



# NIEUWE NEMO GRONDWATERMODULE OP LOKALE SCHAAL

---

Auteurs:

Yves Vervoort, Verhaert

## INHOUDSTAFEL

<b>1</b>	<b>Initiatiefnemers</b> .....	4
1.1	VMM.....	4
1.2	Het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten.....	4
<b>2</b>	<b>Projectcontext: bestaande NEMO</b> .....	5
<b>3</b>	<b>Algemene doelstelling, probleemstelling en uitdaging voor een nieuwe NEMO</b> .....	8
<b>4</b>	<b>Vorbereiding van de aankoop in samenwerking met Verhaert</b> .....	9
<b>5</b>	<b>Behoeftanalyse</b> .....	10
5.1	Methodologie en opbouw hoofdstuk.....	10
5.2	Probleemcontext en algemene behoeften.....	10
5.3	Specifieke randvoorwaarden en beperkingen.....	14
5.3.1	Doorrekening in ruimte en tijd.....	14
5.3.2	Geïntegreerde doorrekening.....	14
5.3.3	Resolutie.....	14
5.3.4	Overdracht van code.....	14
5.3.5	Rekentijden.....	14
5.3.6	Kalibratie.....	15
5.4	Functionele vereisten en specificaties van de beoogde grondwatermodule.....	15
5.5	Impact van de behoeften op de huidige systeemcomponenten.....	15
5.6	Conclusies.....	17
<b>6</b>	<b>Marktconsultatie</b> .....	18
6.1	Aanpak en methodologie.....	18
6.2	Schaalniveau.....	19
6.3	Sleutelprocessen.....	20
6.3.1	Grondwatertransport.....	20
6.3.2	Drainage.....	20
6.3.3	Nutriënttransport.....	21
6.3.4	Denitrificatie.....	22
6.3.5	Fosfor.....	22
6.4	Geconsolideerd perspectief.....	22
6.5	Reflecties van de markt.....	23
6.6	Conclusies.....	24
<b>7</b>	<b>Conclusie</b> .....	26
7.1	Nederlands.....	26
7.2	English.....	28
<b>A.</b>	<b>Appendix</b> .....	30
A.1	Overzicht deelnemende partijen.....	30



## 1 Initiatiefnemers

### 1.1 VMM

De Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) is een agentschap van de Vlaamse overheid. Het is de missie van de VMM om voor de huidige en toekomstige generaties in Vlaanderen:

- proper, aantrekkelijk en voldoende water te waarborgen,
- gezonde lucht te bewerkstelligen,
- de klimaatadaptatie mee te sturen.

De VMM neemt een rol op in de verschillende stappen van het beleidsproces (meten, plannen, actie nemen, evalueren) voor het bereiken van de goede ecologische toestand in grondwater, rivieren en beken. De VMM onderzoekt hiervoor welke landbouwmaatregelen noodzakelijk zijn om de waterkwaliteit in Vlaamse wateren te verbeteren. Hoewel voedingsstoffen zoals stikstof en fosfor cruciaal zijn voor de groei van landbouwgewassen, leidt een overmaat aan deze nutriënten door tot een overschot in de bodem, wat uiteindelijk een nadelige invloed heeft op de waterkwaliteit. Verhoogde concentraties fosfor en stikstof hebben schadelijke gevolgen voor de ecologische toestand van waterlichamen en vormen een potentiële bedreiging voor de drinkwaterproductie. In samenwerking met de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) heeft de Vlaamse Milieumaatschappij het Nutriëntenemissiemodel (NEMO) laten ontwikkelen. Dit model maakt het mogelijk om de verliezen van stikstof en fosfor van de landbouw naar het grond- en oppervlaktewater te berekenen.

De VMM diende in de lente van 2023 bij het PIO een aanvraag in om een nieuwe NEMO module te laten ontwikkelen.

### 1.2 Het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten

Het Programma Innovatieve Overheidsopdrachten (PIO) tot 2023 ondergebracht bij het Departement Economie, Wetenschap en Innovatie (EWI) en sinds 1 januari onderdeel van VLAIO (Agentschap voor Ondernemen en Innoveren) heeft als doel de omvangrijke koopkracht van de Vlaamse overheid (en de bredere publieke sector in Vlaanderen) meer strategisch in te zetten voor innovatie. Hiertoe wil het PIO de overheidsorganisaties in Vlaanderen stimuleren en helpen om een deel van hun aankoopmiddelen te besteden aan innovatieve overheidsopdrachten, d.w.z. het (laten) ontwikkelen en/of aankopen van innovatieve producten en diensten waarmee ze hun eigen werking en publieke dienstverlening kunnen optimaliseren en beter kunnen inspelen op de vele maatschappelijke uitdagingen waarvoor ze staan. Op die manier wil het PIO bijdragen tot een performantere overheid, competitievere ondernemingen en oplossingen voor uitdagingen van maatschappelijk belang (gezondheid, milieu en energie, veiligheid, ...). Het PIO biedt aan overheidsorganisaties in Vlaanderen begeleiding en cofinanciering bij de ontwikkeling en validering van innovatieve oplossingen. Dit kunnen nieuwe of sterk verbeterde producten of diensten zijn, maar ook nieuwe manieren van werken en organiseren.

## 2 Projectcontext: bestaande NEMO

NEMO, een gedetailleerd model met een mechanistische en ruimtelijk verdeelde benadering, is specifiek ontworpen om de water-, stikstof- en fosforvrachten van het Vlaamse landbouwgebied te berekenen. De doelstellingen van NEMO zijn:

- Evaluatie van het gevoerde beleid: elk jaar worden de vrachten van stikstof en fosfor van de landbouwpercelen naar de waterlopen berekend op basis van de beschikbare gegevens over de landbouw en de weersomstandigheden in Vlaanderen. Zo kunnen de effecten van het gevoerde mestbeleid en waterbeleid in Vlaanderen jaar na jaar opgevolgd worden.
- Evaluatie van het toekomstig beleid: NEMO kan ook gebruikt worden om met scenario-analyses de effecten van nieuwe beleidsvoorstellen op de vrachten van stikstof en fosfor na te gaan.

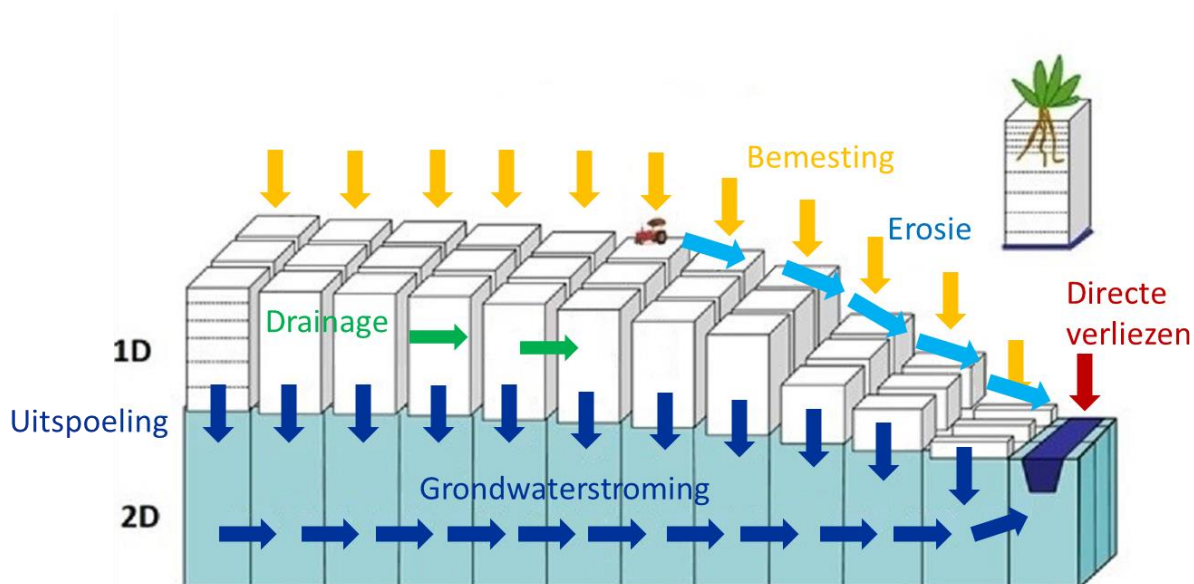
Het model berekent de verplaatsing van stikstof en fosfor van bemeste landbouwpercelen naar waterlopen in agrarische gebieden, waarbij het rekening houdt met waterstromen en het transport van deze nutriënten. Diverse processen, zoals gewasgroei, mineralisatie, denitrificatie, uitspoeling, erosie, grondwaterstroming en drainage, worden gecombineerd via verschillende submodules.

NEMO begint bij bemesting en gewassen op landbouwpercelen, waarbij verschillende processen worden geïntegreerd, waaronder bemestingstoewijzing met behulp van het bemestingsallocatiemodel (BAM). Dit model converteert de totale mestproductie per landbouwbedrijf naar de specifieke mesttoediening per landbouwperceel. Andere processen omvatten erosie bij hevige neerslag, waarbij bodemdeeltjes en mest van landbouwpercelen naar waterlopen worden gespoeld, evenals het inwerken van mest in de bodem om stikstof- en fosforopname door gewassen mogelijk te maken. De simulatie omvat tevens de groei van gewassen, wat cruciaal is voor het voorspellen van de opname van stikstof en fosfor uit de mest. Het overtollige stikstof en fosfor worden samen met regenwater geleidelijk naar het grondwater afgevoerd. De gesimuleerde grondwaterstromen worden gemodelleerd met aandacht voor denitrificatie en de afvoer van nutriënten via drainage.

De grondwatermodule van NEMO behandelt drie specifieke aspecten:

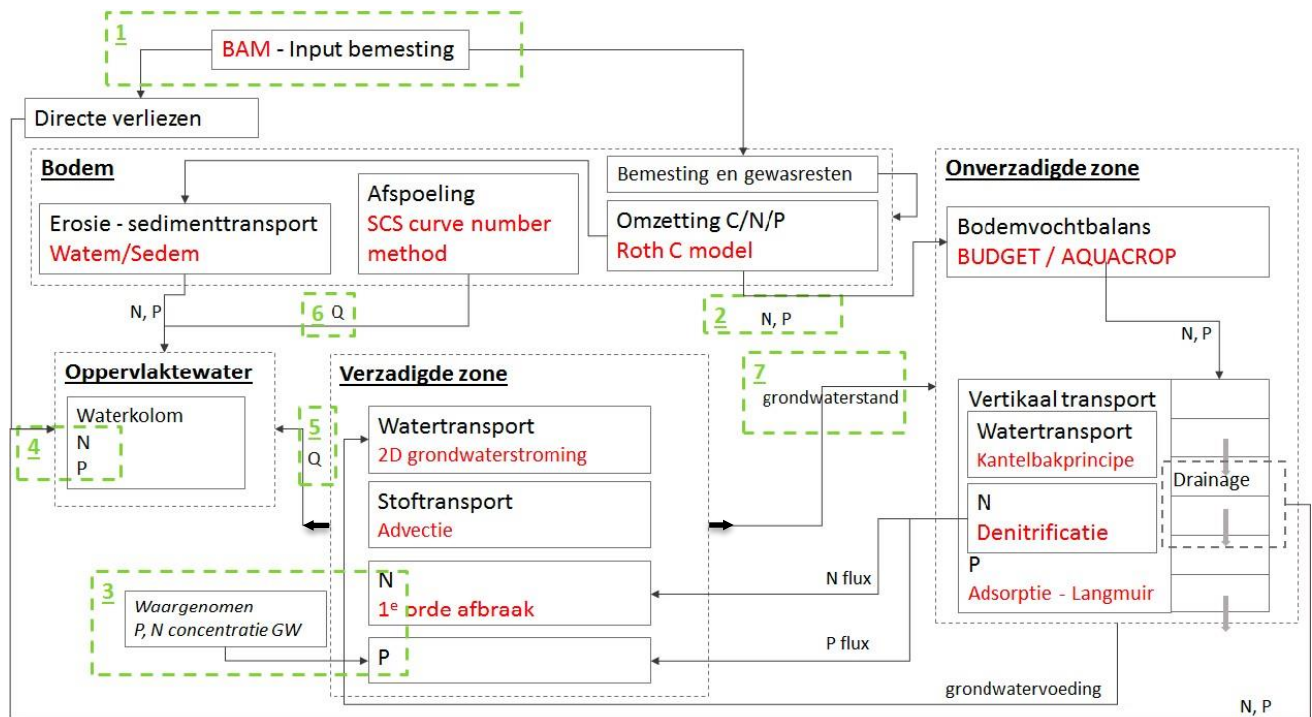
1. De stroming van het grondwater en de grondwaterstanden.
2. Het transport van nitraat in het grondwater, denitrificatie, en het transport van fosfaat.
3. De hoeveelheid drainage en de aanwezigheid van nitraat en fosfaat in het drainagewater worden eveneens behandeld.

Het model maakt gebruik van de beschikbare ruimtelijke informatie in Vlaanderen en hanteert daarbij een resolutie van 50m x 50m. Deze ruimtelijke discretisatie van het huidige model is weergegeven in onderstaande figuur.



Figuur 1: Ruimtelijke discretisatie van het huidige NEMO model

De meeste beschreven processen in NEMO vinden plaats in de onverzadigde zone van het bodemprofiel, waarbij waterstromen en uitspoeling van nitraat en orthofosfaat verticaal worden beschreven (1-dimensionaal). Deze berekeningen worden onafhankelijk uitgevoerd voor elke rastercel, zonder invloed van naburige cellen. Voor het transport van stikstof en fosfor naar oppervlaktewater via erosie en grondwaterstroming, waarbij wel beïnvloeding tussen naburige rastercellen plaatsvindt, zijn specifieke routingprocedures en een grondwaterstromingsmodel ontwikkeld voor de opvolging van trends - zowel van de huidige toestand als scenario's trends naar de toekomst toe. De belangrijkste modelconcepten van het model worden alsook bijhorende processen zijn schematisch weergegeven in onderstaande figuur. De huidige implementatie wordt gebruikt om uitspraken te doen op het regionale (Vlaamse) niveau en op schaal van rivierbekkens ter ondersteuning van de stroombeheerplannen of gebiedstypes voor de MAP.



Figuur 2: De belangrijkste modelconcepten van het huidige NEMO model

### 3 Algemene doelstelling, probleemstelling en uitdaging voor een nieuwe NEMO

De **algemene doelstelling** van het project is om de grondwatermodule van NEMO te vernieuwen zodat deze beter geschikt is om uitspraken te doen over de drie deelaspecten (nutriëntentransport in grondwater, nutriëntenprocessen in grondwater en drainage) op het lokale niveau van de afstroomzones van Vlaamse waterlichamen en lokale waterlichamen van eerste orde. Een bijkomende doelstelling is het modelleren van de grondwaterconcentraties in de verschillende zones van het freatische grondwater. Dit alles met het oog op de twee hoofddoelstellingen van NEMO:

1. Het berekenen en rapporteren van de jaarlijkse vrachten van stikstof (N) en fosfor (P) vanuit landbouwgebieden naar het oppervlaktewater.
2. Het beoordelen van scenario's met gangbare landbouwmaatregelen in het kader van het mestbeleid (mestactieplan) en het integraal waterbeleid (stroomgebiedsbeheerplan).

De **algemene probleemstelling** houdt in dat de resultaten van jaarlijkse berekeningen en scenario-oefeningen tot nu toe voornamelijk op regionaal niveau zijn geanalyseerd, wat de behoefte aan gedetailleerde uitspraken op lokaal niveau bemoeilijkt. Trends op Vlaams niveau of voor specifieke bekkens (zoals Nete, Maas, Demer, enz.) zijn vastgesteld en vergeleken met de gestelde doelen. De onzekerheid in de modelresultaten neemt toe bij kleinere ruimtelijke schaalniveaus, deels als gevolg van onzekerheden in onderliggende datasets en vereenvoudigingen in het model om rekentijden te versnellen. De bestaande grondwatermodule hanteert een vereenvoudigde 2-dimensionale weergave van het freatische grondwatersysteem in Vlaanderen, wat geschikt is voor algemene trends op regionale schaal, maar minder voor gedetailleerde uitspraken op lokaal niveau.

- Operationele beperkingen van de huidige aanpak zijn onder meer het onvermogen van het 2D-grondwaterstromingsmodel om sommige lange reistijden in het grondwater nauwkeurig te simuleren, wat essentieel is voor het inschatten van jaarlijkse vrachten en het beoordelen van maatregelen. De beschrijving van denitrificatie is vereenvoudigd en houdt beperkt rekening met lokale variaties in reductieomstandigheden, zonder onderscheid te maken tussen geoxideerde en gereduceerde zones. In gebieden met lage reductie van nitraat kan een aanzienlijk deel van het uitspoelende nitraat uit landbouwgronden in het grondwater en uiteindelijk in het oppervlaktewater belanden, wat extra beleid noodzakelijk maakt om waterkwaliteitsdoelen te halen. Een adequate integratie van deze dynamiek in NEMO is daarom van groot belang.
- Strategische beperkingen betreffen de beperkingen in de gebiedsgerichte aanpak en onderbouwing van beleid. Voor het stroomgebiedsbeheerplan en het mestactieplan is een gebiedsgerichte benadering essentieel, evenals voor het berekenen van reductiedoelstellingen, waarbij modellering op het niveau van de afstroomzones en gedegen onderbouwing vereist zijn.

De **algemene uitdaging** betreft de verschuiving naar een gebiedsgerichte aanpak in het integraal waterbeleid en het mestbeleid, zoals geïmplementeerd in het 6de en voorgesteld voor het 7de Mestactieplan en het derde stroomgebiedsbeheerplan, wat de noodzaak benadrukt voor nauwkeurige resultaten op lokaal niveau. NEMO, dat de bijdrage van de landbouwsector berekent, speelt een essentiële rol in deze gebiedsgerichte aanpak en vormt een integraal onderdeel van de waterkwaliteitsmodelketen van de VMM. De verdere verfijning van de grondwatermodule in NEMO is cruciaal om gedetailleerde output op lokale schaal mogelijk te maken, vooral gezien de verschuiving van schaal van 11 bekkens naar meer dan 200 afstroomzones van Vlaamse waterlichamen. Deze aanpassing is essentieel om relevante uitspraken te kunnen doen over de vrachten van stikstof en fosfor, het effect van genomen of mogelijke maatregelen, en de toetsing aan waterkwaliteitsdoelstellingen op niveau van individuele Vlaamse waterlichamen en hun afstroomzones. Het belang van drainage en grondwater, die elk 40-45% van de vrachten van nitraat naar het oppervlaktewater vertegenwoordigen, benadrukt de noodzaak van een verfijnde grondwatermodule voor een accurate berekening op lokale schaal.



## 4 Voorbereiding van de aankoop in samenwerking met Verhaert

VMM diende medio 2023 een aanvraag in voor de opstart van een PIO-traject (Programma Innovatieve Overheidsopdrachten) getiteld “Nieuwe NEMO grondwatermodule op lokale schaal” in.

Na overleg met PIO werd overeengekomen om de aankoop te laten voorbereiden en hiervoor externe expertise in te schakelen. In september 2023 hebben PIO en VMM Verhaert New Products and Services NV aangesteld om de opdracht voor te bereiden. Een eerste overleg vond plaats op 12 oktober 2023.

Doel van de voorbereiding door Verhaert was tweeledig. Enerzijds de behoefte van VMM voor de vernieuwde NEMO gedetailleerd en systematisch in kaart te brengen met eindgebruikers en stakeholders. Anderzijds deze behoeften aan de markt voor te leggen om ze op hun (technologische, juridische, enz.) haalbaarheid, complexiteit, randvoorwaarden, ontwikkeltijd, enz. te laten valideren, en samen met de markt potentiële oplossingsrichtingen te definiëren.

Met de verzamelde inzichten uit het voortraject kan VMM dan samen met het PIO een aankoopstrategie definiëren, en vervolgens vertalen naar een goed en realistisch bestek waarop kandidaat-ontwikkelaars kunnen intekenen.

Dit rapport is de schriftelijke weerslag van dit voortraject, conform artikel 51 van de Wet op de Overheidsopdrachten (omtrent de organisatie van marktconsultaties).

## 5 Behoeftanalyse

### 5.1 Methodologie en opbouw hoofdstuk

Het doel van de eerste werksessies, georganiseerd door Verhaert, was enerzijds om een beter begrip te krijgen van de probleemcontext en anderzijds om de behoeften van de verschillende belanghebbenden bij zowel de VMM als de VLM in kaart te brengen. Belanghebbenden werden uitgenodigd om hun perspectieven te delen en behoeften met betrekking tot de vernieuwde grondwatermodule te delen.

Tijdens interactieve discussies werden diverse aspecten, waaronder de probleemcontext en algemene behoeften, de specifieke behoeften, de impact van de behoeften op de huidige systeemcomponenten, en specifieke randvoorwaarden en beperkingen, zorgvuldig vastgelegd, met aandacht voor zowel individuele als gedeelde perspectieven van de belanghebbenden. Dit wordt hierna beschreven.

### 5.2 Probleemcontext en algemene behoeften

Volgende sectie beschrijft de specifiekere uitdagingen en probleemstellingen die de noodzaak van een verbeterde grondwatermodule binnen NEMO benadrukken, en het uitgangspunt vormen voor verdere verfijning en ontwikkeling op lokaal niveau.

#### 1) Haalbaarheid ~ feasibility

De huidige grondwatermodule brengt vereenvoudigingen met zich mee die de nauwkeurigheid van bepaalde processen kunnen beperken. De verfijning van de grondwatermodule heeft tot doel meer lokale inzichten te verschaffen, waarbij speciale aandacht wordt besteed aan grondwaterkwaliteit, drainage, nutriëntentransport, denitrificatie. Bij het nastreven van deze verfijning is het echter noodzakelijk om rekening te houden met factoren zoals accuraatheid, rekencapaciteit, rektijden (discretisatie), complexiteit, simulatiesnelheid, beschikbaarheid van data, bruikbaarheid en de omvang van het model, om ervoor te zorgen dat deze verbeteringen haalbaar zijn binnen de gegeven randvoorwaarden.

#### 2) Wenselijk ~ desirability

De wenselijkheid van een verbeterde grondwatermodule komt voort uit de noodzaak om lokale processen beter te simuleren. Het is voor de VMM en de Vlaamse Landmaatschappij (VLM) van groot belang om een specifieke afstroomzone te kunnen beoordelen. In het MAP wordt een doelstelling vastgelegd om in alle afstroomzones een gemiddelde nitraatconcentratie van 18 mg/L te halen in het oppervlaktewater en een globale dalende trend van minstens 0,75 mg nitraat/l per jaar te kunnen realiseren in het grondwater - een reductie van minimum 3 mg nitraat/l over de volledige planperiode (4 jaar) in slecht scorende zones. Deze studie heeft als doel de grondwatermodule verder te verfijnen, waardoor gedetailleerdere inzichten mogelijk worden in de processen in het grondwater op lokaal niveau. Met 'lokaal' bedoelen we het analyseren van resultaten voor meer en kleinere ruimtelijke vlakken (horizontaal, en dus een hogere resolutie van de vlakken) en een toename van het aantal grondlagen (verticaal, en dus een hogere resolutie van deze lagen):

- Aantal ruimtelijke vlakken en resolutie vlakken - Voor het mestbeleid en integraal waterbeleid moet onder andere een uitspraak kunnen gedaan worden hoe de waterkwaliteit gaat evolueren. Een Vlaams waterlichaam is ongeveer 1,5 gemeenten groot. De gebiedsgerichte aanpak in beide plannen gaat uit van de afstroomzones van Vlaamse waterlichamen. Voor grondwater zijn ook de HHZs - hydrologisch homogene zones - wetenschappelijk relevant. Maar beleidsmatig heeft VLM gekozen om het grondwater ook in te bedden in de afstroomzones. Het vermogen om specifieke uitspraken te doen op het niveau van een afstroomzone stelt ons in staat om veel doelgerichter maatregelen te implementeren. NEMO

geeft momenteel de gemiddelde situatie voor heel Vlaanderen, bekkens of regio's weer, zonder specifieke lokale omstandigheden in overweging te nemen. Hierdoor onthoudt VMM zich van uitspraken op het niveau van afstroomzones. Jaarlijkse berekeningen en scenario-oefeningen worden tot nu toe voornamelijk op regionaal niveau (11 bekkens of MAP gebiedstypes) geanalyseerd. De huidige implementatie hoewel toepasbaar op grote schaal, volstaat niet om uitspraken te doen op lokaal niveau over specifieke grondwaterprocessen en kwaliteit. De openstaande vraag is dan op welk niveau de verbeterde grondwatermodule zou moeten opereren e.g. schaalniveau A0, A1, ... om de beleidsmatige vragen beter te kunnen beantwoorden. Het specifieke schaalniveau is momenteel nog niet vastgesteld. De aanname van VMM is dat, gebaseerd op de beleidsbehoeften, minstens schaal A1 nodig zal zijn. Indien nodig kan er dan bijkomend op een hoger niveau geaggregeerd worden.

- Het aantal grondlagen en resolutie grondlagen - Bij het beoordelen van de impact van nitraatverontreiniging op het grondwater is vooral de concentratie in de eerste filter van belang. Hoe dichter de filter bij de watertafel is geplaatst, hoe sneller de respons op een gewijzigde input vanuit de onverzadigde zone zal kunnen gedetecteerd worden. Hoe dieper een filter in de aquifer is geplaatst, hoe groter de intrekzone en diffuser het beeld. Daarom wordt er vandaag meer nadruk gelegd op de metingen in deze eerste filter bij het beoordelen van de impact van nitraatverontreiniging op het grondwater door landbouw. Wat betreft de noodzaak van verschillende lagen in het model, is het lastig om concrete uitspraken te doen. Het aantal lagen en de mate van gedetailleerdheid van de terreinbeschrijving binnen die lagen moeten nog worden bepaald. Oxidatie, reductie en de tussenzone zijn relevante aspecten. Ook de dikte van de oxidatiezone en de snelheid waarmee water naar beneden gaat en zijwaarts beweegt zijn belangrijk. Denitrificatie speelt ook een rol. Voor elke afstroomzone moet worden bepaald welk percentage of fractie van het grondwater door de reductiezone gaat en welke fractie door oxidatie gaat. De dikte van de laag is cruciaal in relatie tot de duur - hoe lang het duurt voordat het water in het grondwater terechtkomt, en hoe lang het duurt voordat er effect is op de grondwaterkwaliteit. Het is essentieel om deze reistijden te verbeteren
- Speciale Beschermingszones (SBZ's) - Er komen vragen met betrekking tot SBZ's, o.a. over de effecten van bemesting op het behalen van instandhoudingsdoelstellingen. SBZ's zijn afgebakend in het kader van de Europese Habitatrichtlijn en de Vogelrichtlijn. Hierbij wordt geanalyseerd hoe bemesting de natuurlijke kenmerken van de habitats in en rond een SBZ beïnvloedt. Het doel is ervoor te zorgen dat de natuurlijke kenmerken niet aangetast of negatief beïnvloed worden door bemesting. Dit vraagt om zeer gerichte aandacht o.a. vennen die zeer gevoelig zijn aan stikstof - uit de lucht, maar ook uit het grondwater. Welke percelen mogelijk nitraat vanuit het grondwater naar de gevoelige habitats transporteren en hoe hoog het nitraatgehalte is, zijn vraagstukken waarop een antwoord gezocht wordt. Op basis van deze informatie kan bepaald worden welk beleid waar nodig is. De lokale habitat wordt op een zeer gedetailleerd niveau bestudeerd, waarbij individuele stromingspaden van specifieke landbouwpercelen worden onderzocht. Het valt te overwegen om specifieke gebieden apart te benaderen en af te bakenen e.g. om dan gericht te kijken naar het grondwater en de effecten op Speciale Beschermingszones (SBZ-gebieden). Er dient in die context bijkomend onderzocht te worden of NEMO eventueel geschikt is om de effecten op deze specifieke afgebakende gebieden te analyseren op lokale schaal. Momenteel bestaat er geen geschikte oplossing voor dit vraagstuk, maar NEMO zou mogelijk kunnen fungeren als een instrument om dergelijke analyses uit te voeren. De kernvraag is of NEMO zich bijkomend moet richten op het mogelijk maken van gericht onderzoek naar specifieke gebieden, waarbij deze individueel benaderd kunnen worden en er geconcentreerd kan worden op het grondwater en de effecten op specifieke beschermingszones voor grondwater (SBZ-gebieden). Dit zou kunnen resulteren in de eventuele ontwikkeling van een toolbox die in staat is om een gedetailleerde analyse uit te voeren, inclusief de benodigde aanvullende monitoring, gevolgd door modellering van de gegevens.

Het doel is om toekomstige evaluaties en beleidsmaatregelen te baseren op nauwkeurige lokale informatie, zoals de mate van denitrificatie in een bepaald gebied of de verwachte reistijd van nitraat in het grondwater. Daardoor moeten, naast de evaluatie van het vereiste schaalniveau, ook de verschillende implementaties van de processen met onderliggende concepten herbekeken en mogelijk geherdefinieerd worden.

- Momenteel hanteert NEMO een eenvoudig concept voor het modelleren van grondwaterstromen (kwantiteit), waarbij in de huidige 2D-grondwatermodule tweedimensionaal grondwatertransport naar het oppervlaktewater wordt berekend en de freatische aquifer als één homogene laag wordt beschouwd. Op dagbasis wordt voor elke rastercel in het model (50mx50m) de stijghoogte berekend door het oplossen van een tweedimensionale grondwaterstromingsvergelijking met de eindige verschillenmethode. De grondwaterstroming wordt bepaald op basis van de verschillen in stijghoogte en de transmissiviteit van de ondergrond. NEMO maakt gebruik van een eenvoudige expliciete numerieke oplossing om grondwaterstromen te beschrijven, waarbij een stabiliteitscriterium voor transmissiviteit wordt gehanteerd om ervoor te zorgen dat de grondwaterstroming in een tijdstap niet te groot wordt. Water dat uit het onderste compartiment van de onverzadigde zone uitspoelt en het grondwater aanvult, wordt vervolgens stapsgewijs afgevoerd naar de waterloopcellen. Stroming in verticale zin binnen het grondwater wordt niet beschouwd. Het gewenste scenario omvat een hogere mate van precisie, wat zou kunnen resulteren in een accuratere schatting van de grondwaterbeweging op lokaal niveau. Het betreft de eventuele uitbreiding van het huidige concept van het NEMO met meerdere lagen voor modellering van grondwater. Het spectrum van modellering omvat verschillende opties voor het aantal lagen dat wordt gebruikt, variërend van 1 laag tot meerdere lagen. Ook de complexiteit van de berekeningen dient mogelijk aangepast te worden om een meer accurate schatting van de grondwaterbeweging te kunnen maken.
- Op dit moment wordt de verplaatsing van stikstof en fosfor naar oppervlaktewater gemodelleerd aan de hand van specifieke routeringsprocedures, waarbij de interacties tussen aangrenzende rastercellen plaatsvinden via een *mixing cell* algoritme. Het transport van nitraat naar grondwater wordt berekend op basis van nitraatpercolatie vanuit de onverzadigde zone, gecorrigeerd met nitraatfluxen als gevolg van variaties in de grondwatertafel. Het transport van stikstof en fosfor in grondwater vindt plaats van cel naar cel via het grondwaterstromingsmodel, waarbij fosfaatconcentraties worden afgeleid uit grondwatermetingen. Het gewenste scenario omvat een hogere mate van precisie, wat zou kunnen resulteren in een accuratere schatting van de nutriëntenbeweging op lokaal niveau
- Het nitraattransport naar het grondwater wordt berekend op basis van de nitraatpercolatie vanuit de onverzadigde zone, gecorrigeerd met de nitraatfluxen als gevolg van schommelingen in de grondwatertafel. De denitrificatie in het grondwater wordt beschreven volgens een eerste-orde kinetiek, waarbij de denitrificatiefactor is gekoppeld aan de gemeten redoxpotentiaal in het grondwater. Het transport van nitraat in het grondwater vindt plaats van cel tot cel, zoals berekend door het grondwaterstromingsmodel. De fosfaatconcentraties in het grondwater, geëxtrapoleerd uit grondwatermetingen, worden ingelezen door het model, en het transport van fosfaat in het grondwater wordt eveneens berekend van cel tot cel door het grondwaterstromingsmodel. Geen bijkomende processen worden in overweging genomen.
- Momenteel wordt drainage binnen NEMO op basis van een eenvoudig concept gemodelleerd. Voor bepaling van drainage wordt een vaste drainagediepte verondersteld. Indien de grondwaterstand stijgt tot boven de drainagediepte stijgt (60 cm onder het maaiveld), wordt het overtollige water toegevoegd aan de directe drainageafvoer naar de waterlopen. Er is informatie uit NEMO-resultaten dat drainage een cruciale rol speelt, waarbij tot de helft van de

nitraatvrucht wordt beïnvloed door dit mechanisme. Hoewel het huidige model van NEMO dit op grote schaal kan behandelen, blijft het concept van drainage relatief eenvoudig. VMM kan bepaalde aspecten ervan op grote schaal benutten, maar voor meer gedetailleerde lokale inzichten heeft het zijn beperkingen. De concentraties van nitraat en fosfaat in het drainagewater worden bepaald door zowel de concentratie in het grondwater als de concentratie in het percolerend bodemwater.

- Momenteel kan de berekende grondwaterkwaliteit niet adequaat vergeleken worden met metingen en doelstellingen voor grondwater. Het grondwatermeetnet omvat 3 filters, verdeeld over de geoxideerde zone, het grensvlak tussen geoxideerd en gereduceerd, en de gereduceerde zone. In het huidige NEMO-model bestaat echter slechts één laag. Het vergelijken van grondwaterconcentraties uit deze ene laag van NEMO met de gemeten concentraties in het meetnet is daarom niet mogelijk. Hierdoor kunnen geen uitspraken gedaan worden over trends in de grondwaterkwaliteit of de effecten ervan op gestelde doelen.
- Momenteel wordt de historische belasting slechts beperkt in rekening gebracht. De reistijden in de eenvoudige grondwatermodule zijn relatief kort in sommige gebieden. Er zijn echter gebieden waar het decennia duurt om de effecten te zien. Momenteel is het startpunt van de berekeningen vastgelegd op 2010. Er wordt dan vervolgens doorgerekend tussen de periode 2010 en 2021. Dit op basis van een opwarmperiode van 2000 tot 2009 – het model vertrekt van een lege 'grondwaterreservoir' die aangevuld wordt met regenwater en na 9 jaar voldoende uitgebalanceerd is. Door de relatief snelle reistijden kunnen specifieke omstandigheden waarin het soms decennia duurt voordat historisch nitraatrijk grondwater naar het oppervlaktewater doorsijpelt, niet nauwkeurig worden meegenomen. VMM wil ook trage grondwaterstroming in kaart te brengen waarbij het nitraat en fosfaat langer onderweg zijn. Hierdoor kan een onderscheid gemaakt worden tussen historische en huidige landbouwpraktijken. Dit stelt ons in staat om te bepalen in welke mate de gemeten concentraties in het oppervlaktewater een oudere oorsprong hebben of juist recent zijn.
- Momenteel bestaat er een interactie waarbij water en nitraat vanuit de verzadigde zone terugstroomt naar de onverzadigde zone als gevolg van grondwaterstandschoommelingen. Wanneer het water stijgt en weer daalt, transporteert het voedingsstoffen omhoog en laat ze dan achter bij terugkeer. Het specifieke proces van capillaire opstijging, waarbij capillaire krachten water vanuit diepere grondwaterlagen omhoog kunnen trekken, wordt niet beschouwd. Het is onduidelijk of er momenteel wordt gewerkt met specifieke worteldieptes, en als dat het geval is, hoe deze zich verhouden tot de grondwaterstand. Als de worteldieptes groter zijn dan de grondwaterstand, kan nitraat uit het grondwater mogelijk verdwijnen.
- Het is momenteel moeilijk om een duidelijk beeld te krijgen van fosfaat in het grondwater. Een deel van de fosfaatconcentratie in het grondwater is wellicht natuurlijk van oorsprong, maar tegelijkertijd is er ook een invloed vanuit de landbouw. Het is echter onduidelijk waar en hoe deze landbouwinvloed precies plaatsvindt. Het proces van fosfaat absorptie/desorptie en de aanwezigheid van fosfaatrijke mineralen in de bodem dragen bij aan de complexiteit. Het is van belang om deze complexiteit aan te pakken door te vertrekken vanuit nauwkeurige metingen. NEMO berekent momenteel geen fosfaatuitspoeling voor heel Vlaanderen, juist omdat er weinig kennis is over waar en hoe deze uitspoeling uit de bodem plaatsvindt in sommige gebieden. De huidige NEMO-methode herstart vanaf meetgegevens en maakt gebruik van geïnterpoleerde fosfaatconcentraties in het grondwater, waarbij fosfaat via de grondwaterstroming naar het oppervlaktewater wordt geleid. Daarom is er behoefte aan een grondwatermodule die kan vertrekken vanuit gemeten grondwaterconcentraties en deze naar het oppervlaktewater kan routeren. In de toekomst moet deze module ook in staat zijn om de uitspoeling uit de bodem te nemen als startpunt van de grondwaterberekeningen (zelfs als deze nu nog niet bestaat, maar technisch mogelijk zou moeten zijn bij de ontwikkeling van de

module). De nieuwe grondwatermodule moet in staat zijn om fosfaatconcentraties te berekenen, de fosfaatvrachten naar het oppervlaktewater te bepalen en technisch gezien de fosfaatuitspoeling uit de onverzadigde zone te kunnen ontvangen als deze module later operationeel wordt. Voor fosfaat vertrekt de grondwaterzone van een input raster met waarden van een rastercel van de concentratie.

De doelstelling van de studie is om de grondwatermodule meer te gaan verfijnen zodat meer uitspraken gedaan kunnen worden over de processen in het grondwater op lokaal niveau. Beleidsontwikkeling (mest, landbouw en water) meer gebiedsgericht maken - meer lokale, minder generieke maatregelen treffen - door beter rekening te houden met de lokale omstandigheden en beter simuleren van lokale processen. Het verlangen naar een meer gedetailleerd en verfijnd model is dus sterk aanwezig.

### 5.3 Specifieke randvoorwaarden en beperkingen

#### 5.3.1 Doorrekening in ruimte en tijd

Het systeem moet, na integratie van een nieuwe grondwatermodule, enerzijds in staat zijn om heel Vlaanderen te kunnen doorrekenen en anderzijds in staat zijn om een relevante periode door te rekenen om de nutriëntenaspecten in grondwater te beschrijven. Als richtwaarde wordt de periode van 1990 tot het heden beschouwd.

#### 5.3.2 Geïntegreerde doorrekening

Het systeem moet, na integratie van een nieuwe grondwatermodule, in staat zijn om alle berekeningen, vertrekkend van bemesting en neerslag doorheen de bodem en het grondwater, aaneensluitend uit te voeren in één geïntegreerde berekening. Nieuwe modules die gecreëerd of gekoppeld worden dienen volledig geïntegreerd te worden in het model, waarbij alle uitwisselingen tussen submodules automatisch verlopen.

#### 5.3.3 Resolutie

De systeemintegrator mag, na integratie van een nieuwe grondwatermodule, aangepaste berekeningen in het systeem implementeren op een andere resolutie dan 50m x 50m, maar dient een naadloze koppeling met andere (reeds bestaande) modules te garanderen die met een resolutie van 50m x 50m werken.

#### 5.3.4 Overdracht van code

Nieuwe code voor het NEMO-model moet volledig kunnen overgedragen worden aan de VMM zonder eigendomsrechten of licenties van andere partijen.

#### 5.3.5 Rekentijden

Het systeem moet, ook na integratie van een nieuwe grondwatermodule, praktisch bruikbaar blijven. Vlaanderen wordt momenteel verdeeld in 12 hydrografische rekeneenheden over de machines. Met de huidige configuratie van NEMO voert het berekeningen uit voor heel Vlaanderen op 3 virtuele machines met Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2680 v4 @ 2.40GHz processoren, elk met 3 maal 8 cores en 3 maal 32GB RAM. Dit komt, per hydrografische rekeneenheid, neer op 2 dedicated cores en 8GB RAM. De rekestijd bedraagt momenteel ongeveer 5 uur per jaar voor heel Vlaanderen.

Daarnaast wordt momenteel onderzocht of NEMO op de Vlaamse Supercomputer (VSC) kan worden uitgevoerd.

De gewenste ontwikkeling moet afgestemd zijn op de beschikbare rekencapaciteit. De rekestijd voor het volledige NEMO-model mag maximaal verdubbelen. Een goede balans tussen complexiteit voor accuraatheid en vereenvoudiging voor simulatiesnelheid is essentieel.

### 5.3.6 Kalibratie

Het systeem dient, ook na integratie van een nieuwe grondwatermodule, nauwkeurig gekalibreerd te kunnen worden op verschillende parameters in het model om ervoor te zorgen dat de berekende resultaten overeenkomen met de werkelijke meetgegevens. Het kalibratieproces dat moet worden uitgevoerd op verschillende aspecten van het model incorporeert de specifieke kalibratieonderdelen:

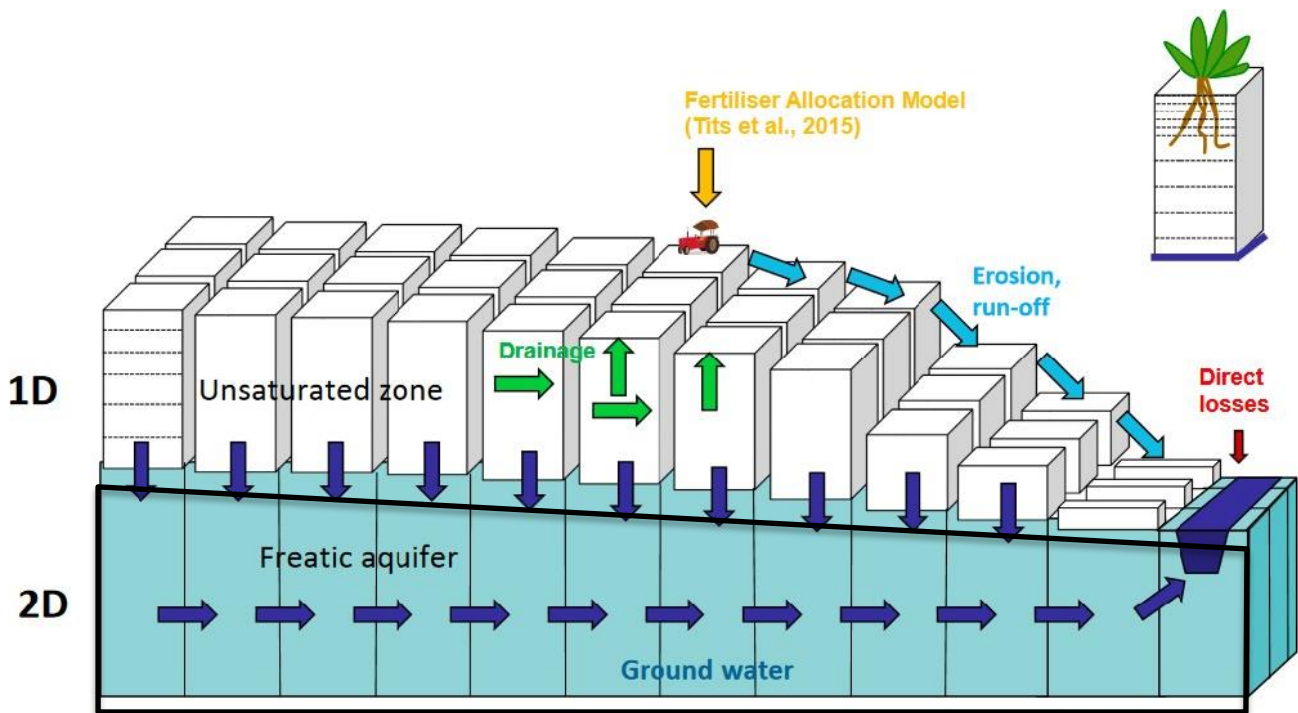
- Massabalans: Zorg ervoor dat de berekende massabalans binnen het model consistent is met de werkelijke situatie.
- Kalibratie van dagdebieten: Pas de dagelijkse debieten aan op basis van meetgegevens van debietsstations. Hierbij moet ook de kalibratie van deelstroom baseflow worden overwogen indien mogelijk.
- Kalibratie van grondwaterstijghoogtes: Stem de berekende grondwaterstijghoogtes af op de werkelijke grondwaterstand op basis van meetgegevens.
- Kalibratie van grondwaterconcentraties: Pas de berekende grondwaterconcentraties aan om overeen te komen met de concentraties gemeten op verschillende filterniveaus in het grondwatermeetnet.
- Kalibraties van concentraties in het oppervlaktewater: Stem de berekende concentraties in het oppervlaktewater af op de werkelijke concentraties, waarbij gebruik wordt gemaakt van meetgegevens van het MAP-meetnet.

## 5.4 **Functionele vereisten en specificaties van de beoogde grondwatermodule**

Hoewel de verwachtingen van het systeem vanuit het perspectief van de eindgebruiker duidelijk zijn, is nog niet volledig gespecificeerd hoe het systeem deze verwachtingen uiteindelijk zou moeten gaan vervullen. Er zijn in dat opzicht ook geen hypothesen gedefinieerd, juist om de kennis van de markt en de expertise van de betrokken partijen optimaal te benutten bij het bepalen van de beste aanpak om NEMO verder uit te breiden. Dit betekent dat de benodigde functies en specificaties van de beoogde grondwatermodule momenteel nog moeten worden vastgesteld om aan die gebruikersbehoeften te voldoen. In dat opzicht werd er dan ook een marktconsultatie georganiseerd. De inzichten uit deze marktconsultatie werden gedocumenteerd in het volgende hoofdstuk. Deze zullen meegenomen als waardevolle leidraad / richtlijnen om het verdere functionele ontwerp en de specificaties van het systeem te sturen in een vervolgtraject.

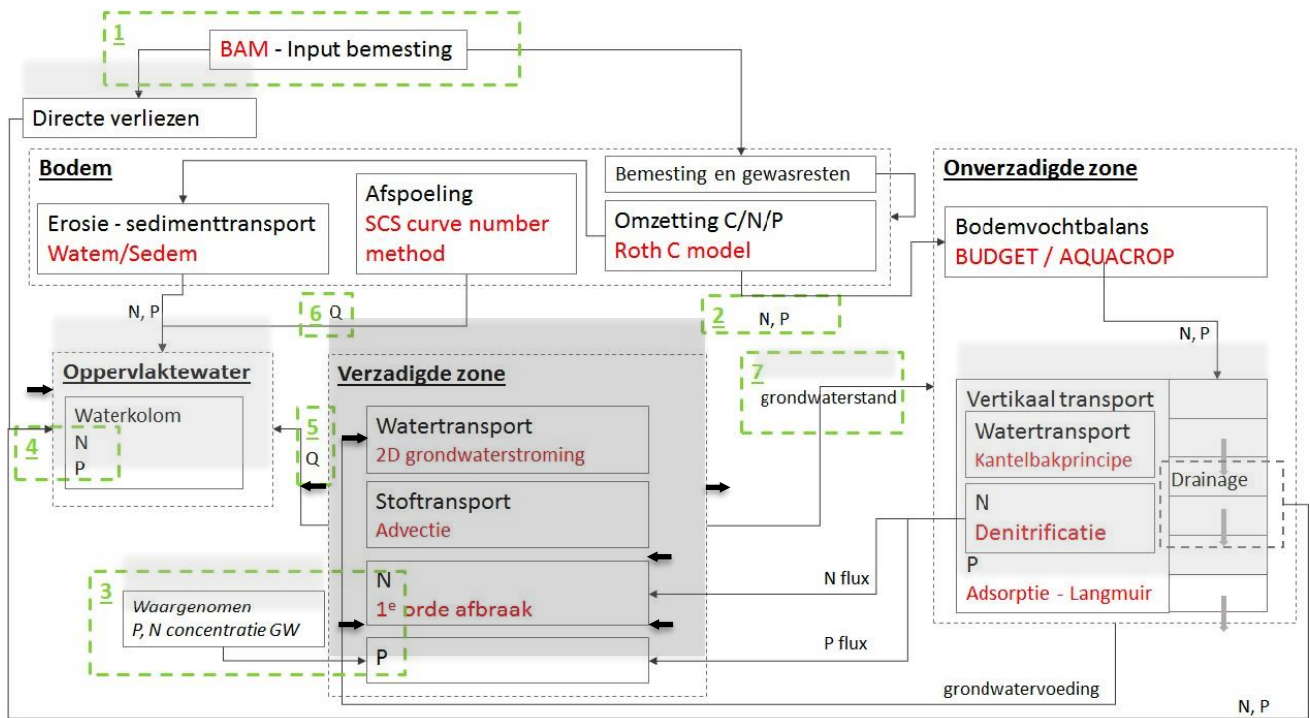
## 5.5 **Impact van de behoeften op de huidige systeemcomponenten**

Het herzien van de grondwatermodule binnen NEMO houdt in dat zowel de verzadigde zone zelf als de koppeling tussen verzadigde en onverzadigde zone geherevalueerd dienen te worden. Dit wordt schematisch weergegeven in de onderstaande figuur.



Figuur 3: Zowel de verzadigde zone zelf als de koppeling tussen verzadigde en onverzadigde zone dient geherevalueerd dienen te worden

De voornaamste modelconcepten binnen de huidige implementatie van NEMO die door deze herziening beïnvloed worden, zijn weergegeven in het onderstaande stroomschema:



Figuur 4: De voornaamste modelconcepten binnen de huidige implementatie van NEMO die door de herziening beïnvloed worden



Het betreft het concept “verzadigde zone” met elementen watertransport (2D grondwaterstroming – 1-lagig), stoftransport (advectie), nitraatconcentratie (1<sup>e</sup> orde afbraak), fosforconcentratie (cel-tot-cel transport), het concept “drainage” en het concept “verticaal transport”. Er wordt geen voorkeur gegeven aan aanpassingen aan concepten die verband houden met deze genoemde concepten. Uitwisselingsmechanismen en interfaces tussen de concepten dienen ook behouden te blijven.

## 5.6 Conclusies

De huidige grondwatermodule binnen NEMO heeft bepaalde beperkingen in het modelleren van grondwaterstromen en nutriëntenbeweging op lokaal niveau. Er is een behoefte aan een meer verfijnde en gedetailleerde aanpak om nauwkeurige lokale informatie te verschaffen voor beleidsonderbouwing op het gebied van mest, landbouw en water. Het uiteindelijke doel is het informeren van toekomstige evaluaties en beleidsmaatregelen met nauwkeurige lokale informatie over grondwaterprocessen. Dit vereist mogelijk herdefiniëring van procesimplementaties en concepten. Dit omvat het overwegen van het juiste ruimtelijke schaalniveau en verticale resolutie, inclusief meerdere lagen voor grondwatermodellering, het verbeteren van het transport van stikstof en fosfor, het nauwkeuriger simuleren van drainage, en het beter vergelijken van berekende grondwaterkwaliteit met meetgegevens. De studie streeft naar een model dat beter in staat is om lokale processen te simuleren en beleidsmaatregelen te ondersteunen met gedetailleerde en nauwkeurige informatie. De wens naar een verfijnder model dat lokale omstandigheden en processen beter kan simuleren, is duidelijk aanwezig. De haalbaarheid van deze verbeteringen moet zorgvuldig worden overwogen in relatie tot factoren zoals rekenkracht, beschikbaarheid van data, en de complexiteit van de implementatie. Het is essentieel om een balans te vinden tussen het streven naar een verfijnder model en de praktische uitvoerbaarheid ervan binnen de gegeven randvoorwaarden.

## 6 Marktconsultatie

### 6.1 Aanpak en methodologie

Een marktconsultatie werd georganiseerd om informatie te verzamelen en advies in te winnen van verschillende experts op het gebied van grondwatertransport, nutriëntentransport, en andere domeinen, alsook op het gebied van de bijbehorende modellering.

Het doel van deze consultatie was om een dieper inzicht te verkrijgen in mogelijke oplossingsrichtingen die mogelijk konden voldoen aan de noden, en dit binnen de gestelde randvoorwaarden, voor het schaalniveau enerzijds en de subprocessen van NEMO anderzijds.

De marktconsultatie vond online plaats op 28 maart 2024 van 13 tot 17 uur en was gericht op bedrijven en (onderzoeks-)organisaties met expertise in:

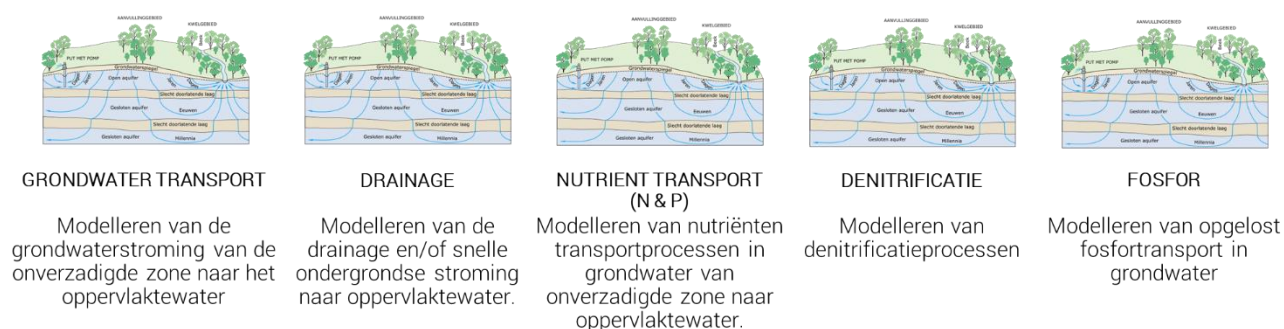
- simulatie van grondwaterstroming;
- grondwatermodellering;
- nutriëntentransport in grondwater en gerelateerde processen in driedimensionale hydrologische systemen (o.a. denitrificatie);
- digitalisering van deze modelleringen;

In totaal tekenden 14 deelnemende partijen present. Zie bijlage A.1 voor een overzicht.

Tijdens deze sessie werd ook geëvalueerd of deze oplossingen technisch haalbaar zijn voor implementatie en of ze operationeel kunnen worden gehandhaafd en onderhouden. Daarnaast was het belangrijk om te onderzoeken hoe flexibel deze oplossingen zijn en of ze kunnen worden aangepast aan verschillende niveaus van detail en granulariteit. Ten slotte wilden we vaststellen of de geselecteerde oplossingen schaalbaar en uitbreidbaar zijn om te kunnen inspelen op toekomstige veranderende behoeften. Het beoogde resultaat van de marktconsultatie was om de optimale oplossing (of alvast de juiste richting/en) te kunnen vinden voor het verbeteren van het bestaande nutriëntenemissiemodel.

De opzet was een open dialoog over het ideale schaalniveau waarop NEMO zou moeten functioneren enerzijds en vijf sleutelprocessen anderzijds.

- Qua schaalniveau werd aangenomen dat het niveau A1 vereist was (wat overeenkomt met een rivier met een stroomgebied tussen  $\sim 10 \text{ km}^2$  en  $50 \text{ km}^2$ ) om beleidskwesties aan te pakken en te voldoen aan randvoorwaarden, met de overtuiging dat gegevens kunnen worden geaggregeerd van fijne naar grove resolutie wanneer dat nodig is.
- Qua processen betrof het een open discussie rond de volgende vijf sleutelprocessen:



Figuur 5: Sleutelprocessen

Voor elk van de sleutelprocessen werden potentiële concepten rond de status-quo naar voren gebracht om de conversatie gestart te krijgen. Deelnemers aan de marktconsultatie (vanuit hun eigen perspectief) rangschikten de potentiële concepten op basis van hun geschiktheid om aan de behoeften te voldoen, hun effectiviteit en hun haalbaarheid om de bestaande implementatie te verbeteren binnen de gegeven randvoorwaarden.

In wat volgt worden de resultaten en inzichten gepresenteerd. Deze inzichten moeten VMM helpen om potentiële bijkomende uitdagingen en risico's te identificeren, maar ook om een realistische inschatting te maken over de beschikbare oplossingen en de eventuele hiaten met betrekking tot het invullen van de specifieke behoeften waaraan de beoogde grondwatermodule geacht wordt te voldoen (binnen de gestelde randvoorwaarden) vanuit het perspectief van de eindgebruiker. Dit zal VMM in staat stellen om een weloverwogen beslissing te nemen bij het bepalen van de verdere stappen in het project, de gewenste inkoopstrategie, het verfijnen van de scope, de benodigde functioneel-technische vereisten voor het bestek, de gunningscriteria enzovoort.

Gelet op de beperkte groep en de samenstelling van de groep geconsulteerde marktpartijen, zijn de bekomend cijfers of scores louter indicatief. Het gaat hem vooral om de motivatie/rationale die erachter zit. Het is een manier ook om te peilen naar gelijke, dan wel verschillende meningen, afhankelijk van de achtergrond van elke deelnemer.

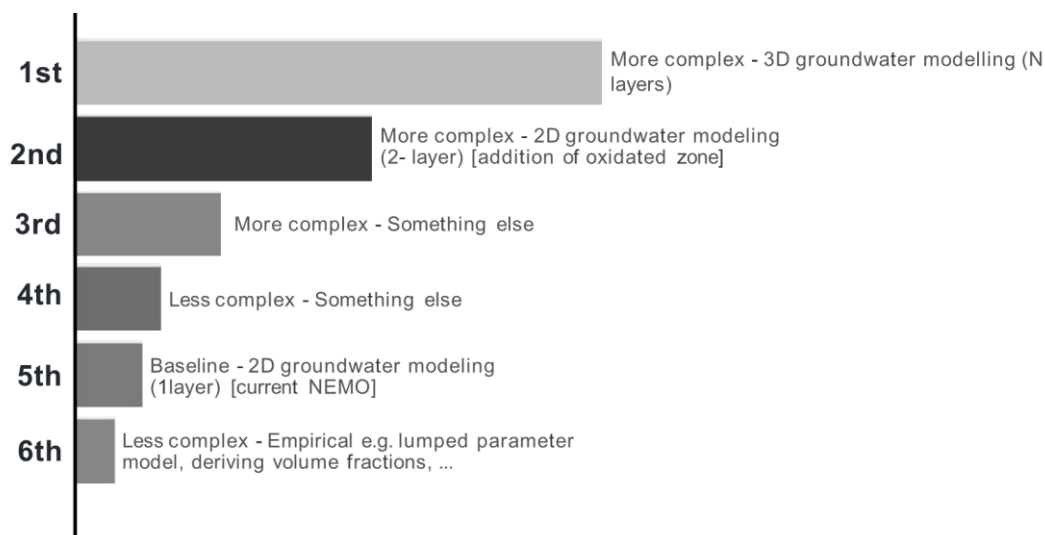
## 6.2 Schaalniveau

Het A1-cachmentniveau (=afstroomzones van waterlichamen van lokale hogere orde) lijkt een acceptabel doel voor de markt. De kalibratie voor grondwaterstroming in A1 stroomgebieden valt te managen, maar als het gaat om nitraattransport of andere stoffen, wordt het veel uitdagender vanwege onder andere de beperkte beschikbaarheid van gegevens. Met name de fluxen kunnen aanzienlijke fouten opleveren, wat de grootste uitdaging vormt. Het verifiëren van de nauwkeurigheid van het gesimuleerde transport van nutriënten door kalibratie is moeilijk. Het onderzoeken van nutriëntenverplaatsingen over meerdere jaren op Vlaamse schaal is complex; het kan echter lokaal worden bereikt door aanvullende metingen en gedetailleerde geochemische analyse. Het opschalen van dit proces naar Vlaamse proporties brengt unieke uitdagingen met zich mee.

De markt heeft geen echt zicht op of NEMO een tool zou kunnen worden om SBZ-zones te analyseren, maar volgens één persoon zijn deze zones waarschijnlijk te klein om te analyseren.

## 6.3 Sleutelprocessen

### 6.3.1 Grondwatertransport

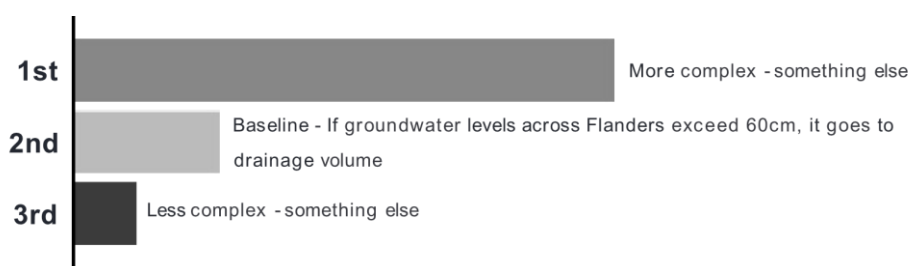


De vereisten om concentraties in het model te vergelijken met de gemeten concentraties in de filters van het freatisch meetnet vereist hoogstwaarschijnlijk een 3D-model, maar langs de andere kant brengt 3D grondwatermodellering lange rekentijden met zich mee, wat niet binnen de gestelde randvoorwaarden valt. Het is niet duidelijk of aan beide vereisten tegelijkertijd voldaan kan worden.

De markt biedt verschillende suggesties om deze uitdaging aan te pakken.

- Het gebruik van een supercomputer, bijvoorbeeld door parallele verwerking toe te passen op zowel de CPU als de GPU, kan de lange rekentijden verminderen.
- Het verminderen van het aantal lagen in het model, maar dit kan ten koste gaan van bepaalde functionaliteit.
- AI of machinaal leren kan een potentieel minder complexe oplossing bieden, zoals modellering op basis van brokken, op voorwaarde dat er voldoende gegevens beschikbaar zijn.
- Analytische elementen modellering, hoewel het snelle rekensnelheden biedt, legt beperkingen op vanwege de moeilijkheid om complexe geologie op te nemen.
- Het herzien van de benadering van het huidige model, bijvoorbeeld door de grondwatervergelijking driedimensionaal en niet-iteratief te formuleren, zoals nu gebeurt.
- Het bekijken van de mogelijkheid om niet alle functionaliteiten in één model te nemen; in plaats daarvan verschillende modellen inzetten om aan de gestelde vereisten te voldoen..

### 6.3.2 Drainage

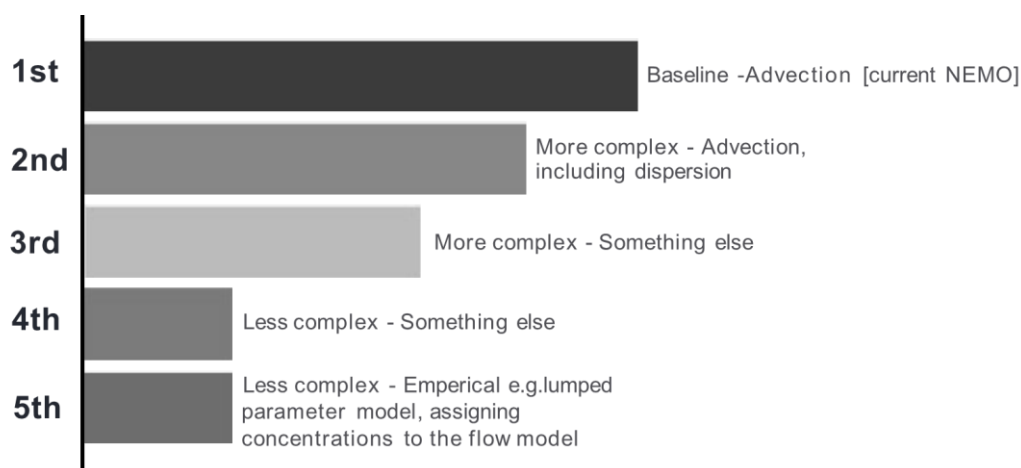


De concepten van het model hoeven niet te veranderen, maar er is mogelijk meer informatie beschikbaar om het beter te doen. Een combinatie van volgende technieken

- Grachtenkaart van VMM
- Als iemand een nieuwe drainage plaatst, moet hij daarvoor een vergunning registreren. Ze moeten een kaart tekenen waar de drainage komt te liggen.
- GXG kaarten - als de afstand tussen de grondwaterstand (GLG) en de grondwateraanvulling (GAG) klein is, dit kan duiden op minder drainage. Dit zou kunnen betekenen dat er minder water wordt afgevoerd vanuit het grondwater naar een lager gelegen niveau, zoals bijvoorbeeld via drainagebuizen of natuurlijke afwatering.
- Waarschijnlijkheid van drainageplaatsing kan worden afgeleid uit bodem-/gewastypes

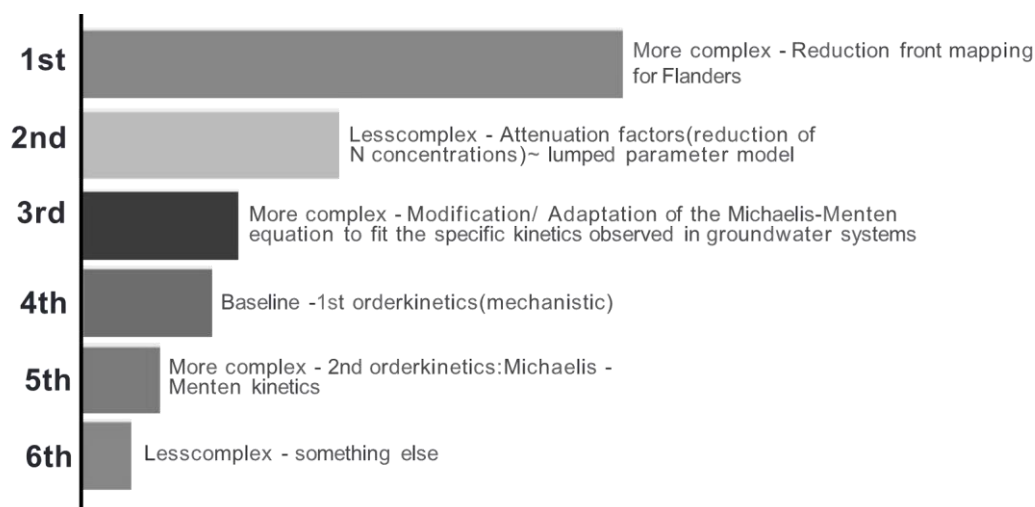
In de toekomst zullen ook adaptieve drainage-installaties worden overwogen. Momenteel blijft in NEMO het drainageniveau in heel Vlaanderen gedurende het hele jaar constant, maar in de toekomst kan de mogelijkheid om het drainageniveau binnen een jaar aan te passen worden onderzocht. Deze potentiële verandering moet ook in overweging genomen worden.

### 6.3.3 Nutriënttransport



Het huidige advectionconcept binnen NEMO blijft de voorkeur genieten als concept voor de toekomst. Hoewel diffuse vervuiling minimale tijdsvariatie vertoont, het realisme van de modellering kan verbeteren en in principe eenvoudig op te nemen valt, brengt dit extra kosten met zich mee. Onder andere wanneer er meer lagen of variabelen/parameters worden toegevoegd, is kalibratie vereist. Het opnemen van een proces zoals dispersie maakt herkalibratie noodzakelijk. Hoe meer variabelen die de nitraatconcentratie beïnvloeden worden toegevoegd, des te complexer wordt de kalibratie. Indien het verminderen van de rekentijd prioriteit heeft, kan dispersie dus worden weggelaten. Mogelijk is het ook niet noodzakelijk om dispersie toe te voegen gezien de beperkte meerwaarde.

### 6.3.4 Denitrificatie



Het in kaart brengen van het reductiefront voor heel Vlaanderen lijkt de voorkeur te hebben en lijkt ook haalbaar. Het in kaart brengen van het reductiefront kan helpen om het landschap op te splitsen in verschillende zones. Het model kan zich dan enkel richten op de waterbeweging in de oxidatiezone (conservatief transport) met behulp van een mengmodel. Volledige denitrificatie wordt dan verondersteld in de reductiezone. Niet alle deelnemers aan de marktconsultatie zijn even vertrouwd met dit vakgebied, waardoor grondiger onderzoek noodzakelijk is.

Een bijkomende reflectie met betrekking tot massatransportmodellen leert dat de onzekerheid van parameters vaak overeenkomt met die tussen metingen en modellering. Met andere woorden, de mate van onzekerheid in de parameters van het model komt vaak overeen met de onzekerheid die ontstaat bij het vergelijken van gemeten gegevens met de resultaten van het model. Zelfs met een overvloed aan gegevens - talloze peilbuizen, concentraties, fluxen - zal het een uitdaging zijn om nauwkeurigheid te bereiken, vooral op kleinere schaal.

### 6.3.5 Fosfor



Deelnemers aan de marktconsultatie zijn minder vertrouwd met dit vakgebied, waardoor grondiger onderzoek noodzakelijk is. Het modelleren van het fosfaattransport in het grondwater is complex en niet alle kennis rond de processen van fosfaat in het grondwater is beschikbaar. Het is niet duidelijk hoe deze coëfficiënten bepaald kunnen worden, gezien de uitdaging om dit voor heel Vlaanderen te doen.

## 6.4 Geconsolideerd perspectief

De feedback die tijdens de stemming ontvangen werd, geeft een voorlopig inzicht in de algemene richting voor een mogelijke totaaloplossing. Een mogelijke alomvattende oplossing om aan de behoefte te voldoen (binnen de gestelde randvoorwaarden) omvat het aanbrengen van de volgende conceptmatige-functionele wijzigingen in NEMO:

- **Grondwatermodellering** - Bestaande concept uitbreiden richting 3D grondwatermodellering (N-lagen)
- **Drainage** - Bestaande concept behouden, maar meer beschikbare informatie benutten en verschillende technieken te combineren
- **Nutriënttransport** - Bestaande concept behouden
- **Denitrificatie** - Bestaande concept uitbreiden door het volledige reductiefront voor Vlaanderen in kaart te brengen - oxiderende (zuurstofrijke) en reducerende (zuurstofarme) zone in de aquifer
- **Fosfor** - Bestaande concept behouden

## 6.5 Reflecties van de markt

### Voorstel tot geïntegreerde aanpak vanuit grondwater en stapsgewijze procesoptimalisatie

De markt suggereert:

- Splitsen van grondwater- en denitrificatie/fosforprocessen, te beginnen met grondmodellering en daarna een efficiënte integratie van processen. Het optimaliseren dient vervolgens te gebeuren door de processen met de grootste potentiële impact te prioriteren, zonder specifiek aan te geven welk proces dit zou zijn.
- Balanceren tussen onzekerheden in het model en de input - Het is van cruciaal belang om om te gaan met onzekerheden die inherent zijn aan zowel het model zelf als de gegevens die als input voor het model worden gebruikt. Elke poging om een model te maken heeft te maken met onzekerheden die verband houden met de structuur, aannames en parameters van het model (modelonzekerheid). Op dezelfde manier komen onzekerheden voort uit de kwaliteit, nauwkeurigheid en representativiteit van de invoergegevens die het model voeden (invoeronzekerheid). Er moet dus gezorgd worden dat het model op de juiste manier wordt gekalibreerd en gevalideerd met behulp van de beschikbare gegevens, terwijl de onzekerheden met betrekking tot zowel het model als de invoergegevens worden onderkend en gekwantificeerd. Dit houdt in dat gevoeligheidsanalyses moeten worden uitgevoerd, technieken voor het kwantificeren van onzekerheden moeten worden gebruikt en modelvalidaties moeten worden uitgevoerd om de betrouwbaarheid en robuustheid van de modeloutputs te midden van deze onzekerheden te evalueren.
- Ondanks de vereiste computerefficiëntie moet het mogelijk zijn om een grootschalig model te ontwikkelen. Het zal belangrijk zijn om prioriteit te geven aan het minimaliseren van de rekentijd bij het valideren van verschillende modellen en parameters (ondanks de uitdagingen dat dat met zich mee zal brengen) om binnen de gestelde randvoorwaarden te blijven.

### Voorstel om te experimenteren

- De markt erkent de noodzaak om te experimenteren. Daarbij dient rekening gehouden te worden met de complexe aspecten van het instellen van parameters en wat technisch haalbaar is op het gebied van computationele processen. De markt suggereert om flexibiliteit te behouden in oplossingen en open te staan voor verschillende ideeën om vooruitgang te boeken. Dit houdt in dat men moet experimenteren binnen de huidige structuur, alternatieve benaderingen moet onderzoeken en prioriteit moet geven aan testen en experimenteren binnen het bestaande kader. In feite betekent dit dat men moet blijven zoeken naar en proberen van verschillende aanpakken binnen de bestaande mogelijkheden, met het oog op verbetering en ontwikkeling.

## 6.6 Conclusies

De marktconsultatie heeft een breed scala aan inzichten opgeleverd, variërend van gedeelde standpunten tot punten van onzekerheid, met betrekking tot de vereiste wijzigingen en optimalisaties voor het NEMO nutriëntenemissiemodel.

### 1. Gedeelde standpunten en zekerheden:

- a) **Schaalniveau:** Er is consensus over het acceptabele schaalniveau voor het model, namelijk het A1-catchmentniveau, wat overeenkomt met afstroomzones van waterlichamen van lokale hogere orde. Dit schaalniveau lijkt haalbaar voor de markt.
- b) **Behoud van concepten:** Voor verschillende sleutelprocessen, zoals drainage, nutriëntentransport en fosfor, wordt geconcludeerd dat het behouden van de bestaande concepten de voorkeur heeft.
- c) **Uitbreidingen van concepten:** Voor bepaalde sleutelprocessen, zoals grondwatermodellering en denitrificatie, wordt aanbevolen om de bestaande concepten uit te breiden, bijvoorbeeld naar 3D-grondwatermodellering en het in kaart brengen van het volledige reductiefront voor Vlaanderen.

### 2. Onzekerheden:

- a) **Kalibratie en modelonzekerheid:** Er zijn aanzienlijke onzekerheden met betrekking tot de kalibratie van het model, vooral bij het toevoegen van complexere processen of variabelen. Dit omvat bijvoorbeeld de uitdagingen rond het verminderen van de rekentijd zonder essentiële parameters weg te laten en het omgaan met modelonzekerheden, vooral bij het vergelijken van gemeten gegevens met de resultaten van het model. Dat laatste vereist waarschijnlijk een 3D-model. Aan de andere kant brengt 3D grondwatermodellering lange rekestijden met zich mee, wat mogelijk niet overeenkomt met de gespecificeerde beperkingen. Het is niet helemaal duidelijk of beide vereisten tegelijkertijd kunnen worden vervuld.
- b) **Invoeronzekerheid:** De onzekerheid met betrekking tot de kwaliteit, nauwkeurigheid en representativiteit van de invoergegevens blijft een uitdaging.

Een mogelijk totaalconcept omvat het behoud van bestaande concepten waar mogelijk, met uitbreidingen naar complexere processen waar nodig. Er wordt aanbevolen om de grondwater- en denitrificatie/fosforprocessen te splitsen, te beginnen met grondmodellering en een efficiënte integratie van processen. Daarbij wordt de noodzaak benadrukt om een balans te vinden tussen de onzekerheden in het model en de input, met speciale aandacht voor het omgaan met modelonzekerheid en invoeronzekerheid door middel van kalibratie, validatie en gevoeligheidsanalyses. Het belang van het ontwikkelen van grootschalige modellen met behoud van computerefficiëntie wordt onderstreept, waarbij prioriteit wordt gegeven aan het minimaliseren van de rekentijd. Er wordt ook erkend dat het noodzakelijk is om flexibiliteit in oplossingen te behouden en open te staan voor verschillende ideeën voor vooruitgang. Daarom wordt aanbevolen om te experimenteren binnen het huidige model, alternatieve benaderingen te onderzoeken en prioriteit te geven aan testen en experimenteren binnen het bestaande raamwerk van NEMO.





## 7 Conclusie

### 7.1 Nederlands

Op basis van zowel een behoeftebepaling als een marktconsultatie kan gesteld worden dat er een duidelijker begrip is van de behoeften van VMM enerzijds en het marktaanbod anderzijds. Deze waardevolle inzichten zullen VMM helpen om weloverwogen beslissingen te nemen op het gebied van inkoop, productontwikkeling en/of strategische planning. Via de behoeftebepaling is bepaald dat het huidige NEMO Nutriëntenemissiemodel een behoefte heeft aan een verfijnde aanpak om nauwkeurige lokale informatie te verschaffen voor beleidsonderbouwing op het gebied van mest, landbouw en water. Dit vereist mogelijk herdefiniëring van procesimplementaties en concepten voor grondwater, inclusief overwegingen zoals het juiste ruimtelijke schaalniveau en verticale resolutie.

De samenvatting van de vereisten voor het verbeteren van de grondwatermodule binnen NEMO, met als doel een nauwkeurigere simulatie van lokale processen, is als volgt:

- **Verbeterde resultaten op een lokale schaal** – Er is nood aan resultaten op niveau van de A1-afstroomzone. Dit is van belang voor het mest- en waterbeleid, waarbij specifieke uitspraken op het niveau van afstroomzones cruciaal zijn. Momenteel geeft NEMO een gemiddelde weer voor heel Vlaanderen of bekkens, wat het maken van specifieke lokale uitspraken bemoeilijkt.
- 1. **Behandeling van historische belasting** - Het huidige model houdt slechts beperkt rekening met historische belasting. Het is van belang om trage grondwaterstroming in kaart te brengen en de effecten van historische en huidige landbouwpraktijken te onderscheiden.
- 2. **Nauwkeurigere modellering van grondwaterstromen** - Het huidige concept voor het modelleren van grondwaterstromen is eenvoudig en omvat geen verticale stroming. Een meer verfijnde benadering met meerdere lagen voor het modelleren van grondwater is vereist. Dit zou moeten leiden tot een accuratere schatting van de grondwaterbeweging op lokaal niveau.
- 3. **Precieze simulatie van nutriëntenbeweging**: - Het huidige model voor de verplaatsing van stikstof en fosfor naar oppervlaktewater en de denitrificatie in het grondwater is vereenvoudigd. Een meer gedetailleerde aanpak is nodig om een nauwkeurigere schatting van de nutriëntenbeweging op lokaal niveau te bereiken.
- 4. **Betere behandeling van drainage** - Het is nodig om aspecten van drainage op een meer gedetailleerd niveau te behandelen om nauwkeuriger lokale inzichten te verkrijgen.
- 5. **Vergelijking van berekende grondwaterkwaliteit met metingen** - Momenteel kan de berekende grondwaterkwaliteit niet adequaat worden vergeleken met metingen in de filters van het grondwatermeetnet, vanwege beperkingen in de modellering. Een verbeterde module moet in staat zijn om deze vergelijking mogelijk te maken.
- 6. **Nauwkeurigere behandeling van fosfaatbeweging** - Er is behoefte aan een verbeterde behandeling van fosfaat in het grondwater, inclusief het vertrekken vanuit gemeten grondwaterconcentraties en het routeren naar het oppervlaktewater.

Over het algemeen is er een sterke behoefte aan een meer gedetailleerd en verfijnd model dat in staat is om lokale processen nauwkeurig te simuleren.

De marktconsultatie bracht een variërend aantal inzichten naar voren, van gedeelde standpunten tot punten van onzekerheid, met betrekking tot de benodigde wijzigingen en optimalisaties voor het NEMO Nutriëntenemissiemodel.

1. De markt heeft **gedeelde standpunten** over het acceptabele schaalniveau, namelijk het A1-cachmentniveau, en het behoud van bestaande concepten voor sleutelprocessen zoals drainage en nutriëntentransport. Uitbreidingen naar complexere processen worden aanbevolen, zoals het in kaart brengen van het volledige reductiefront voor Vlaanderen.
2. De markt ziet **aanzienlijke onzekerheden** met betrekking tot de vereisten om concentraties in het model te vergelijken met de gemeten concentraties in de filters van het freatisch monitoringsnetwerk, wat waarschijnlijk een 3D-model vereist. Aan de andere kant brengt 3D grondwatermodellering lange rekentijden met zich mee, wat mogelijk niet overeenkomt met de gespecificeerde beperkingen. Het is niet helemaal duidelijk of beide vereisten tegelijkertijd kunnen worden vervuld. Er zijn ook nog aanzienlijke onzekerheden over de kwaliteit van de invoergegevens.

De markt benadrukt de noodzaak om een evenwicht te vinden tussen het streven naar een verfijnder model en de praktische uitvoerbaarheid ervan binnen de gegeven randvoorwaarden van NEMO. Het advies van de markt omvat het opsplitsen van grondwater- en denitrificatie/fosforprocessen, met een focus op de aanvang van grondmodellering en een efficiënte integratie van processen. De markt benadrukt ook het belang van het vinden van een balans tussen model- en invoeronzekerheden via kalibratie, validatie en gevoeligheidsanalyses. Daarnaast wordt gewezen op de noodzaak van grootschalige modellen met behoud van computerefficiëntie en het minimaliseren van rekentijd. Flexibiliteit in oplossingen en het verkennen van alternatieve benaderingen worden ook aanbevolen, samen met prioriteit voor testen en experimenteren binnen het bestaande raamwerk van NEMO.

## 7.2 English

Based on both a needs assessment and a market consultation, it can be said that there is a clearer understanding of VMM's needs on the one hand and the market supply on the other. These valuable insights will help VMM to make informed decisions in terms of procurement, product development and/or strategic planning. Through the needs assessment, it has been determined that the current NEMO Nutrient Emission Model has a need for a refined approach to provide accurate local information for policy substantiation in the fields of manure, agriculture and water. This may require redefining process implementations and concepts for groundwater, including considerations such as the appropriate spatial scale and vertical resolution.

The summary of requirements for improving the groundwater module within NEMO, with the aim of more accurate simulation of local processes, is as follows:

1. **Enhanced results on a local scale** - There is a need for A1 catchment level results. This is important for manure and water policy, where specific statements at the level of A1 catchment zones are crucial. Currently, NEMO gives an average for the whole of Flanders or basins, which makes making specific local statements difficult.
2. **Treatment of historical loading** - The current model takes only limited account of historical loading. It is important to map slow groundwater flow and distinguish the effects of historical and current agricultural practices.
3. **Accurate modeling of groundwater flows** - The current concept for modelling groundwater flows is simple and does not include vertical flow. A more sophisticated multi-layer approach to modelling groundwater is required. This should lead to more accurate estimation of groundwater movement at the local level.
4. **More precise simulation of nutrient movement** - The current model for nitrogen and phosphorus movement to surface water and denitrification in groundwater has been simplified. A more detailed approach is needed to achieve a more accurate estimate of nutrient movement at the local level.
5. **More accurate treatment of drainage** - It is necessary to address aspects of drainage at a more detailed level to gain more accurate local insights.
6. **Comparison of calculated groundwater quality with measurements** - Currently, the calculated groundwater quality cannot be adequately compared with measurements in the filters of the groundwater monitoring network, due to limitations in modelling. An improved module should be able to enable this comparison.
7. **More accurate treatment of phosphate movement** - There is a need for improved treatment of phosphate in groundwater, including starting from measured groundwater concentrations and routing to surface water.

Overall, there is a strong need for a more detailed and refined model capable of accurately simulating local processes.

The market consultation revealed a varying number of insights, from shared views to points of uncertainty, regarding the changes and optimisations needed for the NEMO Nutrient Emission Model.

1. The market shares **common views** on the acceptable scale, namely the A1-catchment level, and the preservation of existing concepts for key processes such as drainage and nutrient transport. Extensions to more complex processes are recommended, such as mapping the entire reduction front for Flanders.
2. Significant **uncertainties** exist regarding the requirements to compare concentrations in the model with measured concentrations in the filters of the phreatic monitoring network, likely necessitating a 3D model. On the other hand, 3D groundwater modeling entails long computation times, which may not align with specified constraints. It is not entirely clear if both requirements can be fulfilled simultaneously. There are also significant uncertainties regarding the quality of input data.

The market highlights the need to balance the pursuit of a more sophisticated model with its practicality within the given constraints of NEMO. Market advice includes splitting groundwater and denitrification/phosphorus processes, with a focus on the onset of soil modelling and efficient integration of processes. The market also stresses the importance of balancing model and input uncertainties through calibration, validation and sensitivity analyses. It also highlights the need for large-scale models while maintaining computational efficiency and minimising computational time. Flexibility in solutions and exploration of alternative approaches are also recommended, along with priority for testing and experimentation within NEMO's existing framework.

## A. Appendix

### A.1 Overzicht deelnemende partijen

#	Bedrijf / Company	Plenair	1-op-1
1	AGT	x	x
2	Antea Group	x	
3	Continuum	x	
4	Fluves	x	x
5	Haedes BV	x	
6	HydroScan	x	
7	iFLUX	x	
8	IMDC	x	
9	KU Leuven	x	x
10	Sumaqua	x	
11	Sweco	x	
12	VITO	x	x
13	VUB	x	
14	Witteveen+Bos	x	x

Figuur 6: Overzicht deelnemende partijen marktconsultatie