

### 5.2.3.9 Weersgegevens

Specifiek voor Peer 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 Peer

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** zijn deze voor 2013, een jaar met een hoeveelheid aan percolerend water (194 mm) net onder het langjarig gemiddelde voor Peer (220 mm).

Voor 2013 bleek de percolatie afhankelijk van de teelt en nateelt in dat jaar: deze was het hoogst (300-400 mm) op braakliggende gronden, waar geen transpiratie werd gesimuleerd. Onder bos was de percolatie middelmatig (200-250 mm) en onder akkerland en weiland was die het laagst (150-250 mm). De hoeveelheid uitgespoelde nitraatstikstof in 2013 werd grotendeels bepaald door de teelt en nateelt in 2013, aangezien de uitspoeling op de zandbodems in beide winters (2012-2013 en 2013-2014) voornamelijk voor de jaarwisseling plaats greep. Het is niet vanzelfsprekend om op basis van de kaartjes een duidelijk beeld te krijgen van het uitspoelingspatroon, maar opvallend zijn o.a. de algemeen hogere uitspoeling op weiland en de (sterk) verminderde uitspoeling op percelen waar granen al dan niet gevolgd door vanggewassen werden geteeld. Onder bos, tuinen en parken 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 220 mm (Fig 5.11).

Indien de ondoorlatende oppervlakken niet in rekening worden gebracht is dit gemiddeld 229 mm per jaar. Dit gemiddelde ligt duidelijk onder het langjarig gemiddelde gesimuleerd door het model Wetspass (Batelaan et al., 2006) voor zand- en lemig zandbodems in Vlaanderen (Fig 5.12).

De gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie over het hele stroomgebied vertoont net als de waterpercolatie een erg grillig verloop, met waarden tussen 110 en 973 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> (Fig 5.13). Er is sprake van een opwaartse trend tot begin de jaren '80, gevolgd door een gestage afname vanaf 1990 tot een concentratie wordt bereikt die schommelt tussen ongeveer 100 en 200 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> in de meest recente jaren. Pieken in de nitraatconcentratie treden vooral op aan het einde van drogere periodes. Tijdens drogere jaren (bv. 1971-1972) spoelt slechts een beperkte hoeveelheid nitraat uit. Wanneer het terug iets natter wordt (bv. 1973) spoelen op zandbodems de tijdens de drogere periode geaccumuleerde hoeveelheden nitraat snel uit, waardoor de concentratie ook hoog ligt. In extreem natte jaren (bv. 1984) spoelen ook veel nitraten uit maar is de verdunning voldoende groot om de nitraatconcentratie laag te houden. 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 stroomgebied Peer 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 5.13). De nitraatconcentratie is sinds de volledige implementatie van de bemestingsnormen in 2007 duidelijk afgenomen maar nog steeds veel groter dan 50 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> 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 5.14): 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 1448 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> in 1996 en een minimum van 109 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> in 1975.

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 5.15). De nitraatconcentratie vertoont op weiland iets minder

uitgesproken pieken dan op akkerland. De maximale concentratie van  $1905 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  wordt bereikt in 1974, de minimale concentratie van  $96 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  in 2007.

Het gesimuleerde nitraatresidu wordt telkens voor 15 oktober weergegeven, zowel op akkerland (Fig 5.16) als op weiland (Fig 5.17). 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  $204$  en  $234 \text{ kg N ha}^{-1}$  over de volledige simulatieperiode. Bij implementatie van de bemestingsnormen in 2007-2017 is dat gemiddeld nog  $88$  en  $105 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Er werd in Peer een maximaal nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk  $544$  en  $584 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Op akkerland schommelen de laagste nitraatresiduen op 15 oktober tussen  $50$  en  $100 \text{ kg N ha}^{-1}$ , terwijl de overeenkomstige gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentraties tussen  $100$  en  $250 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$  liggen. Op weiland schommelen de laagste nitraatresiduen tussen  $50$  en  $150 \text{ kg N ha}^{-1}$  en liggen de overeenkomstige concentraties tussen  $100$  en  $400 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ . De hogere concentraties op weiland zijn te wijten aan minder verdunning door lagere hoeveelheden percolerend water (gemiddeld  $238 \text{ mm}$  op akkerland en  $166 \text{ mm}$  op weiland, cijfers niet grafisch weergegeven) als gevolg van de grotere transpiratie.

### 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. 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  $21 \text{ kg N ha}^{-1}$  en toont aan dat in Peer de gemeten nitraatresiduen door de simulatie algemeen enigszins overschat werden, hoewel enkele hoge meetwaarden duidelijk werden onderschat (Fig 5.18). Dergelijke hoge meetwaarden zijn vermoedelijk het gevolg van overbemesting, hetgeen vanaf 2007 niet meer gesimuleerd wordt. De trendanalyse van het nitraatresidu doorheen de tijd (Fig 5.19) bevestigt dat er voor heel wat jaren sprake is van grote overschattingen, hoewel er ook jaren zijn waarvoor het gemeten en gesimuleerde gemiddelde nitraatresidu dicht bij elkaar liggen. Aangezien voor een

groot stroomgebied als Peer voldoende nitraatresidumetingen beschikbaar zijn, werd ook voor de meest voorkomende teelten een validatie uitgevoerd. Daaruit bleek dat met name op tijdelijk grasland en weiland het nitraatresidu systematisch overschat werd door de simulatie (**Fig 5.20**). Aangezien Peer als 2<sup>e</sup> stroomgebied gesimuleerd werd (na de Luikbeek), werd voor de resterende stroomgebieden de opname van grasland in het model iets verhoogd om deze overschatting van het nitraatresidu tegen te gaan. De gefitte lineaire trend is eerder licht dalend voor de gesimuleerde en licht stijgend voor de gemeten nitraatresiduen.

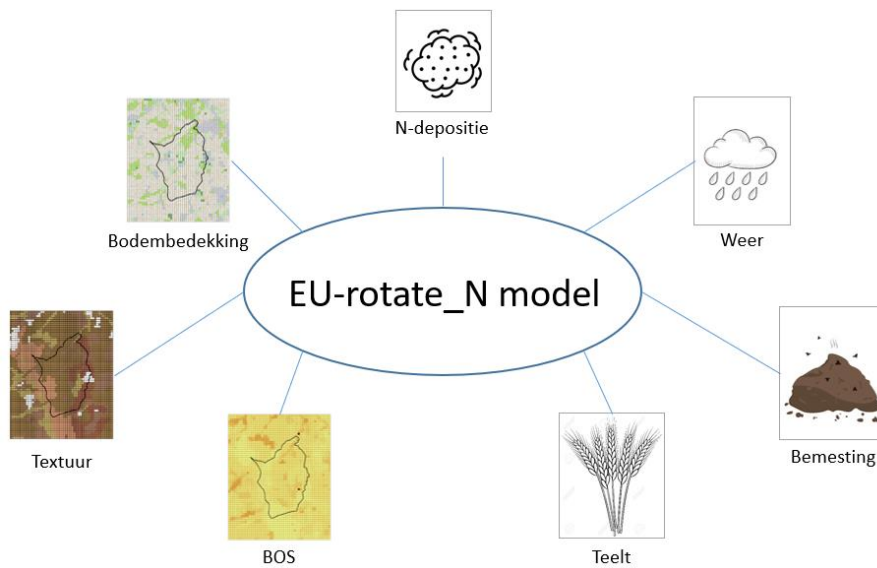
#### 5.4 Besluit

Het stroomgebied Peer bestaat grotendeels uit zand- en lemig zandbodems en wordt voornamelijk gekarakteriseerd door landbouw (overwegend grasland en maïs) en bos. De historische bemestingsdruk is er eerder hoog t.o.v. de andere stroomgebieden, maar door het relatief grote aandeel bos is er een zekere verdunning van de nitraten die uitspoelen op akkerland en weiland. Een validatie op basis van gemeten nitraatresiduen toont aan dat het gesimuleerde nitraatresidu op grasland werd overschat. De gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm bedraagt 366 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> voor de periode 1968-2017. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van 182 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> gesimuleerd.

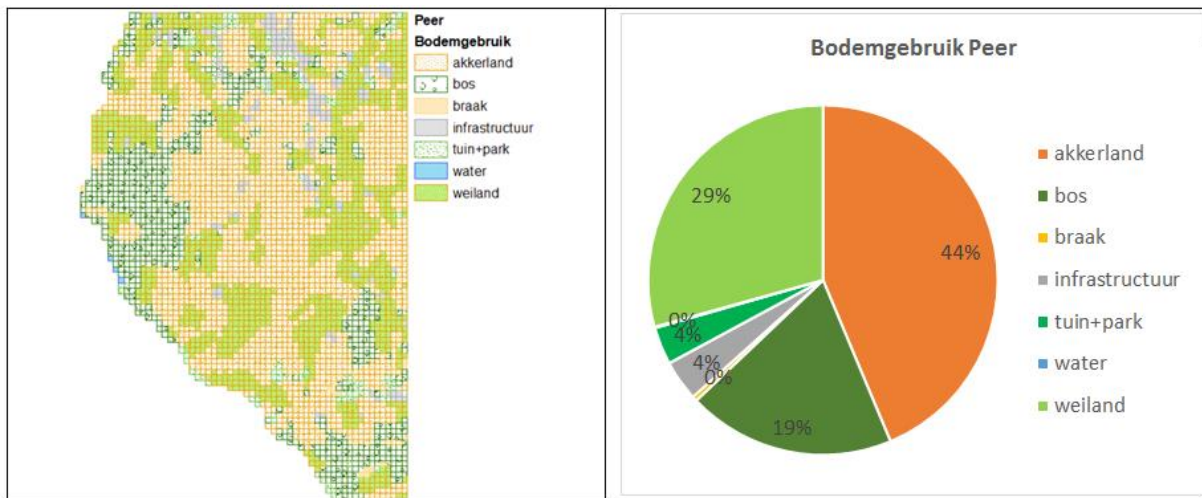
Fig 5.1 Stroomgebied Peer



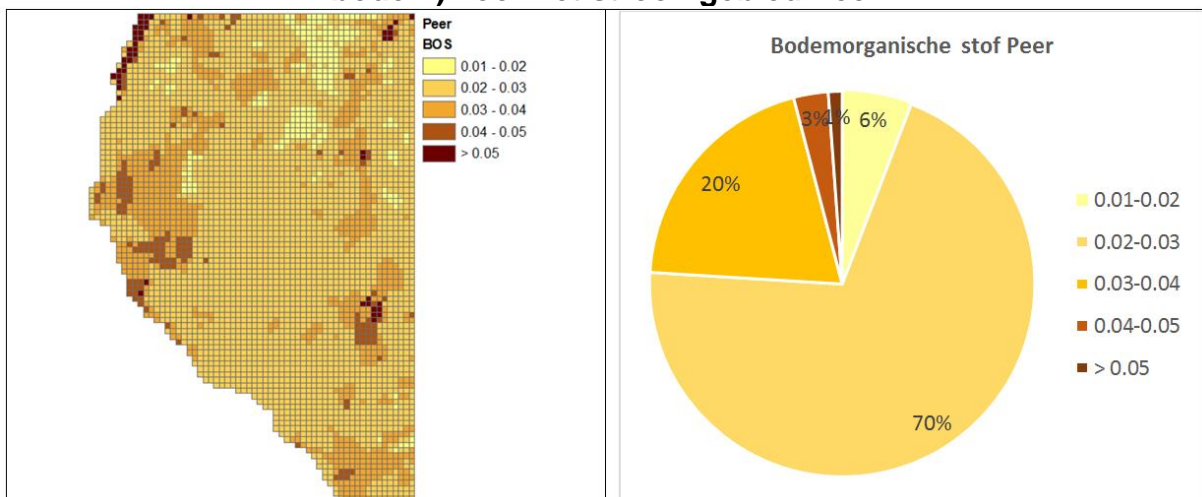
Fig 5.2 Overzicht van de modelinvoer



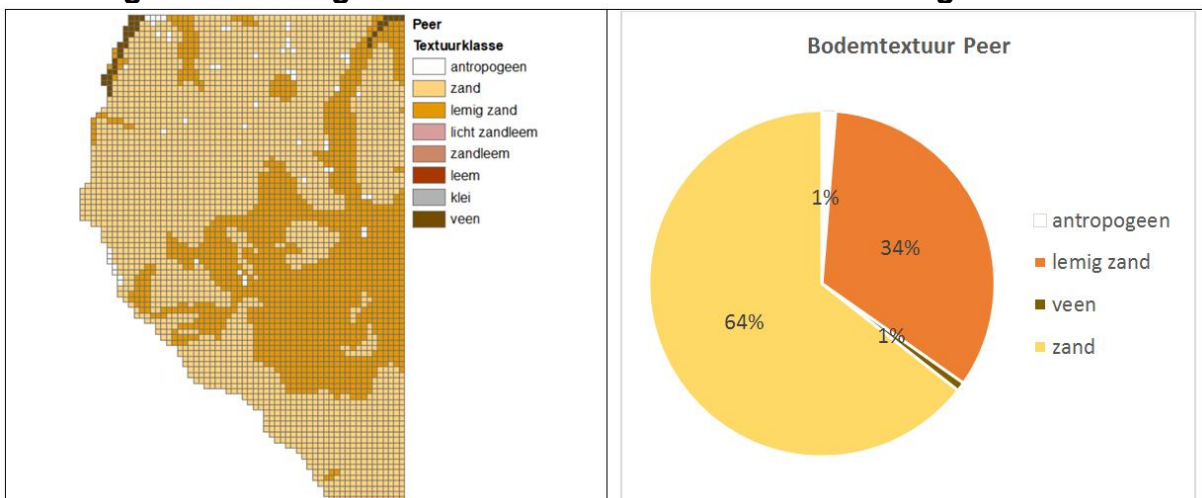
**Fig 5.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied Peer**



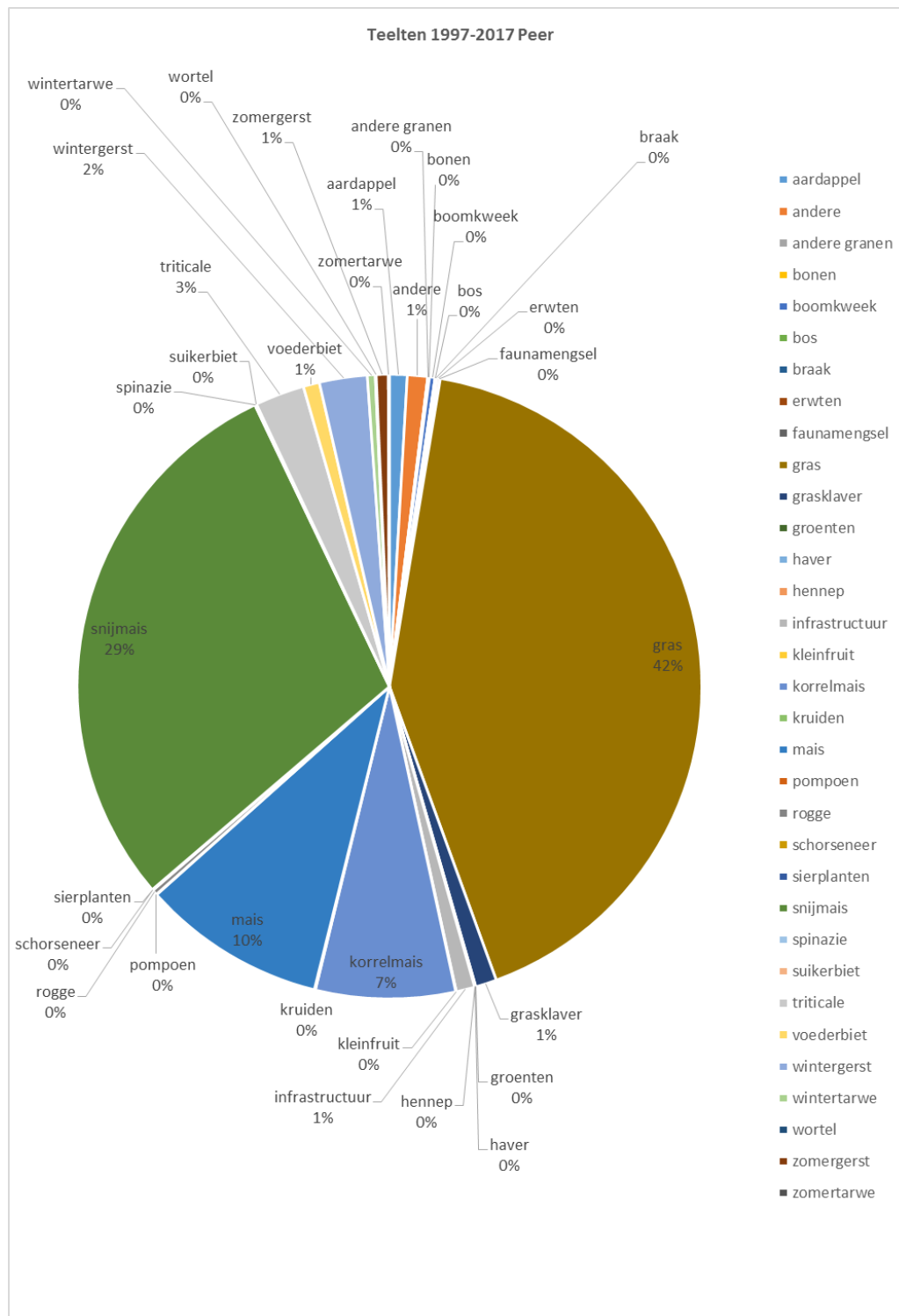
**Fig 5.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g<sup>-1</sup> droge bodem) voor het stroomgebied Peer**



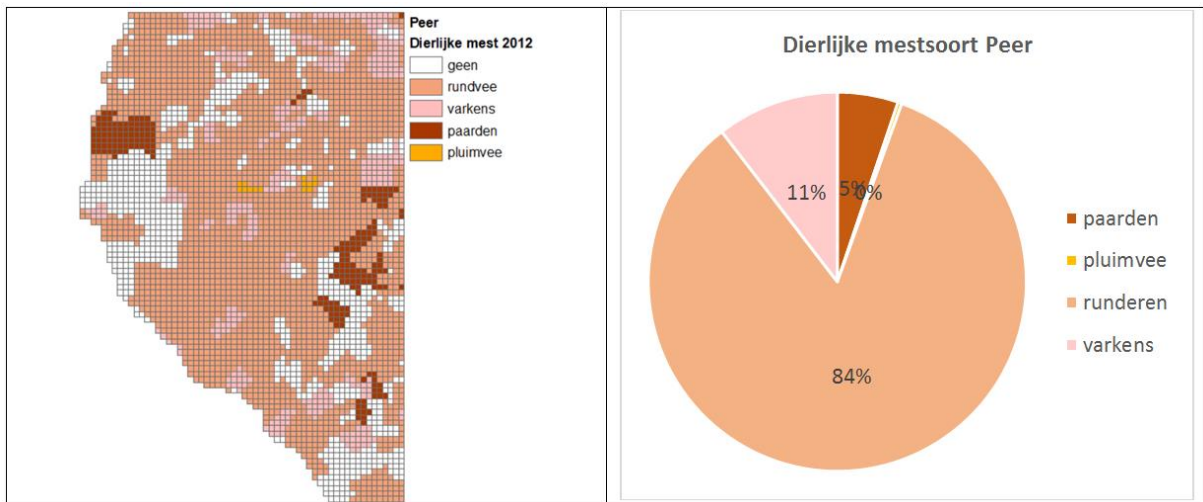
**Fig 5.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Peer**



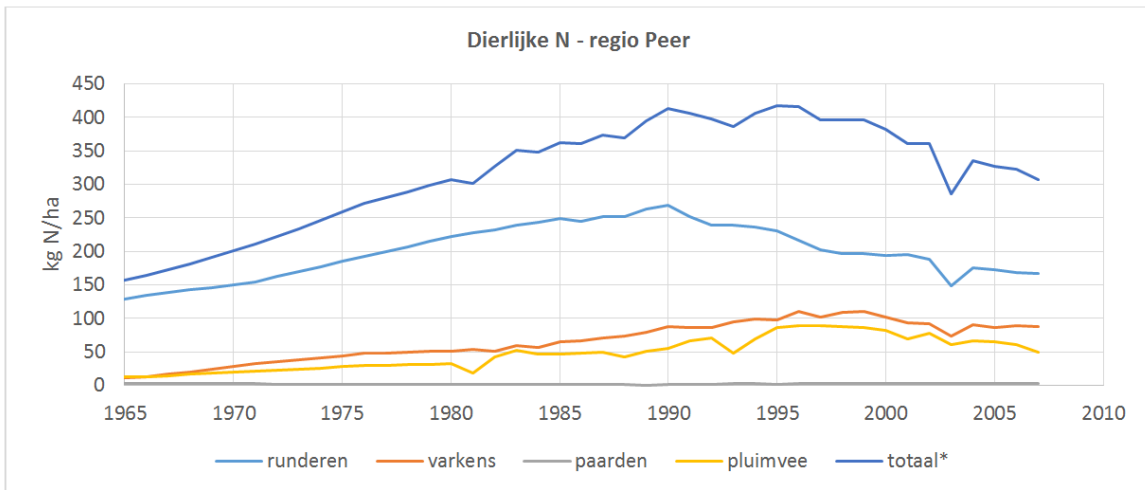
**Fig 5.1 Verdeling van de teelten voor de periode 1997-2017 in het stroomgebied Peer**



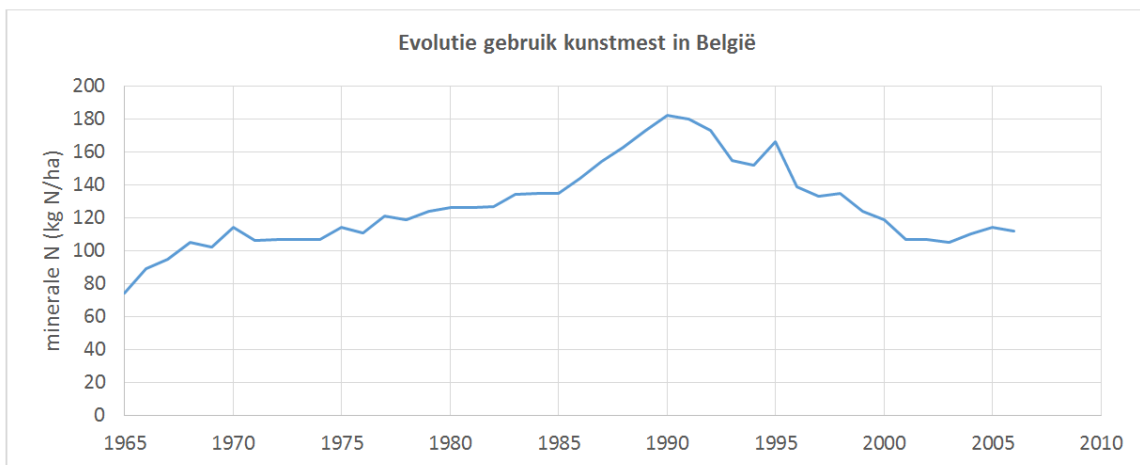
**Fig 5.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Peer**



**Fig 5.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in de regio Peer**

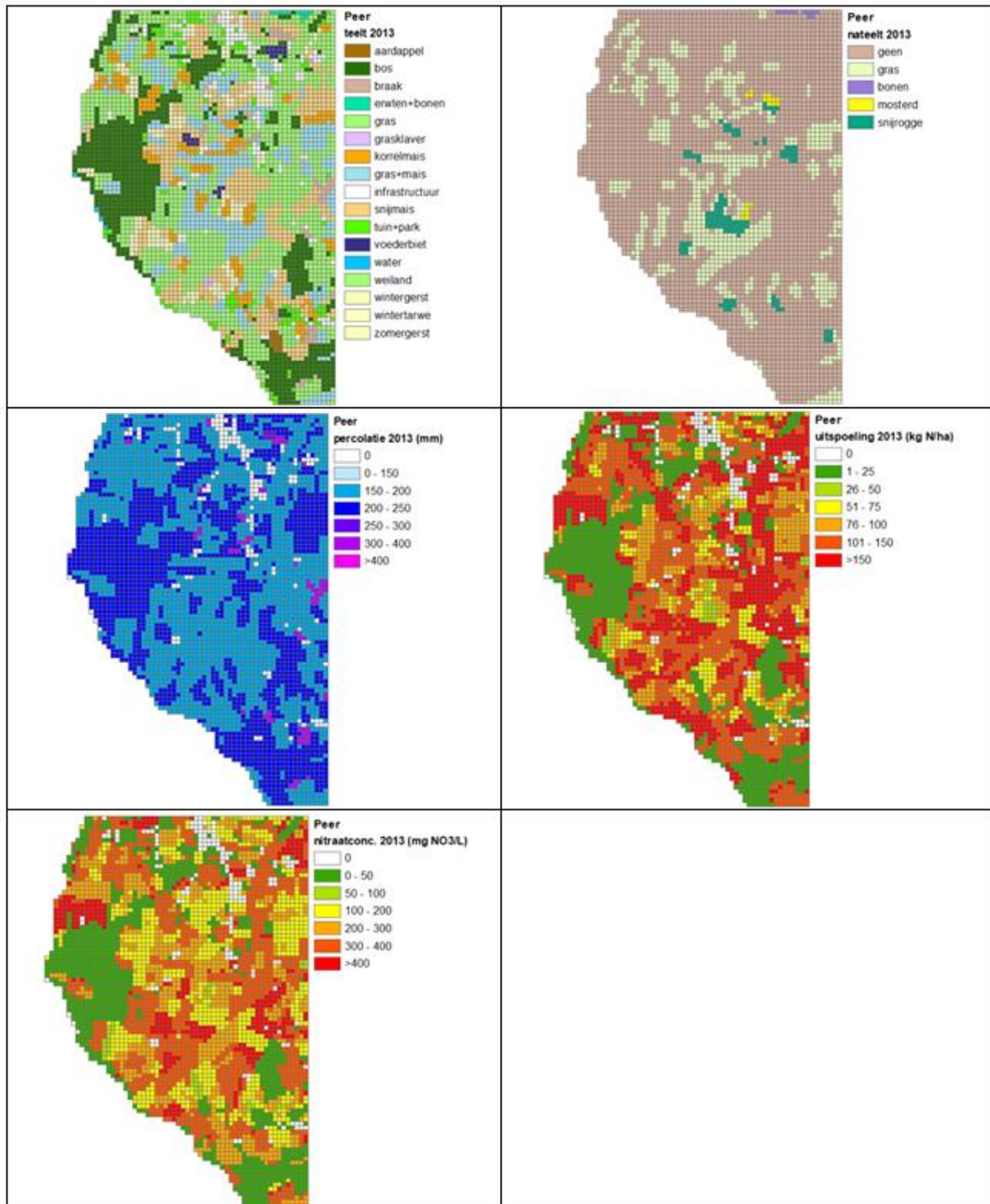


**Fig 5.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond België**

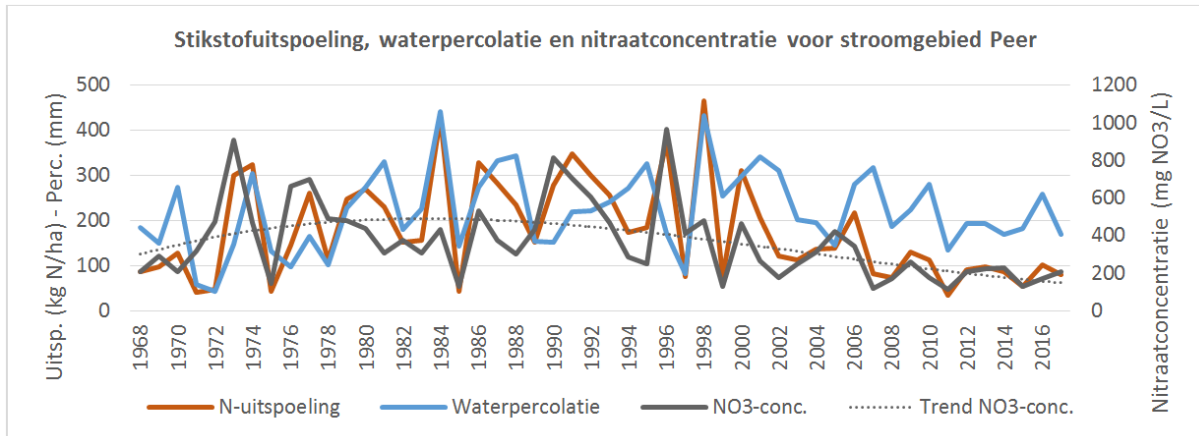




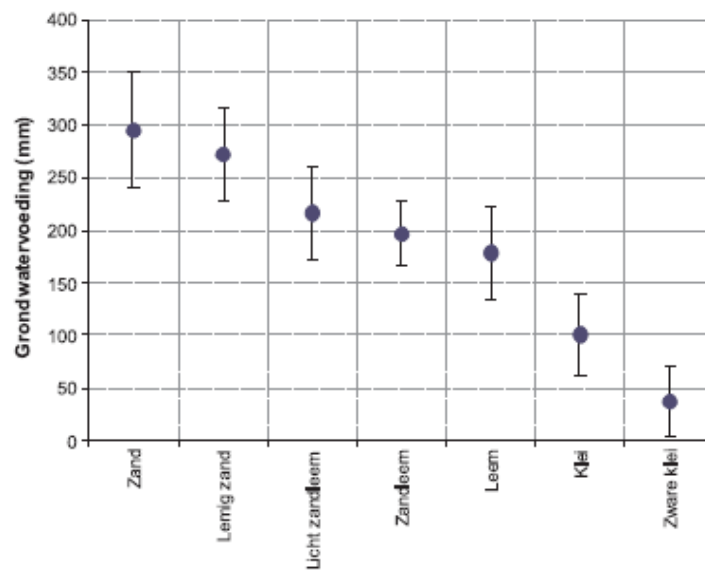
**Fig 5.10 Gesimuleerde teelt en nateelt en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze**



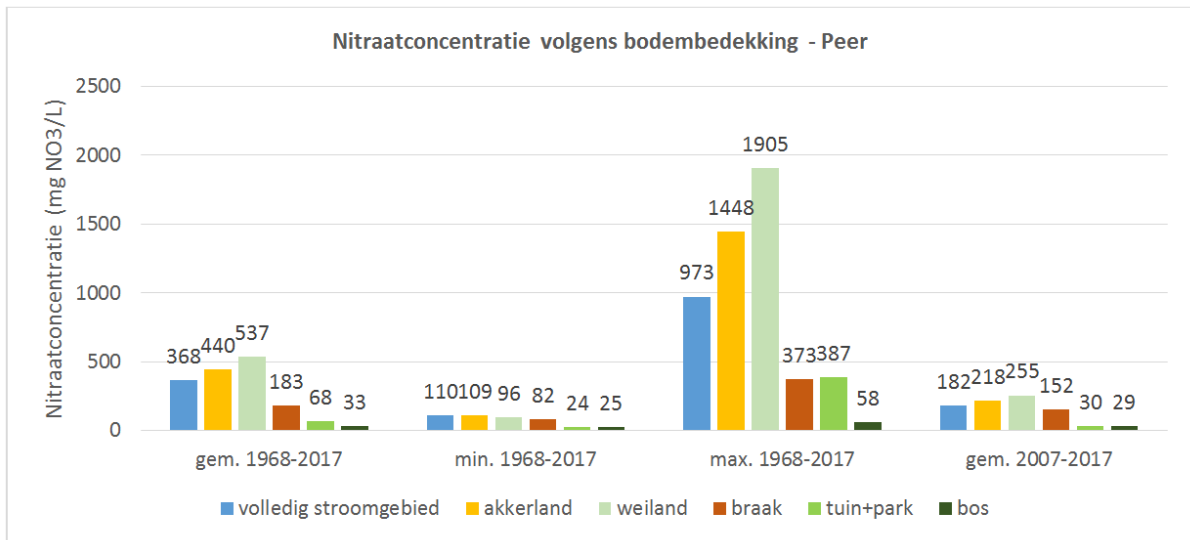
**Fig 5.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied**



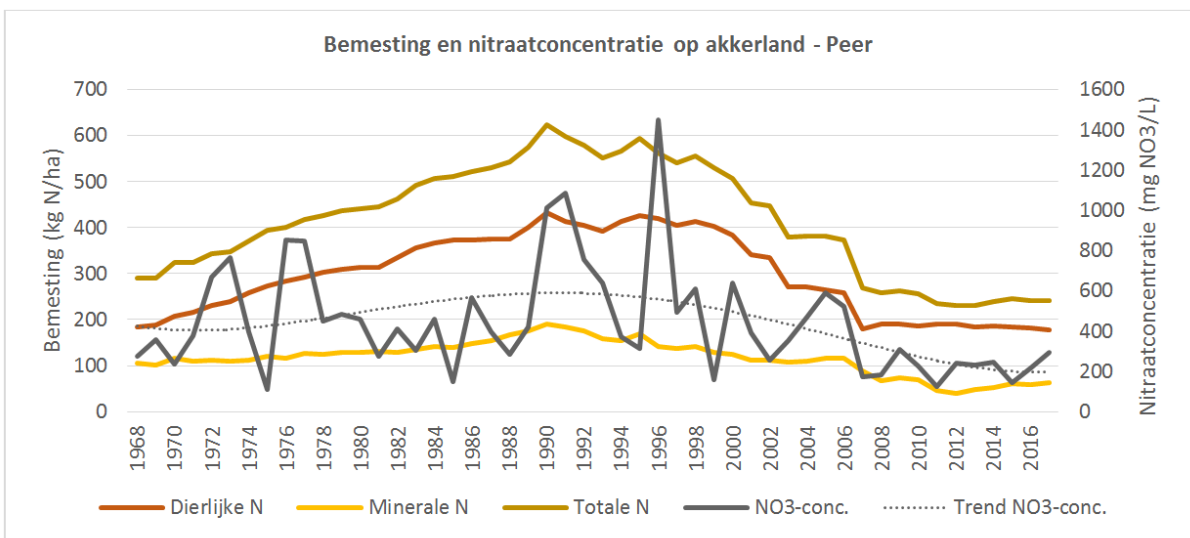
**Fig 5.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer**



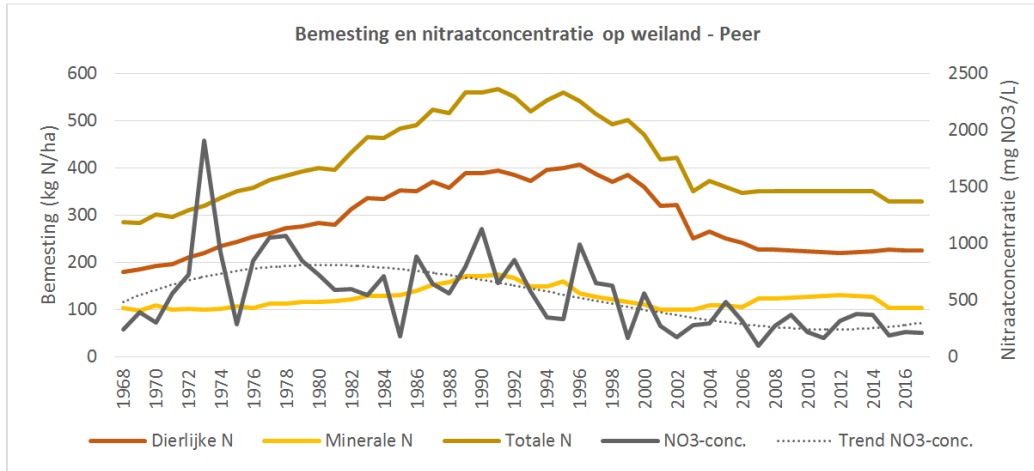
**Fig 5.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven**



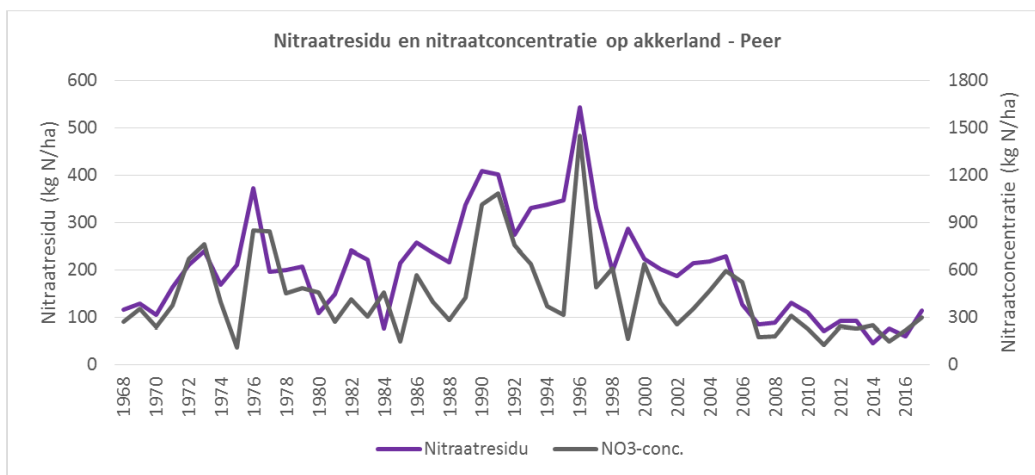
**Fig 5.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland**



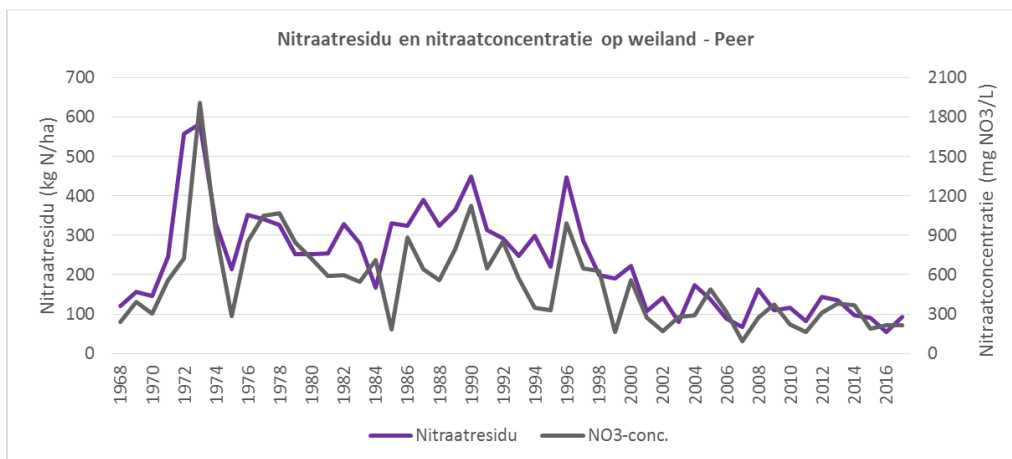
**Fig 5.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland**



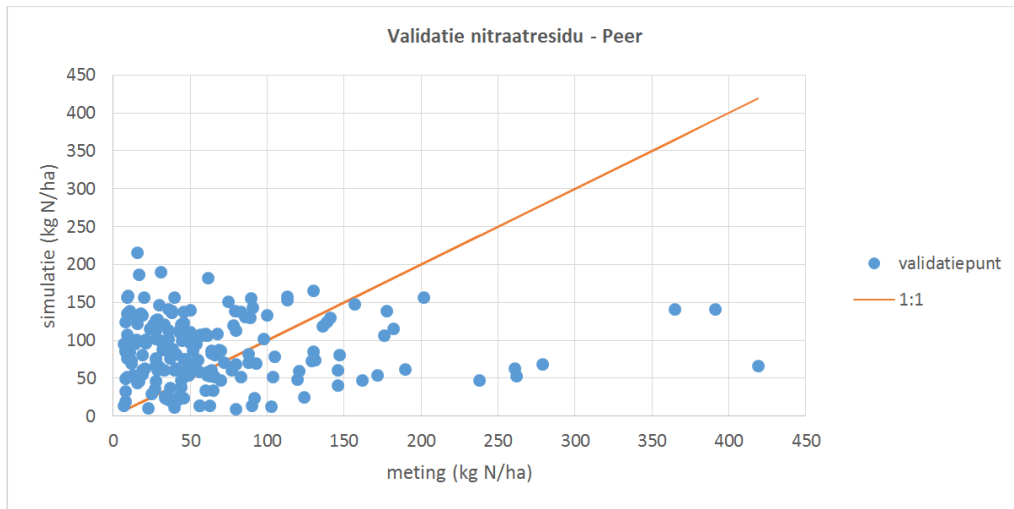
**Fig 5.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland**



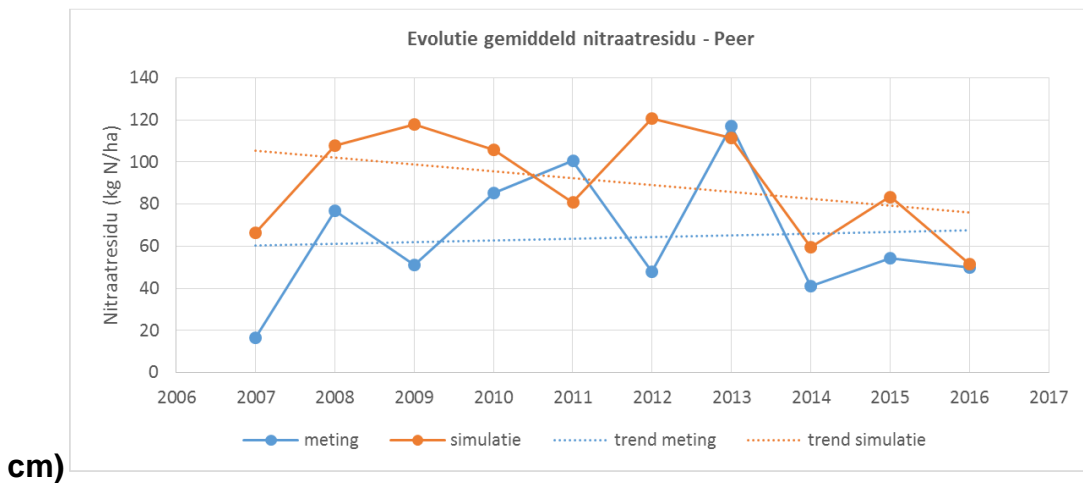
**Fig 5.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland**



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

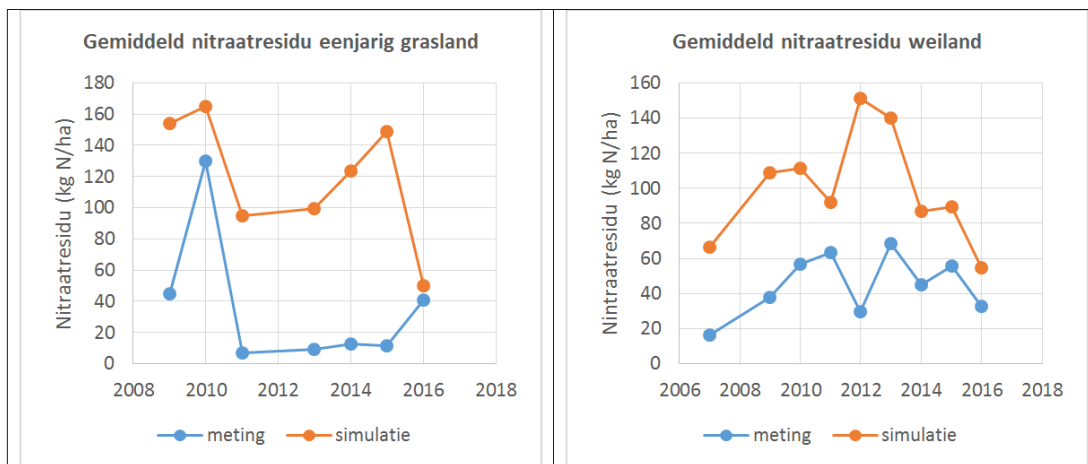


**Fig 5.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)**



cm)

**Fig 5.20 Verloop van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm) op eenjarig grasland en op weiland**



## 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

Voor de site Peer werd een MODFLOW/MODPATH grondwaterstromingsmodel opgesteld en konden de reistijden afgeleid worden uit de berekende stroomlijnen (zie hoofdstuk 4). De mediaan grondwater ouderdom werd conform deze berekeningen op 16.87 jaar genomen. Dat komt overeen met een gemiddelde ouderdom van bijna 25 jaar.

#### Fractionerings coëfficiënten

Door modelcalibratie werd bepaald dat 27.5% van het grondwater dat naar de beek stroomt door de oxidatiezone passeert. Het overige deel moet uit nitraatvrij gereduceerd water bestaan. Een deel daarvan zal dieper kwelwater vanuit de Formatie van Diest bestaan. Dergelijk dieper grondwater werd aangetroffen in de stroomafwaartse peilbuizen, b.v. die naast het MAP meetpunt. Misschien kan ook een deel van het nitraathoudend grondwater nog in de riparische zone lokaal gereduceerd worden.

#### Maandelijksse tijdwegingsfactoren

De maandelijksse wegingsfactoren voor baseflow werden afgeleid uit stromingsdebietgegevens van de Dommel (fig 6.3). De data waren opgevraagd via het waterinfo portaal. Er wordt dan aangenomen dat het stromingsregime van de Hoewewijerloop hetzelfde verloop heeft als dat van het gehaal stroombekken. Het baseflow debiet werd afgeleid uit de opgemeten debieten na een droge periode. Door visuele matching werd een representatief winter- en zomer baseflow debiet ingeschat. Deze zijn met de gekleurde lijnen op de grafiek aangegeven. De winter

baseflow (0.17 m<sup>3</sup>/sec) blijkt ongeveer het dubbel te zijn van de waarde in de zomer (0.08 m<sup>3</sup>/sec). De maandelijkse wegingsfactoren veranderen geleidelijk tussen de winter- en zomerwaarde (tabel 6.1).

Uit de analyse van de MAP meetreeks bleek een seizoenaliteit met lagere concentraties in de winterperiode. De lagere gehalten in de winter werd hier toegeschreven aan een verdunning door het effect van oppervlakkige afvoer. Deze werd door modelcalibratie ingeschat op 25% van de regenval in de winterperiode, teruglopend tot nog 2% in de zomermaanden.

De maandelijkse coëfficiënten voor de grondwateraanvulling staan ook vermeld in tabel 6.1. Deze komen overeen met een gemiddeld seizoenaal patroon berekend met een bodemwaterbalansmodel.

**Tabel 6.1 Maandelijkse wegingsfactoren in het model van de testsite Peer**

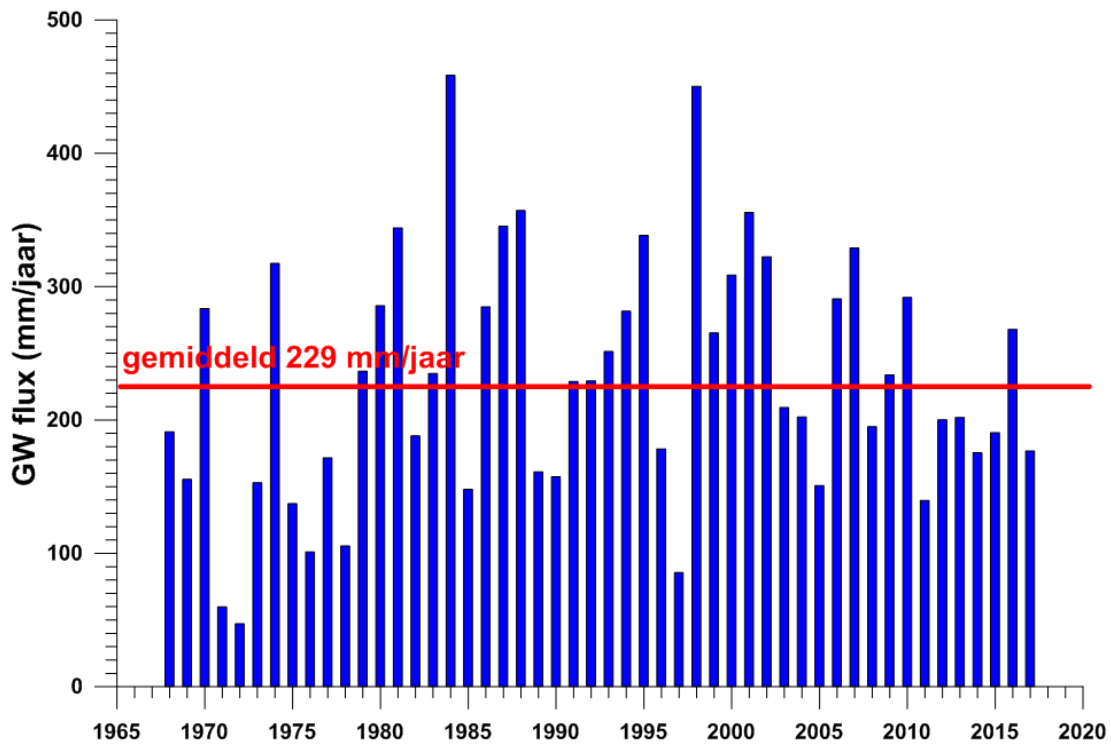
maand	Wegingsfactoren Aanvulling (%)	Wegingsfactoren baseflow	Fractie(%) runoff
Jan	25	1.80	25
Feb	11	2.00	25
Mar	12	2.00	10
Apr	10	1.80	10
Mei	5	1.60	5
Jun	0	1.40	3
Jul	0	1.20	2
Aug	0	1.00	2
Sep	2	1.00	2
Oct	9	1.20	5
Nov	18	1.40	15
Dec	21	1.60	20

## 6.2 Modelresultaten

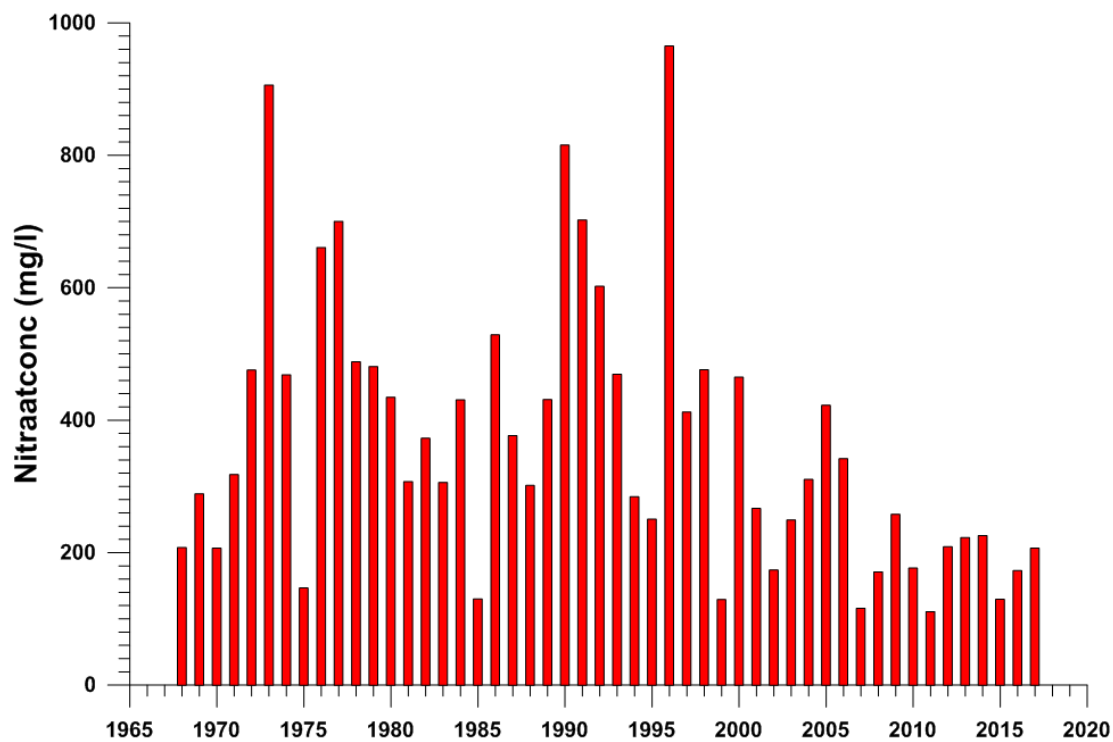
De resultaten van het BFN model zijn voorgesteld op fig 6.4. De hoogste concentraties zouden in de periode 1995-2000 voorgekomen zijn. De nitraatgehalten moeten toen piekwaarden tot bijna 100 mg/l bereikt hebben. Maar zelfs in de jaren 1970 waren er al overschrijdingen van de 50 mg/l. Vanaf ongeveer 2000 is er een dalende trend in de piekwaarden. In regenrijke maanden worden lagere concentraties berekend.

Op fig 6.5 wordt enkel de periode weergegeven waarvoor metingen aan het MAP meetpunt beschikbaar zijn (vanaf 2003). De dalende trend in de jaarlijkse piekwaarden die optreedt vanaf 2007 wordt door het model gereproduceerd. Ook de waargenomen stijging in 2006 van de piekwaarde wordt gesimuleerd. De metingen met lagere concentraties worden dikwijls niet accuraat berekend, maar deze moeten sterk beïnvloed zijn door de regenval in de dagen voor de meting zelf. Die kunnen niet juist door het model worden geleverd a.h.v. maandelijkse stappen.

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



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





**Fig 6.3** Debietsgegevens van de Dommel gebruikt voor het afleiden van de maandelijkse wegingsfactoren van baseflow

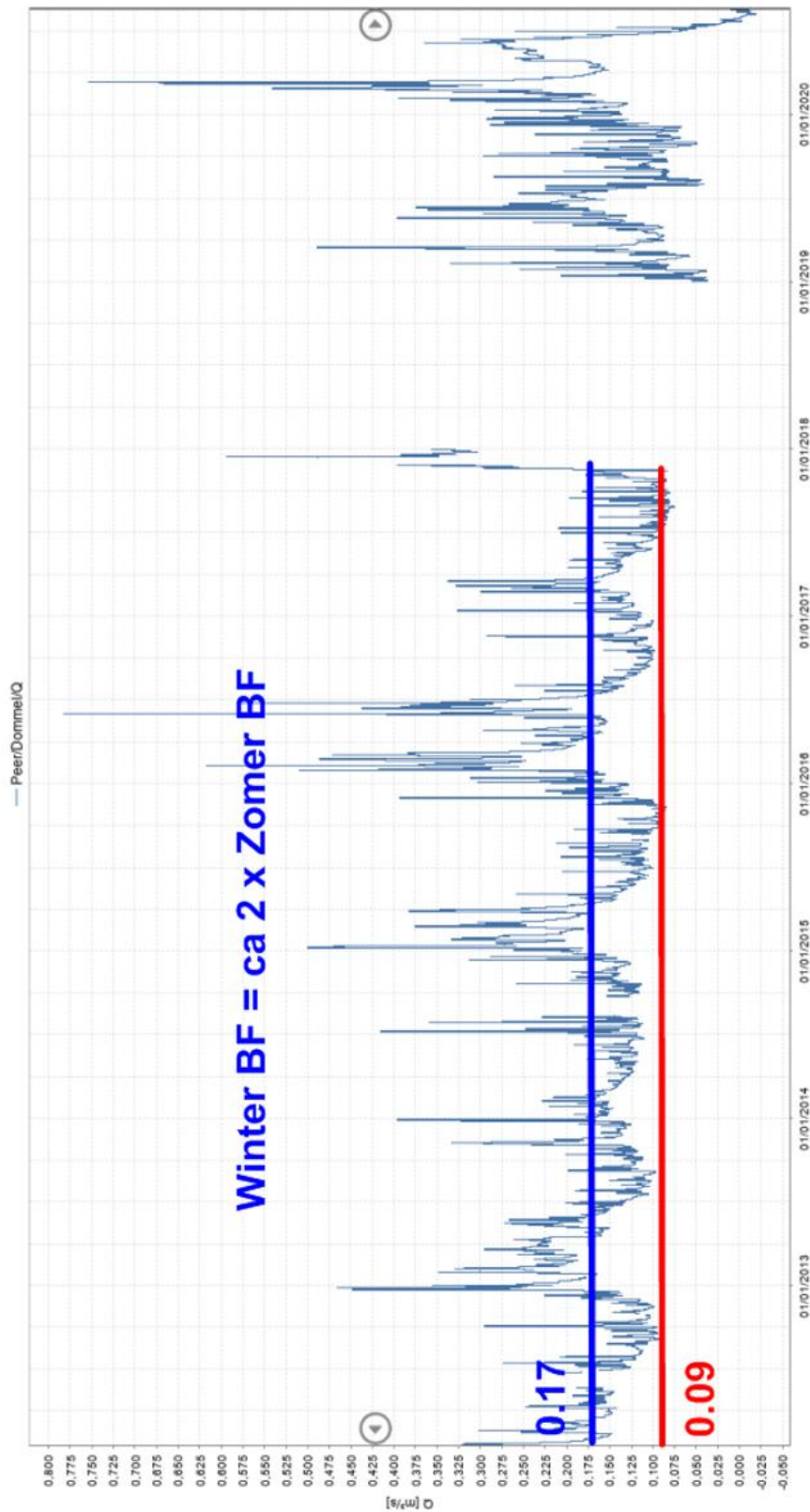


Fig 6.4 Resultaten van het BFN model van de testsite Peer

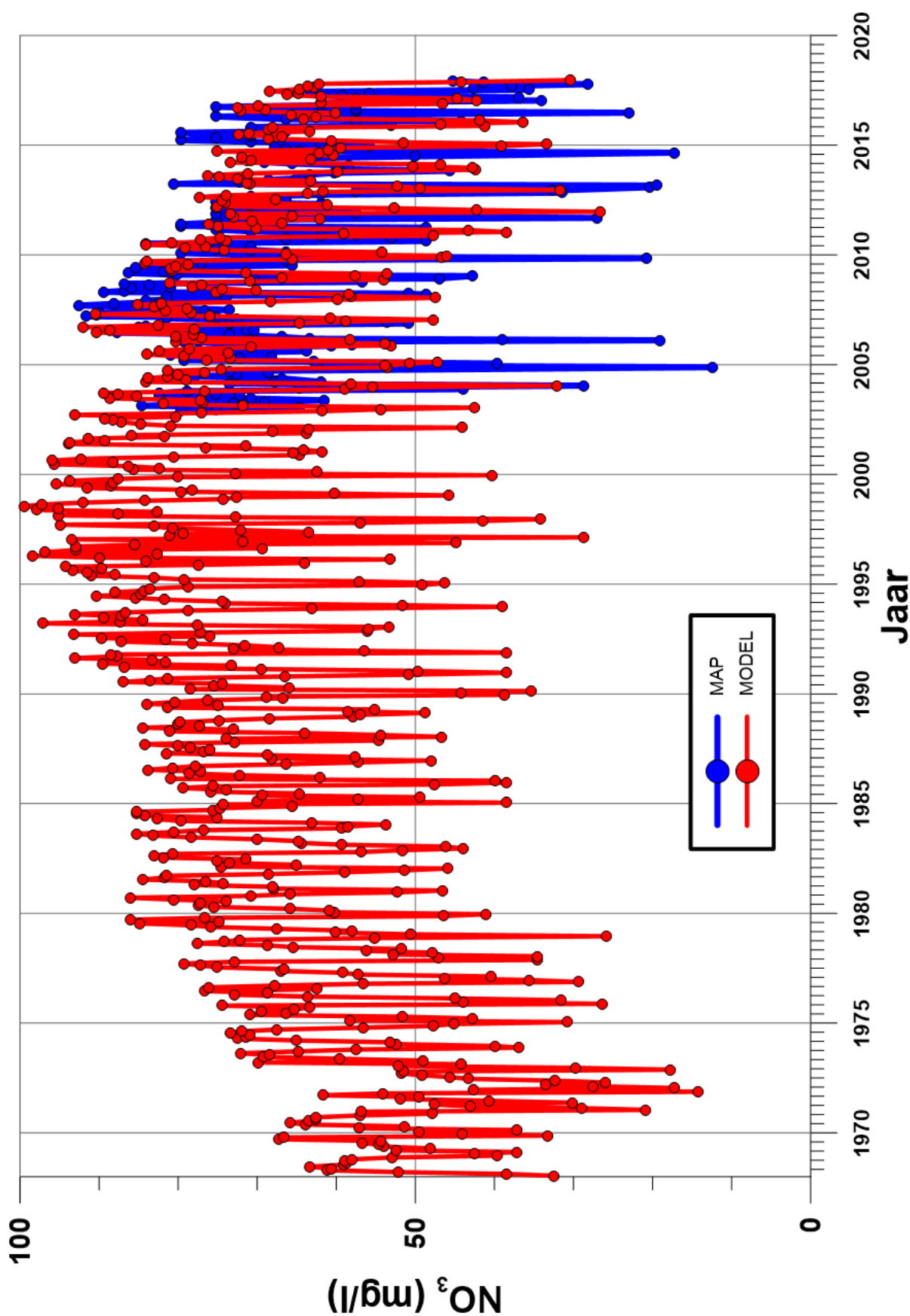
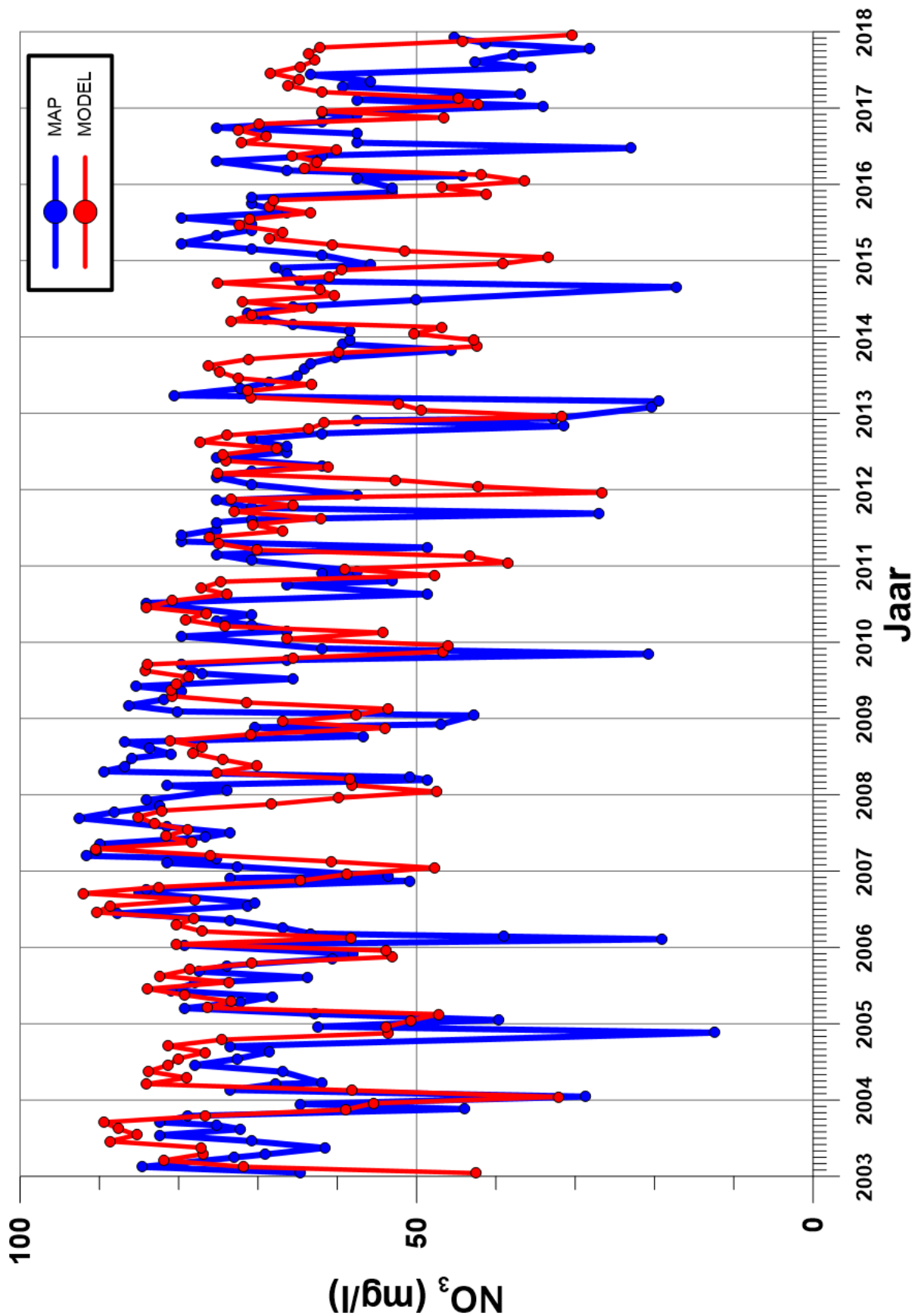


Fig 6.5. Resultaten van het BFN model van de Peer (vanaf 2003)



## 7 Synthese en conclusies

De testsite Peer betreft het afstroomgebied van MAP meetpunt 99XXX op de Hoevevijerloop in de Achelmansstraat in Peer. Het MAP meetpunt vertoont bijna constant hoge nitraatgehalten die meestal boven de 50 mg/l liggen. Slechts sporadisch komen lagere concentraties voor, na hevige regendagen.

De ondergrond bestaat uit bovenaan uit hoogterrasafzettingen. Daaronder komt de Formatie van Kasterlee voor, waaronder de Formatie van Diest ligt. Al deze afzettingen zijn goed doorlatend. De eerste belangrijke slechtdoorlatende laag is de klei van Boom (Formatie van Rupel). Deze vormt het substraat van een dik bovenste pakket dat een freatisch regime heeft.

De testsite bevindt zich op het Kempisch plateau. De topografie helt van zuid naar noord, met slechts een beperkte insnijding van de beekvallei. De waterlopen lopen daardoor hoofdzakelijk van zuid naar noord. Door de helling is de grondwaterstroming eveneens vooral zuid-noord gericht en niet west-oost naar de beek toe.

Vanaf het MAP meetpunt werden vijf peilbuizen stroomopwaarts langsheen de beek geplaatst. De peilbuizen werden tweemaal bemonsterd: resp in het voorjaar en najaar van 2018. Bij de grondwateranalyses werd in slechts één enkele peilbuis relatief hoge nitraatgehalten vastgesteld, resp 80 en 25 mg/l. In de twee stroomafwaartse peilbuizen werd ijzerhoudend gereduceerd water aangetroffen dat vanop grotere diepte moet afkomstig zijn. In drie peilbuizen van het VMM meetnet die niet vlak naast de beek gelegen zijn maar op enige afstand er van geplaatst werden, worden in het bovenste deel van het reservoir steevast hoge nitraatconcentraties opgemeten, tot meer dan 200 mg/l. De resultaten van de nieuwe peilbuizen zijn dus niet conform de vaststellingen in het VMM meetnet. In de stroomafwaartse sectie van de beek komt dichtbij de beek opwaartse kwel voor die dieper gereduceerd en ijzerhoudend water naar boven brengt. Dit water kan afkomstig zijn vanuit de Formatie van Diest. Het zal voor een verdunning zorgen van ander nitraathoudend water dat in de beek terechtkomt. Misschien gebeurt de instroming van nitraatrijk water vooral plaatselijk. Door CVBB werden vroeger in het tracé van de beek bronnetjes opgemerkt: deze zouden daar op kunnen wijzen. Het voorkomen van lokale ondiepe slechtdoorlatende lagen (kliplagen en dunne maar compact kleilagen zoals vastgesteld in PB2 en PB5) kunnen voor laterale ondiepe afvoer van geïnfiltrerd water zorgen dat naar de beek toe wordt weggedraineerd.

Het stroomgebied Peer bestaat grotendeels uit zand- en lemig zandbodems en wordt voornamelijk gekarakteriseerd door landbouw (overwegend grasland en maïs) en bos. De historische bemestingsdruk is er eerder hoog t.o.v. de andere stroomgebieden, maar door het relatief grote aandeel bos is er een zekere verdunning van de nitraten die uitspoelen op akkerland en weiland. Een validatie op basis van gemeten nitraatresiduen toont aan dat het gesimuleerde nitraatresidu op grasland werd overschat. De gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm bedraagt 366 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> voor de periode 1968-2017. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de

periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van 182 mg NO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup> gesimuleerd.

In het model van de verzadigde zone werd oppervlakkige afvoer ingebouwd om verdunning tijdens nattere maanden te bekomen. In de wintermaanden belooft deze 25% van de regenval. Uit modelcalibratie werd bepaald dat 27.5% van het toestromend grondwater via de oxidatiezone moet passeren, het ander deel moet nitraatvrij grondwater zijn, ofwel dieper kwelwater, ofwel lokaal gereduceerd water. Het model reproduceert de waargenomen trend dat de jaarlijkse piekwaarden sinds 2007 dalen. Maanden met lagere concentraties, wanneer de 50 mg/l norm niet overschreden wordt, hangen vooral af van de regenval in de dagen voor de metingen uitgevoerd zijn. Die kunnen niet juist berekend worden op basis van maandelijkse tijdstappen.

## REFERENTIES

Eppinger, R., Van Camp, M., De Smet, D., Walraevens, K., (2002). Onderzoek naar de verspreiding van nitraat in het grondwater in Vlaanderen. Universiteit Gent. Laboratorium voor Toegepaste Geologie en Hydrogeologie. Rapport TGO 99/18. 216 p. + figuren + bijlagen.

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.