



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 3

Balegem

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 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone
- 5 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone
- 6 Synthese en conclusies

LIJST DER FIGUREN

- Fig 2.1 Ligging, topografie en hydrografie van de de testsite Balegem
- Fig 2.2 Geologische kaart van de omgeving van de testsite Balegem
- Fig 2.3 Schematische noord-zuid doorsnede doorheen de testsite Balegem
- Fig 2.4 Hydrostratigrafie van de testsite Balegem
- Fig 2.5 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem
- Fig 2.6 Gemiddelde seizoenale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem
- Fig 2.7 Maandelijkse variatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem
- Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Balegem
- Fig 3.2 Crossplot van de redoxparameters ijzer en nitraat voor de grondwatermonsters
- Fig 3.3 Crossplot van de chloride en sulfaatconcentraties in de grondwatermonsters
- Fig 4.1 : Stroomgebied Balegem
- Fig 4.2 Overzicht van de modelinvoer
- Fig 4.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied
- Fig 4.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g-1 droge bodem) voor het stroomgebied Balegem.
- Fig 4.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Balegem
- Fig 4.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het stroomgebied Balegem.
- Fig 4.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Balegem
- Fig 4.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in de regio Balegem
- Fig 4.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België
- Fig 4.10 Gesimuleerde teelt en nateelt in 2012 en 2013 en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze.
- Fig 4.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied.
- Fig 4.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.
- Fig 4.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven
- Fig 4.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland
- Fig 4.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland.
- Fig 4.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland
- Fig 4.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm

diepte) voor weiland

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

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

Fig 5.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone

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

Fig 5.3 Debietsverloop van de Molenbeek (Kottembeek) in Letterhoutem in 2019

Fig 5.4 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Balegem

Fig 5.5 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Balegem (vanaf 1999)

LIJST DER TABELLEN

Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Balegem

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

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

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

Tabel 4.2: Bodemparameters per textuurklasse

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

Tabel 5.1 Maandelijksse wegingsfactoren in het model van de testsite Balegem

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 "Balegem, de derde van 10 testsites die geselecteerd werden in het kader van het project. Het bevat de beschrijving en karakterisering van de testsite en de resultaten van de toepassing van de ontwikkelde methodologie en modellering met het ontwikkelde BFN model.

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

Het verslag werd ingedeeld in de volgende hoofdstukken:

Hoofdstuk 2 : beschrijving van het studiegebied

Hoofdstuk 3 : beschrijving van het uitgevoerde veldwerk en metingen

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

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

Hoofdstuk 6 : synthese en conclusies

Het laatste hoofdstuk is een korte synthese over de testsite.

2 Beschrijving van het studiegebied

2.1 Ligging en perimeter

De testsite betreft het afstroomgebied van de Molenbeek-Gondebeek In de gemeente Balegem stroomopwaarts van MAP meetpunt 558700, gelegen langsheen de Apostelstraat in genoemde gemeente. Het afstroomgebied werd afgelijnd a.h.v. de topografie, zoals afgeleid uit het DHM Vlaanderen (fig 2.1).

2.2 Topografie en hydrografie

Topografie

De topografie helt algemeen af van zuid naar noord binnen de testsite (fig 2.1). De zuidgrens wordt gevormd door twee heuvels, gescheiden door een zadel. De zuidoostelijke heuvel rijst tot boven +75 m TAW, de zuidwestelijke tot ca +67. De oostgrens volgt de kam van de zuidoostelijke heuvel. Het laagste punt ligt aan het MAP meetpunt en bevindt zich op ca +51.5 m. In het noordoosten ligt de grens op een uitloper van de oostelijke heuvelkam, waar het peil nog steeds boven de +70 ligt.

Hydrografie

De belangrijkste waterloop binnen de testsite is de Molenbeek, die in het oostelijk deel van het afstroomgebied ontspringt, en aan het MAP meetpunt nog twee grachten ontvangt vanuit het westen. Deze hebben echter geen naam.

2.3 Geologie

Onder het quartair dek komt een afwisseling voor van tertiaire zand- en kleilagen die naar het noordoosten dalen. Maar doordat de naar het noorden aflopende topografie een grotere helling heeft dan de helling van de tertiaire lagen, dagzomen van zuid naar noord oudere afzettingen onder het quartair dek:

- In het zuiden van het afstroomgebied, waar de topografie tot meer dan +75 m TAW oploopt, dagzoomt de Formatie van Maldegem, de zgn "Bartoonklei". De voorkomingsgrens valt ongeveer samen met de hoogtelijn van +65. De Formatie van Maldegem is een compacte kleilaag die het bovenste deel van de heuvelrij in het zuiden uitmaakt, en die ook een waterscheidingskam vormen met een zuidelijker afstroomgebied. De heuveltop in het zuidwesten van de testsite is minder hoog dan die in het zuidoosten waardoor hier de Formatie van Maldegem niet voorkomt.
- Ten noorden hiervan komt de Formatie van Lede voor, die uit goed doorlatende zanden bestaat. Deze Formatie komt in het zuidwesten van het afstroomgebied voor tot aan de zuidrand.
- Ten noorden hiervan komt in een eerder smalle strook het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge voor die ook zandig is.

- In het noorden van het afstroomgebied bestaat de ondergrond uit de meer kleiïge afzettingen van het Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge. Deze kunnen zeer ondiep voorkomen. Het MAP meetpunt ligt in deze zone.
- Langsheen de noordwest grens van de testite komt mogelijk in een heel beperkt deel nog het Lid van Egem van de Formatie van Tielt voor, dat vooral zandig is, maar dit is van weinig belang binnen de testsite.

2.4 Hydrogeologie en hydrostratigrafie

Doorlatende en slechtdoorlatende lagen

Het substraat van het deel van het grondwaterreservoir dat van belang is voor het MAP meetpunt is de kleilaag in het Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge.

Het daarop liggende Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbruggen en de Formatie van Lede bestaan uit goed doorlatende zanden en vormen een watervoerende laag.

In het zuidoosten komt onder de heuveltop nog een kleilaag van de Formatie van Maldegem die een slechtdoorlatende laag vormt. Er wordt wel op gewezen dat dit voorkomen gebaseerd is op de geologische kaart maar dat er geen boringen bestaan om dit te bevestigen.

De Formatie van Tielt die onder het Lid van Pittem voorkomt heeft geen rechtstreekse invloed op het MAP meetpunt en is daarom in het kader van deze studie van geen belang.

De hydrostratigrafie is gevisualiseerd in de vorm van een schematische doorsnede, voorgesteld op fig 2.4.

Oxidatie-reductiezone

De goed doorlatende afzettingen van de Formatie van Lede en het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge bestaan uit geoxideerde sedimenten vermits in deze lagen in het grondwater hoge nitraatgehalten worden vastgesteld in peilbuizen van het VMM meetnet die in de omgeving van de testsite liggen. Verspreiding van nitraat kan in deze laag quasi ongehinderd verlopen.

De tertiaire mariene klei van de Formatie van Maldegem bevat pyriet dat als reactief bestanddeel (elektron donor) nitraat kan reduceren. Mogelijk kan ondiep grondwater dat doorheen deze kleilaag percoleert, nitraatreductie ondergaan. Maar de precieze reductiecapaciteit van de afzetting is niet bekend.

In de quartaire bedekking kan organisch materiaal voorkomen dat als elektron donor nitraatreductie aandrijft. Maar het gehalte organisch materiaal kan zeer heterogeen verdeeld zijn. Ondiepe nitraatreductie kan derhalve zeer lokaal zijn.

2.5 Grondwaterstroming

De grondwaterstroming wordt hoofdzakelijk door de topografie gecontroleerd, en verloopt bijgevolg van zuid naar noord. Maar de specifieke geologische opbouw heeft hier wel een impact op de stromingssituatie. Door de aflopende topografie komt in het noorden van de testsite het weinig doorlatende lid van Pittem voor, rechtsreeks onder het quartair dek. Hierdoor kan het grondwater, dat in de doorlatende zandige afzettingen (Lid van Vlierzele, Formatie van Lede) stroomt, niet verder naar het noorden doorlopen en moet dus noodgedwongen, via opwaartse kwel en oppervlakkige afvoer, worden weggedraineerd. Hierdoor komt in het centraal deel van de beekvallei een topografisch laaggelegen moerasachtig gebied voor waar er talrijke poeltjes werden aangetroffen die gevoed worden door verspreide bronnetjes die opwellend dieper grondwater aan het oppervlak brengen. Het water van deze poeltjes komt uiteindelijk in de beek terecht.

2.6 MAP meetpunt

De evolutie van het nitraatgehalte aan het MAP meetpunt 558700 (fig. 2.5) in de periode 1999 t.e.m. 2017 toont volgende kenmerken:

- Er komt een sterke seizoenaliteit voor met hoge zomerwaarden en lage winterwaarden
- De zomermaxima liggen gemiddeld tussen de 70 en 80 mg/l en vertonen over de gehele periode geen duidelijke trend. Ze vertonen wel een interjaarlijkse variatie.
- De winterminima liggen onder de 50 mg/l en vertonen een grotere interjaarlijkse variatie. Vaak dalen de winterminima tot onder 20 mg/l.
- Er komt een licht dalende trend voor van ca 6.5 mg/l per decennium.

Een meer kwantitatief beeld van de seizoenaliteit wordt verkregen door de metingen fractioneel in de tijd voor te stellen (fig 2.6) : de nitraatconcentraties worden dan geplot 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 gemiddeld zomerrmaximum rond 60 ppm en het gemiddeld winterminimum rond 35 ppm. Overschrijdingen van de 50 mg/l norm komen daarom vooral in de zomer voor, tussen mei en oktober.

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 2.7) in de vorm van een boxplot geeft voor elke maand in de vorm van een rechthoek de 25% en 75% kwartielwaarden weer (resp basis en top van de rechthoek). De mediaanwaarde is apart aangegeven met een rood symbool, de mediaanwaarde is er als label bijgezet . Boven elke

rechthoek zijn de laagste en hoogste meetwaarde aangeduid met een verticale lijn, al kunnen deze extremen outliers zijn.

Op de boxplot kan gemakkelijk afgelezen worden dat de hoogste mediaan concentratie in juli voorkomt (68.4 ppm), de laagste in maart (27.5 ppm). Gedurende 4 maanden ligt de mediaanconcentratie boven de 50 mg/l norm : van juni t.e.m. september. In de zomermaanden bestaat het beekwater hoofdzakelijk uit baseflow : de mediaan nitraatconcentratie van het voedend grondwater ligt dan tussen 60 en 70 mg/l.

Fig 2.1 Ligging, topografie en hydrografie van de testsite Balegem

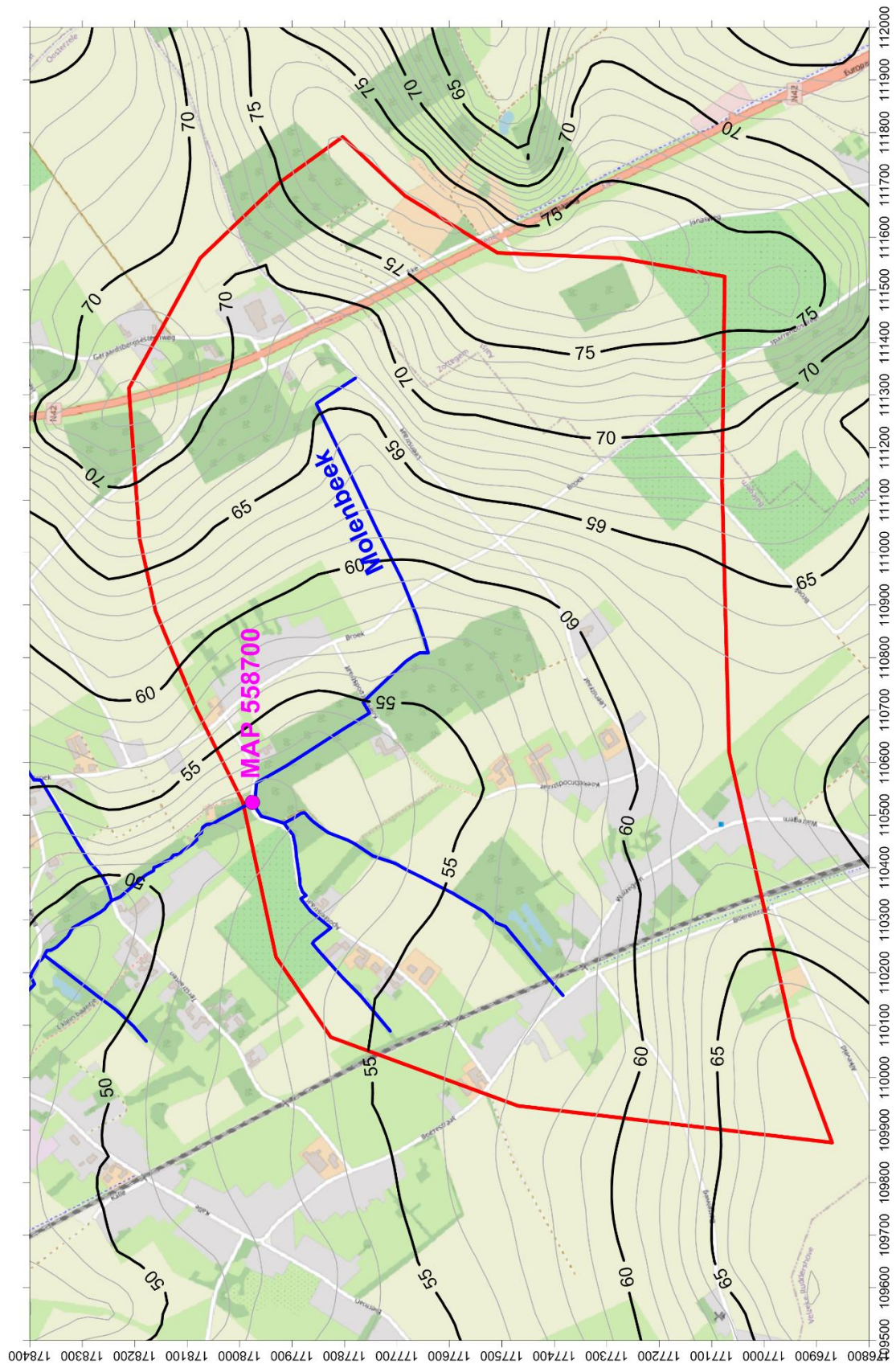


Fig 2.2 Geologische kaart van de testsite Balegem en omgeving

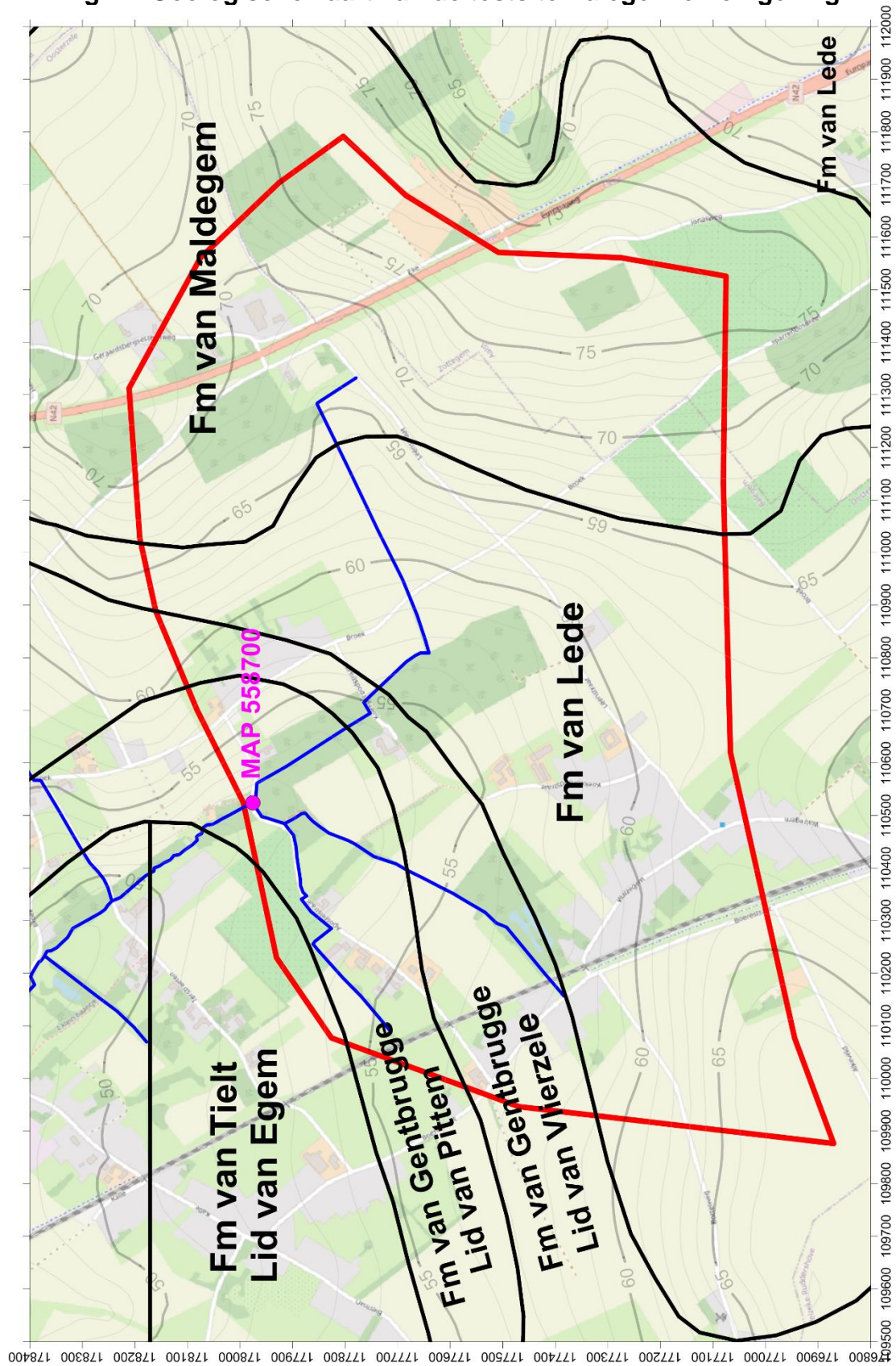


Fig 2.3 Schematische noord-zuid doorsnede doorheen de testsite Balegem

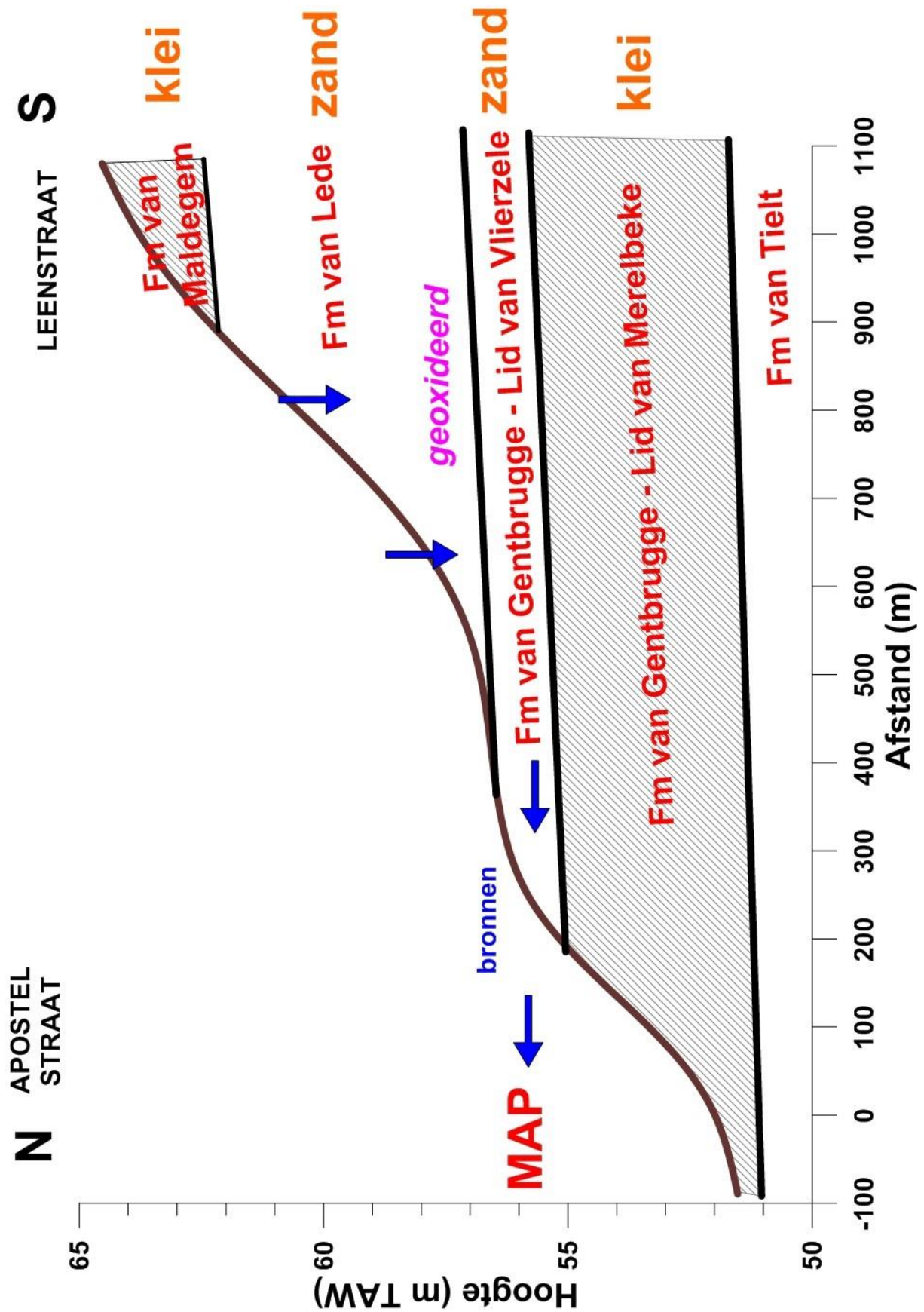


Fig 2.4 Hydrostratigrafie van de testsite Balegem

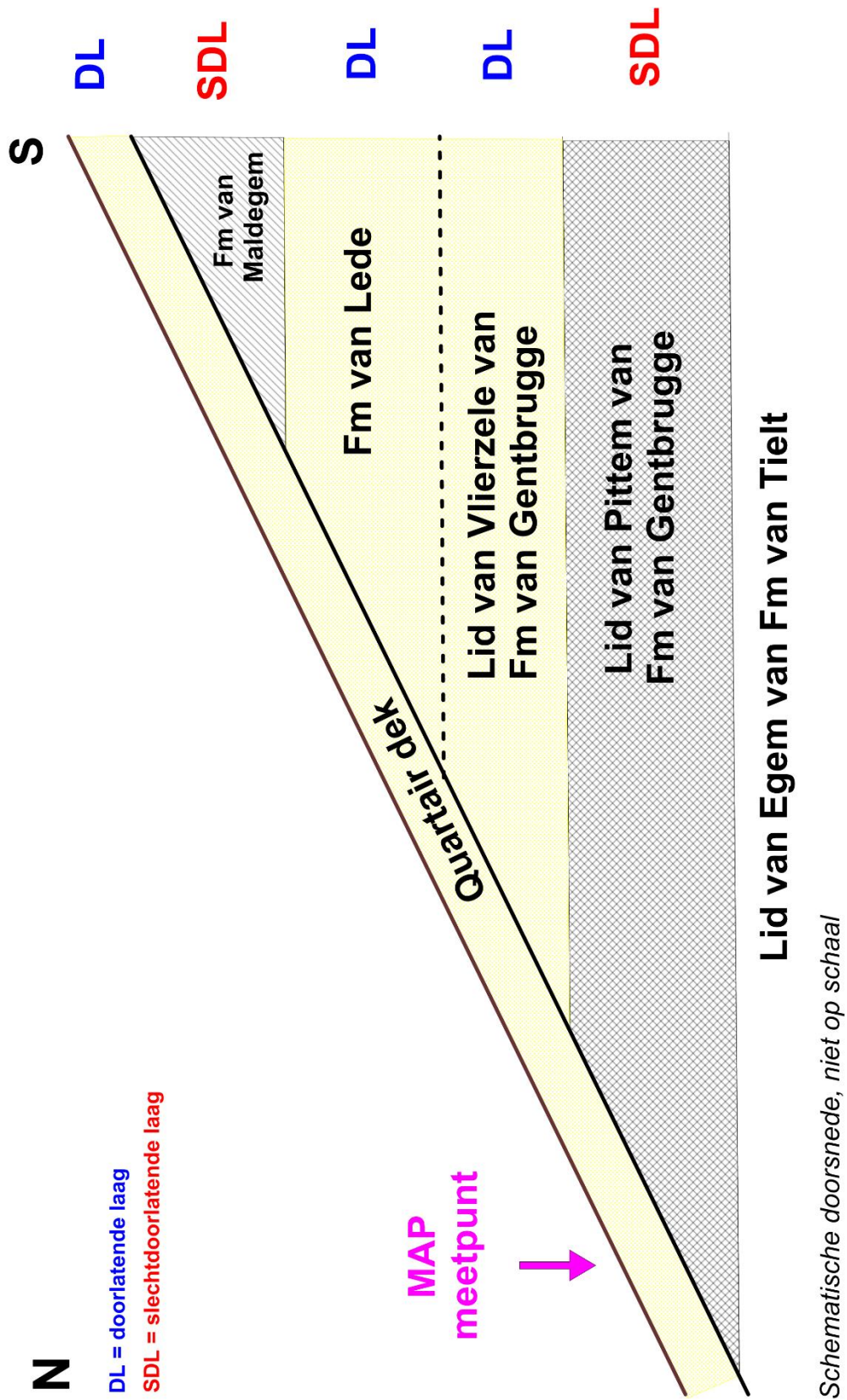


Fig 2.5 Evolutie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem

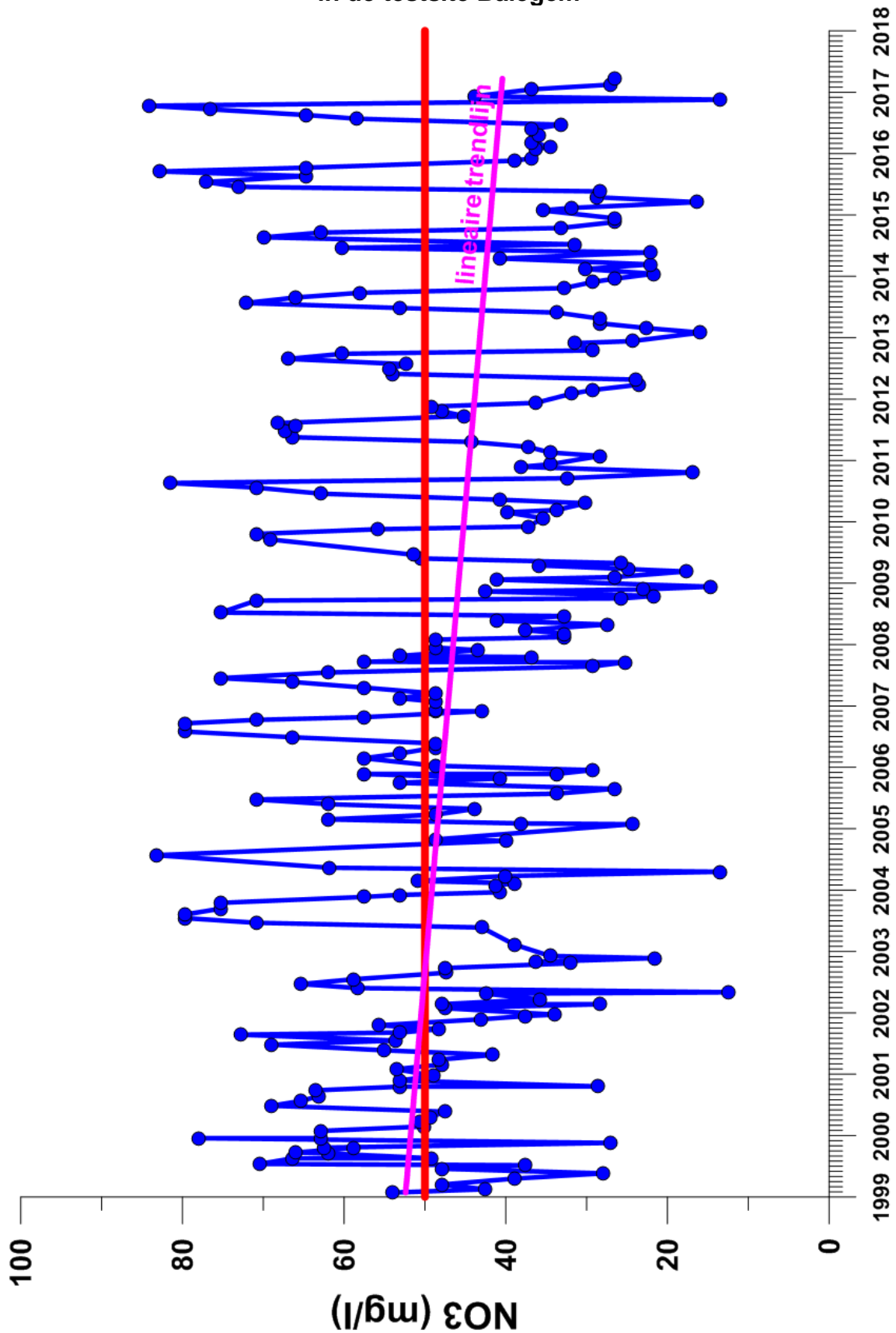


Fig 2.6 Gemiddelde seizoensale fluctuatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem

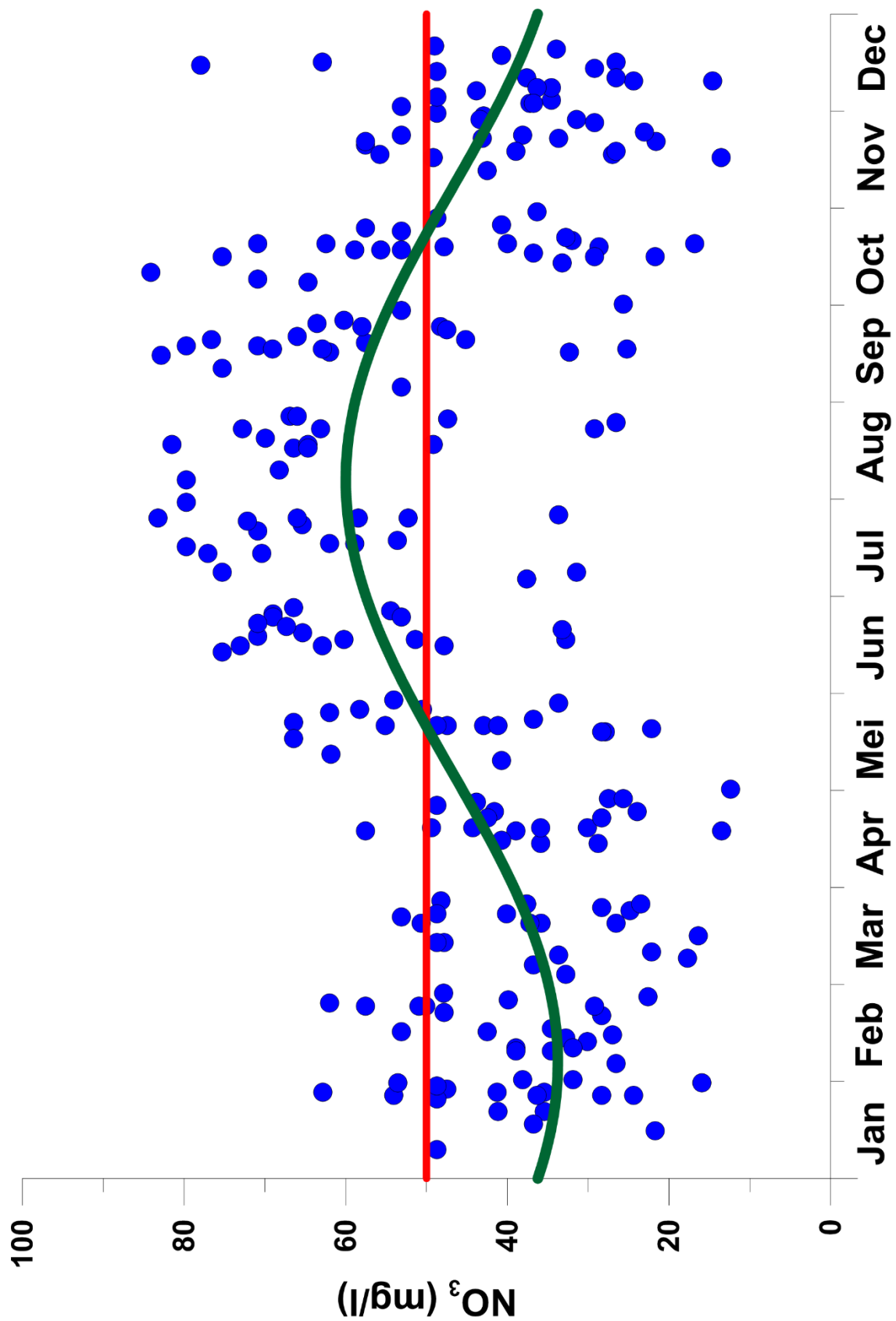
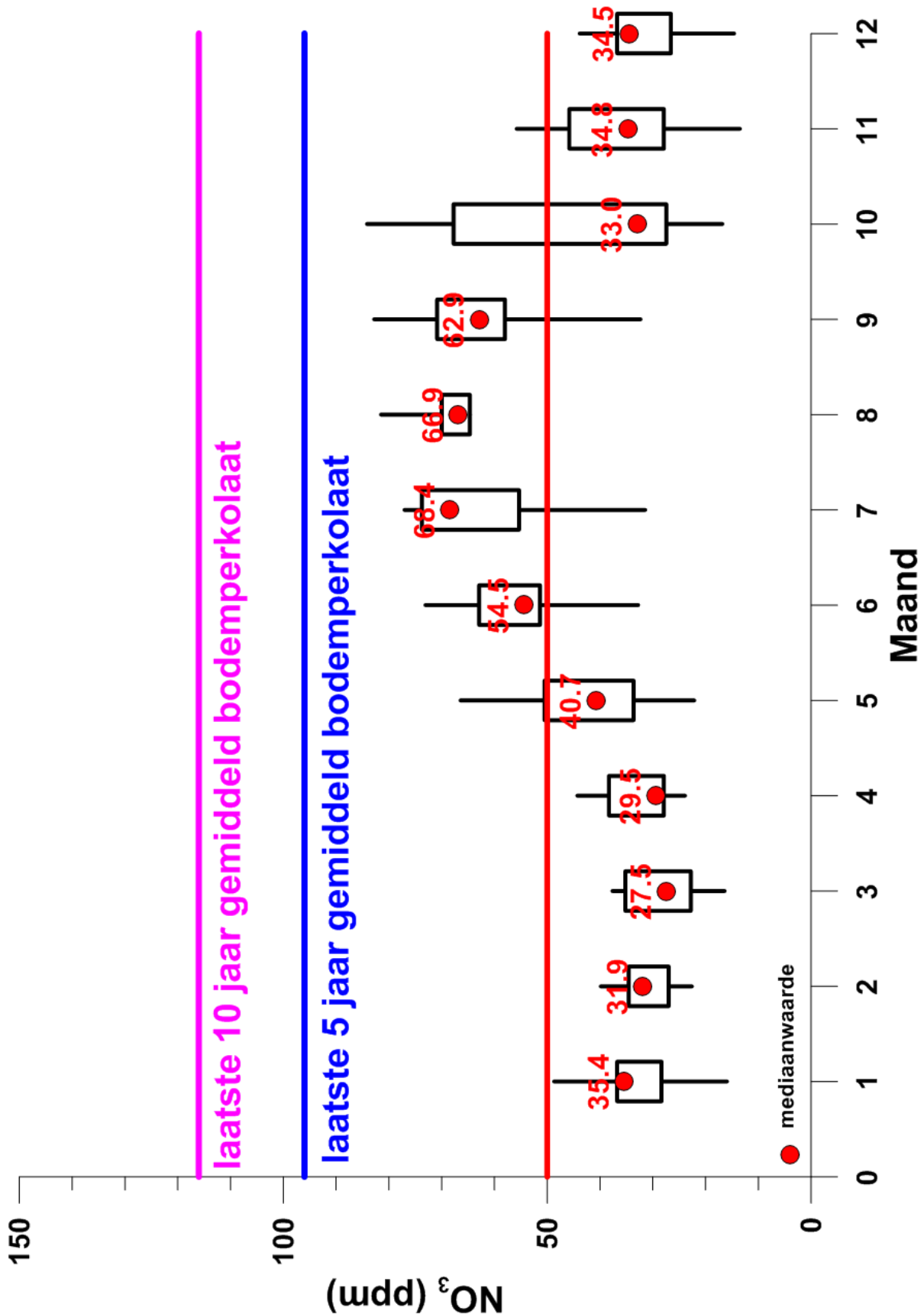


Fig 2.7 Maandelijks variatie van het nitraatgehalte in het MAP meetpunt 558700 in de testsite Balegem



3 Veldwerk

3.1 Installatie peilbuizen

Na het verkennend veldbezoek werden 5 peilbuizen geplaatst op 8 februari 2018 (fig 3.1). De coördinaten van de putten en hun diepten zijn opgenomen in tabel 3.1.

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

Tabel 3.1 Coördinaten en diepte van de peilbuizen in de testsite Balegem

Peilbuis	Lambert-X	Lambert-Y	Diepte(m)
PB1	110782	177582	2.65
PB2	110666	177686	3.18
PB3	110627	177818	2.07
PB4	110607	177925	3.82
PB5	110493	177865	3.42

3.2 Grondwateranalysen

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

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

Uit de wateranalysen kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- Enkel in de meest zuidelijke peilbuis PB1 worden hoge nitraatgehalten aangetroffen. Tijdens de eerste ronde ca 60 mg/l, maar dit liep op tot ca 150 mg/l tijdens de tweede ronde (tabel 3.2). Tijdens de eerste meetronde werd er in deze peilbuis ca 2 mg/l ijzer gemeten, wat er op wijst dat het grondwater toen uit een mix bestond van geoxideerd nitraathoudend en gereduceerd, ijzerrijk maar nitraatvrij grondwater. Het water was tijdens de tweede ronde bijna ijzervrij : toen bestond het bijna uitsluitend uit nitraatrijk maar ijzerarm geoxideerd water (fig 3.2).
- In de overige peilbuizen bedroegen de nitraatgehalten hooguit enkele mg/l. Met uitzondering van PB4 ronde 1 lag het ijzergehalte onder 1 mg/l. Het betreft dus overwegend geoxideerd water.

- De bicarbonaargehalten zijn vrij hoog, liggen rond de 400 mg/l, maar zijn afkomstig van kalkoplossing aangezien ook de calciumgehalten hoog zijn.
- Chloriden en sulfaatgehalten zijn vrij goed gecorreleerd: mogelijk betreft het hier een variabele component met relatief hoge sulfaatgehalten (fig 3.3).

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

peilbuis	ronde	Nitraat (mg/l)	IJzer (mg/l)
Pb1	1	60.292	1.958
Pb2	1	3.682	0.913
Pb3	1	1.849	0.557
Pb4	1	4.392	1.804
Pb5	1	0.056	0.578
Pb1	2	151.916	0.054
Pb2	2	1.7817	0.056
Pb3	2	2.9041	0.145
Pb4	2	8.2283	0.072
Pb5	2	1.3277	0.055

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

peilbuis	meetrunde	PH	COND	Na+(ppm)	K+(ppm)	Ca2+(ppm)	Mg2+(ppm)	Fe2+/Fe3+(ppm)	Mn2+(ppm)
PB1	1	7.37	1487	43.320	2.058	250.550	31.900	1.958	0.021
PB2	1	7.28	2320	131.700	1.393	305.700	38.000	0.913	1.117
PB3	1	7.20	981	23.660	2.540	171.650	20.050	0.557	0.301
PB4	1	7.20	872	31.560	2.475	146.250	15.450	1.804	0.097
PB5	1	7.23	1188	52.300	1.530	184.250	20.100	0.578	0.504
peilbuis	meetrunde	PH	COND	Na+(ppm)	K+(ppm)	Ca2+(ppm)	Mg2+(ppm)	Fe2+/Fe3+(ppm)	Mn2+(ppm)
PB1	2	7.35	1302	22.480	0.916	225.200	28.750	0.054	0.003
PB2	2	7.15	1099	22.100	0.866	175.450	21.450	0.056	1.150
PB3	2	7.09	1015	27.180	3.250	155.300	16.800	0.145	0.284
PB4	2	7.34	740	32.840	1.068	111.200	11.300	0.072	0.037
PB5	2	7.31	884	19.840	0.940	142.850	15.500	0.055	0.044
peilbuis	meetrunde	NH4+(ppm)	Cl-(ppm)	SO42-(ppm)	NO3-(ppm)	NO2-(ppm)	HCO3-(ppm)	PO42-(ppm)	TDS(ppm)
PB1	1	0	97.516	203.980	60.292	5.056	461.770	0.000	1158.421
PB2	1	0.0705	217.49	428.915	3.682	0.075	416.020	0.000	1545.075
PB3	1	0.022	45.023	161.955	1.849	0.091	375.760	0.000	803.458
PB4	1	0.7221	35.161	88.585	4.392	0.212	422.120	0.000	748.828
PB5	1	0.0185	92.827	163.825	0.056	0.138	389.790	0.000	905.917
peilbuis	meetrunde	NH4+	Cl-(ppm)	SO42-(ppm)	NO3-(ppm)	NO2-(ppm)	HCO3-(ppm)	PO42-(ppm)	TDS
PB1	2	0.0717	50.053	115.910	151.916	0.009	422.120	0.000	1017.483
PB2	2	0.0698	75.936	94.458	1.782	0.008	441.640	0.000	834.965
PB3	2	0.053	43.005	149.960	2.904	0.101	392.230	0.025	791.237
PB4	2	0.0475	32.323	43.850	8.228	0.653	352.580	0.000	594.199
PB5	2	0.041	34.609	108.970	1.323	0.009	329.400	0.064	653.645

Fig 3.1 Ligging van de 5 geïnstalleerde peilbuizen in testsite Balegem

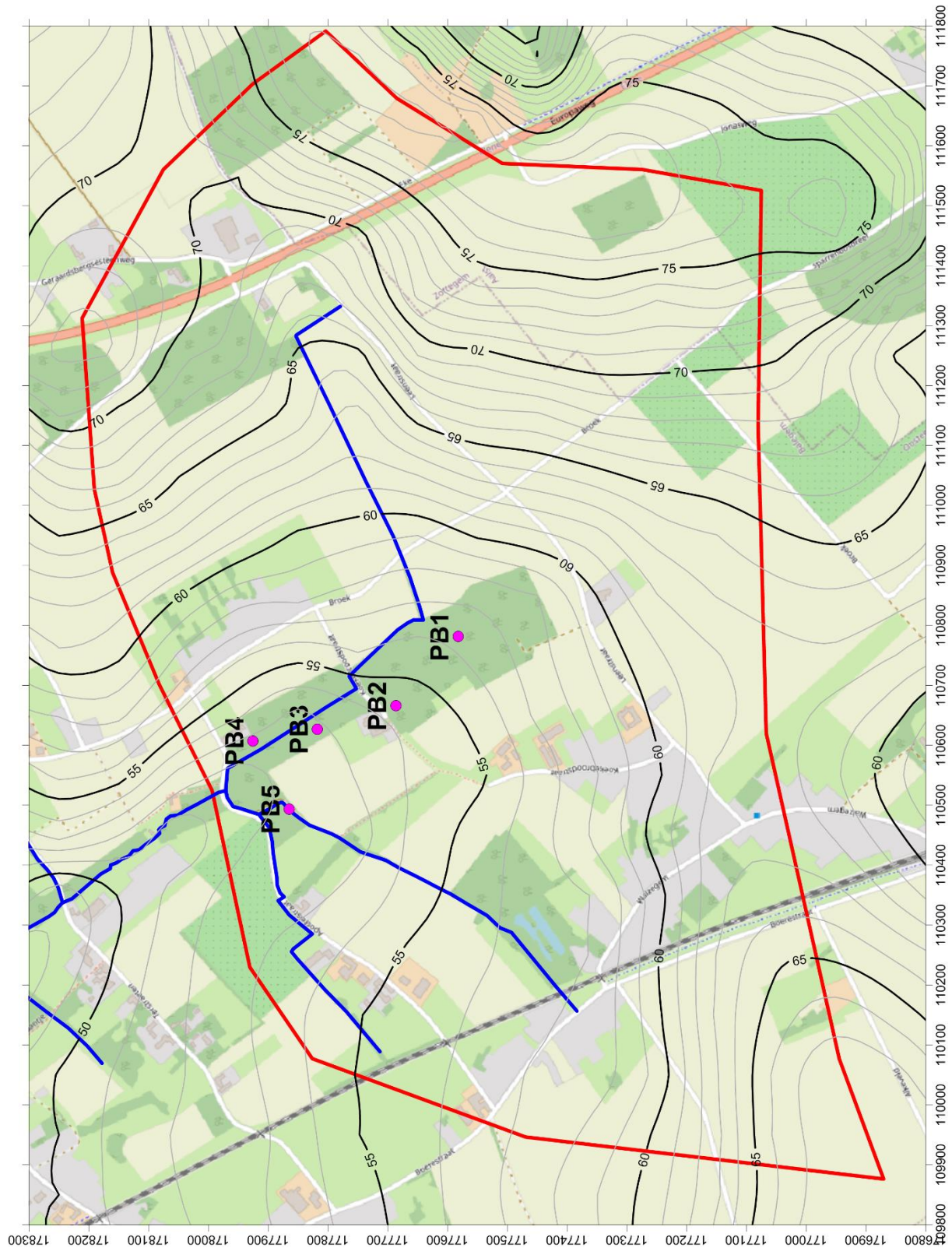


Fig 3.2 Crossplot van de redoxparameters ijzer en nitraat voor de grondwatermonsters

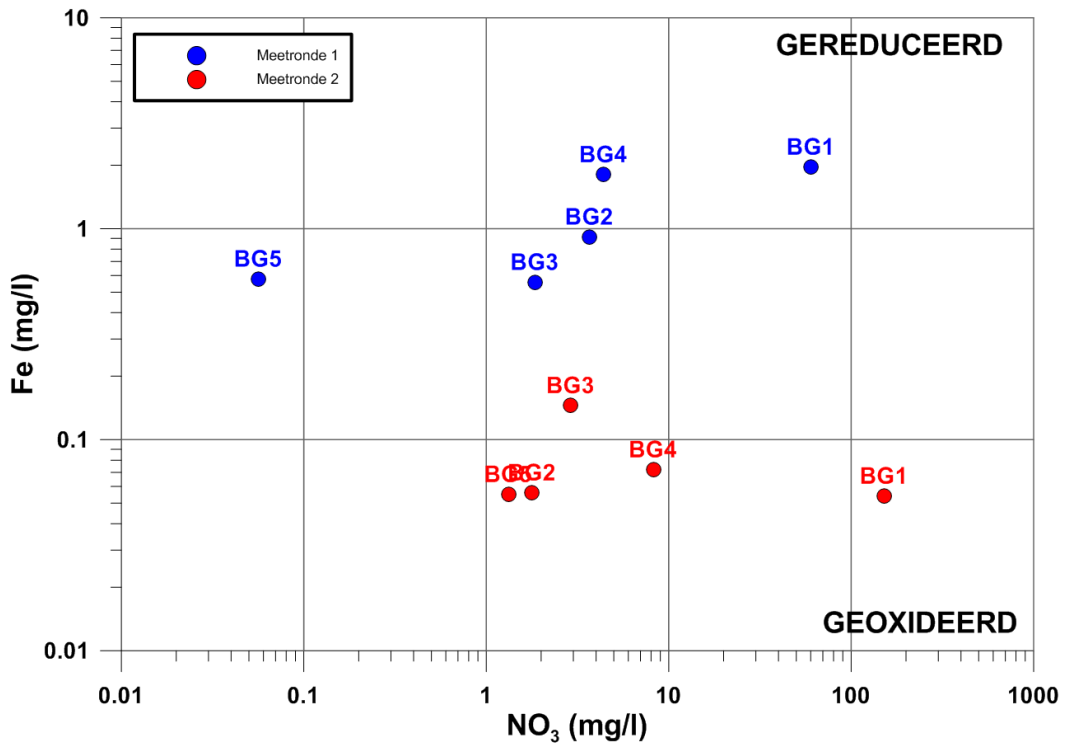
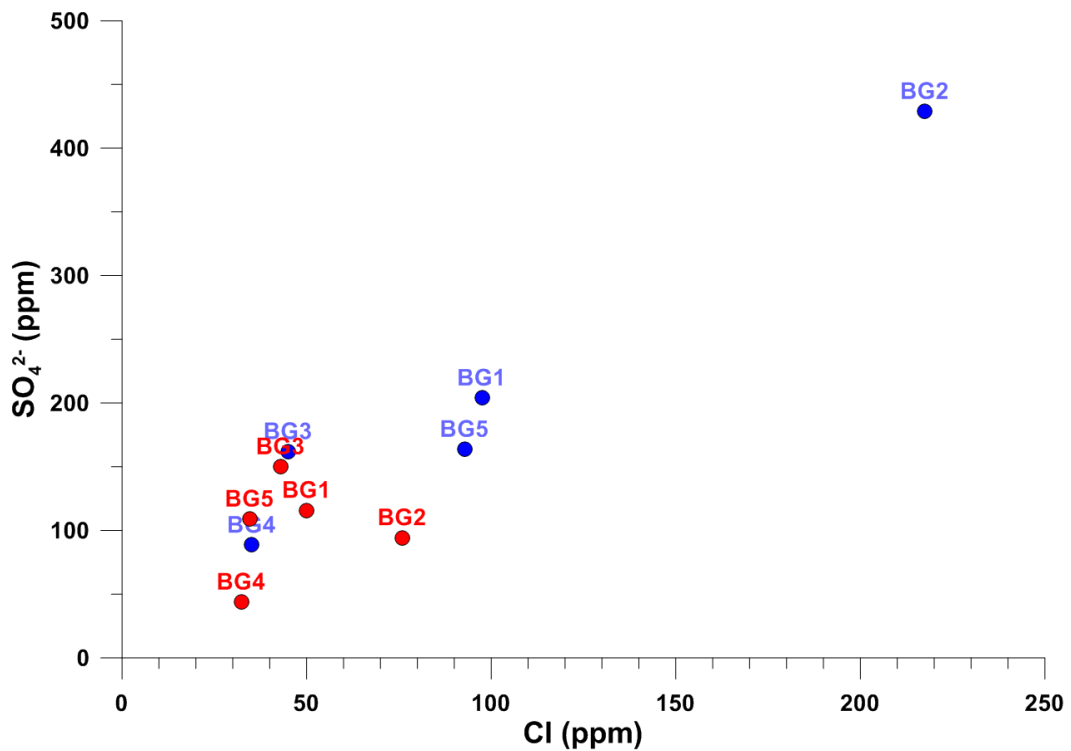


Fig 3.3 Crossplot van de chloride en sulfaatconcentraties in de grondwatermonsters



4 Toepassing van het BFN model : deel onverzadigde zone

4.1 Inleiding

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

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

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

4.2 Werkwijze

4.2.1 Studiegebied

Het stroomgebied in Balegem werd afgebakend op basis van de resultaten van het grondwatermodel (**Error! Reference source not found.**). Het afgebakende gebied is ongeveer 185 ha groot. Het stroomgebied werd ingedeeld in een grid bestaande uit 740 cellen van 50 meter bij 50 meter. Voor elk van de cellen werd een aparte simulatie uitgevoerd.

4.2.2 Twee simulatieperiodes

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

4.2.3 Toekennen van modelparameters

4.2.3.1 Databanken

Het model werd gevoed met verschillende parameters (**Error! Reference source not found.**). 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 Balegem dagelijkse weersgegevens voor de periode 1965-2017.

4.2.3.2 Bodembedekking

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

Het stroomgebied Balegem bestaat voor 58% uit akkerland en 14% weiland (**Error! Reference source not found.**). Er is ook een relatief groot aandeel bos (12%) en tuinen en parken (9%). Slechts 7% wordt ingenomen door infrastructuur en minder dan 1% door braakliggende gronden.

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

Bodembedekking BBK	Bodembedekking na herleiding (grid)	Type rotatie
Akker	akkerland	jaarlijkse teelt + nateelt met jaarlijkse dierlijke en minerale bemesting
Bomen Bomen (WBN) Bomen (WTZ)	bos	meerjarige teelt zonder bemesting waarbij waarden voor percolatie en uitspoeling worden nagestreefd voor bos zoals uit de literatuur
Overig Onafgedekt	braak	geen teelt, geen bemesting
Gebouwen Autowegen 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

4.2.3.3 Bodemorganische stof

Het bodemorganisch koolstofgehalte werd eveneens volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. De kaart vertoont echter plekken waarvoor geen gegevens beschikbaar zijn. Gridcellen die daarmee overlappen kregen waarden toegewezen die m.b.v. interpolatie berekend werden, waardoor weliswaar ook cellen met infrastructuur als bodembedekking een waarde toegewezen kregen. Het bodemorganisch koolstofgehalte werd nadien omwille van de modelinvoer omgezet in het bodemorganische stofgehalte door dit te vermenigvuldigen met een factor 2. Het aandeel koolstof in de bodemorganische stof werd in het model dan ook gepreciseerd als 50%. Het bodemorganische stofgehalte in Balegem is in grote mate bepaald door de bodembedekking (

Fig 4.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Balegem.

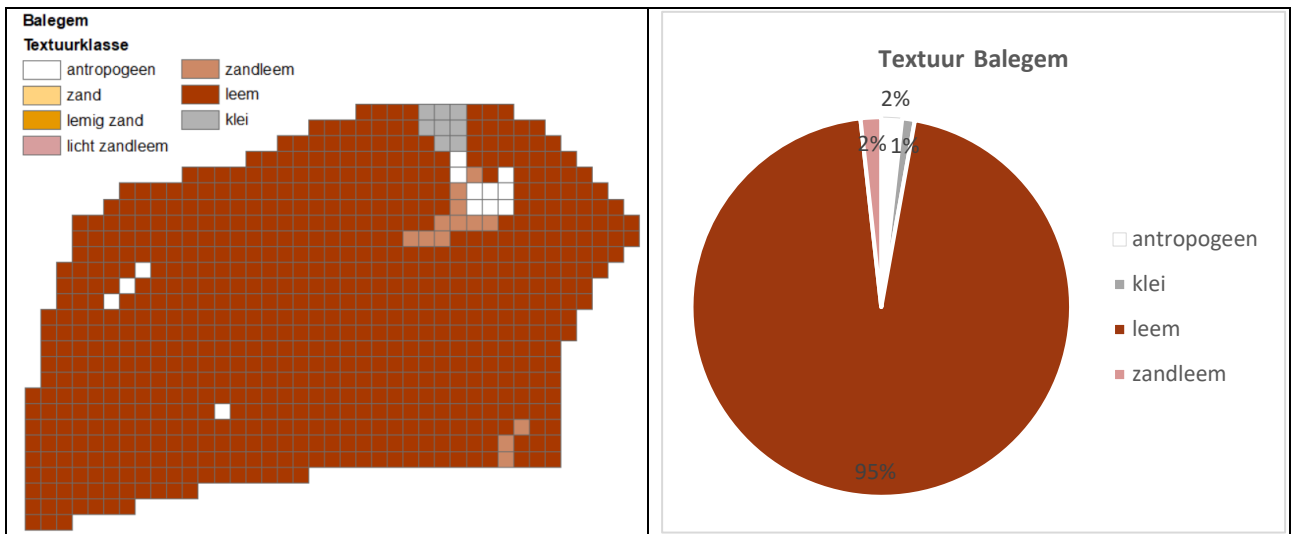


Fig 4.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het stroomgebied Balegem.

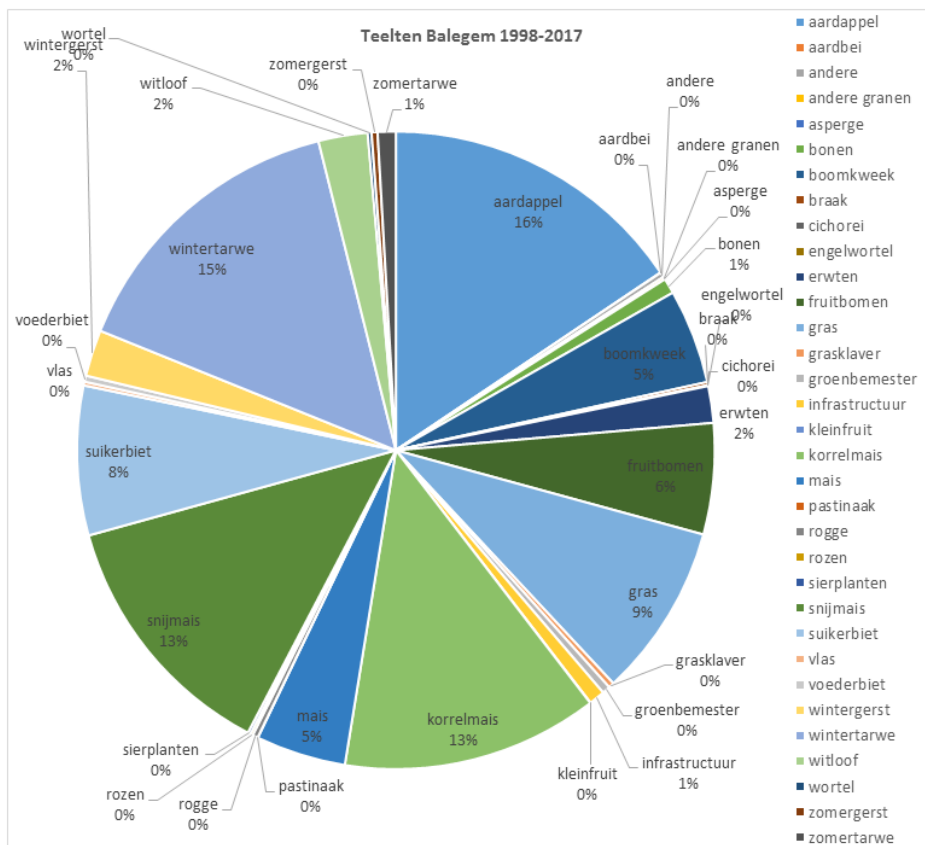


Fig 4.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Balegem

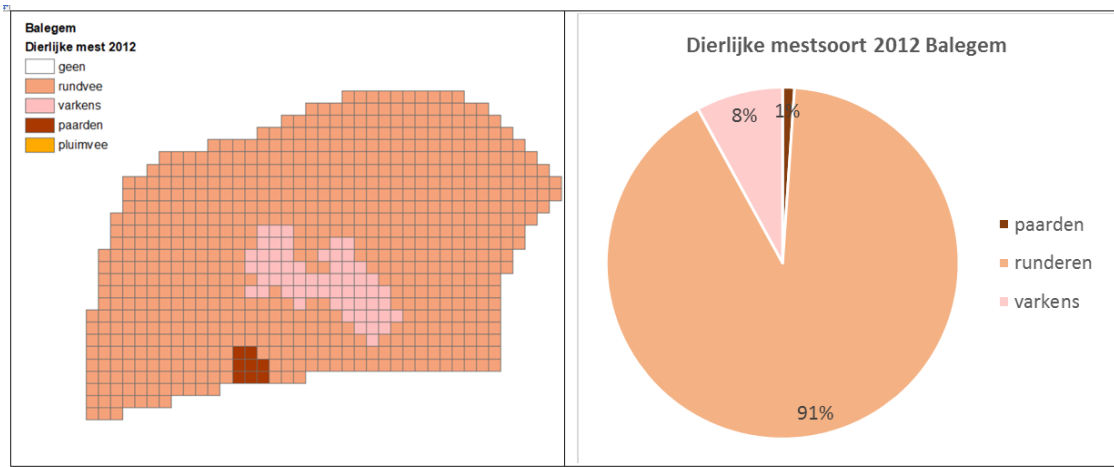


Fig 4.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in de regio Balegem.

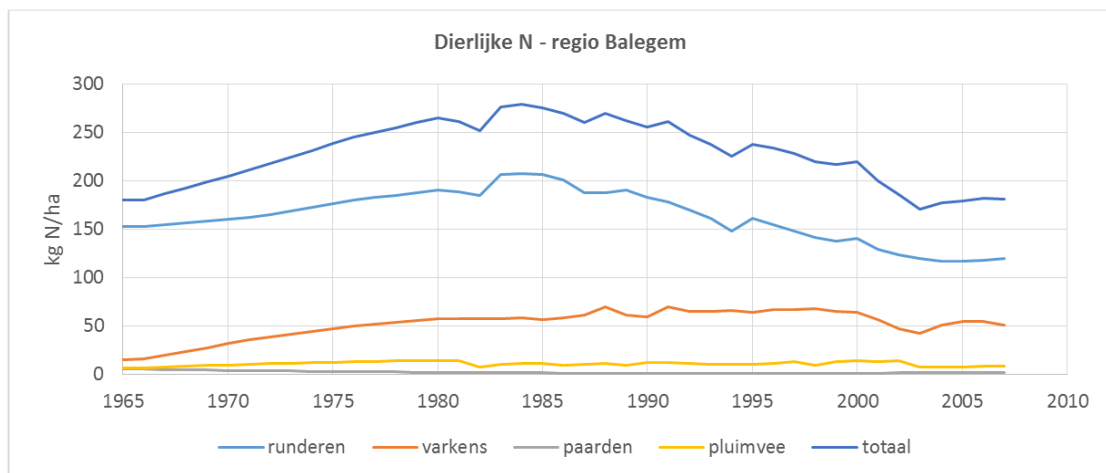


Fig 4.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België

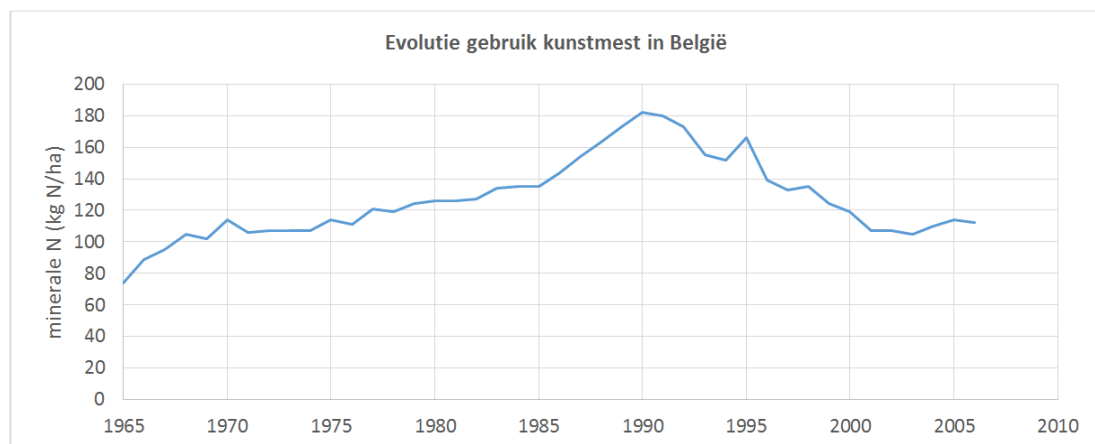


Fig 4.10 Gesimuleerde teelt en nateelt in 2012 en 2013 en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze.

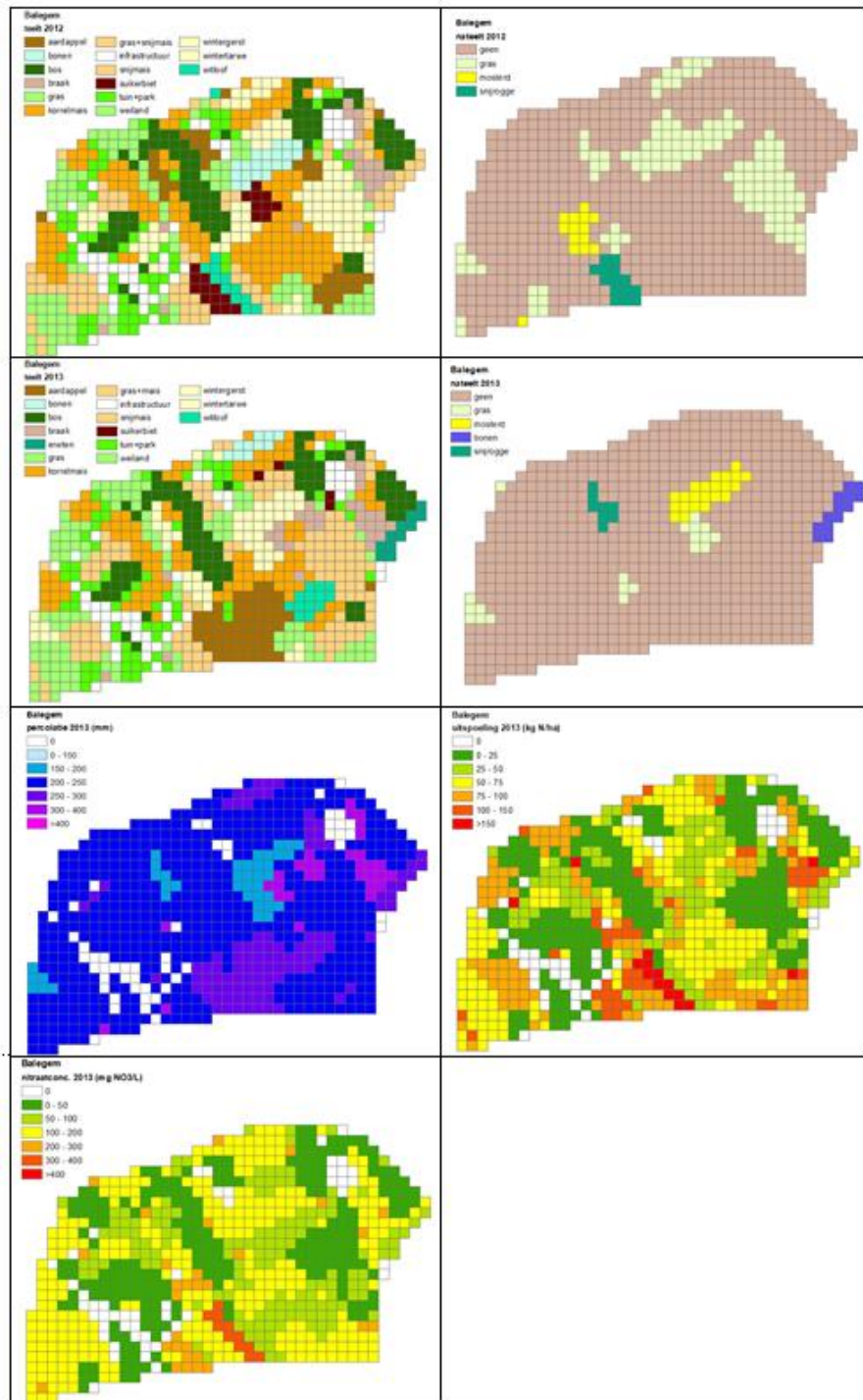


Fig 4.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied.

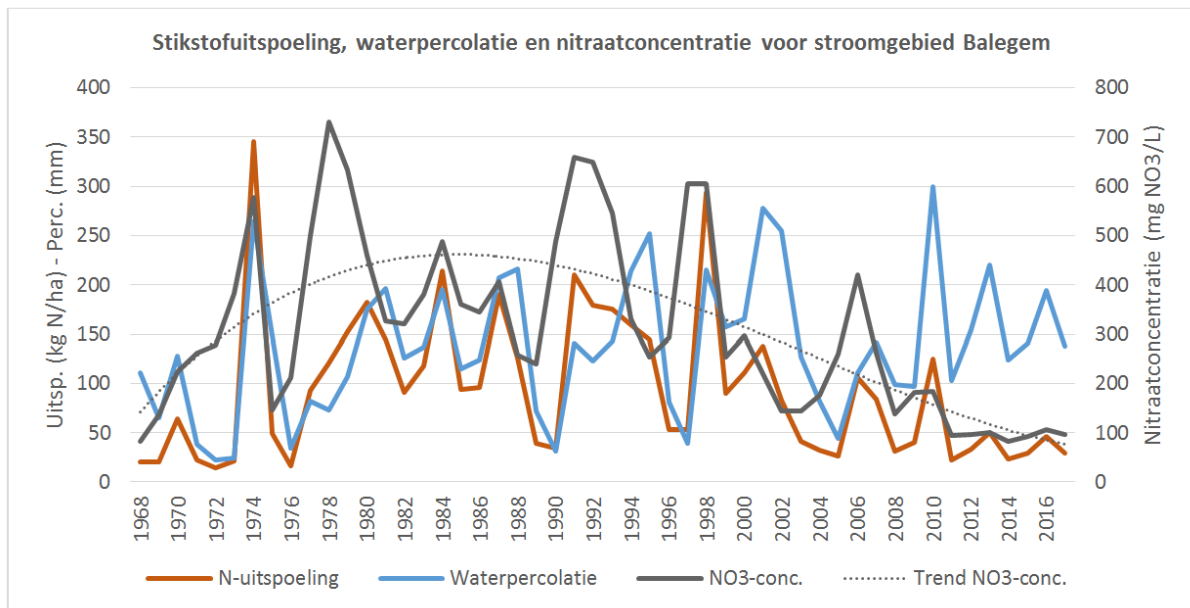


Fig 4.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.

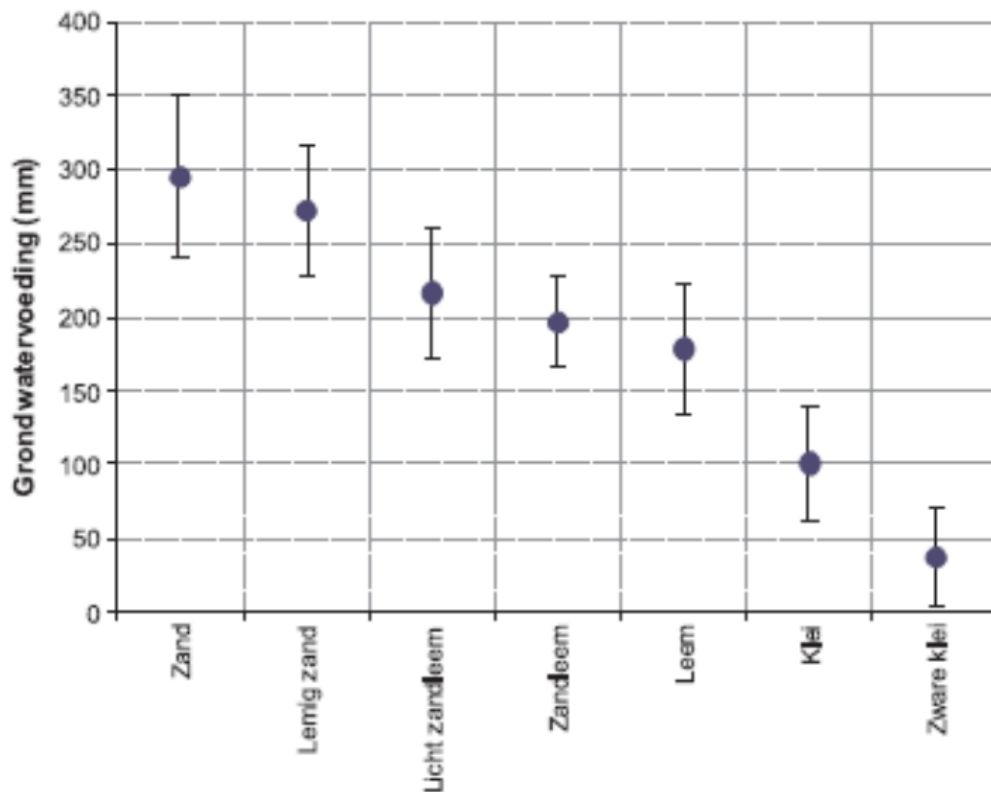


Fig 4.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven

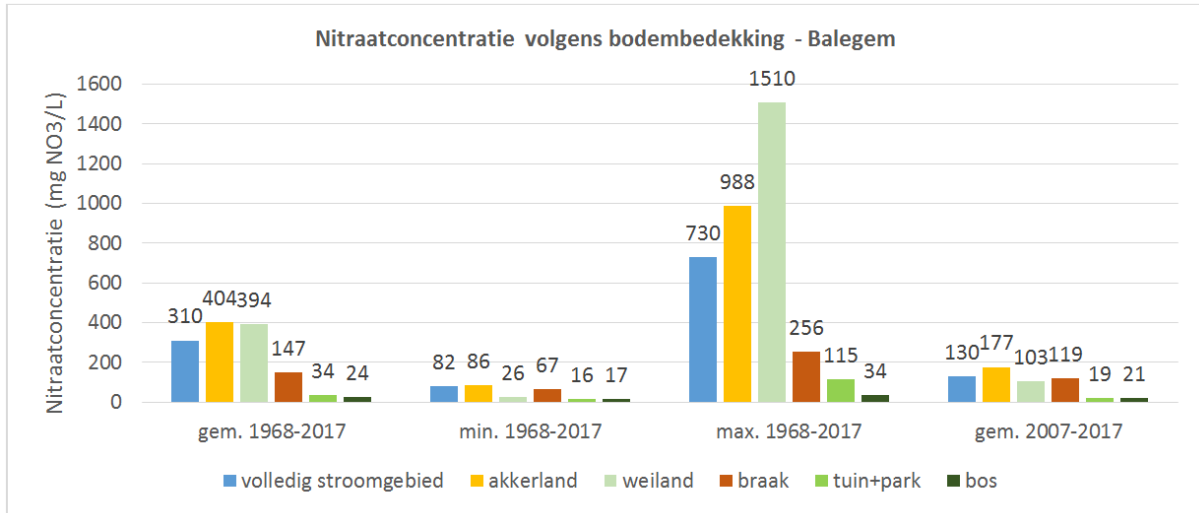


Fig 4.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

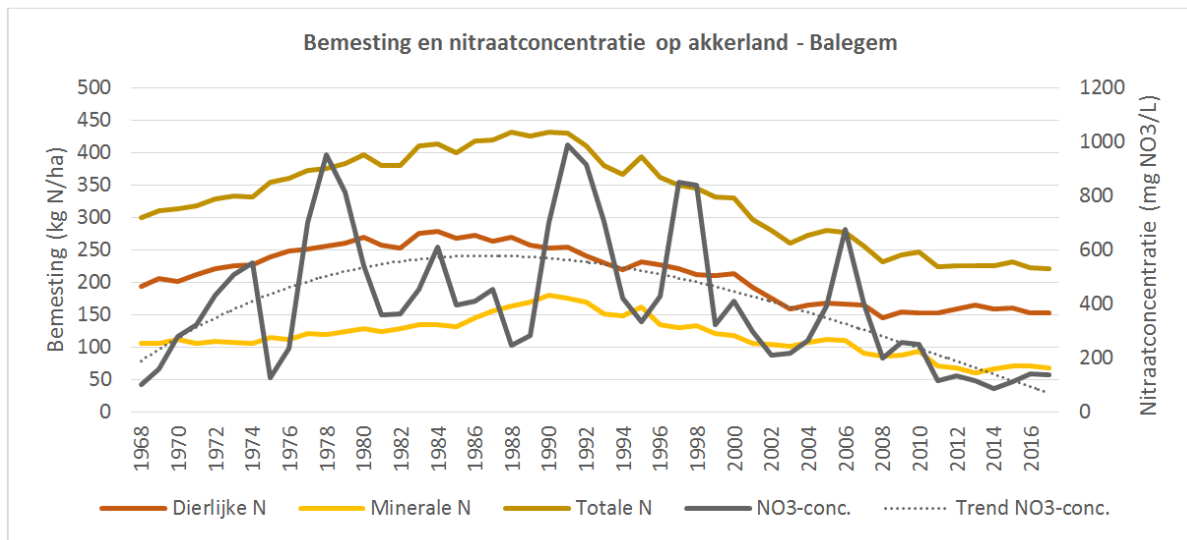


Fig 4.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland.

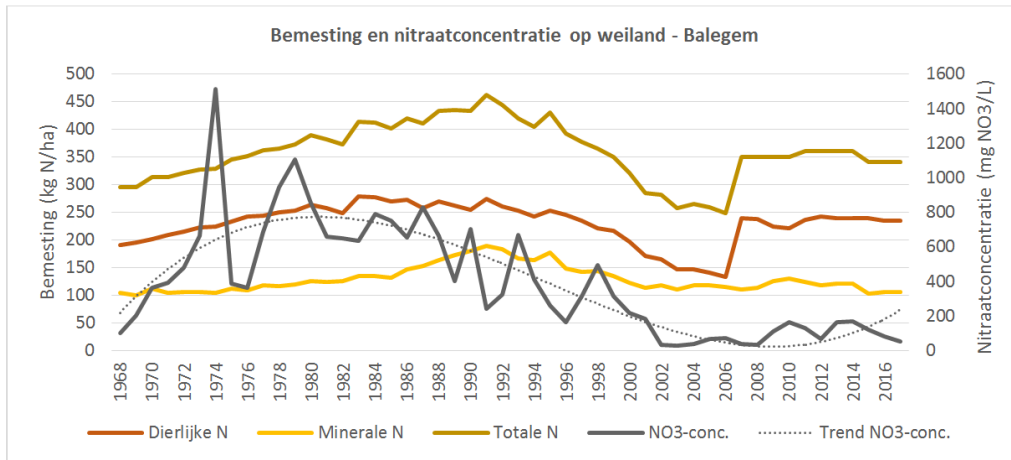


Fig 4.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

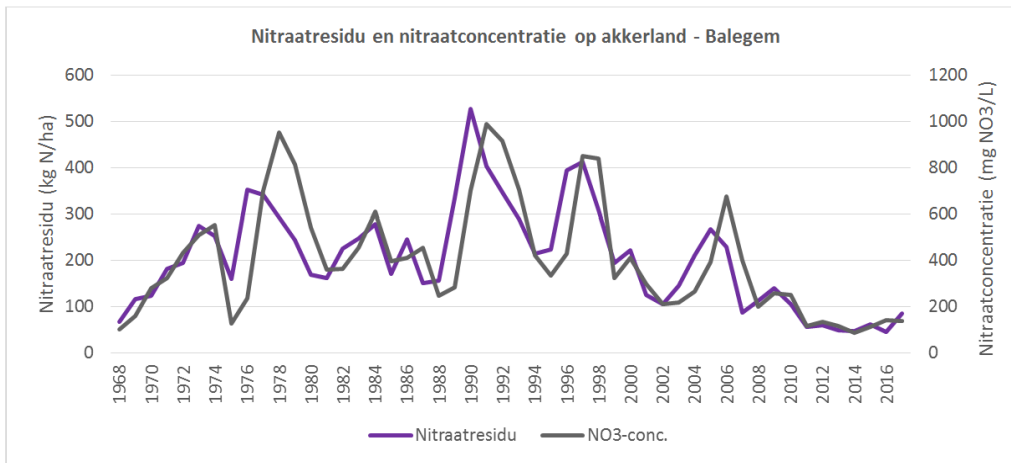


Fig 4.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

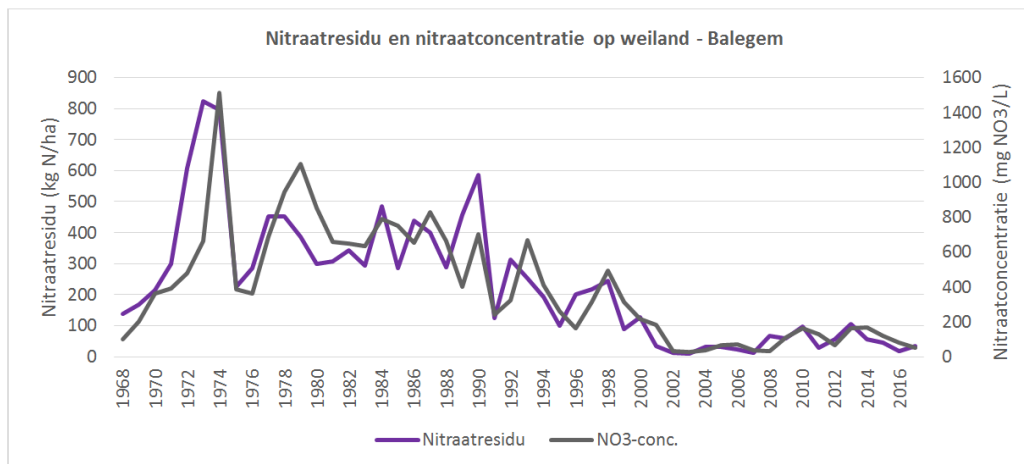


Fig 4.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)

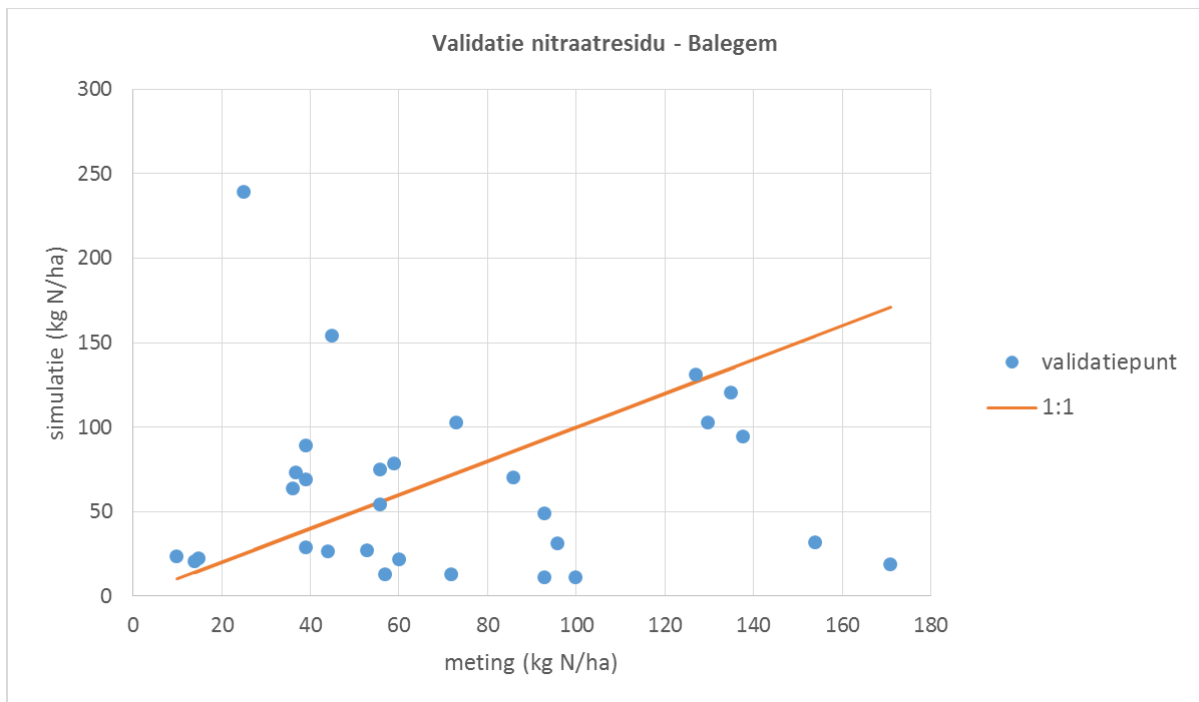
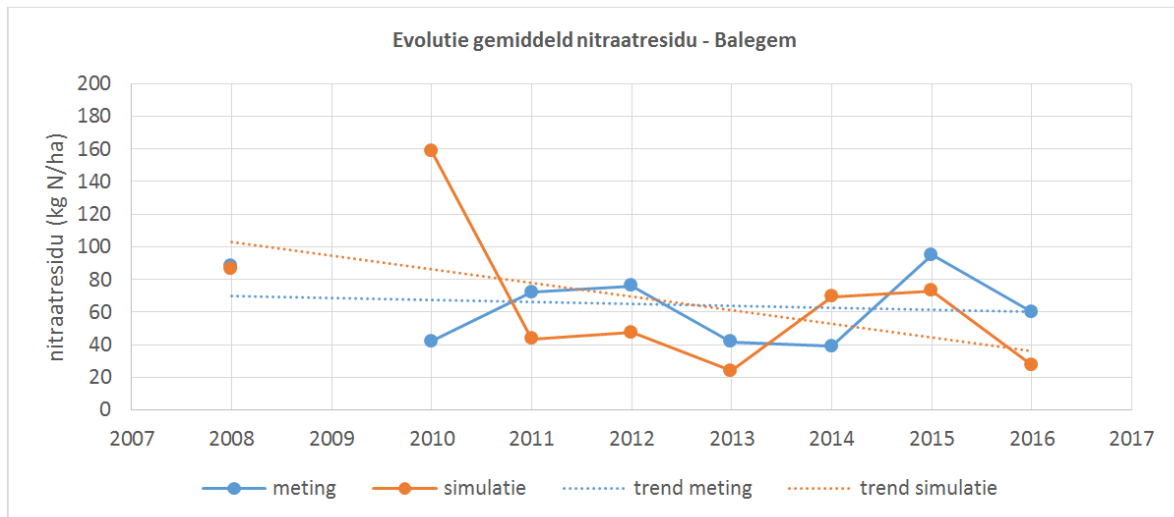


Fig 4.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)



en

Fig): op akkerland ligt dit meestal tussen 1 en 3%, op weiland en tuinen en parken tussen 2 en 4% en onder bos tussen 3 en 5%.

4.2.3.4 Bodemtextuur

Ook de bodemtextuur werd volgens het principe van de grootste oppervlakte toegewezen aan elke gridcel. Het stroomgebied Balegem bestaat grotendeels uit leembodems, aangevuld met een beperkt aandeel zandleem-, klei- en antropogene bodems (

Fig). Aan antropogene bodems wordt in de simulaties een zandige bodemtextuur toegewezen, omwille van het frequent voorkomen van grovere bestanddelen.

Voor elke bodemtextuurklasse werden waarden toegekend aan de verschillende parameters die nodig zijn als modelinput (

Tabel 4.2). Per textuurklasse werden gemiddelde zand, klei- en leemfracties gebruikt. De pH-H₂O werd eerder neutraal ingeschat, aangezien verondersteld wordt dat landbouwers hun percelen regelmatig bekalken. Hoe dan ook heeft de waarde van de pH in de eerder neutrale zone slechts een beperkte invloed op de nitraatuitspoeling. Voor de bulkdensiteit werden de waarden overgenomen die gehanteerd worden in het Compendium voor bemonsterings- en analysemethodes, zij het dat voor de toplaag aan alle textuurklassen een waarde van 1450 kg m⁻³ werd toegekend. Tot slot werden ook de bodemvochtparameters ingeschat (**Tabel 4.3**) op basis van de door Weynants aangepaste pedotransferfuncties van Vereecken (Weynants, 2009).

Tabel 4.2: Bodemparameters per textuurklasse

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

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

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

4.2.3.5 Teelten en nateelten

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

Simulatieperiode 1988-2017

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

De teeltgegevens die gekend zijn voor de periode 1998-2017 tonen aan dat maïs, wintergranen, aardappel, gras en suikerbiet de meest voorkomende teelten zijn op landbouwpercelen (**Error! Reference source not found.**). Uit het kleine aandeel gras t.o.v. het aandeel weiland (19% van het landbouwareaal, uit **Error! Reference source not found.**) blijkt dat een aanzienlijk deel van het weiland dat in 2012 in de bodembedekkingskaart werd aangeduid als weiland voor- of nadien voor andere

doeleinden werd gebruikt. Opvallend is daarbij dat de teelt fruitbomen vaak werd geregistreerd op percelen met de bodembedekking weiland. Alle door het model gekende teelten in Balegem werden gesimuleerd, waarbij sommige teelten vervangen werden door vergelijkbare teelten (bv. rogge door wintertarwe, zomertarwe en andere granen door zomergerst en cichorei door witloof). Voor een reeks van weinig voorkomende teelten konden geen modelparameters bepaald worden: aardbei, asperge, engelwortel, kleinfruit, pastinaak, rozen, sierplanten en vlas. Hetzelfde geldt voor boomkweek en fruitbomen: deze namen een niet te verwaarlozen aandeel in van alle teelten, maar kwamen slechts in beperkte mate voor op percelen met als bodembedekking akkerland. Zij werden omwille van de anders gedefinieerde bodembedekking vaak als bos of weiland gesimuleerd. Voor al deze teelten op akkerland werd, net als voor 'niet-gekende' en '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 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 t.e.m. 2007 nog geen opsplitsing gemaakt tussen verschillende soorten groenten. Voor gridcellen met de waarde 'groenten' in die periode werd daarom willekeurig een groenteteelt toegekend die in de periode nadien (2008-2017) op hetzelfde perceel geregistreerd werd. Daarbij werd ook rekening gehouden met de frequentie van voorkomen van die groenteteelt. Indien in de periode 2008-2017 geen groente werd geteeld op het perceel, werd willekeurig een teelt gekozen uit de lijst van de in het stroomgebied geregistreerde groenten. Ook de nateelten en met name de groenbemesters zijn niet altijd precies omschreven. Indien er 'groenbemester' staat wordt er willekeurig een groenbemester gekozen uit een lijst van groenbemesters.

Voor de periode 1988-1996 zijn er op perceelsniveau geen gegevens beschikbaar over de teelten en de nateelten en voor 1997 is deze informatie in Balegem slechts voor een deel van de percelen beschikbaar. Er werd daarom 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 1991-1996 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 1965-1997 een tweede teelt groenten gesimuleerd op 50% van de percelen met een mogelijke eerste teelt groenten.

Simulatieperiode 1965-1994

Voor deze periode zijn geen gegevens beschikbaar op perceelsniveau. Voor de recentere jaren 1980-1994 zijn cijfers beschikbaar over de indeling van het landbouwareaal per gemeente (Statbel). De verschillende teelten werden op jaarlijkse basis overeenkomstig hun aandeel voor de gemeente Oosterzele 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 Balegem werden cijfers voor de Zandleemstreek aangewend. Hierbij werd uitgegaan van de laatst gekende teeltverdeling op gemeenteniveau (jaar 1980) en werd het aandeel van elke teelt terug in de tijd gewijzigd overeenkomstig de evolutie in de Zandleemstreek (met interpolatie per 5 jaar). De verdeling van de teelten over de gridcellen gebeurde opnieuw willekeurig.

4.2.3.6 Dierlijke bemesting

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

Periode 2007-2017

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

Voor de simulatie van de dierlijke bemesting werd eveneens de mestsoort bepaald, waarbij een keuze gemaakt wordt tussen rundermest, varkensmest, 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 Balegem komen voornamelijk runderen voor (**Error! Reference source not found.**). Merk op dat door interpolatie aan alle cellen een mestsoort werd toegewezen, maar dat enkel op akkerland en weiland dierlijke bemesting wordt gesimuleerd

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 dierenaantallen op gemeentelijk niveau (jaar 1980), die vervolgens terug in de tijd gewijzigd werden overeenkomstig de evolutie in de Zandleemstreek (**Error! Reference source not found.**).

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 (**Error! Reference source not found.**).

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

Periode 1996-2006

Voor deze overgangperiode werd aangenomen dat de norm nog steeds overschreden werd, zij het in steeds mindere mate door het stijgend aantal mesttransporten en de toename in mestverwerking. Daarom werd jaar na jaar het verschil berekend tussen enerzijds de dierlijke N berekend uit de gemeentelijke dierenaantallen en anderzijds de bemestingsnorm. Dit verschil werd vermenigvuldigd met een met de tijd groter wordende afnamefactor en opgeteld bij de bemestingsnorm zodat er een lineaire afname van de bemesting werd gesimuleerd, tot in 2007 de bemestingsnorm werd gerespecteerd. In Balegem werd nog geen lineaire toename van de bemesting gesimuleerd, wat op weiland resulteerde in een plotse toename van de dierlijke bemesting tussen 2006 en 2007. In latere simulaties op andere stroomgebieden werd de lineaire toename wel geïmplementeerd, wat overeenkomt met de groeiende invoer van mest uit andere gebieden.

4.2.3.7 Minerale bemesting

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

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

Periode 2007-2017

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

Periode 1965-2006

Voor deze periode werd noodzakelijkerwijs gewerkt met nationale gemiddelden (Statbel en EMAV), aangezien er geen cijfers beschikbaar zijn op regionaal of gemeentelijk niveau. Tussen 1985 en 1990 ontbraken gegevens en werden de cijfers geïnterpoleerd (**Error! Reference source not found.**).

4.2.3.8 Stikstofdepositie

Voor de N-depositie in Balegem 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 Balegem 30 kg N ha⁻¹ per jaar. Aangezien voor de eerste simulatieperiode (1965-1994) geen cijfers over depositie beschikbaar zijn, werd aangenomen dat de N-depositie vergelijkbaar was in de eerste en de tweede simulatieperiode. Gedurende de eerste periode werd immers een stijging van de N-depositie verondersteld, terwijl in de tweede periode de depositie afnam door specifieke maatregelen

4.2.3.9 Weersgegevens

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

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

4.3 Resultaten

4.3.1 Gesimuleerde uitspoeling in het stroomgebied Balegem

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 **Error! Reference source not found.** zijn deze voor 2013, een jaar met een bovengemiddelde hoeveelheid aan percolerend water (220 mm) voor Balegem.

Uit deze resultaten komt duidelijk het effect van de transpiratie tot uiting: op de braakliggende gronden werd de hoogste percolatie (300-400 mm) gesimuleerd. De laagste percolatie (150-200 mm) werd gesimuleerd op percelen met granen gevolgd door vanggewassen. Voor 2013 bleek de percolatie eerder afhankelijk van de teelt in dat jaar, maar de hoeveelheid uitgespoelde nitraatstikstof werd voornamelijk bepaald door de teelt en nateelt in 2012, omwille van de verlate uitspoeling op de leembodems in de eerste maanden van 2013. Opvallend is de hoge nitraatuitspoeling na witloof. Onder bos, tuinen en parken werden lagere hoeveelheden nitraatuitspoeling gesimuleerd.

De jaarlijkse waterpercolatie op 90 cm over het hele stroomgebied (met inbegrip van ondoorlatende oppervlakken) fluctueert sterk en is gemiddeld 137 mm (**Error! Reference source not found.**). Indien de ondoorlatende oppervlakken niet in rekening worden gebracht is dit gemiddeld 146 mm per jaar. Dit gemiddelde ligt iets lager dan het langjarig gemiddelde gesimuleerd door het model Wetspass (Batelaan et al., 2006) voor leembodems in Vlaanderen (**Error! Reference source not found.**).

De gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie over het hele stroomgebied vertoont net als de waterpercolatie een erg grillig verloop, met waarden tussen 82 en 730 mg NO₃ L⁻¹ (**Error! Reference source not found.**). Er is sprake van een opwaartse trend tot midden de jaren '80, gevolgd door een gestage afname tot een concentratie van ongeveer 100 mg NO₃ L⁻¹ wordt bereikt in de meest recente jaren. Pieken in de nitraatconcentratie treden op tijdens en kort na langere drogere periodes. Tijdens drogere periodes (bv. 1997) spoelt slechts een beperkte hoeveelheid nitraat uit, maar is er ook weinig verdunning. Eenmaal het terug natter wordt (bv. 1998) spoelen de tijdens de drogere periode geaccumuleerde hoeveelheden nitraat uit, waardoor de concentratie ook hoog ligt. Het grillige verloop van de nitraatconcentratie wordt bovendien geaccentueerd doordat de gemiddelde concentratie per kalenderjaar werd berekend: in een droog najaar zullen de nitraten immers pas grotendeels uitspoelen na 1 januari, waardoor er naast kalenderjaren met één periode van intense uitspoeling in het najaar ook kalenderjaren zijn zonder sterke uitspoeling en kalenderjaren met twee periodes van intense uitspoeling, in het voorjaar en in het najaar.

4.3.2 Nitraatconcentratie voor de verschillende bodembedekkingen

De jaarlijkse gemiddelde nitraatconcentratie is in het stroomgebied Balegem het hoogst voor akkerland en weiland, gevolgd door respectievelijk braakgronden, tuinen en parken en bos (**Error! Reference source not found.**). De nitraatconcentratie is sinds de volledige implementatie van de bemestingsnormen in 2007 duidelijk afgenomen, maar is voor akkerland, weiland en braakgronden nog steeds groter dan 50 mg NO₃ L⁻¹.

4.3.3 Gesimuleerde bemesting, nitraatresidu en nitraatconcentratie op akkerland en weiland

De gesimuleerde bemestingsdruk op akkerland vertoont een beperkte variatie in bemestingsdruk (**Error! Reference source not found.**): er is een langzame toename tot eind de jaren '80 en vervolgens een gestage afname. De nitraatconcentratie volgt dezelfde trend en vertoont een maximum van 988 mg NO₃ L⁻¹ in 1991 en een minimum van 86 mg NO₃ L⁻¹ in 2014

Opvallend is de plotse toename van de bemesting met dierlijke N op weiland tussen 2006 en 2007 door instelling van de norm (**Error! Reference source not found.**). Voor dierlijke N werd in Balegem voor de periode 1996-2006 geen lineaire toenamefactor toegepast om invoer van mest te simuleren, deze werd nadien wel geïmplementeerd in andere stroomgebieden. We zien daardoor ook dat de trend in de nitraatconcentratie na een daling in de jaren '90 opnieuw licht toeneemt vanaf 2007. De maximale

concentratie van 1510 mg NO₃ L⁻¹ wordt bereikt in 1974, de minimale concentratie van 26 mg NO₃ L⁻¹ in 2003.

Het gesimuleerde nitraatresidu wordt telkens voor 15 oktober weergegeven, zowel op akkerland (**Error! Reference source not found.**) als op weiland (**Error! Reference source not found.**). De gesimuleerde nitraatconcentratie en het nitraatresidu gaan hand in hand, zij het dat de respons van de nitraatconcentratie op het nitraatresidu vaak één jaar later komt doordat de uitspoeling meestal gebeurt in het begin van het daaropvolgende kalenderjaar. Op akkerland en weiland wordt op 15 oktober een gemiddeld nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk 204 en 232 kg N ha⁻¹ over de volledige simulatieperiode. Bij implementatie van de bemestingsnormen in 2007-2017 is dat gemiddeld nog 77 en 53 kg N ha⁻¹. Er werd een maximaal nitraatresidu gesimuleerd van respectievelijk 356 en 517 kg N ha⁻¹. Op akkerland schommelen de laagste nitraatresiduen op 15 oktober rond 50 kg N ha⁻¹, terwijl de overeenkomstige gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentraties rond de 100 mg NO₃ L⁻¹ liggen. Op weiland zijn de laagste nitraatresiduen kleiner dan 20 kg N ha⁻¹ en liggen de overeenkomstige concentraties onder de 50 mg NO₃ L⁻¹. Merk op dat de laagste waarden op weiland worden gesimuleerd in de periode 2001-2007, waarin de bemestingsdruk in het stroomgebied is afgenomen en in de simulaties nog niet wordt gecompenseerd door de invoer van mest omwille van de ontbrekende lineaire toenamefactor.

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 daardoor 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 -10 kg N ha⁻¹ en toont aan dat in Balegem de gemeten nitraatresiduen door de simulatie algemeen licht onderschat werden (**Error! Reference source not found.**). De trendanalyse van het nitraatresidu doorheen de tijd (**Error! Reference source not found.**) toont echter aan dat – met uitzondering van 2010, waarvoor slechts 1 validatiepunt beschikbaar was – de jaarlijkse afwijking niet groter is dan 40 kg N ha⁻¹ en dat er geen sprake is van een systematische onder- of overschatting. De gefitte lineaire trend is iets sterker dalend voor de gesimuleerde dan voor de gemeten nitraatresiduen.

4.4 Besluit

Het stroomgebied Balegem bestaat grotendeels uit leembodems en wordt gekarakteriseerd door zowel landbouwgebruik (akkerbouw en veeteelt) als niet-landbouwgebruik (infrastructuur, bossen, tuinen en parken). De historische bemestingsdruk is er eerder gemiddeld t.o.v. andere stroomgebieden. Ondanks het aanzienlijk aandeel bos en ondanks de lemige bodemtextuur is, omwille van de historische bemestingsdruk in Balegem, de gemiddelde gesimuleerde jaarlijkse nitraatconcentratie in het percolerend water op een diepte van 90 cm toch $310 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ voor de periode 1968-2017. Met volledige implementatie van de bemestingsnormen in de periode 2007-2017 werd een gemiddelde jaarlijkse nitraatconcentratie van $130 \text{ mg NO}_3 \text{ L}^{-1}$ gesimuleerd.

Fig 4.1 : Stroomgebied Balegem



Fig 4.2 Overzicht van de modelinvoer

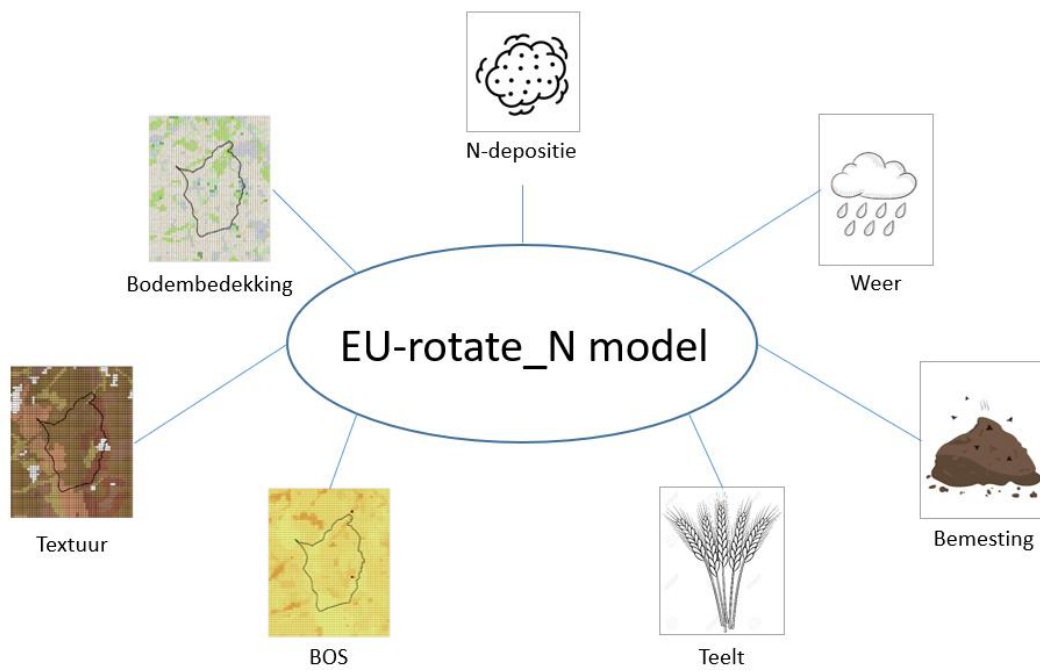


Fig 4.3 Verdeling van de bodembedekking voor het stroomgebied Balegem

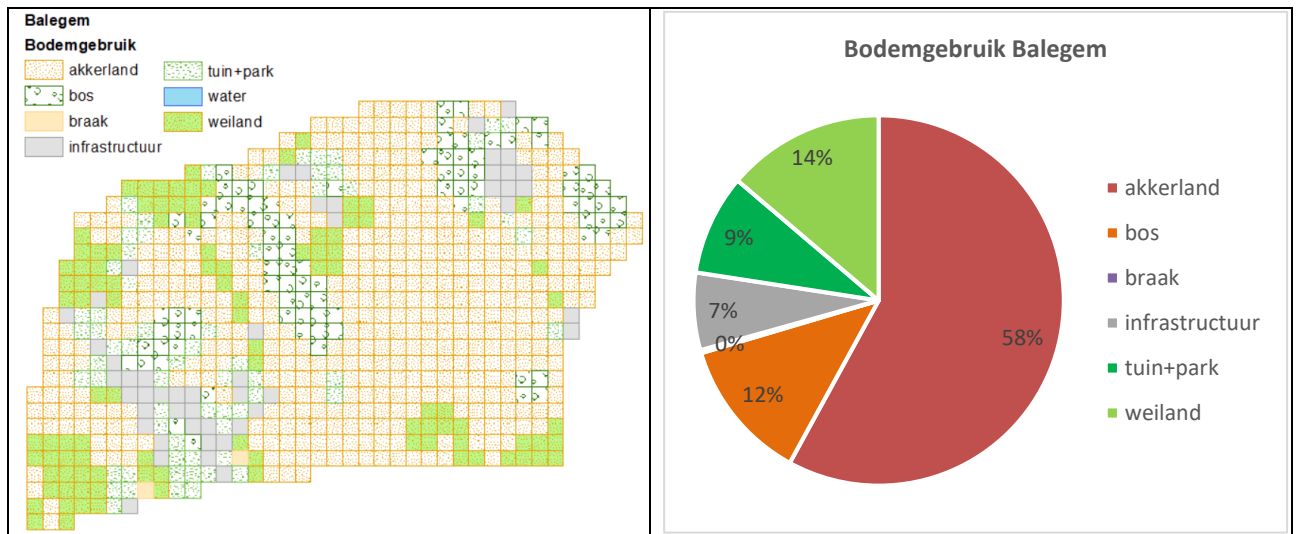


Fig 4.4 Verdeling van het bodemorganische stofgehalte (in g BOS g⁻¹ droge bodem) voor het stroomgebied Balegem.

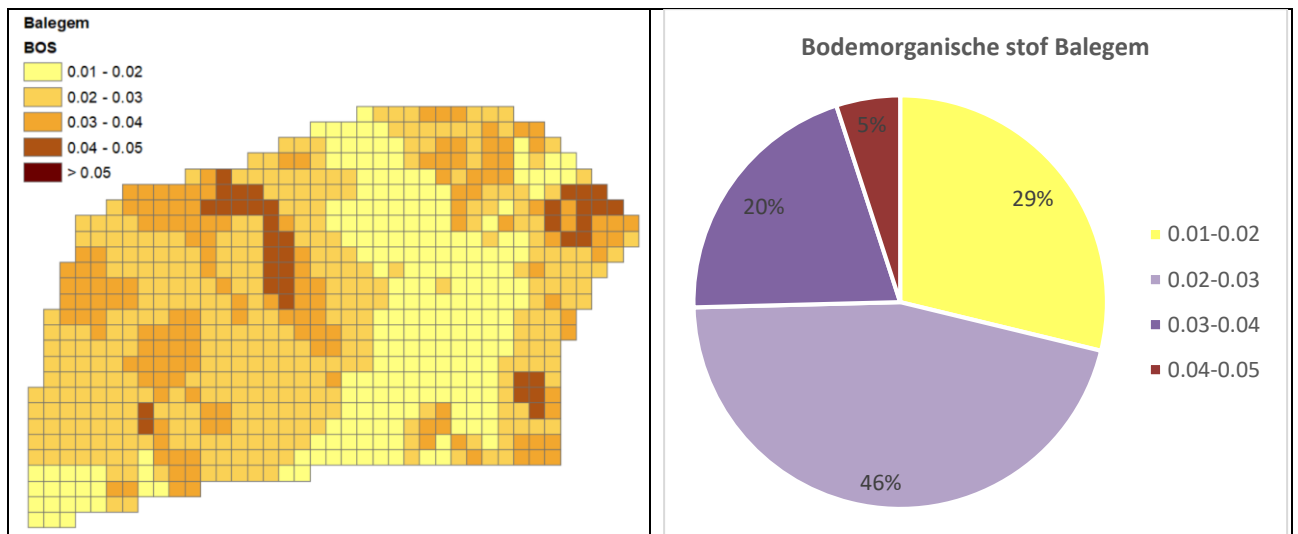


Fig 4.5 Verdeling van de bodemtextuur voor het stroomgebied Balegem.

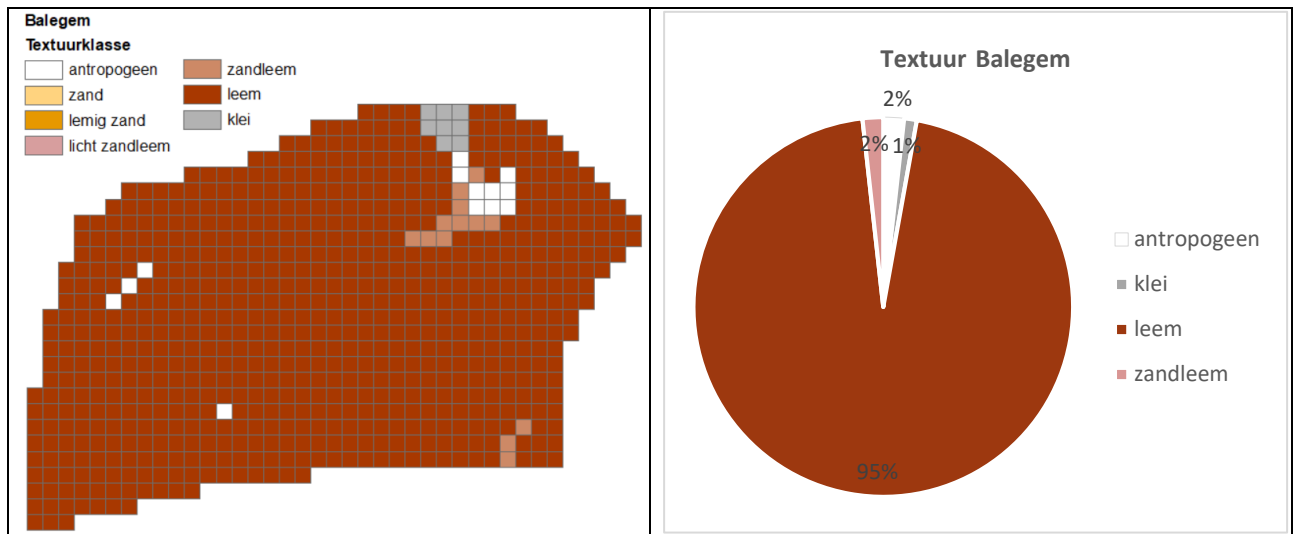


Fig 4.6 Verdeling van de teelten voor de periode 1998-2017 in het stroomgebied Balegem.

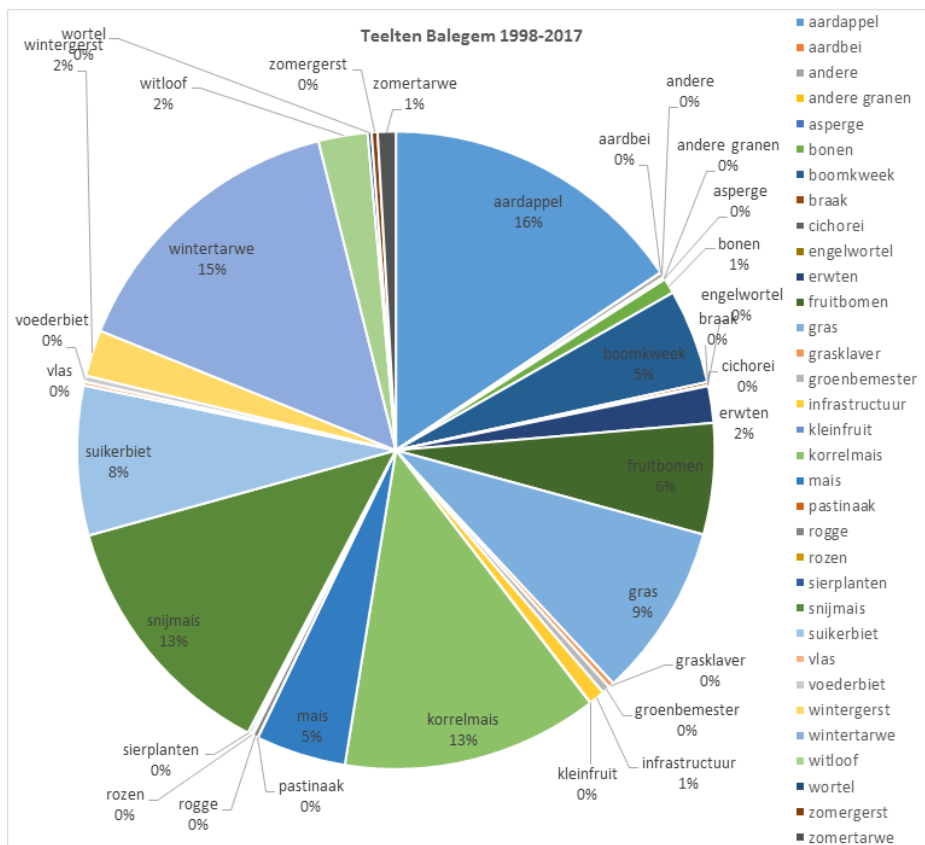


Fig 4.7 Dierlijke mestsoort gesimuleerd voor 2012 in het stroomgebied Balegem

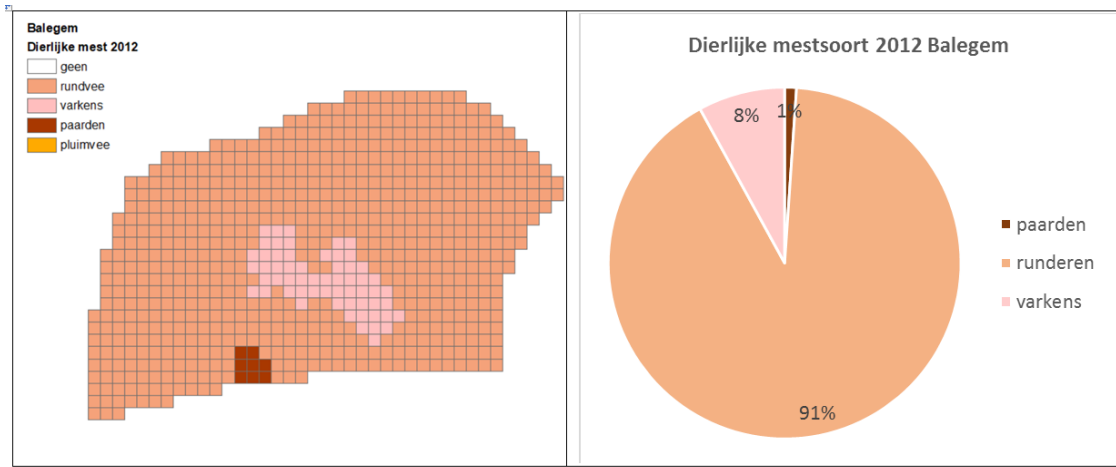


Fig 4.8 Evolutie van de dierlijke N-productie per diersoort per ha landbouwgrond in de regio Balegem.

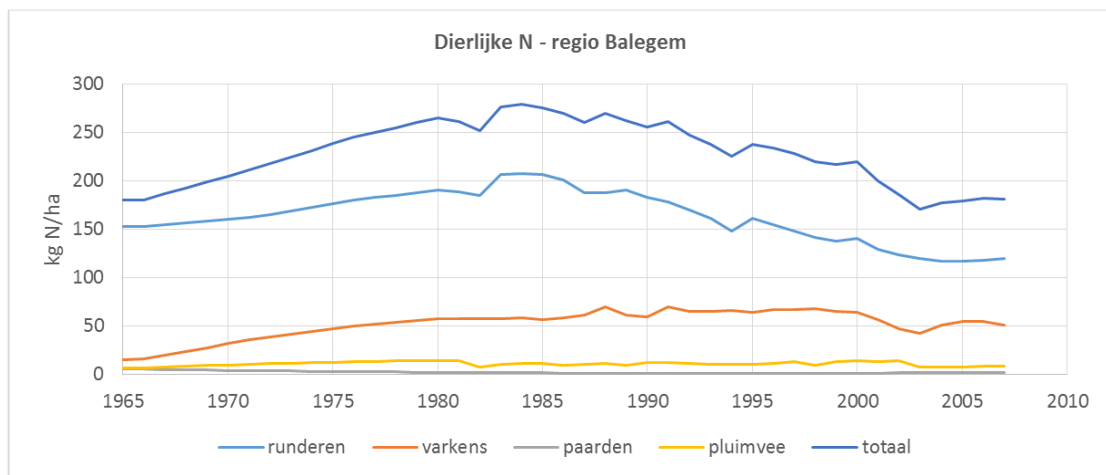


Fig 4.9 Evolutie van de gemiddelde minerale N-bemesting per ha landbouwgrond in België

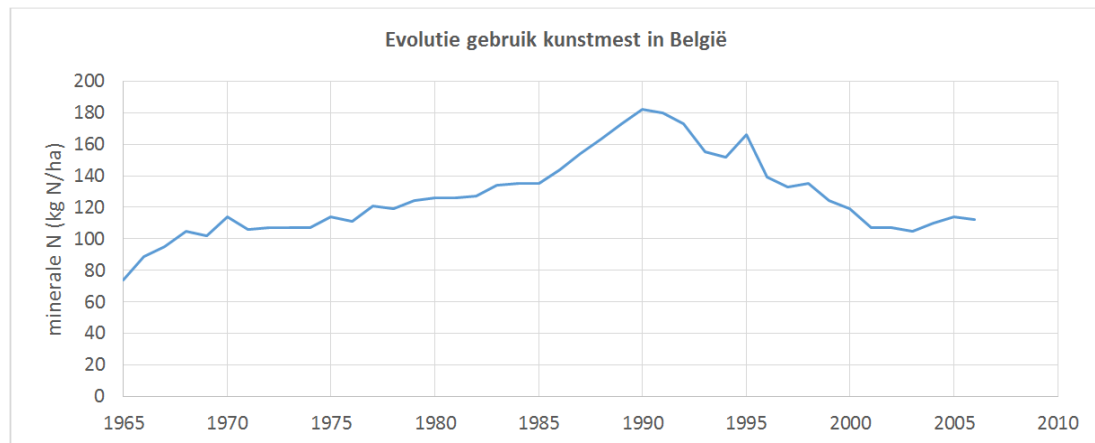


Fig 4.10 Gesimuleerde teelt en nateelt in 2012 en 2013 en waterpercolatie, stikstofuitspoeling en nitraatconcentratie in 2013. De cijfers die hier weergegeven worden zijn gegenereerd op basis van simulaties en kunnen niet eenduidig worden toegewezen aan landbouwpercelen omwille van de berekeningswijze.

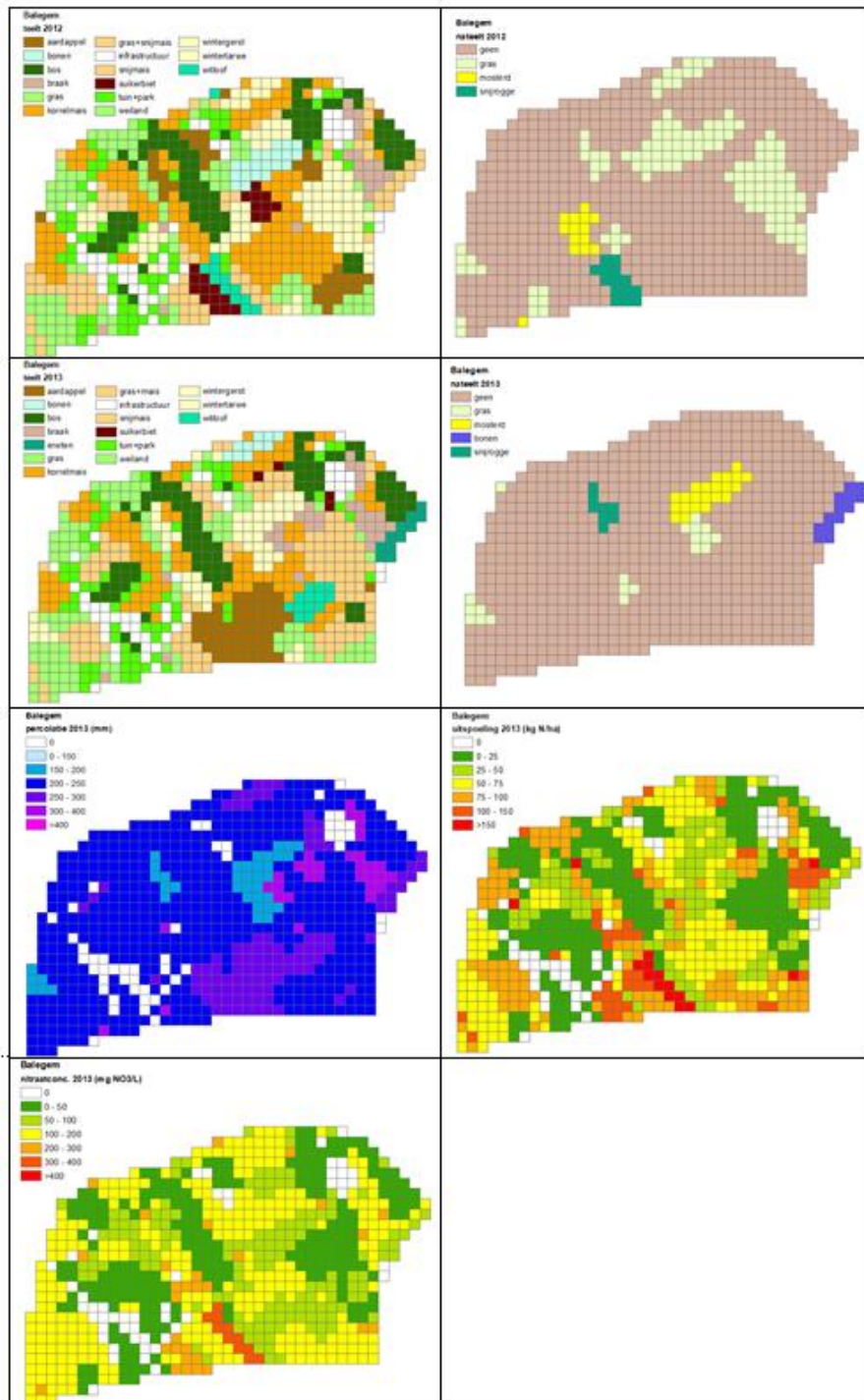


Fig 4.11 Gesimuleerde jaarlijkse stikstofuitspoeling, waterpercolatie en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor het hele stroomgebied.

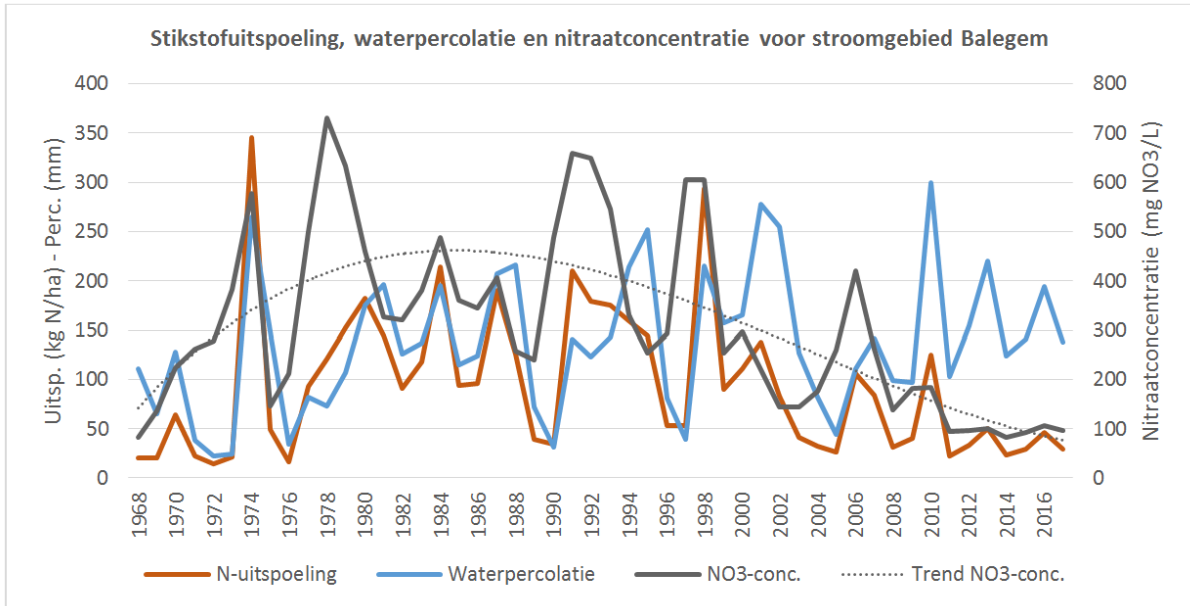


Fig 4.12 Langjarig gemiddelde grondwatervoeding voor Vlaanderen in functie van de bodemtextuur. Verticale balken geven de standaardafwijking weer.

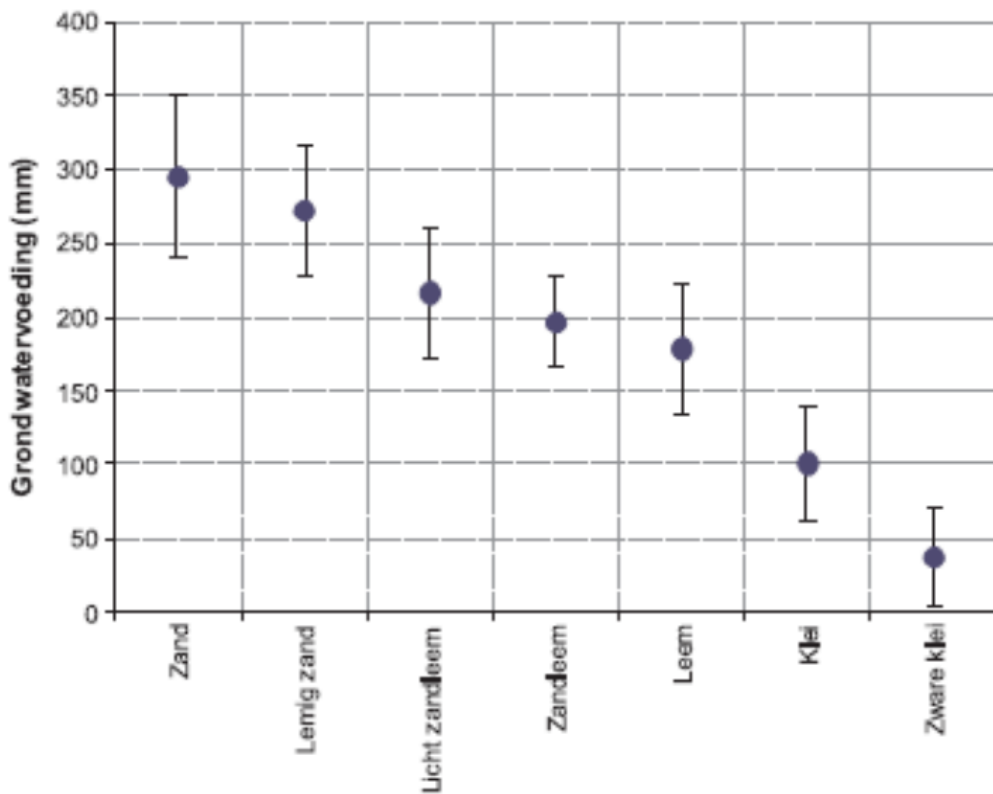


Fig 4.13 Gemiddelde, minimum en maximum voor de jaarlijkse gemiddelde gesimuleerde nitraatconcentratie per bodembedekkingstype over de volledige periode (1968-2017). Ook het gemiddelde voor de periode 2007-2017, met 100% implementatie van de bemestingsnorm, is weergegeven

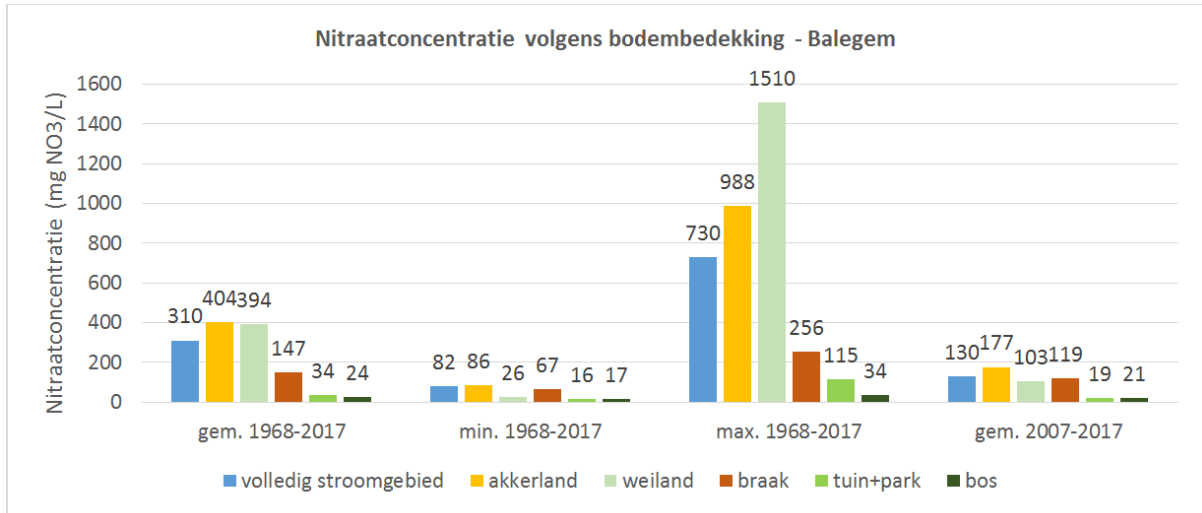


Fig 4.14 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

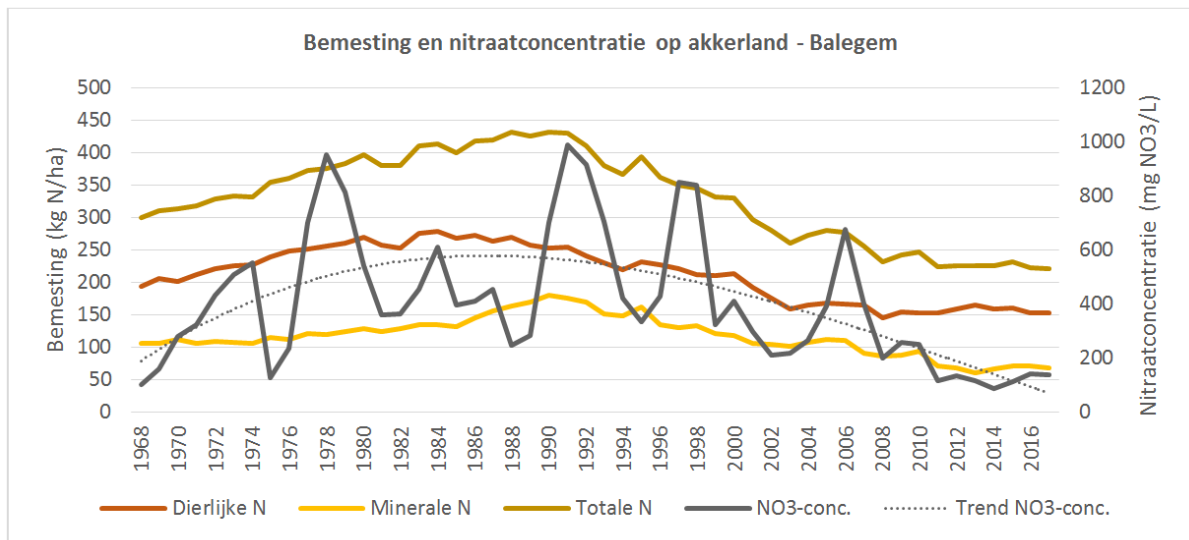


Fig 4.15 Gesimuleerde bemesting en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland.

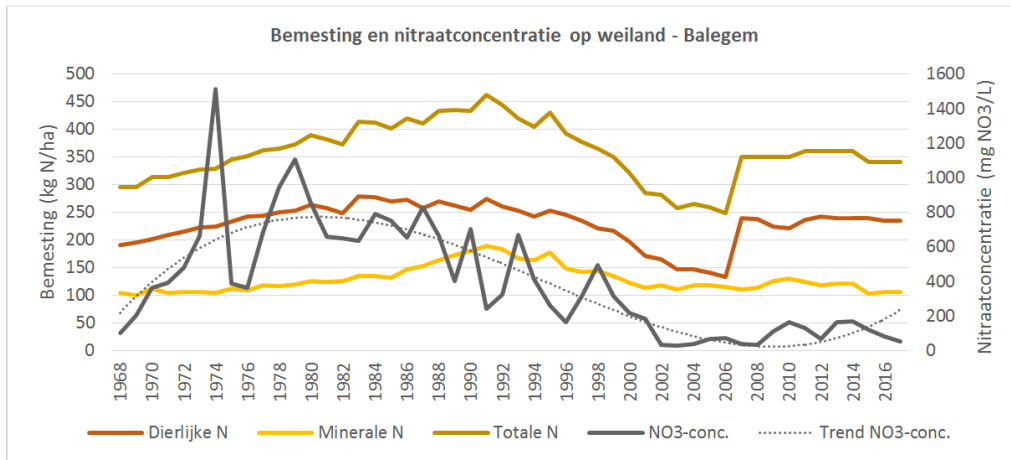


Fig 4.16 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor akkerland

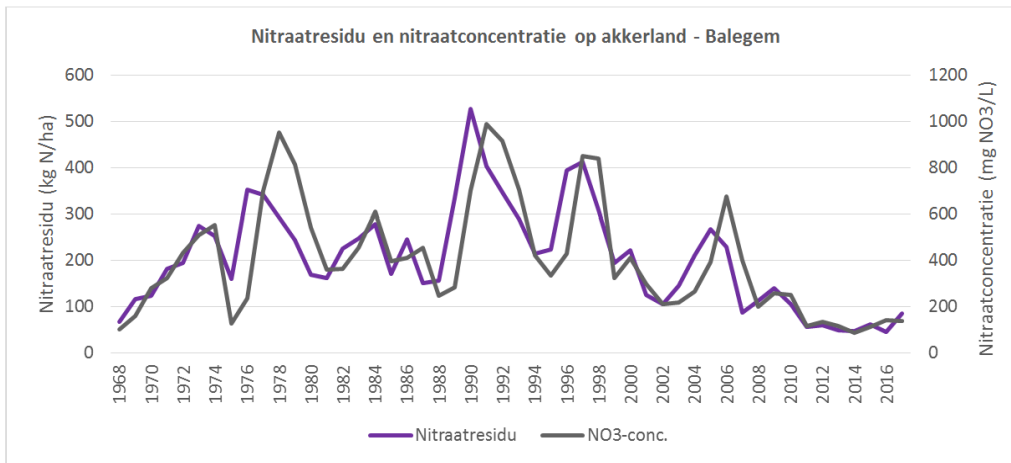


Fig 4.17 Gesimuleerd nitraatresidu op 15 oktober en nitraatconcentratie (op 90 cm diepte) voor weiland

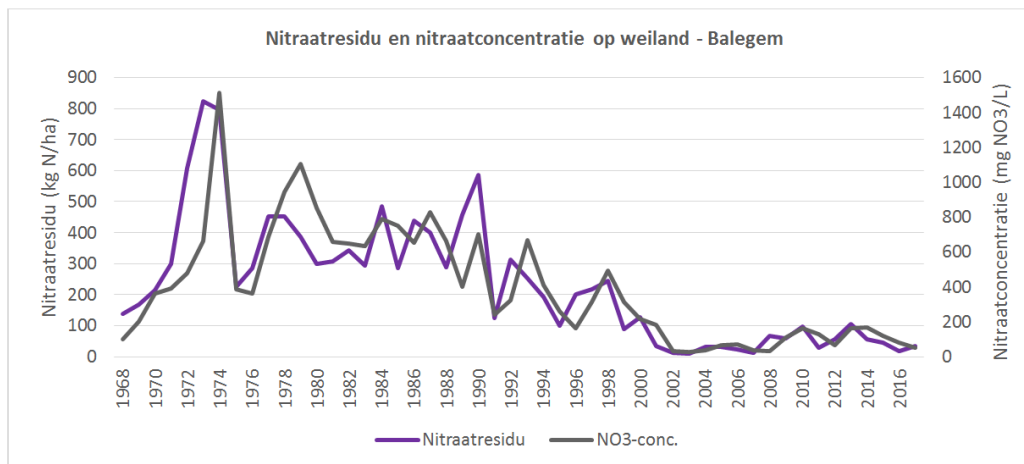


Fig 4.18 Gemeten versus gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)

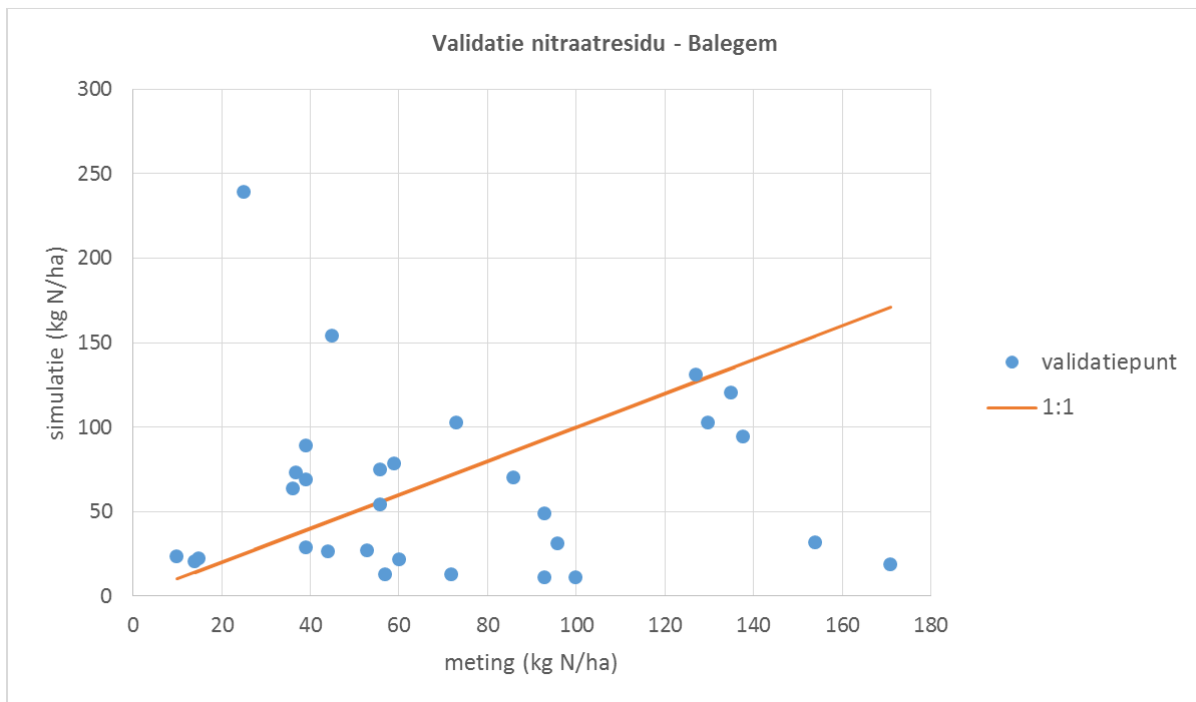
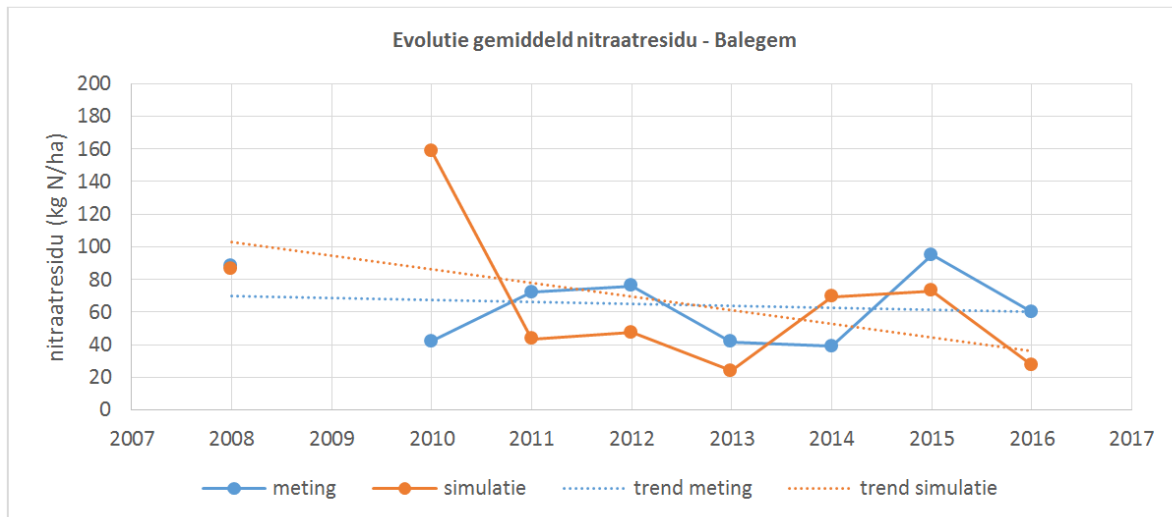


Fig 4.19 Verloop en lineaire trend van het jaarlijks gemiddelde van de gemeten en gesimuleerde nitraatresiduen (0-90 cm)



5 Toepassing van het BFN model : deel verzadigde zone

5.1 Modelinvoer

Resultaten model onverzadigde zone

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

Het grondwateraanvulling (fig 5.1) heeft over de hele periode een gemiddelde van 147 mm/jaar. In de natste jaren kan de aanvulling oplopen tot bijna 300 mm/jaar, zoals in de periode rond 2000. Er komen ook enkele droge jaren voor waarin de grondwateraanvulling slechts ca 50 mm/jaar bedraagt.

Het nitraatgehalte in het bodemperkolaat (fig 5.2) toont een sterke stijging in de eerste helft van de jaren 1970. De hoogste waarden werden eind jaren 1970 bereikt en lagen rond de 700 mg/l. Tussen 1980 en 1990 lag de concentratie meestal rond de 300 mg/l. In de jaren 1990 kwamen nog twee perioden voor met concentraties tot 600 mg/l. Daarna is de nitraatconcentratie gedaald, met uitzondering van 2005 – 2007 toen de gehalten terug hoger waren.

De laatste 10 jaar (2008-2017) bedroeg de gemiddelde nitraatconcentratie in het bodemperkolaat in testsite Balegem nog 117 mg/l. De laatste 5 jaar (2013-2017) ligt dat onder de 100 mg/l, nl 96 mg/l. Momenteel ligt de concentratie in het bodemperkolaat dus ca 2 x hoger dan de 50 mg/l norm.

Reistijden en grondwater ouderdom

Voor de site Balegem werd geen afzonderlijk MODFLOW/MODPATH model opgesteld, gemiddelde reistijden dienen derhalve ingeschat te worden. De afstand van de zuidelijkste peilbuis PB1, waar hoge nitraatgehalten werden vastgesteld, naar de zuidwest en zuidoosthoek van het afstroomgebied is ca 1 km. Het verschil in topografische hoogteligging, dat hier gebruikt wordt als benadering voor de hydraulische gradiënt, is ca 15 m (iets meer voor de zuidoostelijke hoek, maar iets minder voor de zuidwestelijke hoek). Met een porositeit van 40% (zand) en een doorlatendheid van 2.7 m/d voor de Ledo-Paniseliaan aquifer, kan dan de gemiddelde grondwaterstromingssnelheid v berekend worden :

$$v \text{ (m/jaar)} = (15/1000)/0.40 \cdot 365 \cdot 2.7 = \text{ca } 37 \text{ m/jaar}$$

Met deze stromingssnelheid duur het ongeveer 27 jaar om een afstand van 1000 m af te leggen. De helft van deze reistijd werd als mediaanwaarde van de reistijddistributie in het model gebruikt.

Fractionerings coëfficiënten en maandelijkse tijdwegingsfactoren

De verdeling van de jaarlijkse grondwateraanvulling over de maanden is gebaseerd op een berekening met een Soil Moisture Balance model voor de periode vanaf 2000 met maandelijkse neerslagtotalen en een "plant available water" gehalte van 100 mm. Het meest aanvulling vindt plaats in de maanden december en januari : in deze twee maanden gebeurt meer dan de helft van de jaarlijkse aanvulling.

De verdeling van de baseflow over het jaar steunt op debietsgegevens van de Molenbeek in Letterhoutem (fig 5.3). Voor het jaar 2019 werd een inschatting gemaakt van de baseflow in de winterperiode (0.038 m³/sec in februari) en in de zomerperiode (0.006 m³/sec in augustus). De verhouding van winter op zomerbaseflow is dus (afgerond) ongeveer een factor 6. Deze verhouding van 6 werd aangehouden en varieert geleidelijk over de maanden.

De lagere nitraatgehalten in de winterperiode worden vooral veroorzaakt door verdunning met nitraatarm water. Dit nitraatarm water kan deels afstromend neerslagwater zijn, of neerslagwater dat in de laaggelegen moerassige percelen in poeltjes accumuleert, of ondiep grondwater dat nitraatarm is (in 4 van de 5 peilbuizen werden immers lage nitraatconcentraties gevonden). De bijmenging van dit nitraatarm water beloopt 50% van de jaarlijkse grondwateraanvulling. Van het dieper grondwater komt 30% toegestroomd via de oxidatiezone, de overige 70% via de reductiezone.

De maandelijkse wegingsfactoren staan opgelijst in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Maandelijkse wegingsfactoren in het model van de testsite Balegem

maand	Aanvulling (25%)	Baseflow wegingsfactor	Ondiep water wegingsfactor
Jan	22.7	2.50	0.9
Feb	19.8	3.00	1.0
Mar	10.1	2.75	1.0
Apr	3.0	2.50	0.7
Mei	1.3	2.00	0.4
Jun	0.2	1.50	0.2
Jul	0.0	0.50	0.0
Aug	0.5	0.50	0.0
Sep	3.2	0.50	0.1
Oct	2.6	1.00	0.2
Nov	11.6	1.25	0.3
Dec	24.8	1.50	0.6

5.2 Modelresultaten

De resultaten van het BFN model zijn voorgesteld op fig 5.4. Duidelijk is te zien dat de nitraatgehalten vanaf ca 1970 tot eind jaren 1990 stelselmatig gestegen zijn. Daarna is er een continue daling opgetreden. Heel die periode was er een sterke seizoentaliteit.

Op fig 5.5 wordt enkel de periode weergegeven waarvoor metingen aan het MAP meetpunt beschikbaar zijn (vanaf 1999). In het begin van de meetperiode worden door het model te hoge zomerpieken berekend. De berekende afname van de zomermaxima na ca 2000 worden niet waargenomen in het MAP meetpunt. Met de gebruikte parameterconfiguratie van het model wordt vooral een goede fitting van de laatste 10 jaar nagestreefd. De afwijkingen bij de zomermaxima nemen af van 2000 tot in het jaar 2014. Maar de zomerconcentraties zijn vanaf 2015 terug verhoogd. Deze verhoging is niet te zien in de berekende nitraatconcentraties in het bodemperkolaat, maar het nitraathoudend dieper grondwater heeft een lange reistijd en is dus vele jaren oud.

Fig 5.1 Grondwateraanvulling (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone

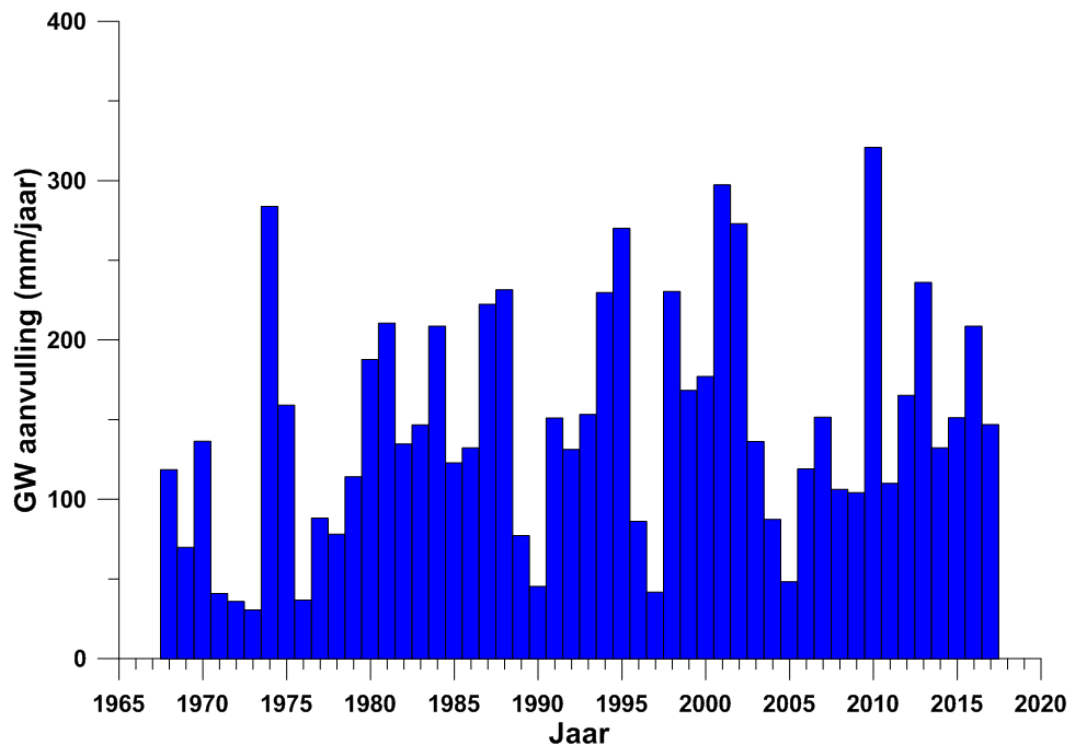


Fig 5.2 Nitraatconcentratie in het bodemperkolaat (1968-2017) berekend met het model van de onverzadigde zone

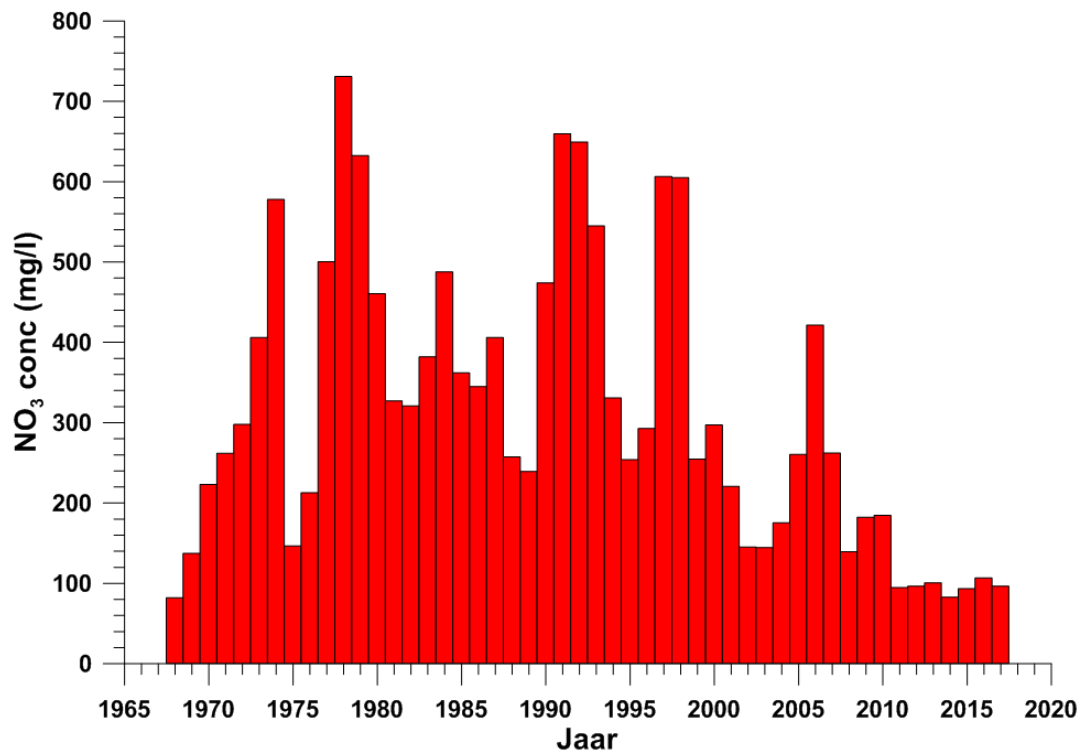


Fig 5.3 Debietsverloop van de Molenbeek (Kottembeek) in Letterhoutem in 2019

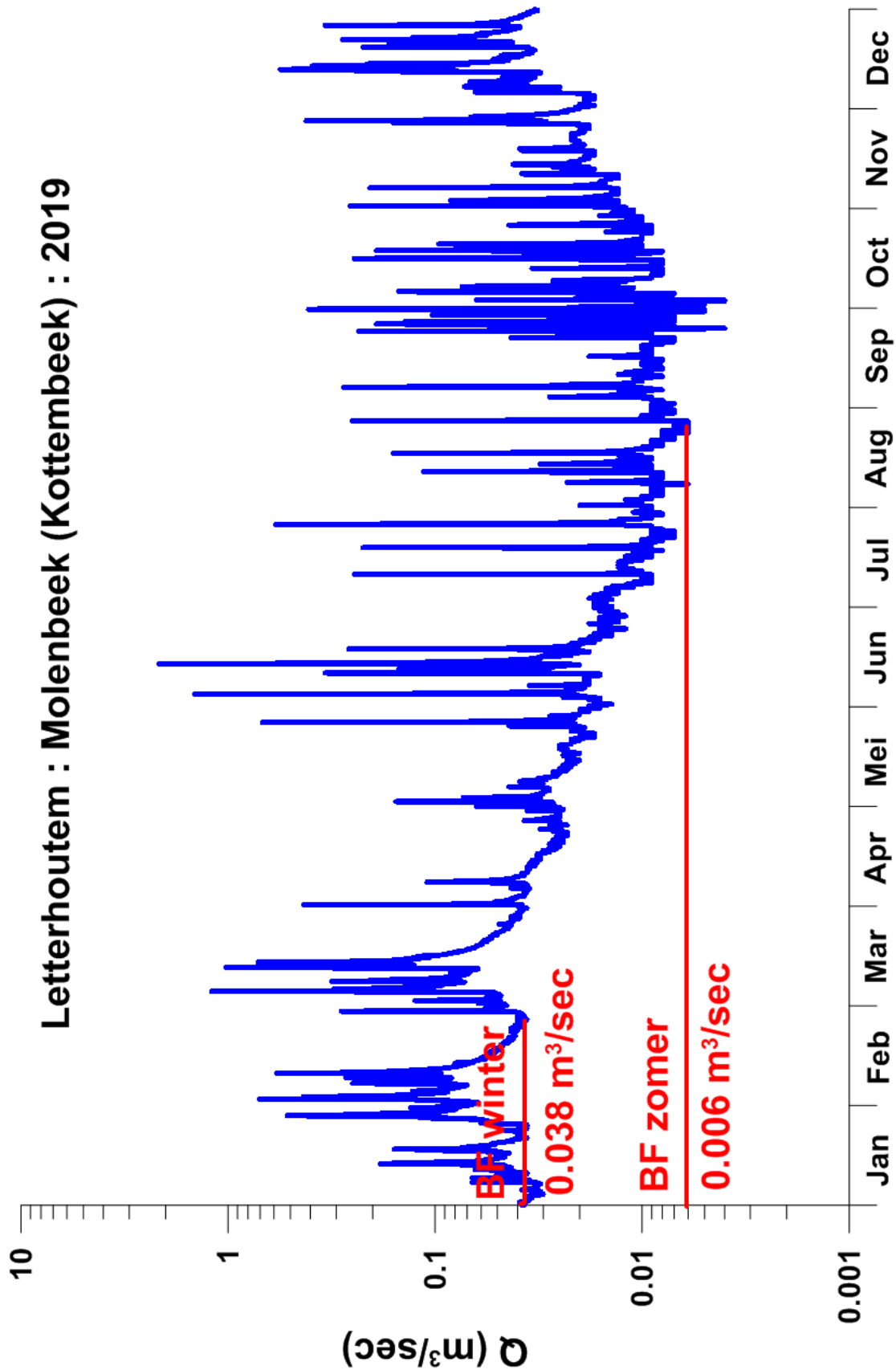


Fig 5.4 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Balegem (1968-2017)

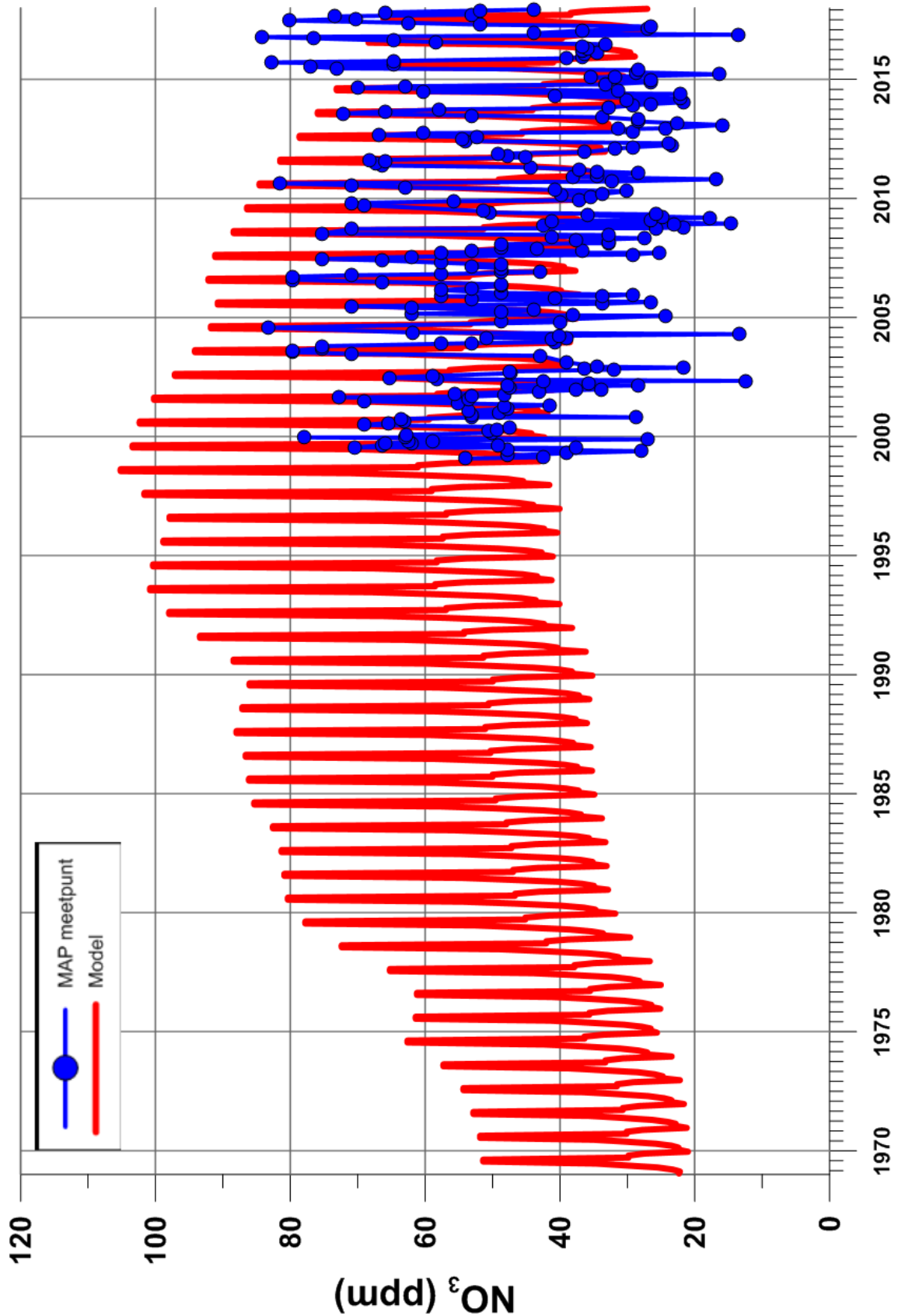
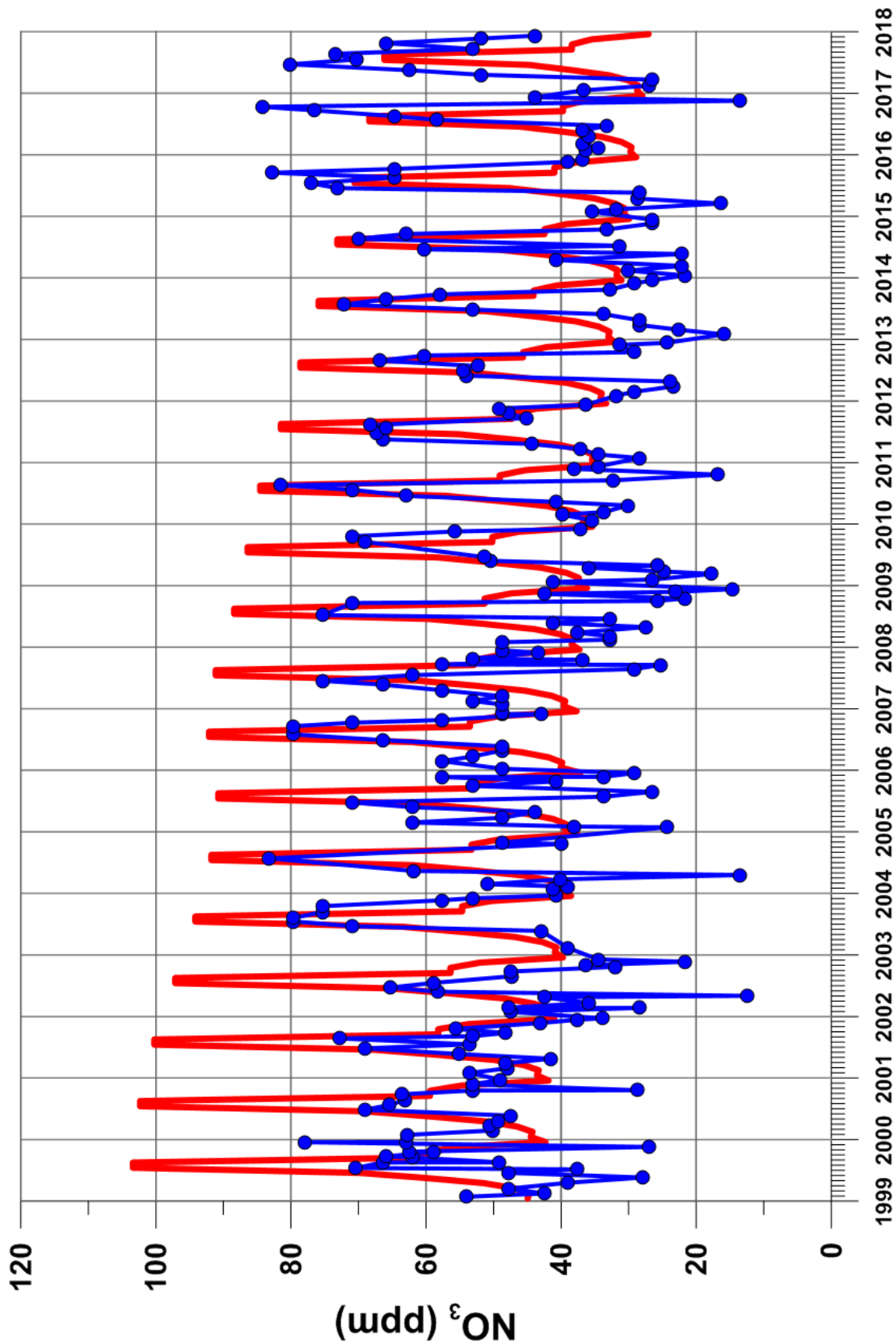


Fig 5.5 Resultaten van het model van de verzadigde zone voor de testsite Balegem (vanaf 1999)



6 Synthese en conclusies

De testsite betreft het afstroomgebied van de Molenbeek-Gondebeek in de gemeente Balegem stroomopwaarts van MAP meetpunt 558700, gelegen langsheen de Apostelstraat in genoemde gemeente. Topografisch loopt het maaiveld op naar het zuiden toe en de zuidelijke grens van het afstroomgebied wordt gevormd door twee heuvels, verbonden via een zadeldal. De topografie helt sterker naar het noorden dan de tertiaire lagen die de ondergrond vormen. Daardoor dagzomen in het zuiden de geoxideerde zanden van de Formatie van Lede en het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge. In het noorden van de testsite dagzomen de meer kleihoudende afzettingen van het Lid van Pittem van de Formatie van Gentbrugge. Dit heeft zijn invloed op de grondwaterstroming: het water dat in de zandlagen noordwaarts stroomt wordt door de ondiepe kleilaag gehinderd en moet via kwel in het centrum van de beekvallei weggedraineerd worden. De hoogste nitraatconcentraties worden dan ook hier aangetroffen.

Het MAP meetpunt vertoont een duidelijke, regelmatige seizoensaliteit met hoge nitraatconcentraties in de zomer, met jaarlijkse overschrijdingen, en lage waarden in de winter. In de winter moet een verdunning optreden door nitraatarm water, mogelijk een mengsel van ondiep grondwater (met weinig nitraat, zoals dat in 4 peilbuizen werd gevonden) en eventueel runoff water. In de zomer is het vooral diep kwelwater dat de beek voedt. Dit is oud nitraatrijk grondwater dat in het zuiden geïnfiltreerd is en via lange stroombanen noordwaarts gebracht is.

Stroomopwaarts en ten zuiden van het MAP meetpunt werden 5 ondiepe peilbuizen geplaatst. Deze werden tweemaal bemonsterd. Hoge nitraatgehalten werden enkele in de meest zuidelijke peilbuis vastgesteld. Eénmaal bedroeg de concentratie ca 150 mg/l, in de andere meetronde ca 60 mg/l, maar dit water had een verhoogde ijzerconcentratie (ca 3 mg/l) en was dus eigenlijk een mengsel van nitraathoudend geoxideerd water en, wellicht dieper, nitraatvrij gereduceerd water.

De nitraatinstroom via grondwater beperkt zich tot hoofzakelijk tot de zuidelijke laaggelegen percelen in de as van de vallei. Hier komt grondwater vanuit het zuiden toegestroomd via de goed doorlatende zanden van de Formatie van Lede en het Lid van Vlierzele van de Formatie van Gentbrugge. Deze afzettingen zijn geoxideerd en nitraten worden niet afgebroken. Het water in deze lagen is verder naar het zuiden geïnfiltreerd, tot op de zuidelijke heuvels die een waterscheiding vormen met een zuidelijker bekken. Het water in deze lagen kan niet verder noordwaarts doorstromen en kwelt op via een moerassig gebied met talloze ondiepe poeltjes en ondiepe afwateringsgrachtjes. Vanuit deze poeltjes loopt het water dan in de beek en naar het MAP meetpunt. Vanwege de grote afstand die het grondwater vanuit het zuiden heeft afgelegd, moeten de reistijden vrij groot zijn, waarschijnlijk enkele tientallen jaren. De nitraatinstroom moet afkomstig zijn van water dat misschien wel in de jaren 1980 of 1990 geïnfiltreerd is, maar niet in de onmiddellijke omgeving van het MAP meetpunt.

Met het nitraatspecifiek model reproduceert goed de seizoensaliteit van het MAP meetpunt, maar de afname in de zomerpieken die door het model sinds het jaar 2000 berekend wordt, is niet waargenomen in het MAP meetpunt.