

Programma van Eisen en Wensen IBRAHYM 3

Inhoud

1	IBRAHYM, regionaal model voor Limburg	2
1.1	Inleiding	2
1.2	Historie en huidige versie IBRAHYM 2.....	2
1.3	Ervaringen IBRAHYM 2, ontwikkelwensen IBRAHYM 3 en daarna	3
1.4	Externe ontwikkelingen.....	4
1.5	Toepassingen IBRAHYM 3.....	5
1.6	Doelstelling IBRAHYM 3.....	7
2	Randvoorwaarden.....	8
2.1	Werkzaamheden TNO-GDN, Deltares, WENR	8
2.2	Modelsoftware en rekenserver	11
2.3	Aansluiten bij NHI	12
3	Het project in onderdelen.....	14
3.1	Hydrogeologisch basismodel en ruimtelijke begrenzing.....	14
3.2	Brongegevens, modelinvoer, rekenperiode, modelresolutie, controle	16
3.3	Ondergrond en lagenmodel	18
3.4	Onttrekkingen.....	24
3.5	Oppervlaktewater en drainage	25
3.6	Onverzadigde zone	27
3.7	Uitvoeren modelkalibratie	31
3.8	Modelresultaten	37
3.9	Vastleggen modelleerproces; modelversie- en modelissue-beheer.....	37
3.10	Samenvatting: inhoudelijke eisen en wensen IBRAHYM 3.....	38
4	Samenwerking buiten het IBRAHYM consortium	41
5	Organisatie, planning, eindproducten	43
5.1	Begeleidingsgroep en klankbordgroep.....	43
5.2	Globale planning, looptijd, fasering	43
5.3	Op te leveren producten	44
6	Plan van Aanpak.....	46
6.1	Samenvatting: projectmatige eisen en wensen IBRAHYM 3.....	47
Bijlage 1A	Offerte Werkzaamheden TNO-GDN	49
Bijlage 1B	Offerte Werkzaamheden Deltares en WENR	49
Bijlage 1C	Rapport Analyse Beregeningshoeveelheden Limburg	49

1 IBRAHYM, regionaal model voor Limburg

1.1 Inleiding

Provincie Limburg, Waterleidingmaatschappij Limburg (WML) en Waterschap Limburg (WL) beheren en ontwikkelen als IBRAHYM consortium sinds 2007 samen het regionale grondwatermodel IBRAHYM voor de hele provincie Limburg. Op dit moment is IBRAHYM 2 de meest recente hoofdversie, in gebruik sinds 2014. Het IBRAHYM-consortium (hierna opdrachtgever genoemd) wil nu IBRAHYM versie 3 laten ontwikkelen.

Dit document “Programma van Eisen en Wensen IBRAHYM 3” geeft informatie over deze werkzaamheden en is als bijlage bij de offerteaanvraag toegevoegd in de aanbestedingsdocumenten.

1.2 Historie en huidige versie IBRAHYM 2

Het IBRAHYM modelinstrumentarium is het hydrologisch instrumentarium voor Limburg, dat is ontwikkeld in opdracht van Provincie Limburg, Waterleidingmaatschappij Limburg en WL. Het acroniem IBRAHYM staat voor Integraal Beheergebiedsdekkend Regionaal Hydrologisch Model.

De eerste versie van IBRAHYM is in 2007 opgeleverd en gebouwd door TNO (nu Deltares), Alterra (nu WENR) en Royal Haskoning (nu RHDHV). Het model is een aantal keer geactualiseerd en verbeterd. In 2014 is een tweede versie van het model opgeleverd. De huidige versie, 2.1_N en 2.2_Z, is in 2018 opgeleverd en bestaat uit een stationair en niet-stationair model voor Noord- en Midden-Limburg, ten noorden van de Feldebiss-breuk (versie 2.1_N), en een stationair model voor Zuid-Limburg, ten zuiden van de Feldebiss-breuk (versie 2.2_Z). In 2019 en 2020 zijn ook nog twee grote project-modellen opgeleverd: IBRAHYM-Roerdalslenk, in een samenwerking met Duitse partijen, en het LIWA-model voor de Limburg-brede GGOR-studie Limburgse Integrale Watersysteem Analyse (LIWA). Verder zijn er in recente jaren grotere deelmodellen gemaakt voor de berekening van de intrekgebieden van de WML-winlocaties en voor de beheerplannen van een aantal Natura 2000 natuurgebieden.

Het IBRAHYM model is één van de regionale toepassingen van het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI). Het NHI is de verzameling van software en data voor het ontwikkelen van grondwater- en oppervlaktewatermodellen voor Nederland op landelijke en regionale schaal. Het NHI is bedoeld om de kennis van specialisten bij waterbeheerders, instituten en adviesbureaus te bundelen om te komen tot kwalitatief goede instrumenten en data. Het NHI kent zowel landelijke als regionale toepassingen. De landelijke toepassing wordt het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) genoemd. De regionale toepassingen zijn veelal tot stand gekomen door samenwerking van waterschappen, drinkwaterbedrijven en provincies. Naast IBRAHYM bestaan o.a. deze regionale modellen: MIPWA, MORIA, AMIGO, HYDROMEDAH, AZURE, GRAM (Grondwatermodel Aa en Maas) en het Brabantmodel.

De modelcode voor IBRAHYM 2 bestaat uit iMODFLOW (voor verzadigde zone) en MetaSWAP (voor onverzadigde zone). Beide rekencodes zijn gekoppeld. iMODFLOW is een Deltares-variant van MODFLOW-2005. Het gehele instrumentarium wordt ontsloten in iMOD.

Een uitgebreide beschrijving van IBRAHYM 2 is hier te vinden:

<https://oss.deltares.nl/nl/web/imod/ibrahym-model-documentation>

1.3 Ervaringen IBRAHYM 2, ontwikkelwensen IBRAHYM 3 en daarna

Sinds de oplevering van IBRAHYM 2 in 2014 wordt er veel met het model gewerkt, door het consortium zelf, en door adviesbureaus en andere partijen. Deze gebruikerservaringen hebben beperkingen van IBRAHYM 2 aan het licht gebracht, en wensen voor actualisatie, verbeteringen en nieuwe functionaliteiten opgeleverd, zoals:

Beperkingen IBRAHYM 2:

- a) Het gebruiksgemak van het lagenmodel is beperkt, doordat in het lagenmodel de hydrogeologische eenheden niet visueel herkenbaar zijn. Het lagenmodel is gebouwd met de iMOD CUS-SOLID tool, waarbij het aantal modellagen wordt geminimaliseerd door een slimme indeling op basis van scheidende lagen en hypothetische grensvlakken. Het resultaat is, dat de grensvlakken van de modellagen niet overeenkomen met de grensvlakken van de hydrogeologische eenheden en dat de fractionele verdeling van hydrogeologische eenheden in de dikte van een modellaag ruimtelijk varieert (k-waarden worden met de iMOD GeoConnect tool per modellaag correct berekend uit de dikte en k-waarden van de hydrogeologische eenheden binnen die modellaag). Hierdoor vraagt kalibratie van k-waarden per REGIS eenheid, of de interpretatie van het onttrokken debiet per watervoerend pakket, een extra omrekeningslag.
- b) Het model bevat een aantal fouten in modelinvoer en modelschematisatie.
- c) De laatste versie, IBRAHYM 2.1, is alleen stationair gekalibreerd.
- d) IBRAHYM 2.1 is gemaakt voor de modelperiode 1994 – 2011. Er zijn (vanzelfsprekend) nu gegevens tot eind 2020/2021 beschikbaar.
- e) De gebruikte versie van MetaSWAP en MetaSWAP-database is sterk verouderd en sluit niet meer aan bij LHM, andere regionale modellen, en Waterwijzer Landbouw. WENR ondersteunt deze oude versie niet meer.
- f) De onverzadigde zone en niet-stationaire grondwateraanvulling in Zuid-Limburg kunnen niet accuraat gemodelleerd worden met de in IBRAHYM 2 gebruikte versie van MetaSWAP en koppeling MetaSWAP-iMODFLOW.
- g) Het aanpassen van ligging van breuklijnen en het rekenen met breuken op verschillende resoluties is bewerkelijk en foutgevoelig, doordat er lekkages kunnen optreden als breuklijnen en lagenmodel niet consistent vergrid worden.

Wensen actualisatie, verbeteringen en nieuwe functionaliteiten voor IBRAHYM 3 (punt a t/m h) en daarna (punt i t/m k):

- a) Actualiseren rekenperiode t/m april 2021.
- b) Actualiseren rekencode-versie MetaSWAP, inclusief MetaSWAP-database.
- c) Aansluiten bij ontwikkelingen modelleersoftware iMOD en rekencodes MODFLOW 6 en MetaSWAP, om weer bij de tijd te zijn en voorbereid te zijn op landelijke ontwikkelingen in modelcodes, modelconcepten en modelinvoer (o.a. in NHI-verband).

- d) Aansluiten bij en gebruik maken van werkwijzen, modelcodes, modelconcepten en data die in NHI-verband ontwikkeld worden.
- e) Verbeteren van de schematisatie van de ondiepe ondergrond (o.b.v. GeoTOP).
- f) Een goed grensoverschrijdend ondergrondmodel, gebaseerd op een hydrogeologisch model van de regio Zuid-Nederland en de grensregio's in Duitsland en België.
- g) Een model dat in het hele modelgebied goed genoeg presteert om grensoverschrijdende (buiten Limburg, in Brabant en grensregio Duitsland en België) vraagstukken van grondwaterbeheer te analyseren.
- h) Toevoegen van modelconcepten voor peilgestuurde drainage en subirrigatie uit grond- en oppervlaktewater.
- i) Ná oplevering IBRAHYM 3: Toevoegen van een meer dynamische koppeling tussen grond- en oppervlaktewater, zoals in de Simgro-modellen die we bij IBRAHYM 2 gebouwd hebben. Hiervoor aansluiten bij ontwikkelingen in NHI-verband.
- j) Ná oplevering IBRAHYM 3: Toevoegen gewasgroeimodel WOFOST (op termijn), om de werkelijke verdamping en landbouwopbrengsten realistischer te simuleren.
- k) Ná oplevering IBRAHYM 3: Toevoegen waterkwaliteitsmodule (op termijn; vooral voor nitraatuitspoeling; onverzadigd en verzadigd, ANIMO en MT3D).

De ontwikkelwensen die we in het project IBRAHYM 3 willen doorvoeren, worden in hoofdstuk 3 toegelicht. Niet alle ontwikkelwensen zullen binnen het project IBRAHYM 3 gerealiseerd kunnen worden (in de opsomming hierboven aangeduid met “Ná oplevering IBRAHYM 3”, de punten i t/m k), maar we willen IBRAHYM 3 op zo’n manier bouwen, dat het model zo goed mogelijk voorbereid is voor het eventueel later toevoegen van deze ontwikkelwensen. Keuzes die we maken bij de bouw en schematisatie van IBRAHYM 3 mogen geen obstakels opwerpen voor het in de toekomst koppelen aan de modellen zoals hierboven genoemd bij de punten i t/m k.

1.4 Externe ontwikkelingen

Niet alleen de gebruikerservaringen hebben nieuwe ontwikkelwensen opgeleverd, maar ook zijn er veel externe ontwikkelingen geweest. Dat betreft met name modelontwikkeling bij de “buren” van IBRAHYM: in Duitsland, België en bij waterschap Aa en Maas. Maar ook het werk rond het Landelijk Hydrologisch model (LHM) en het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI) heeft nieuwe tools en producten opgeleverd. Ons doel is om IBRAHYM 3 in lijn te brengen met deze externe ontwikkelingen. De volgende externe ontwikkelingen vinden we relevant voor IBRAHYM 3, maar zijn nog niet allemaal ver genoeg ontwikkeld om nu in IBRAHYM 3 op te nemen.

Inschrijver dient de punten a t/m g mee te nemen in zijn aanpak om te komen tot het nieuwe model:

- a) TNO-GDN heeft in 2019 GeoTOP Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg opgeleverd voor de ondiepe ondergrond.
- b) Sinds 2019 is het nieuwe hydrogeologisch model voor Vlaanderen beschikbaar (Hydrogeologisch 3D-lagenmodel van Vlaanderen, H3Dv2, 2019, opgemaakt door het Vlaams Kenniscentrum Ondergrond (VLAKO) bij de Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek

(VITO) in opdracht van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM) en het Departement Omgeving (dOMG)).

- c) De Geologische Dienst Nordrhein-Westfalen (GD-NRW) heeft nieuwe hydrogeologische modellen opgeleverd (o.a. Roerdalslenk, Venloschol).
- d) TNO-GDN heeft sinds 2017 het hydrogeologisch model REGIS II v2.2 beschikbaar.
- e) In verschillende H3O-projecten is in een grensoverschrijdende samenwerking een nieuwe kartering van de gehele Roerdalslenk in Nederland, België en Duitsland uitgevoerd. Deze deelprojecten en –modellen zijn sinds 2018 beschikbaar gekomen. Het deelmodel H3O-ROSE (Duitse deel Roerdalslenk) is begin 2020 opgeleverd.
- f) In het Lumbricus programma is een methode ontwikkeld voor het modelleren van de belangrijke waterbeheermaatregelen peilgestuurde drainage en subirrigatie uit oppervlaktewater. Voor berekeningen aan beregning, droogte, wateroverlast en klimaatverandering is het belangrijk om het regionale effect van deze maatregelen goed in beeld te kunnen brengen.
- g) In NHI-verband zijn er ontwikkelingen voor de schematisatie van het topsysteem (o.a. wordt er gewerkt aan een nieuwe parametrisatie van drainageweerstanden in het topsysteem (iGrOw, Ernst2020), en aan nieuwe methodes om schematisatie van oppervlaktewater te genereren uit legger en TOP10. Meer informatie:
 - <http://www.nhi.nu/nl/index.php/documentatie/igrow/>
 - https://github.com/ArtesiaWater/UGW/blob/master/report/rap_bouwsteen_oppervlaktewater_UGW_incl_bijlage.pdf
- h) In het Lumbricus programma is een koppeling MODFLOW-MetaSWAP met D-HYDRO 1D2D ontwikkeld, die op termijn mogelijkheden biedt om te rekenen met een dynamische koppeling tussen grondwater en oppervlaktewater. (Ná oplevering IBRAHYM 3).
- i) In het Lumbricus programma en in NHI-verband wordt er gewerkt aan een module om in kleine afvoergebieden gelumped te rekenen aan de waterverdeling, met een dynamische interactie tussen grond- en oppervlaktewater. (Ná oplevering IBRAHYM 3).
- j) In het Lumbricus programma is een koppeling van het gewasgroeimodel WOFOST met het onverzadigde zone model MetaSWAP ontwikkeld, die ook al toegepast is in het LHM. Hiermee wordt een betere berekening van de werkelijke verdamping, landbouwopbrengsten en grondwateraanvulling gerealiseerd. (Ná oplevering IBRAHYM 3).

1.5 Toepassingen IBRAHYM 3

We willen dat IBRAHYM 3 weer een volledig actueel en state-of-the-art modelinstrumentarium wordt, dat geschikt is voor lokale, regionale en bovenregionale toepassingen en ook als zodanig gebruikt wordt. We denken dat dit gerealiseerd kan worden door 1) de kennis van IBRAHYM 2 te behouden, 2) de gebruikerservaringen in IBRAHYM 3 te verwerken en 3) maximaal gebruik te maken van externe ontwikkelingen. Bij oplevering van het eindproduct eind 2022 is IBRAHYM 3 geschikt voor o.a. de volgende toepassingen:

- a) Op regionale schaal en Limburg-dekkend doorrekenen van maatregelpakketten en klimaatscenario's voor inrichting van watersysteem (GGOR-studies, Nieuw Limburgs Peil, Limburgse Integratie Watersysteem Analyse), ten behoeve van het waterbeheerprogramma van het waterschap en het waterprogramma van de provincie.

- b) Berekenen van landbouwopbrengsten en natuurdoelrealisatie (Waterwijzer Landbouw en Waterwijzer Natuur) bij verschillende maatregelpakketten, klimaatscenario's en gebiedsinrichtingen.
- c) Berekenen van effecten van grondwateronttrekkingen (voor o.a. drinkwater, industrie, glastuinbouw en beregening) op o.a. landbouwopbrengsten en natuurdoelrealisatie.
- d) Met IBRAHYM 3 moeten op correcte manier de regionale effecten van grootschalige toepassing van peilgestuurde drainage in combinatie met subirrigatie uit grondwater en oppervlaktewater in beeld gebracht kunnen worden (modelconcept is in Lumbricus ontwikkeld).
- e) Uitvoeren van (boven)regionale waterbeschikbaarheidsstudies en waterverdelingsvraagstukken, o.a. voor waterbeheer in de Roerdalslenk (van Brabant tot Nordrhein-Westfalen).
- f) Berekenen van de beschermingszones, stroombanen, reistijden, en als basis voor prognoses kwaliteitsvraagstukken voor drinkwaterwinningen WML.
- g) Hydrologische modellering van de interactie tussen grond- en oppervlaktewater en van grondwatereffecten bij het ontwerpen van herinrichting van beken en beekdalen.
- h) Simuleren van het neerslag-afvoerproces voor hydraulische modellering in D-HYDRO ten behoeve van het uitvoeren van stresstests en watersysteemtoets, en als randvoorwaarde in het operationele voorspelmodel BOS-OMAR.
- i) IBRAHYM levert invoer (waterbalans, drainage-/infiltratie-fluxen, kwel/wegzijging) voor regionale studies met de KRW-Verkenner (waterkwaliteitsmodel voor Noord- en Midden-Limburg) en voor de Stroomgebiedsbrede Ecologische Systeemanalyse (SESA).
- j) Onderzoeken van mogelijke maatregelen ter voorkoming van wateroverlast.
- k) Waterschap Limburg heeft de wens om IBRAHYM 3 ook in te zetten ter ondersteuning van het operationeel peilbeheer. In het "Waterbeheerprogramma 2022-2027" van WL zijn per type landgebruik (grasland, akkerbouw, diep wortelende gewassen, stedelijk gebied) afspraken gemaakt over maximale grondwaterstanden onder normale omstandigheden (in cm t.o.v. maaiveld; 30-50-100 cm), die door peilbeheer in de leggerwatergangen gerealiseerd worden. WL heeft daarom de wens dat IBRAHYM 3 in de regio's waar hoge grondwaterstanden voorkomen (landbouwgebieden in vooral Noord- en Midden-Limburg) voldoende nauwkeurig is (zeg: afwijking maximaal 10 cm) om de ontwateringsdieptes voor dit doel adequaat te kunnen berekenen.
- l) Beoordelen van klachten en schadeclaims, vaak over inundatie en grondwateroverlast op landbouwpercelen.
- m) Adviseren over grondwateraspecten bij meldingen, vergunningverlening, calamiteiten;
- n) Inzetten vóór, tijdens en na calamiteiten in oppervlaktewater en grondwater, voor inzicht in verwachtingen, scenario-analyse, voorspellingen, gevolgen, evaluatie en schadeafhandeling.
- o) IBRAHYM moet op termijn ingezet kunnen worden bij toetsing van dijkstabiliteit van de Maasdijken (macrostabiliteit, piping). Daartoe is een voldoende gedetailleerd lagenmodel in Maasdal nodig, en een betrouwbare simulatie van grondwaterstanden en stijghoogten in Maasdal tijdens een hoogwatergolf (van enkele dagen tot weken) op de Maas.

Het opgeleverde eindproduct IBRAHYM 3 houdt rekening met de wens om er in de toekomst deze modellen aan te kunnen koppelen:

- a) Koppeling van MODFLOW-MetaSWAP model aan D-HYDRO 1D2D hydraulisch model (zoals nu ontwikkeld wordt in Lumbricus), zodat grond- en oppervlaktewater integraal doorgerekend kunnen worden. Daarmee kan dan bijvoorbeeld een wateroverlastperiode van enkele weken/maanden volledig integraal doorgerekend worden.
- b) Toevoegen van WOFOST-gewasgroeimodel, om op een meer realistische manier de werkelijke verdamping en de effecten van klimaatscenario's te kunnen doorrekenen. Gebruik maken van koppeling MetaSWAP-WOFOST, die in Lumbricus is gerealiseerd.
- c) Toevoegen van waterkwaliteitsmodellen ANIMO (onverzadigde zone) en MT3D (grondwater), om op regionale schaal uitspoeling van nitraat, fosfaat en gewasbeschermingsmiddelen te kunnen berekenen.

1.6 Doelstelling IBRAHYM 3

Doel van het project is een nieuwe geactualiseerde en betrouwbare versie van het regionale grondwatermodel IBRAHYM op te leveren. IBRAHYM 3 is actueel en goed aangesloten bij ontwikkelingen in NHI en landelijke en regionale modellen (o.a. voor rekencodes, modelconcepten, werkwijzen en modeldata).

Opdrachtnemer start in augustus/september 2021 met de werkzaamheden. Oplevering van het eindproduct is uiterlijk in december 2022.

2 Randvoorwaarden

Dit hoofdstuk beschrijft een aantal randvoorwaarden bij het project, waarmee u in uw aanbieding rekening dient te houden.

2.1 Werkzaamheden TNO-GDN, Deltares, WENR

De opdrachtgever heeft voor de bouw van IBRAHYM 3 een aantal activiteiten in aparte opdrachten aan TNO-GDN, Deltares en WENR aanbesteed. De inhoud van deze opdrachten is hieronder kort toegelicht. Bij de respectievelijke modelonderdelen (hydrogeologisch basismodel: hoofdstuk 3.1 en 3.3; onverzadigde zone, peilgestuurde drainage en subirrigatie: hoofdstuk 3.6) lichten we deze opdrachten verder toe. De offertes zijn opgenomen als bijlage 1A en 1B.

Door deze constructie zijn TNO-GDN, Deltares en WENR min of meer onderdeel van het projectteam, volgens een afgebakende opdracht en taak. We proberen hiermee een goede overdracht van ondergrondmodel, nieuwe modelconcepten en kennis naar opdrachtnemer te bereiken en ook een samenwerking tussen kennisinstellingen en opdrachtnemer mogelijk te maken.

Opdrachtnemer dient gebruik te maken van producten, adviezen en samenwerkingen uit die opdrachten. We vragen opdrachtnemer actief mee te werken (kennis en ideeën inbrengen, mee-ontwikkelen, testen) aan de hieronder genoemde activiteiten die TNO-GDN, Deltares en WENR uitvoeren. Opdrachtnemer dient aanwezig te zijn bij de overleggen en werksessies die als zodanig in de offertes van TNO-GDN, Deltares en WENR zijn beschreven en neemt deze op in zijn planning.

In uw aanbieding beschrijft u op welke wijze u rekening houdt met deze werkzaamheden van TNO-GDN, Deltares en WENR, en hoe u de kwaliteit en toepasbaarheid van deze specialistische producten voor IBRAHYM 3 beoordeelt. We verwachten van opdrachtnemer flexibiliteit en motivatie om het maximale te halen uit deze samenwerking met TNO-GDN, Deltares en WENR.

Hydrogeologisch basismodel

Opdrachtgever heeft samen met Provincie Noord-Brabant en Brabant Water aan TNO-GDN opdracht gegeven om een hydrogeologisch basismodel te maken van heel Limburg en Brabant en de grensregio's in Duitsland en België, waarin alle resultaten van recente ontwikkelingen in de grensoverschrijdende hydrogeologische modellering zijn verwerkt. Zie verder hoofdstuk 3.1, 3.3 en bijlage 1A.

Omdat dit hydrogeologisch basismodel pas in december 2021 beschikbaar komt, kan opdrachtnemer in augustus 2021 niet meteen starten met de bouw van een lagenmodel. Hij dient hiermee rekening te houden in zijn planning.

Mogelijkheden MODFLOW 6

Aan Deltares hebben we opdracht gegeven om maximaal 5 dagen beschikbaar te zijn om opdrachtnemer daar waar nodig te adviseren hoe hij optimaal gebruik kan maken van de mogelijkheden die MODFLOW 6 biedt voor het afbeelden van een complexe hydrogeologische ondergrond (uitwiggen modellagen, breuken, grensregio, kalksteen, 1-op-1 REGIS afbeelden, gestapelde en geneste modellen, IDOMAIN-functie). Deltares zal ook toelichting geven op:

- a) De mogelijkheden die iMOD 5.2/5.3 biedt voor het bouwen en runnen van IBRAHYM 3 als een MODFLOW 6 - MetaSWAP model.
- b) De geplande verdere integratie van MODFLOW 6 en MetaSWAP, waarbij MetaSWAP niet meer alleen aan modellaag 1 gekoppeld is en unconfined rekenen gemakkelijker zal worden en wellicht ook de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling bij zeer diepe freatische grondwaterstanden beter gesimuleerd zal worden.
- c) De geplande ontwikkeling van iMOD 6, waarin meer functionaliteiten beschikbaar zullen komen (o.a. parallelisatie, parallel iPEST, enz.).

Modelinstellingen MetaSWAP

Aan Deltares en WENR hebben we opdracht gegeven om te adviseren welke versie van iMOD, MetaSWAP en MetaSWAP-database opdrachtnemer het beste kan gebruiken, welke modelinstellingen en modelinvoer voor MetaSWAP gebruikt moeten worden en hoe MetaSWAP correct geïnitieerd wordt. Deltares en WENR leveren dat advies in de vorm van een memo, zetten de benodigde modelinvoer klaar, en zijn beschikbaar om eventuele vragen te beantwoorden. Zie verder hoofdstuk 3.6.

Peilgestuurde drainage en subirrigatie

Aan Deltares en WENR hebben we opdracht gegeven om ervoor te zorgen dat peilgestuurde drainage en subirrigatie uit grond- en oppervlaktewater zo realistisch mogelijk gesimuleerd kan worden. Deltares en WENR moeten hiervoor nog software aanpassen en testen en een nieuwe release van iMOD opleveren (iMOD 5.3, november 2021). Dat is in de opdracht aan Deltares en WENR voorzien. Opdrachtnemer helpt mee bij het testen van de functionaliteit voor IBRAHYM 3. Zie verder hoofdstuk 3.6.

Unconfined rekenen en tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland

Unconfined stationair rekenen in het Heuvelland in Zuid-Limburg vraagt in IBRAHYM 2 een iteratieve berekening en is hierdoor minder gebruiksvriendelijk.

Bovendien geeft de niet-stationaire berekening in IBRAHYM 2 op de plateaus bij zeer diepe freatische grondwaterstanden in de kalksteen geen goede resultaten. Dit komt doordat de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling hier nog niet goed gesimuleerd wordt.

We hebben aan Deltares en WENR gevraagd om het unconfined rekenen in het Heuvelland in Zuid-Limburg gebruiksvriendelijker te maken, en om de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland in Zuid-Limburg te verbeteren.

Deltares en WENR vinden het verstandiger om de inspanning te richten op een verdere integratie van de koppeling MODFLOW 6 - MetaSWAP (waaraan Deltares en WENR in 2021/2022 werken), waardoor wellicht unconfined rekenen zonder iteratie mogelijk wordt en misschien ook de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland in Zuid-Limburg realistisch gesimuleerd zal worden. Deltares en WENR onderzoeken in de eerste helft van 2021 of deze ontwikkeling ondergebracht kan worden in een TKI-project.

We gaan ervan uit dat deze ontwikkeling niet tijdig beschikbaar komt voor IBRAHYM 3. We kiezen ervoor om de resultaten van deze ontwikkeling af te wachten en nu voor IBRAHYM 3 gebruik te maken van de bestaande werkwijze. Voor unconfined stationair rekenen is in IBRAHYMv2.2_Zuid een goede, gescripte workflow voor iteratieve berekening beschikbaar. Voor de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland accepteren we voorlopig de beperkingen van de huidige berekeningswijze. Zie verder hoofdstuk 3.6.

Planning werkzaamheden TNO-GDN, Deltares, WENR

De werkzaamheden van TNO-GDN, Deltares en WENR hebben invloed op de planning en fasering van opdrachtnemer. In onderstaand schema is de looptijd van het project aangeduid, inclusief de werkzaamheden die TNO-GDN en Deltares-WENR uitvoeren, met de met hen afgesproken doorlooptijd en oplevertermijnen.

	2021					2022				
	aug	sep	okt	nov	dec	Q1	Q2	Q3	Q4	
> Looptijd project voor ON: aug 2021 - dec 2022.	Start									End
> TNO-GDN bouwt geohydrologisch model					End					
> Werksessie TNO-GDN met ON			W							
> TNO-GDN adviseert ON bij bouw lagenmodel						W				
> Werksessie stationair model ON, OG, Brabantse, Duitse, Vlaamse experts						W				
> Deltares-WENR werkt met ON aan peilgestuurde drainage...				R						
...en subirrigatie en instellingen MetaSWAP										
> OG en ON houden ontwikkeling bij Deltares-WENR in de gaten voor...										
...tijdsafhankelijke gwa en unconfined rekenen Heuvelland Zuid-Limburg										
	W	=	Werksessie							
	ON	=	Opdrachtnemer							
	OG	=	Opdrachtgever							
	R	=	Release iMOD 5.3							

In uw aanbieding beschrijft u op welke wijze u rekening houdt met de planning van deze werkzaamheden van TNO-GDN, Deltares en WENR. Hun offertes zijn opgenomen in bijlage 1A en 1B. De daarin beschreven overleggen en werksessies met TNO-GDN en Deltares-WENR neemt u op in uw planning.

2.2 Modelsoftware en rekenserver

MODFLOW 6, MetaSWAP, iMOD

IBRAHYM 3 moet rekenen met de nieuwe MODFLOW-versie, MODFLOW 6, gekoppeld met MetaSWAP. Voor het bouwen en toepassen van IBRAHYM 3 en straks voor het dagelijks gebruik kiezen we iMOD als gebruikersschil. We sluiten aan bij landelijke ontwikkeling van software die Deltares en WENR in het kader van LHM en NHI doorvoeren.

De bouw van IBRAHYM 3 loopt parallel aan een aantal belangrijke ontwikkelingen in het NHI en in de software MODFLOW 6 - MetaSWAP en iMOD 6. Nog niet alle packages zijn beschikbaar in MODFLOW 6, nog niet alles is aan te sturen vanuit iMOD 6. We verwachten echter, dat bij oplevering van IBRAHYM 3 (eind 2022) de ontwikkeling van MODFLOW 6 - MetaSWAP, iMOD 6 en NHI zóver zijn, dat regionale modellen voortaan met die software, data en workflows gebouwd zullen worden. We willen daar met IBRAHYM 3 dan goed op aansluiten.

De actuele versie iMOD 5.2 bevat alle functionaliteit om een iMODFLOW (MODFLOW-2005) - MetaSWAP model te bouwen, te kalibreren met iPEST, te runnen, de resultaten in iMOD-bestandsformaten (o.a. IDF, IFF, IPF) te bekijken in iMOD en het model daarna om te zetten naar een MODFLOW 6 - MetaSWAP model (met een gestructureerd, regelmatig grid) en te runnen en daarna de resultaten weer in iMOD-bestandsformaten te bekijken in iMOD. Opdrachtnemer dient te werken volgens deze werkwijze en in zijn workflows in het project IBRAHYM 3 zoveel mogelijk gebruik te maken van iMOD-batchfuncties en -tools. Als er een iMOD-batchfunctie beschikbaar is voor pre- en postprocessing, dan moet die gebruikt worden. Om die bouwstenen heen kan opdrachtnemer een workflow construeren, uit helder opgebouwde, goed leesbare, goed gedocumenteerde scripts en tools. De workflow moet zodanig zijn opgezet, dat gebruikers ná oplevering van IBRAHYM 3 aanpassingen aan het model kunnen doorvoeren en deelmodellen kunnen maken, kalibreren en runnen. Indien tijdig beschikbaar, kunnen workflows die eventueel nog in NHI-verband ontwikkeld worden, voor IBRAHYM 3 toegepast en verder ontwikkeld worden.

De hele modelschematisatie moet dus met iMOD gemaakt worden. Het is op dit moment onduidelijk of in iMOD 5.2 kalibratie met iPEST van een MODFLOW 6 model mogelijk is. Het kan zijn dat iPEST alleen werkt met een iMODFLOW (MODFLOW-2005) model. Als dat zo is, dan zal na kalibratie en omzetting naar een MODFLOW 6 model het modelresultaat afwijken van het gekalibreerde iMODFLOW (MODFLOW-2005) model. Dat vraagt dan aanvullende analyse en eventueel aanpassing van de kalibratie of modelschematisatie/-parametrisatie. We vragen u om daar in uw aanbieding rekening mee te houden en om uw visie hierop te geven.

Opdrachtgever heeft aan Deltares en WENR opdracht gegeven voor de release van iMOD 5.3, gepland in november 2021, waarin peilgestuurde drainage en subirrigatie zijn opgenomen. IBRAHYM 3 moet in minimaal iMOD 5.3 opgeleverd worden. De release van iMOD 6 is gepland voor november/december 2021. In iMOD 6 is de ondersteuning van MODFLOW 6 verder uitgebreid, wordt ongestructureerd rekenen ondersteund en is wellicht de integratie van MODFLOW 6 en MetaSWAP verder doorgevoerd (waardoor unconfined rekenen gemakkelijker zou worden). Als iMOD 6 tijdig beschikbaar komt en voldoende functionaliteiten bevat, heeft het onze voorkeur om IBRAHYM 3 te bouwen met iMOD 6. Maar zolang iMOD 6 nog niet gereleased is, of nog niet alle benodigde functionaliteit bevat, werken we tijdens het project met iMOD 5.2/3.

MODFLOW 6 biedt mogelijkheden voor een meer rechtstreekse overzetting van een hydrogeologisch model naar een lagenmodel voor een grondwatermodel. MODFLOW 6 rekent volledig 3D, zodat ook horizontale stroming in slecht doorlatende lagen gesimuleerd wordt. MODFLOW 6 kan rekenen met een groter aantal modellagen en heeft de mogelijkheid om efficiënt om te gaan met uitwiggende modellagen. In tegenstelling tot eerdere MODFLOW-versies hoeven modellagen nu niet meer in het gehele modeldomein aanwezig te zijn. Het gebruik van dummy-lagen is niet meer nodig. Met de IDOMAIN-functie kan de rekentijd verkort worden door de inactieve cellen uit te sluiten van de berekening. In verticale richting kunnen modellen gestapeld worden en ook in horizontale richting kunnen modellen genest worden. Dat biedt nieuwe mogelijkheden, maar is nog niet veel gebruikt in regionale grondwatermodellen.

In het Landelijk Hydrologisch Model is in LHM 4.0 (2020) voor het eerst gebruik gemaakt van de gekoppelde rekencode MODFLOW 6 - MetaSWAP. Er is een lagenmodel gemaakt van 129 lagen, o.b.v. REGIS II v2.2, beschikbare H3O-modellen, het HCOV-model in Vlaanderen en de schematisatie van het Duitse deel van de Roerdalslenk uit het IBRAHYM-Roerdalslenk model. Ook is GeoTOP opgenomen voor de holocene formaties. Dat lijkt veel op de aanpak die ons voor IBRAHYM 3 voor ogen staat.

De consequenties, mogelijkheden en aandachtspunten van een lagenmodel in MODFLOW 6 worden beschreven in de rapportage van LHM 4.0. Zie vooral hoofdstuk “2.3 Actualisatie van het lagenmodel” en “2.4 Gevoeligheidsanalyse van het samenvoegen van lagen” in

“Veranderingsrapportage LHM 4.0 11203718-000-BGS-0002, 20 februari 2020”:

http://nhi.nu/nl/files/2016/0614/8681/11203718-000-BGS-0002_Veranderingsrapportage_LHM_4.0-feb_2020-c.pdf

IBRAHYM-rekenserver

Het hele modelleerproces wordt uitgevoerd op de IBRAHYM-rekenserver. Die heeft ruime capaciteit (4 fysieke processoren met elk 18 cores, dus 72 cores, 144 HT, 3.0/3.70 GHz; 512 GB werkgeheugen en 75 TB HD opslag, waarvan 20 TB vrij, plus 11 TB SSD, vrij) en kan door alle deelnemers benaderd worden.

2.3 Aansluiten bij NHI

De komende twee jaar wordt er veel ontwikkeld in NHI-verband en in het iMOD - MODFLOW 6 - MetaSWAP team (rekencode, modelconcepten, modelinvoer). We willen daar maximaal gebruik van maken.

Bij de bouw van IBRAHYM 3 maakt opdrachtnemer zo veel mogelijk gebruik van data, werkwijzen en tools uit het NHI die op dat moment beschikbaar zijn. Per fase van het project bekijken opdrachtgever en opdrachtnemer samen, eventueel met Deltares en WENR, of er op dat moment relevante ontwikkelingen in NHI afgerond zijn en beschikbaar voor toepassing bij bouw van IBRAHYM 3. Dit kan betekenen dat opdrachtnemer zijn werkwijze enigszins moet aanpassen.

We besluiten alleen tot implementatie van eventuele nieuwe data, tools en werkwijzen, als dat niet tot veel extra werk voor opdrachtnemer, of tot grote risico's voor beheersing van planning, kosten of

kwaliteit leidt. We verwachten van opdrachtnemer flexibiliteit en motivatie om maximaal gebruik te maken van nieuwe nuttige ontwikkelingen.

Een aantal relevante datasets en tools die waarschijnlijk in periode Q4-2021 t/m Q2-2022 beschikbaar komen in NHI-verband:

- a. Een update en uitbreiding van de gescripte batchable versie van de NHI-lagentool.
- b. Een tool om GeoTOP voxel-informatie om te zetten naar lageninformatie voor een grondwatermodel.
- c. Een gevulde database met onttrekkingsgegevens van drinkwater, industrie en berekening (vanuit NHI "Onttrekkingendatabase", of vanuit de Basisregistratie Ondergrond, domein Grondwatergebruik).
- d. Een workflow voor schematisatie van het topsysteem (interactie oppervlaktewater en grondwater).
- e. Een gevulde HyDAMO database, met gegevens van oppervlaktewater.
- f. Een workflow voor het schematiseren van het onverzadigde zone-systeem en aanmaken van de dynamische modelinvoer van het landgebruik.
- g. Tools voor het inlezen van weerinformatie.
- h. Datasets van berekening en buisdrainage.

Voor een overzicht van de voor 2021 tot medio 2022 voorziene ontwikkelingen van datasets en modelgeneratoren voor de domeinen grondwater, oppervlaktewater en onverzadigde zone verwijzen we naar het NHI-investeringsplan:

[http://nhi.nu/nl/files/1515/8979/8297/Investeringsplan_NHI_2020-2021 - 19 okt 2019 - zonder budget.pdf](http://nhi.nu/nl/files/1515/8979/8297/Investeringsplan_NHI_2020-2021_-_19_okt_2019_-_zonder_budget.pdf)

In uw aanbieding beschrijft u welke datasets, workflows en tools die in NHI-verband tijdens de looptijd van het project IBRAHYM 3 beschikbaar komen, u gebruikt bij de bouw van IBRAHYM 3.

Andersom levert opdrachtnemer data en doorontwikkelde werkwijzen en tools terug aan het NHI, waar dat toegevoegde waarde heeft voor andere gebruikers.

3 Het project in onderdelen

Het project bevat in ieder geval de onderdelen die in de volgende paragrafen worden toegelicht.

In het plan van aanpak van uw aanbidding beschrijft u de werkzaamheden van de opdrachtnemer voor elk van deze onderdelen. Voor enkele onderdelen vragen wij u in uw aanbidding of tijdens het project een onderbouwd voorstel te doen. Bij een aantal onderdelen wijzen we u op aandachtspunten. Hiermee dient u in uw aanbidding rekening te houden. Indien u afwijkt van de in dit hoofdstuk gestelde eisen dient u dit grondig te onderbouwen.

3.1 Hydrogeologisch basismodel en ruimtelijke begrenzing

Hydrogeologisch basismodel

IBRAHYM 3 omvat Limburg en een deel van Brabant, Duitsland en België. Zie *Figuur 1a*.

Opdrachtgever heeft samen met Provincie Noord-Brabant en Brabant Water opdracht gegeven aan TNO-GDN om een hydrogeologisch basismodel te maken van heel Limburg en Brabant en de grensregio's in Duitsland en België. Doel is, om de resultaten van alle recente ontwikkelingen in de grensoverschrijdende hydrogeologische modellering (o.a. H3O-projecten) én de actuele versies van de Belgische en Duitse hydrogeologische modellen in één model ("REGIS Zuid-NL", of "REGIS-XL") beschikbaar te maken voor bouw van een lagenmodel voor IBRAHYM en Brabantse grondwatermodellen. TNO-GDN levert het eindproduct in december 2021 op.

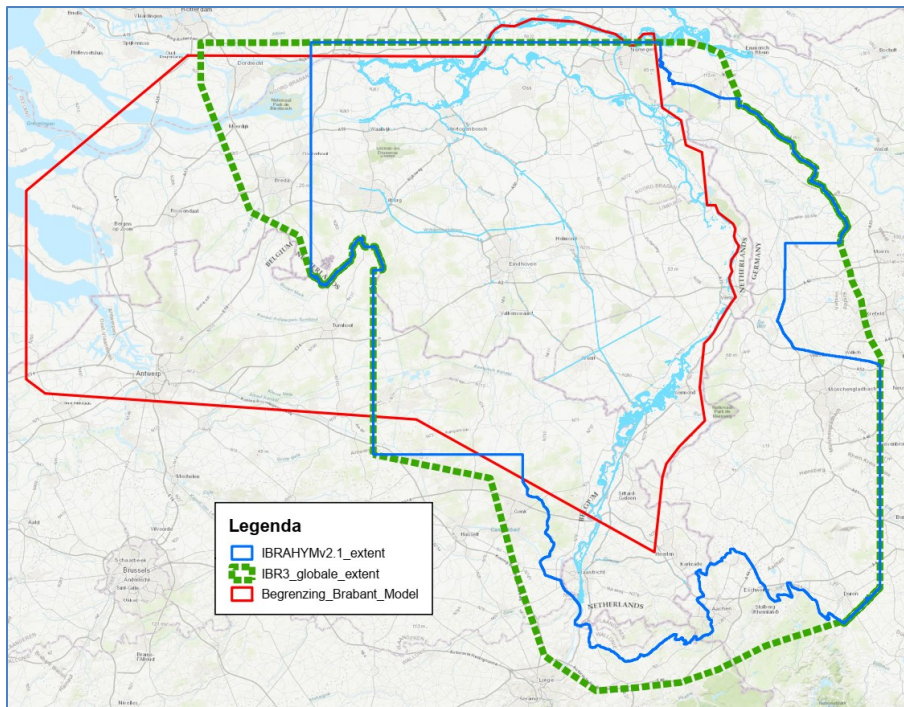
Het eindproduct (model en documentatie) komt openbaar beschikbaar op de website grondwatertools.nl. Zodra TNO-GDN een eerste versie heeft, wordt opdrachtnemer uitgenodigd om in een werksessie mee te kijken bij het project en zijn eigen kennis in te brengen. Zodra opdrachtnemer start met bouw van het lagenmodel voor IBRAHYM 3, zal TNO-GDN nog beschikbaar zijn om mee te kijken, te adviseren en kennis en ervaring uit te wisselen met opdrachtnemer. We proberen hiermee een goede overdracht van het hydrogeologisch basismodel naar opdrachtnemer te bereiken en ook een samenwerking tussen TNO-GDN en opdrachtnemer mogelijk te maken.

In hoofdstuk 2.1 is beschreven hoe u in uw aanbidding hiermee rekening dient te houden

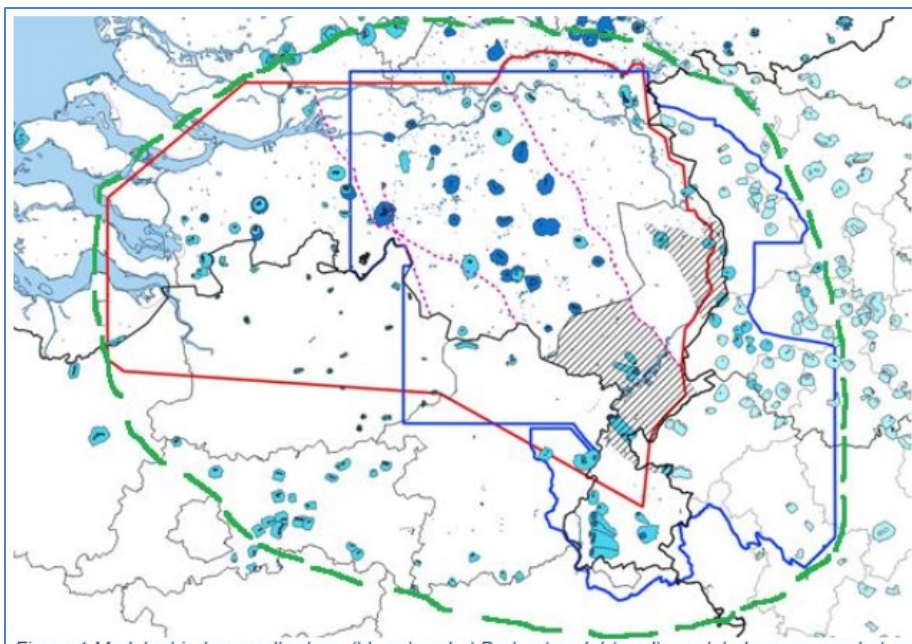
Zie verder hoofdstuk 3.3 en bijlage 1A.

Ruimtelijke begrenzing

In *Figuur 1a* is de ruimtelijke begrenzing van IBRAHYM 2 weergegeven en de globale gewenste begrenzing van IBRAHYM 3. In *Figuur 1b* is de omvang van het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN in december 2021 oplevert globaal weergegeven. De definitieve begrenzing van het IBRAHYM 3 model bepaalt opdrachtgever in het najaar van 2021, in overleg met opdrachtnemer, Brabant en TNO-GDN. IBRAHYM 3 zal een kleinere omvang hebben dan het hydrogeologisch model dat TNO-GDN oplevert. Op dit moment is de wens om de Roerdalslenk / Centrale Slenk volledig binnen het IBRAHYM 3 model te laten vallen. De begrenzing van IBRAHYM 3 zal daardoor iets naar het noordwesten uitgebreid worden t.o.v. de begrenzing van IBRAHYM 2.



Figuur 1a: Huidige begrenzing van IBRAHYM 2.1 (blauw) en globale aanduiding gewenste begrenzing van IBRAHYM 3 (groen); tevens aangeduid: begrenzing Brabantmodel (rood).



Figuur 1b: Huidige begrenzing IBRAHYM 2 (blauw) en Brabantmodel (rood) met de globale begrenzing van het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN in december 2021 oplevert (groen).

3.2 Brongegevens, modelinvoer, rekenperiode, modelresolutie, controle

Verzamelen gegevens, conversie naar modelinvoer

Bij de start van het project inventariseert opdrachtnemer alle brongegevens die nodig zijn voor de modelinvoer en maakt een overzicht van beschikbaarheid, bronhouder, volledigheid en kwaliteit en de benodigde werkzaamheden om uit brongegevens modelinvoer te genereren. Brongegevens in beheer of bezit van de opdrachtgever zullen voor zover dat (juridisch) haalbaar is beschikbaar worden gesteld. Andere mogelijke bronnen van gegevens voor het Nederlandse deel van IBRAHYM 3 zijn het NHI-dataportaal, eigenaren van andere regionale modellen (Waterschappen Aa en Maas, De Dommel en Rivierenland), RWS (Maas), Meteobase/WIWB/KNMI.

Een groot deel van IBRAHYM bestaat uit regio's in Duitsland en België. De benodigde brongegevens worden door opdrachtgever in Duitsland en België opgevraagd.

Opdrachtgever zal zijn buitenlands netwerk informeren over het project IBRAHYM 3 en zal de opdrachtnemer introduceren bij de overheden en diensten die data en modellen kunnen aanleveren. De opdrachtnemer moet zorgen voor een juiste verwerking van de buitenlandse data en modellen tot modelinvoer voor IBRAHYM 3. Vanwege verschillen in modelleerpraktijk, modelconcepten, gegevenstype en gegevensbeheer, zijn gegevens uit Duitsland en België vaak niet meteen te gebruiken in de Nederlandse workflows voor het genereren van modelinvoer. Opdrachtnemer controleert voor iedere benodigde dataset of de gegevens geschikt zijn (de benodigde attributen bevat) en hoe deze buitenlandse gegevens opgenomen moeten worden in IBRAHYM 3. De noodzaak om advies in te winnen over buitenlandse data, of verwerkte data ter beoordeling voor te leggen aan bronhouder/leverancier, zal per datatype verschillen.

Aandachtspunt: opdrachtnemer moet rekening houden met extra (controle)werkzaamheden op dit vlak. Soms kan het nodig zijn om de Duitse en Vlaamse gegevensleveranciers van hydrogeologische modellen, onttrekkingsgegevens en stijghoogtemeetreeksen/isohypsenkaarten te raadplegen. Opdrachtgever zal waar nodig ondersteunen bij het overleg met gegevensleverancier.

Rekenperiode, tijdstap

De huidige IBRAHYM-versie 2.1 beslaat de rekenperiode 1994 t/m 2011. IBRAHYM 3 moet rekenen t/m tenminste april 2021, zodat we ook analyses kunnen uitvoeren voor recente periodes. IBRAHYM 3 bevat daartoe recente gegevens van de fysieke inrichting van het watersysteem (herinrichtingen oppervlaktewater, veranderd landgebruik, situatie 2021). We denken er nu aan om het jaar 2006 als begin van de rekenperiode van IBRAHYM 3 te nemen. De rekenperiode is dan lang genoeg voor het bepalen van GxG, rekening houdend met een inrekenperiode en de mogelijkheid om recente extreem droge jaren wel of niet mee te nemen.

We willen de mogelijkheid houden om met IBRAHYM 3 ook een langere periode door te rekenen. IBRAHYM 3 moet werkend opgeleverd worden om te kunnen rekenen met de modelinvoer vanaf 1994. Daarvoor zouden we dan de bestaande modelinvoer van IBRAHYM 2 kunnen gebruiken, eventueel aangepast zodat het met actuele rekencodes werkt.

Het heeft onze voorkeur om de modelinvoer voor IBRAHYM 3 vanaf 2006 opnieuw te genereren (ook al is die voor de periode 2006-2011 al beschikbaar in IBRAHYM 2). Verbeterde kwaliteit van brongegevens en betere methodes en tools om modelinvoer te genereren nodigen daartoe uit.

We denken er nu aan om de modelinvoer voor IBRAHYM 3 opnieuw te genereren vanaf 2006 (t/m 2021) en voor de periode 1994 t/m 2005 de bestaande tijdsafhankelijke modelinvoer (meteo, onttrekkingen, RIV, DRN, Maas) en randvoorwaarden (CHD, SHD) van IBRAHYM 2 tegen deze nieuwe modelinvoer aan te plakken. Tijdens het project doet opdrachtnemer onderbouwde voorstellen op basis waarvan opdrachtgever in overleg met opdrachtnemer keuzes maakt.

IBRAHYM 3 rekent met tijdstappen van een dag.

In uw aanbieding beschrijft u uw overwegingen bij het bepalen van een rekenperiode voor IBRAHYM 3 en een mogelijke omgang met modelinvoer uit een verder in het verleden liggende periode.

Modelresolutie

Voor IBRAHYM 3 is de fijnste ruimtelijke rekenresolutie en gridresolutie van de modelinvoer (voor oppervlaktewater en onverzadigde zone) 25x25m. Van externe brongegevens wordt de resolutie ongewijzigd overgenomen (o.a. meteo-grids, hydrogeologisch model). Het kan nodig zijn om bepaalde modelinvoer in verschillende gridresoluties aan te maken, om problemen met intern verscalen bij het rekenen op verschillende resoluties te voorkomen (o.a. HFB, TOP, BOT).

Bij de meeste modeltoepassingen rekenen we met 25x25m of 50x50m.

Tijdens de stationaire kalibratie kan er op een grovere resolutie gerekend worden (bv. 250x250m).

Controle

Opdrachtnemer voert na controle van de brongegevens en bewerking tot modeldata, ook uitgebreide controles uit op de gegenereerde modelinvoer, vooral met plausibiliteitschecks.

Opdrachtnemer voert minimaal de volgende controles uit (lijst is zeker niet uitputtend):

- a) k_h , k_v en resulterende kD - en c -waarden binnen logisch bereik.
- b) TOP en BOT van modellagen: geen negatieve diktes, consistentie met maaiveld, geen “racebanen” bij stroombaanberekeningen door dummy-lagen met geringe dikte en hoge k_h -waarde.
- c) Overlandflow NoData bij open water.
- d) Modelinstelling ter voorkoming van drainage bij hoogwater in Maasdal.
- e) DRN, RIV, ISG (vergrid): controle op compleetheid van alle bestanden. DRNbottom moet hoger liggen dan RIVstage in de directe omgeving.
- f) WEL: filterstelling in juiste WVP; geen dubbelingen bij afzonderlijke putten en hoofdlocatie.
- g) Stationaire grondwateraanvulling afgeleid uit niet-stationaire run: plausibele waarden.
- h) HFB: breuken toegekend aan juiste formaties en modellagen.
- i) Insnijding van waterlopen in meerdere modellagen.

Tijdens het project stelt opdrachtnemer een aanpak op voor uitvoerige controle van modelinvoer. Opdrachtnemer doet daarin onderbouwde voorstellen voor oplossingen van geconstateerde fouten of inconsistenties in de modelinvoer, op basis waarvan opdrachtgever in overleg met opdrachtnemer keuzes maakt.

In uw aanbieding beschrijft u uw voorstel voor een uitvoerige, zoveel mogelijk automatische controle van alle modelinvoer.

3.3 Ondergrond en lagenmodel

Voor IBRAHYM 3 willen we een lagenmodel dat optimaal gebruik maakt van de mogelijkheden die MODFLOW 6 biedt voor het afbeelden van een complexe hydrogeologische ondergrond. In een aparte opdracht hebben we aan Deltares opdracht gegeven om maximaal 10 dagen beschikbaar te zijn om opdrachtnemer daar waar nodig te adviseren hoe hij optimaal gebruik kan maken van de mogelijkheden die MODFLOW 6 biedt. We organiseren een werksessie waarin Deltares de mogelijkheden en aandachtspunten toelicht en opdrachtnemer de voor IBRAHYM relevante aspecten van het lagenmodel met Deltares kan bespreken.

Lagenmodel IBRAHYM 3

Voor het lagenmodel van IBRAHYM 3 is het hydrogeologisch basismodel van Limburg, Brabant en de grensregio Duitsland en België het vertrekpunt. De offerte van TNO-GDN is opgenomen in bijlage 1A. In de opdracht voor de bouw van het hydrogeologisch basismodel is afgesproken dat opdrachtnemer IBRAHYM 3 door TNO-GDN actief betrokken wordt tijdens de bouw van het hydrogeologisch basismodel. Er is tijdens de bouw van het hydrogeologisch basismodel een overleg/werksessie voorzien tussen TNO-GDN, opdrachtgevers van de opdracht aan TNO-GDN (IBRAHYM-consortium, Provincie Brabant en Brabant Water) en opdrachtnemer IBRAHYM 3. Opdrachtnemer neemt kennis van de eerste versie van het hydrogeologisch basismodel, brengt eigen kennis en ervaring in en legt aandachtspunten voor grondwatermodellering voor aan TNO-GDN. Hierna besluiten we welke aandachtspunten door TNO-GDN worden opgenomen in de definitieve versie van het hydrogeologisch basismodel.

In de opdracht aan TNO-GDN is ook voorzien dat zij na oplevering van het hydrogeologisch basismodel beschikbaar zijn om advies en ondersteuning te leveren aan opdrachtnemer bij de toepassing van het hydrogeologisch basismodel bij de bouw van het lagenmodel voor IBRAHYM 3.

Het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN in december 2021 oplevert, is het vertrekpunt voor de bouw van het lagenmodel door opdrachtnemer en omvat in ieder geval:

- a) De meest recente REGIS II v2.2 versie, inclusief ligging en grove aanduiding van weerstand van de geologische breuken.
- b) De beschikbare grensoverschrijdende hydrogeologische modellen voor de Roerdalslenk (H3O-projecten).
- c) Het beschikbare al dan niet grensoverschrijdende (hydro)geologische model van de Roerdalslenk en Venloschol (GD-NRW).

- d) De nieuwste versie van het Vlaamse hydrogeologisch ondergrondmodel H3Dv2 (VITO, beschikbaar via Databank Ondergrond Vlaanderen (DOV)).
- e) Aanpassingen aan REGIS die doorgevoerd zijn in het GRAM-model (Aa en Maas).

In het lagenmodel van IBRAHYM 3 willen we graag gedetailleerde informatie van relevante slecht doorlatende lagen opnemen uit GeoTOP Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg. Vooral voor de Boxtel-formatie (vooral Laagpakket van Liempde en Laagpakket van Best) en het Holocene (vooral Formatie van Nieuwkoop, Laagpakket van Griendtsveen). In het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN oplevert, zal weinig of geen informatie uit GeoTOP opgenomen zijn. Tijdens de bouw van het hydrogeologisch basismodel bespreken TNO-GDN, de opdrachtgevers van de opdracht aan TNO-GDN (IBRAHYM-consortium, Provincie Brabant en Brabant Water) en de opdrachtnemer voor bouw IBRAHYM 3 ideeën voor mogelijke werkwijzen om informatie uit GeoTOP op te nemen in het lagenmodel van een grondwatermodel (en eventueel toch ook in het hydrogeologisch basismodel). Het is aan opdrachtnemer IBRAHYM 3 om op een verantwoorde manier informatie uit GeoTOP op te nemen in het lagenmodel van IBRAHYM 3. Zie voor meer informatie de tekst verderop in dit hoofdstuk, na het kopje **"GeoTOP"**.

De bouw van het lagenmodel moet gedaan worden in de geest van het NHI: met gebruikmaking van basisregistraties, de NHI-lagentool, en volledig reproduceerbaar van brondata naar modelinvoer via een vastgelegde workflow (scripts en tools, zoveel mogelijk geautomatiseerd). Scripts en tools die opdrachtnemer gebruikt en maakt, moeten open source zijn en beschikbaar komen voor het NHI.

Opdrachtnemer dient het lagenmodel voor IBRAHYM 3 uit het hydrogeologisch basismodel af te leiden met behulp van de NHI-lagentool. Die wordt in 2021/2022 in NHI-verband waarschijnlijk nog verder ontwikkeld en batchable gemaakt. Op het moment dat opdrachtnemer start met het afleiden van het lagenmodel voor IBRAHYM 3, bekijken we hoever die ontwikkeling is gevorderd en met welke versie van de NHI-lagentool opdrachtnemer kan werken.

De schematisatie-keuzes, tot en met de volledige mapping van het lagenmodel IBRAHYM 3, willen we beschikbaar stellen via de NHI-website, of in de NHI-lagentool. Zodat ook andere consortia en het LHM gebruik kunnen maken van de inspanning die we leveren voor IBRAHYM 3.

Voor het door opdrachtnemer te bouwen lagenmodel hebben we de volgende aandachtspunten:

- a) Het lagenmodel van het grondwatermodel bestaat uit de boven- en ondergrenzen (tops en bottoms) van de te onderscheiden modellagen, een kh- en kv-waarde voor elke modellaag, en waar aanwezig per modellaag deelgebieden met anisotropie, gekarakteriseerd door een richting en verhouding tussen de k-waarde in x- y-, en eventueel z-richting.
- b) De initiële horizontale en verticale doorlatendheid (kh en kv), hydraulische weerstand (c) en transmissiviteit (kD) worden uit het hydrogeologisch basismodel van TNO-GDN genomen (dat bevat binnen Nederland de waarden uit REGIS en buiten Nederland een bandbreedte, afgeleid uit de buitenlandse modellen). Eventueel noodzakelijk geachte aanpassingen in het buitenland worden besproken met de Duitse en Belgische experts.
- c) Bij de bouw van het lagenmodel moet er bijzondere aandacht zijn voor correcte opname en werking van de geologische breuken (in diepte en qua doorlatendheid en invloed op stromingspatroon). Voor correcte werking kan het noodzakelijk zijn om modelinvoer van lagenmodel en breuken op verschillende schalen (25m, 50m, 100m, 250m) aan te maken,

voor gebruik in simulaties op die respectievelijke schalen. Zie hiervoor de rapportage van IBRAHYM v2.1.

- d) Verder moet er bijzondere aandacht zijn voor schematisatie en parametrisatie van het lagenmodel in Zuid-Limburg, om in de kalksteengebieden en op de overgangen van plateau naar Maasdal en beekdalen een juiste grondwateropbolling en stromingsrichting te simuleren. Zie hiervoor de rapportage van IBRAHYMv2.1/2 Zuid.
- e) REGIS-formaties en belangrijke watervoerende pakketten moeten gemakkelijk leesbaar en herkenbaar zijn in het lagenmodel. De optimalisering van het aantal modellagen zoals in IBRAHYM 2 is doorgevoerd, waarbij watervoerende pakketten fractioneel over verschillende modellagen zijn verdeeld (zowel ruimtelijk, als in de diepte), zorgt ervoor dat het zeer bewerkelijk en foutgevoelig (en duur) is om analyses uit te voeren of aanpassingen te doen op kenmerken van hydrogeologische eenheden. Dit is een zeer belangrijk punt, waarover opdrachtnemer en opdrachtgever bij de start van het project keuzes en afspraken maken.
- f) Het lagenmodel wordt zodanig gebouwd dat er bij stroombaanberekeningen geen “racebanen” ontstaan door dunne dummy-lagen met hoge k-waarde.

Afhankelijk van de gekozen werkwijze om informatie uit GeoTOP op te nemen in de bovenste modellagen van het lagenmodel, moet de hydraulische parametrisatie uit GeoTOP correct opgeschaald worden voor toepassing in het lagenmodel. Hierbij kunnen verschillen ontstaan t.o.v. de hydraulische parametrisatie van REGIS. Die verschillen moeten beschreven worden. Zie voor meer informatie de tekst verderop in dit hoofdstuk, na het kopje “GeoTOP”.

Een ander belangrijk aandachtspunt en doel is, om een lagenmodel te bouwen dat zonder veel discussie met Duitse en Vlaamse partijen gebruikt kan worden voor grensoverschrijdende modelstudies. Daartoe moet de procedure voor constructie van het lagenmodel uitgebreid en transparant gerapporteerd worden (in het Nederlands) en moeten Duitse en Vlaamse diensten geïnformeerd en waar mogelijk betrokken worden bij de bouw van het lagenmodel.

We willen bij de bouw van IBRAHYM 3 voortbouwen op de samenwerking met Duitse partijen in het project IBRAHYM-Roerdalslenk in de periode 2015-2018, waarin Deltares voor ons het grensoverschrijdend model heeft gebouwd waarmee de eerste regionale grondwaterberekeningen zijn gedaan om de invloed van diverse groepen onttrekkers ruimtelijk in beeld te brengen.

Doordat TNO-GDN het hydrogeologisch model bouwt en daarbij gebruik maakt van producten en contacten uit grensoverschrijdende samenwerkingen met Duitse en Belgische diensten, verwachten we dat bij de bouw van het lagenmodel van IBRAHYM 3 weinig extra inspanning nodig is om buitenlandse partijen te betrekken. Toch is het wel belangrijk om buitenlandse partijen te informeren en betrekken bij de bouw van IBRAHYM 3. Dit is beschreven in hoofdstuk 4. Opdrachtgever benadert deze partijen, opdrachtnemer verzorgt uitnodigingen, stelt agenda op en maakt notulen.

Zodra het lagenmodel gereed is en een eerste stationaire modelrun is gedaan, presenteert opdrachtnemer met opdrachtgever het eerste resultaat in twee of drie afzonderlijke werksessies waarbij respectievelijk Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen uitgenodigd worden. Dit biedt gelegenheid om kennis van Duitse, Vlaamse en Brabantse experts tijdig beschikbaar te maken voor ons project. Dit maakt deel uit van de acceptatie van het tussenproduct lagenmodel.

In uw aanbieding neemt u in uw planning en begroting afzonderlijke werksessies op met Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen over het lagenmodel en de eerste stationaire modelrun. Overleg is bij hen op locatie, waarbij dan steeds alle Duitse, Vlaamse of Brabantse partijen tegelijkertijd aanwezig zijn.

Op het lagenmodel moeten minimaal deze controles uitgevoerd worden:

- a) Laagdikte mag niet kleiner zijn dan nul.
- b) De top van het lagenmodel krijgt de maaiveldhoogte volgens het geïnterpoleerde gefilterde AHN3, zoals beschikbaar in de Waterschadeschatter. Insnijding van watergangen, meren, plassen, ontgrondingen en grindgaten wordt verderop in het modelbouw-proces nog doorgevoerd.
- c) De bovenste modellaag moet watervoerend zijn en minimaal 0.5 m dik (voor correcte werking van de koppeling MODFLOW-MetaSWAP).
- d) De onderkant van een laag moet identiek zijn aan de bovenkant van de volgende laag.
- e) De kD-waarde van individuele modellagen moet tussen een nog nader vast te stellen minimum en maximum liggen (controle ook tijdens kalibratie uitvoeren).
- f) De gesommeerde kD-waarden van alle modellagen van een watervoerend pakket mag niet groter zijn dan een nog nader vast te stellen maximum (controle ook tijdens kalibratie uitvoeren).
- g) De c-waarde van individuele modellagen moet tussen een nog nader vast te stellen minimum en maximum liggen (controle ook tijdens kalibratie uitvoeren).
- h) Bij het berekenen van stroombanen mogen geen “racebanen” ontstaan door dunne dummy-lagen met hoge k-waarde. Dit dient gecheckt te worden door met een stationair model een gebiedsdekkende stroombanenkaart (“harenskaart”) en de intrekgebieden van WML winningen te berekenen.
- i) Testen of breuken in het lagenmodel het gewenste gedrag vertonen (er geen lekkages optreden) bij rekenen op andere resoluties dan die van de modelinvoer van breuken en lagenmodel. Zie documentatie IBRAHYMv2.1_N.

In uw aanbieding beschrijft u aanvullende toetsingscriteria die de robuustheid en betrouwbaarheid van het lagenmodel kunnen verbeteren.

In uw aanbieding doet u een gedetailleerd voorstel voor uw aanpak van de bouw van het lagenmodel, waarbij u rekening houdt met de genoemde aandachtspunten.

Eind 2021 beoordelen opdrachtgever en opdrachtnemer samen of er in 2021 relevante ontwikkelingen zijn geweest (in het model dat TNO-GDN oplevert, of in het NHI-spoor (NHI-lagentool, methodiek GeoTOP opnemen in lagenmodel, iMOD-MODFLOW 6)), die we zouden willen opnemen in de aanpak voor de bouw van het lagenmodel. Uw aanbieding is zodanig gedetailleerd, dat we eind 2021 kunnen bepalen of de aanpassingen uit te voeren zijn binnen uw planning en raming.

TNO-GDN heeft in 2019 het GeoTOP model Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg opgeleverd. Daarin is de ondiepe ondergrond in meer detail gemodelleerd dan in REGIS II v2.2. GeoTOP is een voxelmodel (voxels van 100 x 100 x 0.50 m) dat is geconstrueerd aan de hand van veel meer boringen dan er voor REGIS gebruikt zijn. Het geeft een gedetailleerde weergave van horizontale verbreiding en stratigrafie van de verschillende lithoklassen (veen, klei, zand, grind). GeoTOP Noord-Brabant en Noord- en Midden-Limburg bevat ook horizontale en verticale doorlatendheden voor de voxels.

In GeoTOP zijn meer of minder aaneengesloten (horizontaal en verticaal) slecht doorlatende voxels geschematiseerd die in REGIS II v2.2 niet als aquitard zijn weergegeven. Voor veel modelstudies is die ondiep voorkomende weerstand biedende laag belangrijk voor een realistische simulatie van grondwaterstanden. Vooral in modelstudies naar de hydrologische relaties tussen kwel- en wegzijgingsgebieden rondom beekdalen en bij natuurgebieden omringd door landbouw. En ook in modelstudies naar de regionale effecten van peilgestuurde drainage met subirrigatie uit grondwater, waar ondiep voorkomende weerstand biedende lagen een belangrijke rol spelen in de effectiviteit en regionale grondwatereffecten van deze manier van irrigatie.

We willen daarom graag in ieder geval binnen Limburg deze gedetailleerde informatie over vooral weerstand biedende lagen opnemen in het lagenmodel van IBRAHYM 3. Vooral voor de Bostel-formatie (vooral Laagpakket van Liempde en Laagpakket van Best) en het Holoceen (vooral Formatie van Nieuwkoop, Laagpakket van Griendtsveen). In het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN oplevert, is deze informatie hoogstwaarschijnlijk niet opgenomen.

TNO-GDN zal bij het hydrogeologisch basismodel wel een koppelvlak opleveren waarop het hydrogeologisch model gekoppeld kan worden aan GeoTOP. Het koppelvlak vervangt dan de bovenkant van de hydrogeologische eenheid die wordt afgesneden op het niveau waar GeoTOP opgenomen wordt in het lagenmodel. Voor de lagen uit het hydrogeologisch basismodel die door het koppelvlak doorsneden worden, zullen aangepaste kaarten van bovenkant en weerstand of transmissiviteit gemaakt worden.

Er is bij ons weten in Hoog-Nederland nog niet veel ervaring opgedaan met gebruik van GeoTOP voor het geschetste toepassingsgebied. Het is niet evident hoe de informatie uit het voxelmodel op te nemen in het lagenmodel voor een grondwatermodel. Het één op één overnemen van de voxels van bijvoorbeeld de lithoklassen veen en klei in de bovenste modellagen van een lagenmodel leidt tot een sterke toename in aantal modellagen, waardoor de dataverwerking een stuk ingewikkelder wordt, voor zowel schematisatie en parametrisatie van het model, als voor het doorvoeren van wijzigingen daarin en ook voor het toevoegen van alle randvoorwaarden (oppervlaktewater, onttrekkingen, enz.).

Een alternatieve aanpak, om de veen- en klei-voxels verantwoord en automatisch te aggregeren tot een laag en die dan in te branden in het lagenmodel, is ook niet vanzelfsprekend. Het is ook niet duidelijk of vlakdekkende integratie van GeoTOP in het lagenmodel gewenst is, of dat een meer lokale verfijning de voorkeur heeft. Kortom: we verwachten er veel van, maar er is nog weinig ervaring mee opgedaan in een regionaal model en er lijken nog veel keuzes te maken bij het bepalen van een methodiek.

In Limburg is in 2015 wel een modelstudie met IBRAHYM 2 gedaan op basis van het GeoTOP-proefproject Mariapeel - Deurnsche Peel uit 2013. Verder hebben enkele adviesbureaus procedures beschikbaar die meer of minder doen wat ons voor ogen staat en meer of minder met de NHI-lagentool zijn geïntegreerd.

Gelijktijdig met het project IBRAHYM 3 loopt er via het NHI-spoor een opdracht om de NHI-lagentool uit te breiden met functionaliteit om informatie uit GeoTOP op een eenvoudige manier op te nemen in een lagenmodel. En hoewel nog onzeker, komt er wellicht in 2021 een expert-overleg om een methodiek vast te stellen om GeoTOP op een goede manier op te nemen in regionale modellen (met aandacht voor verfijning van verticale en horizontale verbreiding van scheidende lagen en voor het correct opschalen van hydraulische kenmerken uit GeoTOP). Mogelijk volgt daaruit op termijn een opdracht om de NHI-lagenmodule uit te breiden met functionaliteit om GeoTOP volgens de afgesproken methodiek op te nemen in het lagenmodel. Het is echter onzeker of de planning voor IBRAHYM 3 toelaat om gebruik te maken van kennis en producten uit deze beide sporen.

In het hydrogeologisch basismodel dat TNO-GDN in december 2021 oplevert, zal dus nauwelijks of geen informatie uit GeoTOP opgenomen zijn. We gebruiken de periode tot eind 2021 om met TNO-GDN en opdrachtnemer voor bouw IBRAHYM 3 te zoeken naar een werkwijze om informatie uit GeoTOP op te nemen in het lagenmodel voor IBRAHYM 3. Na overeenstemming over een goede werkwijze, zal opdrachtnemer de informatie uit GeoTOP opnemen in het lagenmodel voor IBRAHYM 3. We vragen inschrijver daarvoor een inhoudelijk voorstel op hoofdlijnen te doen en een prijs af te geven binnen de vaste prijs raming van zijn offerte.

Breuken

In Limburg komen veel geologische breuken voor in de ondergrond. Er is maar weinig informatie beschikbaar over eigenschappen van breuken (ligging, doorlatendheid (open of dicht) en werking in bepaalde formaties). Beschikbare informatie uit geologische modellen en ervaringen met grondwatermodellen zijn gebruikt om ligging en eigenschappen van breuken in IBRAHYM 2 in te voeren. Ook in Duitsland en Vlaanderen is kennis van eigenschappen van breuken beperkt.

TNO-GDN levert bij het hydrogeologisch basismodel een met het ondergrondmodel consistente set van breuklijnen op. Daarbij is aangegeven in welke formaties de breuken aanwezig zijn en is er in klassen aangegeven hoeveel weerstand een breuk heeft.

U wordt uitgenodigd om eigen kennis en ervaring van doorlatendheid en weerstand van belangrijke breuken, opgedaan uit pompproeven, uit analyses van metingen of uit grondwatermodellen, naar voren te brengen.

Aandachtspunt bij de schematisatie van breuken is de iMOD-functionaliteit die breuken toekent aan de HFB-package en het intern verscalen van breuklijnen en het lagenmodel bij rekenen op resoluties die anders zijn dan die van de modelinvoer. In IBRAHYM 2, bij rekenen met iMOD versies 3 en 4 is gebleken dat er lekkage kan ontstaan over breuken waar dat niet verwacht wordt.

Dit kan komen doordat bij het intern verschalen breuklijnelementen niet meer precies sluitend tegen elkaar liggen, of doordat het breukvlak in de verticale richting niet meer exact overeenkomt met TOP en BOT van het lagenmodel, of doordat de breuklijn in horizontale richting niet meer exact overeenkomt met TOP en BOT van het lagenmodel. Bij IBRAHYM 2.1 zijn er verbeteringen doorgevoerd in de iMOD-software en is er gekozen om modelinvoer van breuken en lagenmodel op een aantal verschillende resoluties beschikbaar te hebben. Voor meer toelichting verwijzen we naar bijlagen 1 en 2 in de documentatie van IBRAHYM v2.1_N (Aanpassingen en kalibratie stationair model IBRAHYM 2.1, Noord- en Midden-Limburg; 2018).

Het is niet bekend of deze problemen zich ook voordoen bij een iMOD - MODFLOW 6 model.

In uw aanbieding beschrijft u gedetailleerd een testprocedure om het correct functioneren van de breuken in het model te testen.

Stijghoogten modelranden

Bij het bouwen van het lagenmodel moeten ook de stijghoogten op de modelrand bepaald en correct toegekend worden. Hierbij kan gebruik worden gemaakt van berekende SHD en CHD van IBRAHYM 2 (op plekken waar de rand van IBRAHYM 3 samenvalt met die van IBRAHYM 2), of moet een stijghoogte afgeleid worden uit meetreeksen, isohypsenkaarten of beschikbare grondwatermodellen.

Ijkset toekennen aan modellagen

Verder moet gecontroleerd worden of de grondwatermeetreeksen in de ijkset aan de juiste modellagen toegekend zijn.

3.4 Onttrekkingen

Onttrekkingen drinkwater en industrie

Voor de onttrekkingen is het nodig om verschillende brongegevens (met verschillende data-formaten) te verzamelen en om te zetten naar modelinvoer. Onder andere:

- a) Drinkwateronttrekkingen Limburg en Brabant: uit NHI-database Grondwateronttrekkingen (indien nodig aangevuld tot 2021).
- b) Industriële onttrekkingen Brabant en Limburg: uit brongegevens van provincies (Excel), of uit LHM.
- c) Drinkwateronttrekkingen Duitsland en België: door opdrachtgever op te vragen bij de bronhouders.
- d) Industriële onttrekkingen Duitsland en België: door opdrachtgever op te vragen bij de bronhouders.
- e) Onttrekkingen kleiner dan 100.000 m³/jaar hoeven niet opgenomen te worden in model.

Bij het toevoegen van de onttrekkingen controleert opdrachtnemer of de filterstelling van vooral de winningen van WML en grote industriële onttrekkingen overeenkomt met de laagscheidingen. Filters mogen alleen onttrekken uit de watervoerende pakketten waaruit ze volgens WML of provincie onttrekken. Zo nodig moet filterstelling aangepast worden.

Verder controleert opdrachtnemer dat er geen dubbele debieten zijn opgenomen, doordat ongewild afzonderlijke putten en de representerende hoofdlocatie beide in het model zijn opgenomen.

Onttrekkingen voor berekening open en bedekte landbouwkundige teelten

Voor de glastuinbouw wordt generiek een onttrekking van 600 mm per jaar en hectare in het model ingevoerd. Zie hiervoor documentatie IBRAHYM 2.

De modelinvoer voor onttrekkingen voor berekening van open teelten wordt beschreven in hoofdstuk 3.6.

3.5 Oppervlaktewater en drainage

Leggerwaterlopen en TOP10-waterlopen

Er is sinds de bouw van IBRAHYM 2 in 2012 veel veranderd aan de inrichting van het oppervlaktewatersysteem. Het is belangrijk dat in ieder geval binnen Limburg deze aanpassingen in het veld ook in het model worden opgenomen. In het NHI wordt gereedschap ontwikkeld (database HyDAMO, met modelgeneratoren) om oppervlaktewater in een grondwatermodel in te voeren. We gebruiken waar mogelijk die database en tools om schematisatie van oppervlaktewater te actualiseren. Waterstanden voor de leggerwatergangen van Waterschap Limburg moeten overgenomen worden uit Sobek-modellen van Waterschap Limburg (voor zover beschikbaar; gebruik maken van ISG-dataformaat in iMOD en Sobek2ISG-tool).

Oppervlaktewater wordt ingevoerd in de RIV-package (primaire en infiltrerende secundaire watergangen uit de legger van Waterschap Limburg) en de DRN-package (drainerende secundaire en tertiaire watergangen).

In NHI-verband wordt gewerkt aan een nieuwe methode waarmee het topsysteem geschematiseerd wordt. Hierin komen ook tools beschikbaar om voor verschillende klassen oppervlaktewater modelinvoer te genereren. Voor de kleine TOP10 watergangen bijvoorbeeld, worden bodemhoogtes afgeleid uit het AHN3. Deze methode is op dit moment nog in ontwikkeling. Bij start van deze werkzaamheden bekijken we welke tools op dat moment in NHI beschikbaar en voor IBRAHYM 3 bruikbaar zijn.

Meer informatie:

- <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/AGENDA/Agenda%202021/210121%20NHI%20dag/David%20Brakenhoff-Utrechts%20grondwatermodel.pdf>
- <http://www.nhi.nu/nl/index.php/documentatie/igrow/>

Aandachtspunt bij de modelinvoer voor oppervlaktewater is de insnijding van het profiel in meerdere modellagen.

Maas

De Maas wordt als ISG-bestand opgenomen, met een 2D bathymetrie en dagwaarden voor waterstanden. De waterstanden (dagwaarden) worden afgeleid uit Sobek-berekening RWS (beschikbaar in periode vóór 2011), waterstandmetingen, of voor elke kilometer afgeleid uit de gemeten afvoer bij St. Pieter, de betrekkinglijnen voor verschillende gemeten afvoeren, en een gekozen looptijd van de afvoergolf.

Buiten Limburg

Oppervlaktewater in Brabant nemen we over uit de grondwatermodellen van Waterschap Aa en Maas en Waterschap De Dommel.

Gegevens van oppervlaktewater in Duitsland en België vraagt opdrachtgever op bij de buitenlandse bronhouders. Opdrachtnemer zet deze gegevens om in modelinvoer en voert controles uit.

Buisdrainage

De buisdrainage wordt als vlakkenbestand opgenomen in de DRN-package. Bron is de meest recente landelijke drainagekaart van WENR (drainagediepte en drainageweerstand), aangevuld met de registratiekaart gedraineerde percelen van Waterschap Limburg. Binnen Limburg is in principe alle drainage uitgevoerd als peilgestuurde drainage. In IBRAHYM 2 is dat ingevoerd met een zomer- en winterpeil, waarbij geen rekening wordt gehouden met het peil in het ontvangende oppervlaktewater waarop de buisdrainage afwatert. Zie hoofdstuk 3.6.

Peilgestuurde drainage in combinatie met subirrigatie

Peilgestuurde drainage en peilgestuurde drainage in combinatie met subirrigatie moeten op een correcte manier in IBRAHYM 3 gesimuleerd worden. Hiermee is in het Lumbricus programma ervaring opgedaan. WENR zal dit in een nieuwe release van MetaSWAP vastleggen, waarna de opdrachtnemer het toepast in het project. Zie verder hoofdstuk 3.6.

Oppervlakkige afvoer

Voor de oppervlakkige afvoer maakt opdrachtnemer in overleg met opdrachtgever en WENR een SOF-vlak. Hierbij wordt rekening gehouden met lokale laagtes en wordt aan alle oppervlaktewatercellen de NoData-waarde toegekend.

Verder houden we de ontwikkeling in NHI-verband in de gaten. WENR werkt nog aan een betere simulatie van infiltratie en oppervlakkige afvoer in stedelijk en landelijk gebied. Indien op tijd

beschikbaar, willen we deze MetaSWAP modelinvoer en instellingen toepassen in IBRAHYM 3.

Plassen

Opdrachtgever levert locatie en diepte van zand- en grindplassen aan. Opdrachtnemer doet een voorstel hoe deze plassen correct in het model op te nemen. Aandachtspunten: kD en c-waarden, wel of niet peilbeheerst, en storage-coëfficiënt in modellagen waarin de plas insnijdt.

3.6 Onverzadigde zone

Voor modellering van de onverzadigde zone moet opdrachtnemer gebruik maken van de meest recente versie van MetaSWAP en MetaSWAP-database. De modelinvoer en parameterinstellingen zullen een combinatie moeten zijn van landelijke datasets en instellingen, aangevuld met of gedeeltelijk vervangen door beter geschikte regionale en lokale data en parameterinstellingen.

Ondersteuning en ontwikkeling vanuit WENR en Deltares

Opdrachtgever heeft in een aparte opdracht aan WENR gevraagd om opdrachtnemer te adviseren en ondersteunen bij het gebruik van de juiste MetaSWAP-versie en de initialisatie van een modelrun, en om zo nodig met opdrachtnemer een aantal modelconcepten verder te ontwikkelen.

Aandachtspunten zijn o.a.:

- a) Kunnen we het beste gebruik maken van de 368 eenheden van de Fysisch-Chemische Kartering van de Bodemkaart 1:50.000 (FCK), of van de clustering in 79 eenheden in BOFEK2020 (die is gebaseerd op Staringreeks versie 2018)? Voor waterkwaliteitsmodellering zou 368 eenheden beter zijn? Hoe verhoudt zich die 368 eenheden FCK tot de nieuwe versie van BOFEK2020 met 79 eenheden? Is de keuze relevant voor gebruik van Waterwijzer Landbouw?
- b) Welke versie van MetaSWAP en MetaSWAP-databases moeten we gebruiken? Is er al een MetaSWAP-database beschikbaar die aansluit bij BOFEK2020? Welke worteldiepte-verdeling? Wel of niet schaalfactoren? Zoveel mogelijk aansluiten bij keuzes die in LHM 4.1 gemaakt zijn?
SCR654 database met 370 eenheden die gebruikt wordt in het LHM:
 - a. LHM2018_v02vrz met exponentiële worteldichtheidsverdeling van Waterwijzer2018
 - b. LHM2018_v02v met uniforme worteldichtheidsverdeling van LHM4.1
- c) Wat is de juiste initialisatie van het niet-stationaire MODFLOW 6 - MetaSWAP-model?
- d) Werkt berekening in model zoals we willen? (meerdere percelen gekoppeld aan één put). Hoe kunnen we de berekende beregeningsgift meer in overeenstemming brengen met de meestal lagere geregistreerde beregeningsgift?
- e) Hoe moeten we peilgestuurde drainage opnemen in model?
- f) Hoe moeten we subirrigatie uit grondwater en uit oppervlaktewater opnemen in model?
- g) Waarmee moeten we bij bouw IBRAHYM 3 rekening houden als we na oplevering model (eind 2022) het gewasgroeimodel WOFOST willen toevoegen aan het MODFLOW 6 - MetaSWAP model?

- h) Welke data is nodig en beschikbaar (binnen Nederland, buiten Nederland) om met verdamping volgens Pennman-Monteith, in plaats van met Makkink te rekenen?
- i) Is een betere simulatie van infiltratie en oppervlakkige afvoer in stedelijk en landelijk gebied mogelijk?

Peilgestuurde drainage en subirrigatie

Op een aantal locaties in het projectgebied wordt peilgestuurde drainage in combinatie met subirrigatie uit grond- of oppervlaktewater toegepast. Deze ontwikkeling zal naar verwachting in de toekomst uitgebreid worden.

Peilgestuurde drainage en peilgestuurde drainage in combinatie met subirrigatie moeten op een correcte manier in IBRAHYM 3 gesimuleerd worden. WENR en Deltares werken aan een MetaSWAP-versie die peilgestuurde drainage en subirrigatie uit grondwater en uit oppervlaktewater kan simuleren. Hiermee is in het Lumbricus programma ervaring opgedaan. WENR en Deltares zullen dit in een nieuwe release van MetaSWAP en iMOD 5.3 vastleggen (release-datum november 2021) en opdrachtnemer ondersteunen bij toepassing in IBRAHYM 3.

Deltares en WENR betrekken opdrachtnemer in september/oktober 2021 om gezamenlijk te controleren of de door Deltares en WENR opgeleverde rekencode het gewenste resultaat geeft voor IBRAHYM 3.

Als dat niet zo is, en het met beperkte inspanning van Deltares, WENR en opdrachtnemer niet lukt om het gewenste resultaat te bereiken, dan kunnen we als laatste uitweg terugvallen op de bestaande werkwijze. Dat zou een beperking van de gewenste kwaliteit van IBRAHYM 3 zijn.

We verwachten dat opdrachtnemer kennis van Deltares en WENR nodig heeft voor dit onderdeel en het derhalve samen met hen uitwerkt. Hiervoor kan de opdrachtnemer gebruik maken van tijd en diensten zoals omschreven in de offerte van Deltares en WENR, zie bijlage 1B.

Schijngrondwaterspiegels

IBRAHYM 3 moet voldoende goede resultaten leveren in gebieden waar schijngrondwaterspiegels voorkomen. In bepaalde gebieden in Limburg komen schijngrondwaterspiegels voor, waar infiltrerend regenwater stagneert op ondiep voorkomende klei- of veenlaagjes, terwijl de eigenlijke freatische grondwaterstand dieper onder die weerstandbiedende laagjes staat.

Dit wordt dan in het model niet altijd goed afgebeeld. De ervaringen met de PWT-package van MODFLOW zijn niet onverdeeld positief. Wellicht dat een meer gedetailleerde schematisatie van de ondiepe ondergrond op basis van GeoTOP hierin al vanzelf een verbetering geeft.

We vragen aan inschrijver een voorstel hoe hiermee om te gaan bij de bouw en afregeling van het lagenmodel, zodat het resulterende modelinstrumentarium voldoende goede resultaten levert.

Unconfined rekenen en tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland

Unconfined stationair rekenen in het Heuvelland in Zuid-Limburg vraagt in IBRAHYM 2 een iteratieve berekening en is hierdoor minder gebruiksvriendelijk. Er is hiervoor overigens wel een goede, gescipte workflow beschikbaar, zie:

<https://oss.deltares.nl/documents/3228854/4106300/watbf6136n001wm-notitieunconfinedrekenen.pdf>.

Bovendien geeft de niet-stationaire berekening in IBRAHYM 2 op de plateaus bij zeer diepe freatische grondwaterstanden in de kalksteen geen goede resultaten. Dit komt doordat de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling hier nog niet goed gesimuleerd wordt. In dit type gebieden is de “onderrand-uitvoer” van MetaSWAP niet direct geschikt als grondwateraanvulling.

We hebben aan Deltares en WENR gevraagd om het unconfined rekenen in het Heuvelland in Zuid-Limburg gebruiksvriendelijker te maken, en om te zorgen dat de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland in Zuid-Limburg realistisch gesimuleerd kan worden.

Deltares en WENR geven aan dat ze dat o.a. vanwege de omvang van de werkzaamheden en de al voorgenomen softwareontwikkeling, niet tijdig kunnen opleveren voor IBRAHYM 3. Bovendien vinden ze het verstandiger om de inspanning te richten op een verdere integratie van de koppeling MODFLOW 6 – MetaSWAP (waaraan Deltares en WENR werken in 2021/2022), waardoor wellicht unconfined rekenen zonder iteratie mogelijk wordt en misschien ook de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland in Zuid-Limburg realistisch gesimuleerd zal worden. Deltares en WENR onderzoeken in de eerste helft van 2021 of deze ontwikkeling ondergebracht kan worden in een TKI-project.

We gaan ervan uit dat deze ontwikkeling niet tijdig beschikbaar komt voor gebruik bij de bouw van IBRAHYM 3. We kiezen ervoor om de resultaten van deze ontwikkeling af te wachten en nu voor IBRAHYM 3 gebruik te maken van de bestaande werkwijze. Voor unconfined stationair rekenen is in IBRAHYMv2.2_Zuid een goede, gescipte workflow voor iteratieve berekening beschikbaar. Voor de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland accepteren we voorlopig de beperkingen van de huidige berekeningswijze.

Het staat inschrijver vrij om in zijn plan van aanpak binnen de vaste aanbiedingsprijs een methode voor te stellen voor een realistischer berekening van de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling in het Heuvelland in Zuid-Limburg. Randvoorwaarden daarbij zijn: gebruikmaken van dezelfde modelinvoer als MetaSWAP, werkwijze niet te ingewikkeld voor gebruiker, rekentijden acceptabel.

Een eerder met Deltares en WENR besproken mogelijke oplossing voor de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling is het uitlezen van de MetaSWAP-flux op 5m diepte, om die via de UZF-package, of met een transferfunctie, aan het grondwater door te voeren.

Deze aanpak vraagt nog uitgebreide scripting en testen. Als deze aanpak niet tot verbetering leidt, dan biedt uitbreiding van de MetaSWAP-database met enkele nieuwe bodemprofiel-bouwstenen voor löss op kalksteen en diepe grondwaterstanden misschien soelaas. Dat past echter qua budget en planning niet binnen het project IBRAHYM 3.

Aandachtspunten modelinvoer MetaSWAP

We lichten een aantal vragen bij datasets voor modelinvoer toe, die opdrachtnemer samen met opdrachtgever met WENR bespreken, waarna opdrachtgever een besluit neemt:

- a) Meteodata: voor Nederland uit Meteobase/WIWB (het composiet radarbeeld beslaat waarschijnlijk de hele IBRAHYM-modelomvang), voor Duitsland en België eventueel gegevens opvragen bij Deutsche Wetterdienst (DWD) en Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI).
- b) Verdamping volgens Pennman-Monteith, in plaats van met Makkink. Beschikbaar voor hele modelgebied?
- c) Landgebruik: meest recente versie van de kaart uit Waterschadeschatter gebruiken? Dat is een hoge resolutie kaart waarin LGN en BGT en stedelijk gebied, wegen en waterlopen gecombineerd zijn.
- d) Bodemkaart: BOFEK2020 (gebaseerd op Staringreeks 2018), of FCK met 368 eenheden? We hebben voorkeur voor een bodemfysische schematisatie en -parametrisatie volgens de 368 eenheden van de Fysisch-Chemische Kartering van de Bodemkaart 1:50.000. In MetaSWAP is een database beschikbaar voor die 368 eenheden. In LHM is een bodemkaart beschikbaar voor deze 368 eenheden. Is er een MetaSWAP-database beschikbaar voor BOFEK2020? Is de keuze relevant voor gebruik van Waterwijzer Landbouw?
- e) Berekening: gebruik van de landelijke kaart van beregende percelen? Combineren met geregistreerde putten van Waterschap Limburg? Juiste instellingen voor het aanslaan van de berekening? Hoe kunnen we de berekende beregeningsgift meer in overeenstemming brengen met de meestal lagere geregistreerde beregeningsgift?
- f) Voor maaiveld wordt binnen Nederland het Algemeen Hoogtebestand Nederland gebruikt (AHN3), of het maaiveld uit de Waterschadeschatter. Maaiveldhoogtebestanden buiten Nederland vraagt opdrachtnemer zoveel mogelijk zelf op (downloaden van data-portalen) bij Duitse en Vlaamse partijen.

Neerslag-afvoer, snelle component

Ervaringen met IBRAHYM 2, het LHM, maar ook SIMGRO-modellen bij Waterschap Limburg, laten zien dat MODFLOW - MetaSWAP modellen de snelle afvoercomponenten in het neerslag-afvoerproces vaak niet nauwkeurig simuleren. Voor IBRAHYM 3 willen we hier meer aandacht aan besteden, gegeven de toepassingsgebieden die in hoofdstuk 1.5 zijn genoemd.

Opdrachtnemer kan hiervoor na start van het project IBRAHYM 3 advies vragen aan WENR, die in een aantal toepassingen ervaring heeft opgedaan met de introductie van een ondiep drainageniveau om de snelle afvoercomponent beter te simuleren. Ook kan WENR adviseren over een realistischer simulatie van de afvoer uit stedelijk gebied.

In uw aanbieding beschrijft u een inhoudelijk voorstel hiervoor (voor zowel schematisatie, als toetsing van de rekenresultaten), waarbij we aangeven dat we het belangrijk vinden aan te sluiten bij ontwikkelingen op dit gebied bij WENR en in LHM/NHI.

Voorbereid zijn op gewasgroeimodel WOFOST

IBRAHYM 3 moet voorbereid zijn om er in de toekomst het WOFOST gewasgroeimodel aan te koppelen. WOFOST (WOrld FOod STudies) is een simulatiemodel voor de kwantitatieve analyse van de groei en productie van eenjarige veldgewassen. Het is een mechanistisch, dynamisch model dat de dagelijkse groei van gewassen verklaart aan de hand van de onderliggende processen, zoals fotosynthese, ademhaling en hoe deze processen worden beïnvloed door omgevingsfactoren.

Door het gewasgroeimodel toe te voegen, worden de door het weer en de hydrologische omstandigheden bepaalde werkelijke verdamping, landbouwopbrengst en daarmee ook de grondwateraanvulling nauwkeuriger berekend. Dit is belangrijk voor GGOR-studies en berekening van de effecten van klimaatverandering.

Een modelkoppeling tussen MetaSWAP en WOFOST is in het Lumbricus-programma gerealiseerd en in het LHM toegepast.

WENR zal opdrachtnemer bij de bouw van het MetaSWAP model voor IBRAHYM 3 adviseren over eventueel noodzakelijke modelinvoer en -instellingen om uitbreiding met een WOFOST-model in de toekomst zonder al te veel aanpassingen mogelijk te maken. Dit is opgenomen in de aparte opdracht die opdrachtgever aan Deltares en WENR heeft verstrekt.

3.7 Uitvoeren modelkalibratie

In het najaar van 2021 heeft opdrachtnemer tijd om de voorgestelde kalibratiestrategie samen met opdrachtgever verder uit te werken en de benodigde kalibratie- en validatiesets samen te stellen. Het lagenmodel kan namelijk pas vanaf januari 2022 gebouwd worden, zodat een eerste modelrun pas in winter/voorjaar 2022 mogelijk zal zijn.

De kalibratiemethode moet aansluiten bij het hydrologisch functioneren van verschillende regio's of zones. Systeemkennis en systeemkenmerken en de temporele en ruimtelijke schaal zijn bepalend voor de gekozen kalibratiemethode en zonering en voor het samenstellen van de kalibratie-set. We vragen opdrachtnemer om een voorstel te doen voor de kalibratiestrategie en de ijkset samen te stellen. In overleg met opdrachtgever zal bij het begin van het project de aanpak nader uitgewerkt en vastgesteld worden, binnen de door u voor dit onderdeel afgegeven prijs.

Opdrachtnemer bespreekt met opdrachtgever of er alleen kalibratie doorgevoerd wordt, of dat we het model aanvullend ook voor een andere periode of voor andere parameters valideren. Beschikbaarheid van meetgegevens en de gekozen rekenperiode en kalibratieperiode bepalen of een aanvullende validatie mogelijk en gewenst is. In uw aanbieding kunt u uw visie hierop geven en eventueel een voorstel doen binnen de vaste aanbiedingsprijs.

We stellen globaal de volgende aanpak van de kalibratie voor:

1. Een gevoeligheidsanalyse gaat vooraf aan een stationaire kalibratie.
2. Handmatige stationaire kalibratie: eerst voor diepe en grensoverschrijdende watervoerende pakketten, dan voor ondiepe watervoerende pakketten.
3. Gevolgd door 2-3 rondes automatische stationaire kalibratie met iPEST (in iMOD 5.2/3).
4. Gevolgd door 2-3 rondes automatische niet-stationaire kalibratie met iPEST (in iMOD 5.2/3).
5. De kalibratie wordt uitgevoerd door middel van pilotpoints (zie kader hieronder). Dit heeft als voordeel dat de k-waarden heterogeen over een pakket aangepast kunnen worden. Indien dit niet nodig is, kan ook gewerkt worden met 1 pilotpoint per pakket, wat vergelijkbare resultaten geeft als kalibratie met zone-grids.
6. Tenslotte moet het onverzadigde zonemodel (MetaSWAP) in Limburg niet-stationair gekalibreerd worden met aandacht voor de grondwaterdynamiek (kalibratie op o.a. freatische bergingscoëfficiënt).

Kalibreren op basis van pilotpoints

Pilotpoints maken het mogelijk om de doorlatendheden aan te passen volgens een geïnterpoleerd vlak (Kriging). De locatie en dichtheid van de pilotpoints bepaalt hoe dit vlak er vervolgens uit ziet in combinatie met de modelafwijkingen (Doherty 2003). Het grote voordeel van deze aanpak is dat het aanpassingsvlak niet bij voorbaat vastgesteld wordt, zoals dit bij zoneringen wel het geval is. Nadeel van de pilotpoints is dat er altijd gevaar is om teveel van dergelijke punten toe te passen zodat het gevaar van model-fitting op kan treden. Hierbij wordt er teveel waarde gehecht aan het minimaliseren van de doelfunctie door veel lokale aanpassingen toe te staan. Om het risico op over-fitting te minimaliseren kan er gekozen worden om de pilotpoints op gerandomiseerde wijze neer te leggen en geen aanpassingen toe te staan wanneer een pilotpoint zich niet binnen een afstand van bijvoorbeeld 1000 m bevindt van een meetpunt. Deze afstand is mede afhankelijk van de dichtheid van de meetpunten. Bij een hogere dichtheid zal deze afstand moeten worden verkleind.

Doherty, J. E., 2003. "Ground water model calibration using pilot points and regularization." Groundwater 41 (2): 170-177.

Bij aanvang van het project stellen opdrachtnemer en opdrachtgever in overleg de kalibratiedoelen en kalibratiestrategie vast. Aandachtspunten daarbij:

- a) Kalibratie van kh- en kv-waarden per REGIS-eenheid, niet per modellaag.
- b) Bepalen van de locaties en dichtheid van pilot-points (keuze voor interpolatie binnen een hydrogeologische eenheid, of meer een benadering met zones?)
- c) Kalibratie-zwaartepunt Limburg, maar ook goede modelprestatie voor grensoverschrijdende berekeningen.
- d) Stationaire kalibratie langjarig gemiddeld (of mediaan) en langjarig zomer- en wintergemiddeld op periode 2007 t/m 2017/2020? Voor diepe watervoerende pakketten eventueel een langere kalibratieperiode toepassen dan voor de ondiepe watervoerende pakketten?
- e) Niet-stationaire kalibratie op periode 2007 t/m 2017/2020?
- f) Kalibratie onverzadigde zone (MetaSWAP) op één jaar in periode 2016 t/m 2020?
- g) iPEST-kalibratie van het iMODFLOW (MODFLOW-2005) model, of van het MODFLOW 6 model?

Het doel van de handmatige en automatische kalibratie is, om de afwijkingen tussen gemeten en berekende stijghoogten en grondwaterstanden te minimaliseren (en geen systematische afwijkingen of patronen te hebben), en het grondwaterstromingspatroon (isohypsen) zo goed mogelijk te simuleren. Daarbij moet gekeken worden naar de langjarig gemiddelde en langjarige zomer- en wintergemiddelde stijghoogten en grondwaterstanden, en naar het meerjarig tijdsafhankelijk (niet-stationair) grondwaterstandsverloop (dynamiek). Voor het stromingspatroon moet vergeleken worden met isohypsen op basis van meetreeksen (binnen Nederland) en met meetreeksen en isohypsen die in Duitsland en België beschikbaar zijn. Het stromingspatroon moet ook vergeleken worden met de stroombanen en intrekgebieden die in 2019-2020 zijn berekend voor alle winningen van WML (rapportages beschikbaar).

We schrijven geen kwantitatieve eisen voor een geslaagde kalibratie voor. Dat blijkt voor regionale grondwatermodellen niet realistisch en praktisch te zijn. Een belangrijke uitdaging is echter wél, dat Waterschap Limburg de wens heeft om IBRAHYM 3 ook in te zetten ter ondersteuning van het operationeel peilbeheer. In het “Waterbeheerprogramma 2022-2027” van Waterschap Limburg zijn per type landgebruik (grasland, akkerbouw, diep wortelende gewassen, stedelijk gebied) afspraken gemaakt over maximale grondwaterstanden onder normale omstandigheden (in cm t.o.v. maaiveld; 30-50-100 cm), die door peilbeheer in de leggerwatergangen gerealiseerd worden. We hebben daarom wel de wens dat IBRAHYM 3 in de regio's waar hoge grondwaterstanden voorkomen (landbouwgebieden in vooral Noord- en Midden-Limburg) voldoende nauwkeurig is (zeg: afwijking maximaal 10 cm) om de ontwateringsdieptes voor dit doel adequaat te kunnen berekenen. Ervaring leert echter dat dat met een regionaal model en regionale kalibratie (en een beperkte set meetgegevens) moeilijk te realiseren is.

Bij de kalibratie ligt de focus op Limburg, maar vanwege de grensoverschrijdende aard van het grondwatersysteem en het beoogde grensoverschrijdende gebruik van het model, moet ook het omliggende gebied (Duitsland, België, Brabant) worden meegenomen in de kalibratie (eventueel met een lagere wegingsfactor, als modelinvoer of modelschematisatie buiten Nederland wellicht van minder betrouwbaar is). Vooral de diepere grensoverschrijdende grondwatersystemen moeten als geheel gekalibreerd worden. Voor de ondiepere en meer regionale grondwatersystemen volstaat waarschijnlijk een kalibratie met focus op Limburg.

Bij de automatische kalibratie zal vooral gebruik gemaakt worden van grondwater- en stijghoogtemeetreeksen en isohypsen-kaarten. Als aanvullende informatie en/of ter validatie zijn o.a. kaarten van AGOR-kartering en meetreeksen van stroomgebiedsafvoeren beschikbaar. Uit ervaring weten we dat toetsing van berekende stroomgebiedsafvoeren waardevol inzicht geeft in de modelprestatie in verschillende stroomgebieden, maar dat kalibratie op basis van stroomgebiedsafvoeren een stap te ver is.

Bij de kalibratie moet er rekening mee worden gehouden dat het model als onderdeel van het integraal-model in de toekomst ingezet wordt als neerslag-afvoermodel voor de watersysteemtoets (regionale wateroverlast uit oppervlaktewater). En ook voor voorspelling van grondwaterstanden in natte en droge periodes. Het is dus nodig om de modelprestaties ook voor deze meer extreme situaties (nat en droog) te optimaliseren en ook naar gesimuleerde gebiedsafvoeren te kijken.

Al tijdens de bouw van het lagenmodel kunnen berekende stromingspatronen en stijghoogten beoordeeld worden. Dat helpt om een goed lagenmodel te maken (lagenmodel daartoe voorzien van topsysteem, oppervlaktewater, randvoorwaarden en grondwateraanvulling). Hierbij moet er met aandacht gekeken worden naar het gedrag van de breuken.

Ook tijdens de verdere modelbouw, voorafgaand aan een gerichte kalibratie en eventueel validatie, dient de modelprestatie regelmatig gecontroleerd te worden op bijvoorbeeld: stroombanen en isohypsen, plausibiliteit waterbalansen hydrologische deelsystemen, berekende afvoeren voor stroomgebieden en berekende beregeningshoeveelheden.

Vooraf op de terrasranden op de grens Nederland - Duitsland en in het Heuvelland presteert IBRAHYM 2 niet zo goed. Het gedrag en stromingspatroon moet daar verbeterd worden. Daarom moet er extra aandacht zijn voor een voldoende gebiedsdekkende ijkset, die ook in die gebieden voldoende meetreeksen bevat, stationair en niet-stationair.

De kalibratie bestaat uit meerdere rondes. De (tussen)resultaten van elke kalibratieronde worden duidelijk gepresenteerd in tabellen en kaarten, met weergave van de berekende residuen.

In uw aanbieding beschrijft u gedetailleerd uw aanpak voor de kalibratie van IBRAHYM 3, en een eventuele validatie- en controleslag. Daarbij gaat u in op de in dit hoofdstuk genoemde overwegingen, uitdagingen en aandachtspunten. Aanvullende ideeën, methoden en criteria voor een goede en state-of-the-art kalibratie, die de modelprestatie kunnen verbeteren, worden op prijs gesteld. U onderbouwt hoe uw aanpak er in resulteert dat IBRAHYM 3 de stijghoogten en grensoverschrijdende grondwaterstroming in de Roerdalslenk adequaat en voldoende accuraat simuleert. U onderbouwt hoe uw aanpak ook resulteert in een goede prestatie van het niet-stationaire model in Limburg. In uw aanpak benoemt u de verschillende stappen van de kalibratie- en eventuele validatieslag afzonderlijk. In uw vaste aanbiedingsprijs neemt u tenminste de werkzaamheden op die aan het begin van dit hoofdstuk zijn genoemd bij de “globale aanpak”: een gevoeligheidsanalyse, gevolgd door een handmatige stationaire kalibratie, gevolgd door 2-3 rondes automatische stationaire kalibratie, gevolgd door 2-3 rondes automatische niet-stationaire kalibratie, gevolgd door een niet-stationaire kalibratie van het onverzadigde zonemodel (MetaSWAP). Ook beschrijft u hoe uw aanpak voor de regionale kalibratie een goede basis legt voor de toekomstig door te voeren verbeterde kalibratie van deelgebieden.

Het staat u vrij om eventuele aanvullende werkzaamheden die de kwaliteit van het eindproduct duidelijk verbeteren in uw vaste aanbiedingsprijs op te nemen.

IJKSETS t.b.v. kalibratie

Onderdeel van de opdracht is het samenstellen van een aantal ijksets:

1. Met grondwater- en stijghoogtemeetreeksen in Nederland en buitenland met langjarige ruwe meetreeksen.
2. Met daaruit afgeleide langjarige tijdreeksmodellen,
3. Met korte ruwe meetreeksen die niet geschikt zijn voor tijdreeksmodel (te korte meetreeks, te weinig metingen, niet te verklaren door neerslag en verdamping, trend/sprong).
4. En een ijkset met afvoermeetreeksen voor stroomgebieden in Limburg.

Hieronder genoemde gegevens zijn volgens onze kennis beschikbaar voor kalibratie en eventuele validatie. Opdrachtgever zal deze informatie verzamelen. Opdrachtnemer moet dan de verschillende data-formaten omzetten naar een uniform data-formaat voor de kalibratieset en eventuele validatieset.

Nederland:

- a) De validatieset grondwater die in 2020 is gemaakt voor de validatie van LHM 4.1.
- b) De ijkset van IBRAHYM 2 (tijdreeksmodellen o.b.v. DINO-meetreeksen, periode 1994 t/m 2011, dagwaarden; gemaakt door KWR, rapportage beschikbaar).
- c) De ijkset van IBRAHYM 2 is voor IBRAHYM 2.1 Zuid (Zuid-Limburg) aangevuld om een betere dekking te krijgen. Deze ijkset is beschikbaar.
- d) De gevalideerde ruwe DINO-meetreeksen voor de hele periode 1994 t/m 2020, of delen van die periode, dagwaarden of 14-daagse waarden.
- e) Ruwe, niet-gevalideerde grondwatermeetreeksen van monitoring of projecten Waterschap Limburg (freatisch, korte periodes (enkele jaren)), Provincie Limburg en WML.
- f) Voor Limburg zijn vlakdekkende kaarten beschikbaar van de Gd-AGOR-kartering (GxG o.b.v. karteerbare kenmerken).
- g) AGOR kartering in natte gebieden voormalig WRO gebied (dus niet vlakdekkend, o.b.v. karteerbare kenmerken)
- h) Berekende stroombanen en intrekgebieden voor drinkwaterwinningen WML.
- i) De ijkset van het GRAM-model van Waterschap Aa en Maas.
- j) Afvoermeetreeksen voor een aantal stroomgebieden in Limburg.

Bij de bouw van IBRAHYM 2 is een ijkset gemaakt met tijdreeksmodellen o.b.v. DINO-meetreeksen. Daarbij zijn ook gewichten toegekend aan de meetpunten. Door de gehanteerde criteria (lengte meetreeks, aantal metingen, verklaarbaarheid door neerslag en verdamping en/of trend) zijn in sommige gebieden (vooral Zuid-Limburg) veel meetreeksen afgevallen, waardoor de ijkset daar een beperkte omvang heeft. Voor een goede kalibratie van deze gebieden is het noodzakelijk om deze afgevallen meetreeksen toch te betrekken in de kalibratie.

Ook voor de meetreeksen waarvoor een tijdreeksmodel is gemaakt, kan het nuttig zijn om naast de stijghoogten uit het tijdreeksmodel ook de ruwe meetreeksen weer te geven in de grafiek waarin meting met berekende stijghoogte wordt vergeleken.

Duitsland:

- a) Jaarlijkse isohypsenkaarten voor grensregio Noordrijn-Westfalen (NRW, Duitsland; beschikbaar via Erftverband, Niersverband, LANUV).
- b) Meetreeksen stijghoogten en grondwaterstanden grensregio NRW (Duitsland; beschikbaar via Erftverband, Niersverband, LANUV).
- c) Afvoermeetreeks Niers (NRW).

België:

- a) Meetreeksen en isohypsen, op te vragen bij VITO/VMM.

In uw aanbieding beschrijft u een voorstel voor de samenstelling van het gewenste en benodigde aantal ijksets.

Beoordelen van de berekende beregeningsgift

Omdat er bij steeds meer toepassingen van IBRAHYM bijzondere aandacht is voor de invloed van berekening op grondwaterstanden, wil opdrachtgever bij het eindproduct een beeld hebben of de berekende beregeningsgiften binnen de regio Noord- en Midden-Limburg plausibel zijn en of ze verschillen van landelijke kentallen en de opgegeven onttrekkingsdebieten. Liever nog wil opdrachtgever dat opdrachtnemer deze analyse tijdig uitvoert en eventueel verantwoorde aanpassingen aan het model doorvoert, die zorgen dat de berekende beregeningsgiften plausibel zijn.

Daarom vragen we opdrachtnemer om voor het niet-stationaire model voor de regio Noord- en Midden-Limburg in beeld te brengen (in tabel en kaart, per deelgebied) hoeveel de berekende onttrekking van grondwater voor beregeningsgift afwijkt van landelijke kentallen en registraties en van de opgegeven hoeveelheden in de registratie van Waterschap Limburg; zowel langjarig gemiddeld, als in recente droge jaren. Waterschap Limburg heeft een registratie van de jaarlijkse opgegeven onttrekkingsdebieten voor berekening van open teelten. Deze registratie is niet voldoende betrouwbaar en door de manier van registratie niet gemakkelijk bruikbaar voor modelvalidatie. Voor IBRAHYMv2.1 is de berekende onttrekking voor berekening vergeleken met de geregistreerde hoeveelheden. De berekende beregeningsgiften zijn overwegend hoger dan de geregistreerde hoeveelheden. Zie de rapportage in bijlage 1C. Opdrachtnemer kan gegevens uit die analyse gebruiken om delen van de analyse te herhalen voor IBRAHYM 3.

Het is moeilijk om de werkelijke beregeningspraktijk te simuleren, omdat we onvoldoende inzicht hebben in de gelijktijdig beschikbare capaciteit en verdeling ervan over de percelen, en omdat het model de keuzes die boeren maken om te vroeg, te laat, of niet te beregenen niet kan simuleren. Als het model de grondwaterstanden en vochttoestand in de onverzadigde zone goed simuleert (niet te droog), dan kunnen we de gesimuleerde beregeningsgift alleen beïnvloeden door het aanpassen van het areaal beregende percelen en de modelinstellingen voor start en einde beregeningsseizoen, grenswaarde drukhoogte wortelzone voor start beregening, gift per keer en terugkeerperiode.

Bij deze analyse moet ook gekeken worden naar trigger-instellingen voor berekening en naar de worteldichtheidsverdeling (uniform, of exponentieel). Zie daarvoor “3.2.2. Bijstellen van de concepten voor de wortelzone en de beregeningscriteria” in Veranderingsrapportage LHM 4.1: [http://nhi.nu/nl/files/5516/1011/9690/11205261-000-BGS-0001 - Veranderingsrapportage LHM 4.1 - definitief 2020.pdf](http://nhi.nu/nl/files/5516/1011/9690/11205261-000-BGS-0001_-_Veranderingsrapportage_LHM_4.1_-_definitief_2020.pdf)

Voor dit onderdeel is overleg met WENR nodig over de modelinstellingen in het MetaSWAP model en de plausibiliteit van de berekende beregeningsgift. Opdrachtgever heeft hiervoor uren ingekocht bij WENR.

3.8 Modelresultaten

Het gekalibreerde model wordt in ieder geval voor heel Limburg stationair en niet-stationair doorgerekend op 25x25m (in parallel-modus of submodellen) om een aantal modeluitkomsten te genereren:

- a) GxG.
- b) Stationaire en niet-stationaire grondwateraanvulling.
- c) Kaarten van kwel en wegzijging.
- d) Stroombaankaarten naar winningen WML.
- e) Tijdstijghoogtelijnen op de meetlocaties van de grondwater-ijkset.
- f) Isohypsenkaarten per modellaag of hydrogeologische eenheid.
- g) Waterbalansen per hydrologische eenheid of hydrologisch subdomein (in overleg met opdrachtgever keuze bepalen).

Genoemde modelresultaten worden opgeleverd als digitale bestanden, te raadplegen en visualiseren in iMOD, en ook als kaarten in de rapportage.

Verder moet er bij het eindresultaat een dataset voor SHD en tijdsafhankelijke CHD opgeleverd worden op een grovere resolutie (100x100m of 250x250m), die de hele begrenzing van IBRAHYM 3 beslaat, zodat binnen de gehele modelbegrenzing deelmodellen gerund kunnen worden.

Deze lijst van weg te schrijven modeluitkomsten wordt in overleg met opdrachtgever eventueel uitgebreid en nader bepaald.

3.9 Vastleggen modelleerproces; modelversie- en modelissue-beheer

Het modelleerproces dat in het project gevolgd wordt, moet volledig inzichtelijk en reproduceerbaar zijn, van brongegevens naar kalibratieresultaat en berekende modelresultaten (er worden geen handmatige aanpassingen doorgevoerd, alles wordt in scripts vastgelegd). Dat wordt bereikt door een goed logboek, goed gedocumenteerde workflows en scripts en een heldere en complete rapportage, waarin alle gemaakte keuzes en gevolgde werkwijzen van alle stappen in het proces duidelijk beschreven zijn, zoveel mogelijk visueel ondersteund door schema's, diagrammen, kaarten, figuren en tabellen.

Het eindproduct moet voor andere gebruikers volledig inzichtelijk zijn.

Bij de eindoplevering levert opdrachtnemer de iMOD PRJ-files en RUN-files van de stationaire en niet-stationaire modelversies op.

Alle data, scripts en tools die nodig zijn om te komen van brongegevens naar modelinvoer, en van modelrun naar modelresultaat en nabewerking, worden gestructureerd opgeleverd op de IBRAHYM-rekenserver, inclusief toelichting en metadata, zodat de inhoud van bestanden duidelijk is.

Na oplevering van het eindproduct zal dat meteen veel gebruikt worden door onszelf en adviesbureaus. We willen bevindingen en opmerkingen van gebruikers centraal registreren in een

modelversie- en modelissue-beheersysteem. Daarin worden ook issues gemeld en oplossingen voor issues bijgehouden, en worden alle modelaanpassingen gedocumenteerd. Elke gebruiker registreert zijn bevindingen in het systeem. Een medewerker van Waterschap Limburg is verantwoordelijk voor de beheertool en zal waar nodig acties uitzetten om issues op te lossen. Bij het toepassen van IBRAHYM in projecten kan de modelleur eerst de beheertool raadplegen voor zijn modelgebied. Bij een volgende update van IBRAHYM kunnen we alle bevindingen en issues gemakkelijk bekijken en eventueel meenemen in de modelupdate. Zo'n systeem bestaat uit een gebruiksvriendelijk registratieformulier (inclusief mogelijkheid om bestanden en documenten te uploaden), een krachtige database (goed doorzoekbaar en gekoppeld aan een kaart) en een kaart georiënteerd dashboard. Voorbeelden van zo'n systeem zijn Borgert (Sweco) en Witboek (Arcadis). Samenwerkende regionale modelconsortia onderzoeken in 2021 mogelijkheden om één beheertool te realiseren onder de paraplu van het NHI. Opdrachtgever wil te zijner tijd gebruikmaken van die gezamenlijk ontwikkelde tool. Het opleveren en onderhouden van zo'n beheertool maakt nu dan ook geen deel uit van deze opdracht. We vragen opdrachtnemer wél om tijdens het modellerenproces het logboek, de workflows en de rapportage zodanig uit te voeren, dat de inhoud ervan makkelijk te koppelen is aan zo'n beheertool (bijvoorbeeld makkelijk doorzoekbaar is).

Tijdens het project gebruikt opdrachtnemer zijn eigen beheertool en levert die als onderdeel van het eindproduct op, met vrij gebruiksrecht voor opdrachtgever en alle gebruikers die opdrachten uitvoeren voor opdrachtgever. De bouw van IBRAHYM 3 is dan volledig reproduceerbaar vastgelegd en inzichtelijk voor derde partijen. Na oplevering van IBRAHYM 3 besluit opdrachtgever welke beheertool we willen gebruiken. We bekijken eind 2022 welke beheertools beschikbaar zijn en maken een keuze.

3.10 Samenvatting: inhoudelijke eisen en wensen IBRAHYM 3

Gegeven de vereiste toepassingsmogelijkheden zoals genoemd in paragraaf 1.5, zijn in Tabel 1 (zie volgende bladzijden) de inhoudelijke eisen en wensen aangegeven voor IBRAHYM 3. Projectmatige eisen en wensen IBRAHYM 3 zijn opgenomen in Tabel 2 in hoofdstuk 6. Een toelichting op deze eisen en wensen is in genoemde paragrafen van dit document gegeven. Hierbij geldt dat deze door opdrachtnemer in IBRAHYM 3 geïmplementeerd moeten worden met behoud van waardevolle kennis die al in IBRAHYM 2 zit. We nodigen inschrijver uit om – naast de eisen – aan te geven welke wensen hij in de opdracht wil implementeren binnen de randvoorwaarden van tijd (zie hoofdstuk 5.2) en de aangeboden prijs.

Tabel 1: Inhoudelijke eisen en wensen IBRAHYM 3		Eis	Wens	Toelichting in paragraaf
1 Schematisatie en parameterisatie				
1a	IBRAHYM 3 bestrijkt het gebied zoals afgebeeld in Figuur 1a.	X		3.1
1b	In en buiten Nederland bevat IBRAHYM 3 betrouwbare data van ondergrond, bovengrond, onttrekkingen, landgebruik, oppervlaktewater, meteorologie. Op voldoende ruimtelijke en temporele resolutie, gegeven de eisen die gesteld worden vanuit de beoogde toepassingen.	X		3.2
1c	Opdrachtnemer bouwt het lagenmodel voor IBRAHYM 3 o.b.v. het hydrogeologisch basismodel van Limburg, Brabant en de grensregio, dat TNO-GDN in december 2021 in een aparte opdracht oplevert.	X		3.1, 3.3
1d	Opdrachtnemer bouwt het lagenmodel voor IBRAHYM 3 met de NHI-lagentool. Hydrogeologische eenheden zijn herkenbaar in het lagenmodel.	X		3.3
1e	De schematisatie van de ondiepe ondergrond is verder gedetailleerd o.b.v. informatie uit GeoTOP.		X	3.3
1f	De schematisatie van het lagenmodel in Zuid-Limburg resulteert in een juiste simulatie van de grondwateropbolling en stromingsrichting in de kalksteengebieden en op de overgangen van plateau naar Maasdal en beekdalen.	X		3.3
1g	Actualiseren van het oppervlaktewatersysteem in Limburgse deel van IBRAHYM 3 waar mogelijk met behulp van HyDAMO, en waterstanden uit Sobek-modellen van WL (voor zover beschikbaar).	X		3.5
1h	IBRAHYM 3 simuleert peilgestuurde drainage en subirrigatie (uit grond- en oppervlaktewater) op een correcte manier.	X		3.5, 3.6
1i	IBRAHYM 3 simuleert in het Heuvelland de tijdsafhankelijke grondwateraanvulling bij zeer diepe freatische grondwaterstanden op een correcte manier.		X	3.6
1j	In IBRAHYM 3 kunnen breuken en breukweerstand op een gebruiksvriendelijke manier geïnspecteerd en aangepast worden (ligging in formaties en modellagen; variatie weerstanden in diepte en langs de breuk).	X		3.3
1k	Het correct functioneren van de breuken wordt uitgebreid getest.	X		3.3
1l	IBRAHYM 3 maakt gebruik van de 368 eenheden van de Fysisch-Chemische Kartering van de Bodemkaart 1:50.000 (FCK), en niet van de clustering in 79 eenheden in BOFEK2020.		X	3.6
1j	Alle modelinvoer wordt uitvoerig en automatisch gecontroleerd.	X		3.2
Modelsoftware				
2a	IBRAHYM 3 is gebouwd voor en rekt met MODFLOW 6.	X		2.2
2b	IBRAHYM 3 gebruikt de MetaSWAP-versie die gekoppeld rekt met MODFLOW 6.	X		2.2
2c	Opdrachtnemer maakt voor de bouw van IBRAHYM 3 zoveel mogelijk gebruik van iMOD-batchfuncties en -tools. Om die bouwstenen heen kan opdrachtnemer een workflow construeren, uit helder opgebouwde, goed leesbare, goed gedocumenteerde scripts en tools.	X		2.2
2d	IBRAHYM 3 wordt opgeleverd in een iMOD-versie die compatible is met MODFLOW 6 en MetaSWAP (v5.2, v5.3, v6)	X		2.2
2e	Alle modelinvoer en modeluitvoer wordt opgeleverd in iMOD-bestandsformaten. iMOD is de gebruikersschil voor het dagelijks gebruik van het model.	X		2.2
2f	Het project wordt uitgevoerd op de IBRAHYM rekenserver.	X		2.2
2g	Het eindproduct IBRAHYM 3 houdt rekening met de wens om er in de toekomst het gewasgroeimodel WOFOST aan te kunnen koppelen.	X		1.5, 3.6
2h	Het eindproduct IBRAHYM 3 houdt rekening met de wens voor toekomstige uitbreiding tot een waterkwaliteitsmodel (ANIMO-MT3D).	X		1.5

Tabel 1: Inhoudelijke eisen en wensen IBRAHYM 3		Eis	Wens	Toelichting in paragraaf
2i	Het eindproduct IBRAHYM 3 houdt rekening met de wens voor toekomstige koppeling met D-HDYRO.	X		1.5
Modelkalibratie en -simulatie				
3a	IBRAHYM 3 is voor het grondwatermodel (MODFLOW) in het hele modelgebied stationair en niet-stationair gekalibreerd. Binnen Limburg is ook de onverzadigde zone (MetaSWAP) niet-stationair gekalibreerd.	X		3.7
3b	De set van kalibratiegegevens maakt een goede kalibratie mogelijk.	X		3.7
3c	De simulatieperiode van IBRAHYM 3 loopt van 2006 tot en met 2020 (of april 2021 indien data tijdig beschikbaar). Kalibratie eerst voor diepe watervoerende pakketten, dan voor ondiepe pakketten. Stationaire kalibratie over een lange periode, niet-stationaire kalibratie over een kortere periode (bv GxG-periode van 8 jaar), rekening houdend met eventuele veranderingen in watersysteem.	X		3.2, 3.7
3d	IBRAHYM 3 moet werkend opgeleverd worden om te kunnen rekenen met de modelinvoer vanaf 1994.	X		3.2
3e	IBRAHYM 3 simuleert het neerslag-afvoerproces voldoende nauwkeurig, afgestemd op de toepassingsgebieden.		X	3.5, 3.6
3f	IBRAHYM 3 levert voldoende goede resultaten in gebieden met schijngrondwaterspiegels.		X	3.6

Tabel 1 Inhoudelijke eisen en wensen voor IBRAHYM 3

4 Samenwerking buiten het IBRAHYM consortium

Tijdens het project moet opdrachtnemer voor bepaalde onderdelen samenwerken met TNO-GDN, Deltares en WENR, en Brabantse, Duitse en Vlaamse partijen.

TNO-GDN, Deltares en WENR

Voor toelichting op de samenwerking met TNO-GDN, Deltares en WENR verwijzen we naar hoofdstuk 2.1.

In dit project leveren TNO-GDN, Deltares en WENR specialistische producten en adviezen in het project aan (zie de bijlagen 1A en 1B). Dit is noodzakelijk om IBRAHYM weer helemaal state-of-the-art te maken en in lijn met landelijke ontwikkelingen. Opdrachtgever geeft in dit Programma van Eisen en Wensen maximale duidelijkheid over de gemaakte afspraken met deze instituten, maar realiseert zich dat dit wellicht van alle betrokkenen flexibiliteit vraagt bij de projectuitvoering. We vragen inschrijver om in zijn plan van aanpak de risico's die hij ziet m.b.t. deze samenwerkingen en de beheersmaatregelen die hij daarvoor neemt, te benoemen en begroten.

Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen

Limburg heeft een lange grens met Duitsland en België. Stroomgebieden van oppervlaktewater en grondwater strekken zich ver uit over de landsgrens. Samenwerking met Duitse en Belgische burens bij databeheer en modelbouw is daarom nodig. Eenzelfde soort samenwerking streven we na met onze “benedenstroomse” burens in Noord-Brabant.

Een overzicht van de relevante partijen:

Duitsland:

- Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)
- Erftverband
- Niersverband
- Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen (GD-NRW)
- RWE-Power

België:

- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

Brabant:

- Provincie Brabant
- Brabant Water
- Waterschap Aa en Maas
- Waterschap de Dommel

Het belangrijkste doel van de samenwerking is het bereiken van overeenstemming over de te gebruiken gegevens, de schematisatie en de kalibratie. Op die manier krijgen we een grensoverschrijdend model voor Limburg dat gedragen wordt door alle partijen. De basis voor de beoogde samenwerking met deze partijen wordt voor een belangrijk deel gelegd tijdens de bouw van het hydrogeologisch basismodel door TNO-GDN en het lagenmodel door opdrachtnemer en is beschreven in hoofdstuk 3.3.

Opdrachtgever zal, eventueel in overleg met TNO-GDN, Deltares en WENR, zijn contactpersonen bij de Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen benaderen voor het verkrijgen van data en modellen. Opdrachtgever zal deze contactpersonen ook vragen of zij betrokken willen zijn bij de bouw van het lagenmodel van het grondwatermodel, of verderop in het traject. In voorkomende gevallen streven we na dat opdrachtgever, opdrachtnemer, TNO-GDN, Deltares en WENR contact hebben met dezelfde contactpersonen bij de externe partijen.

Het is belangrijk dat IBRAHYM 3 zonder veel discussie kan worden gebruikt voor grensoverschrijdende modelstudies. Dat begint met een goed lagenmodel, waar Duitse en Vlaamse partijen vertrouwen in hebben. Duitse en Vlaamse diensten moeten geïnformeerd en waar mogelijk betrokken worden bij de bouw van het lagenmodel en de procedure voor constructie van het lagenmodel moet uitgebreid en transparant gerapporteerd worden (in het Nederlands).

Zodra het lagenmodel gereed is en een eerste stationaire modelrun is gedaan, presenteert opdrachtnemer met opdrachtgever het eerste resultaat in twee of drie afzonderlijke werksessies waarbij respectievelijk Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen uitgenodigd worden. Dit biedt gelegenheid om kennis van Duitse, Vlaamse en Brabantse experts tijdig beschikbaar te maken voor ons project.

In uw aanbieding beschrijft u een voorstel voor een aanpak en neemt u in uw planning afzonderlijke werksessies op met Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen over het lagenmodel en de eerste stationaire modelrun. Als u een andere visie en voorstel hebt om genoemde partijen actief te betrekken, of zelf hierin tijdens het project van meerwaarde denkt te kunnen zijn, dan zien we uw motivatie graag in uw aanbieding terug.

5 Organisatie, planning, eindproducten

5.1 Begeleidingsgroep en klankbordgroep

Voor het project IBRAHYM 3 is een begeleidingsgroep ingesteld die bestaat uit vertegenwoordigers van WML, Provincie Limburg en Waterschap Limburg, aangevuld met een extern ingehuurd projectleider. Voor de opdrachtnemer is de projectleider het eerste aanspreekpunt. In de begeleidingsgroep zitten o.a. hydrologen van WML, Provincie Limburg en Waterschap Limburg met langjarige betrokkenheid bij IBRAHYM.

Tijdens de hele looptijd van het project is er minimaal maandelijks een inhoudelijk overleg tussen opdrachtnemer en begeleidingsgroep over de werkzaamheden en resultaten. Hierin worden de voortgang en resultaten besproken, en worden beslissingen genomen over aanpak.

Opdrachtnemer geeft maandelijks een update over de voortgang van het project aan de projectleider van opdrachtgever.

Daarnaast is er ook een ambtelijke stuurgroep met drie leden actief (WML, Provincie Limburg en Waterschap Limburg). We verwachten geen interactie tussen opdrachtnemer en de ambtelijke stuurgroep.

Naast de begeleidingsgroep en stuurgroep is er ook een klankbordgroep van wisselende samenstelling, met mensen die belangstelling hebben in het project, er iets van verwachten, of iets kunnen bijdragen. Daarin zijn in ieder geval vertegenwoordigers van Brabantse en Duitse partijen aanwezig, veelal hydrologen en hydrogeologen van overheden en diensten.

In uw aanbieding beschrijft u een aantal momenten in het project waarop een overleg met de klankbordgroep volgens u zinvol of noodzakelijk is voor het vergroten van draagvlak voor IBRAHYM 3, voor kennisuitwisseling, of voor een betere kwaliteit van het eindproduct.

Het organiseren van overleggen met begeleidingsgroep en klankbordgroep, verzorgen van agenda en verslagen is een taak voor de opdrachtnemer.

5.2 Globale planning, looptijd, fasering

Opdrachtnemer start in augustus/september 2021 met de werkzaamheden. Oplevering van het eindproduct is uiterlijk in december 2022.

Het hydrogeologisch basismodel waarvoor TNO-GDN opdracht heeft gekregen, is in december 2021 beschikbaar. De eerste fase van het project, tot december 2021, zal daardoor in het teken staan van:

- a) Verzamelen gegevens, conversie naar modelinvoer, controle.
- b) Bespreken en vaststellen kalibratiestrategie; samenstellen ijksets.
- c) Een werksessie met TNO-GDN over verfijning van het hydrogeologisch basismodel. Zie toelichting in hoofdstuk 3.1.

- d) Meewerken met Deltares en WENR aan het ontwikkelen en testen van modelconcepten (peilgestuurde drainage, subirrigatie, eventueel niet-stationaire grondwateraanvulling en unconfined rekenen in Heuvelland). Zie toelichting in hoofdstuk 3.6.

In uw aanbieding beschrijft u een fasering (inclusief eventuele mijlpalen/mijlpaalproducten) en realistische planning voor het project, en gaat u uitgebreid in op de risico's en beheersmaatregelen, rekening houdend met o.a. deze aandachtspunten en randvoorwaarden:

- a) Start werkzaamheden in augustus/september 2021.
- b) Eind 2022 moet het project volledig opgeleverd zijn.
- c) Het hydrogeologisch basismodel dat de basis is voor het lagenmodel van IBRAHYM 3 wordt in december 2021 opgeleverd door TNO-GDN.
- d) Opdrachtnemer kan in Q4-2021 (o.a. in een werksessie) kennisnemen van het hydrogeologisch model dat TNO-GDN maakt, en kennis/ervaring/aandachtspunten delen met TNO-GDN.
- e) TNO-GDN organiseert met opdrachtgever in januari 2022 een overleg met Duitse en Vlaamse partijen om het hydrogeologisch basismodel te presenteren.
- f) TNO-GDN is Q1-2022 beschikbaar om opdrachtnemer te adviseren bij de bouw van het lagenmodel.
- g) In Q4-2021 en Q1-2022 volgt opdrachtnemer de ontwikkeling van een aantal modelconcepten door WENR en Deltares volgens de offerte van WENR en Deltares in bijlage 1B, en werkt mee aan het testen ervan.
- h) De fasering bestaat tenminste uit deze onderdelen, steeds met een tussenproduct als resultaat: 1) lagenmodel, 2) stationair gekalibreerd model, 3) niet-stationair gekalibreerd model, 4) modelresultaten en rapportage.

5.3 Op te leveren producten

Tijdens het project levert opdrachtnemer tenminste deze tussenproducten op:

- a) Lagenmodel,
- b) Stationair gekalibreerd model,
- c) Niet-stationair gekalibreerd model,
- d) Modelresultaten en rapportage.

Facturatie en betaling vindt steeds plaats na goedkeuring door de begeleidingsgroep van opgeleverde tussenproducten en eindproducten. In uw aanbieding beschrijft u de procedure om tot goedkeuring van opgeleverde tussen- en eindproducten te komen. In uw planning houdt u daar rekening mee.

Eind 2022 levert opdrachtnemer ten minste deze eindproducten op:

- a) IBRAHYM 3 model dat rekent in MODFLOW 6 – MetaSWAP, met alle modelinvoer en modelresultaten in iMOD bestands-formaten, te bekijken in iMOD 5.2/3, inclusief de iMOD PRJ-files en RUN-files van de stationaire en niet-stationaire modelversies, in een overzichtelijke mappenstructuur op de IBRAHYM-server.
- b) Technische rapportage die het modellerproces nauwkeurig beschrijft, met alle stappen van brongegevens naar modelresultaat, waarin o.a. een logboek en goed gedocumenteerde workflows zijn opgenomen.
- c) Algemene rapportage, met een Duitse en Engelse samenvatting.
- d) Alle data, scripts en tools die nodig zijn om te komen van brongegevens naar modelinvoer, en van modelrun naar modelresultaat en nabewerking, worden gestructureerd opgeleverd op de IBRAHYM-server, inclusief toelichting en metadata, zodat de inhoud van bestanden duidelijk is.
- e) Een beheertool waarin alle stappen van het project zijn vastgelegd, met vrij gebruiksrecht voor opdrachtgever en alle gebruikers die opdrachten uitvoeren voor opdrachtgever.

6 Plan van Aanpak

Namens opdrachtgever vraagt Waterschap Limburg u een offerte uit te brengen voor de bouw van IBRAHYM 3, die voldoet aan dit Programma van Eisen en Wensen. Voor realisatie van een aantal wensen hebben we een voorstel gedaan, maar we nodigen u uit om een betere aanpak voor te stellen.

Onderdeel van uw offerte is een plan van aanpak (aantal bladzijden is vrij), waarin u in ieder geval opneemt:

- a) Uw visie op het project, waaruit uw motivatie en enthousiasme voor de uitdagingen spreekt, en uw bereidheid tot flexibiliteit blijkt.
- b) Een overzicht van alle werkzaamheden in de door u onderscheiden activiteiten/onderdelen, met specificatie van het aantal uren per medewerker en een kostenraming per activiteit, op basis van het uurtarief per medewerker. Uw totale aanbiedingsprijs omvat alle noodzakelijke activiteiten. We bieden geen ruimte om optionele werkzaamheden aan te bieden.
- c) Een planning van alle werkzaamheden en overlegmomenten.
- d) Inschatting van projectrisico's, met aandacht voor de uitwisseling en samenwerking met TNO-GDN, Deltares en WENR, en een beschrijving van de beheersmaatregelen.
- e) Uw aanpak van de overleggen met begeleidingsgroep van opdrachtgever. U geeft aan op welke wijze u ervoor zorgt dat de opdrachtgever zoveel als mogelijk wordt ontzorgd. Met ontzorgen bedoelen wij dat de werkzaamheden correct worden doorlopen waarbij de inzet van onze medewerkers zoveel als mogelijk wordt beperkt. Geef aan welke inzet u vooraf verwacht van ons. U verzorgt in deze overleggen ten minste het opstellen van agenda en notulen.
- f) Uw voorstel voor de afstemming met externe partijen.
- g) Uw aanpak voor een juiste verwerking van de buitenlandse data en modellen tot modelinvoer voor IBRAHYM 3.
- h) Welke datasets, workflows en tools die in NHI-verband tijdens de looptijd van het project IBRAHYM 3 beschikbaar komen, u gebruikt bij de bouw van IBRAHYM 3.
- i) Een overzicht van de eindproducten (zie opsomming in hoofdstuk 5.3) en tussenproducten/mijlpalen.
- j) Hoe u omgaat met de beperkingen vanwege corona.

6.1 Samenvatting: projectmatige eisen en wensen IBRAHYM 3

Hieronder in Tabel 2 zijn de projectmatige eisen en wensen voor IBRAHYM 3 opgenomen. In hoofdstuk 3.10 zijn in Tabel 1 de inhoudelijke eisen en wensen voor IBRAHYM 3 aangegeven.

Tabel 2: Projectmatige eisen en wensen IBRAHYM 3		Eis	Wens	Toelichting in paragraaf
4 Tussenproducten				
4a	Tijdens het project worden tenminste deze tussenproducten opgeleverd (na acceptatie door opdrachtgever): 1) lagenmodel, 2) stationair gekalibreerd model, 3) niet-stationair gekalibreerd model, 4) modelresultaten en rapportage.	X		5.3
5 Eindproducten				
5a	IBRAHYM 3 model dat rekent in MODFLOW 6 – MetaSWAP, met alle modelinvoer en modelresultaten in iMOD bestands-formaten, te bekijken in iMOD 5.2/3, inclusief de iMOD PRJ-files en RUN-files van de stationaire en niet-stationaire modelversies, in een overzichtelijke mappenstructuur op de IBRAHYM-server.	X		5.3
5b	Technische rapportage die het modelleringsproces nauwkeurig beschrijft, met alle stappen van brongegevens naar modelresultaat, waarin o.a. een logboek en goed gedocumenteerde workflows.	X		5.3
5c	Algemene rapportage, met een Duitse en Engelse samenvatting.	X		5.3
5d	Alle data, scripts en tools die nodig zijn om te komen van brongegevens naar modelinvoer, en van modelrun naar modelresultaat en nabewerking; gestructureerd opgeleverd op de IBRAHYM-server, inclusief toelichting en metadata, zodat de inhoud van bestanden duidelijk is.	X		5.3
5e	Een beheertool waarin alle stappen van het project zijn vastgelegd, met vrij gebruiksrecht voor opdrachtgever en alle gebruikers die opdrachten uitvoeren voor opdrachtgever	X		5.3
6 Plan van Aanpak				
6a	Onderdeel van uw offerte is een plan van aanpak (aantal bladzijden is vrij) waarin u in ieder geval opneemt: a) Uw visie op het project, waaruit uw motivatie en enthousiasme voor de uitdagingen spreekt, en uw bereidheid tot flexibiliteit blijkt. b) Een overzicht van alle werkzaamheden in de door u onderscheiden activiteiten/onderdelen, met specificatie van het aantal uren per medewerker en een kostenraming per activiteit, op basis van het uurtarief per medewerker. Uw totale aanbiedingsprijs omvat alle noodzakelijke activiteiten. We bieden geen ruimte om optionele werkzaamheden aan te bieden. c) Een planning van alle werkzaamheden en overlegmomenten. d) Inschatting van projectrisico's, met aandacht voor de uitwisseling en samenwerking met TNO-GDN, Deltares en WENR, en een beschrijving van de beheersmaatregelen. e) Overleggen met opdrachtgever. U geeft aan op welke wijze u ervoor zorgt dat de opdrachtgever zoveel als mogelijk wordt ontzorgd. Met ontzorgen bedoelen wij dat de	X		6

Tabel 2: Projectmatige eisen en wensen IBRAHYM 3		Eis	Wens	Toelichting in paragraaf
	werkzaamheden correct worden doorlopen waarbij de inzet van onze medewerkers zoveel als mogelijk wordt beperkt. Geef aan welke inzet u vooraf verwacht van ons. U verzorgt in deze overleggen ten minste het opstellen van agenda en notulen. f) Uw voorstel voor de afstemming met externe partijen. g) Uw aanpak voor een juiste verwerking van de buitenlandse data en modellen tot modelinvoer voor IBRAHYM 3. h) Welke datasets, workflows en tools die in NHI-verband tijdens de looptijd van het project IBRAHYM 3 beschikbaar komen, u gebruikt bij de bouw van IBRAHYM 3. i) Een overzicht van de eindproducten (zie opsomming in hoofdstuk 5.3) en tussenproducten/mijlpalen. j) Hoe u omgaat met de beperkingen vanwege corona.			
7 Projectmanagement				
7a	Inschrijver neemt voorstel op voor werksessies met Duitse, Vlaamse en Brabantse partijen over het lagenmodel.	X		4
7b	Inschrijver benoemt en begroot in zijn plan van aanpak de risico's die hij ziet m.b.t. de samenwerkingen met TNO-GDN, Deltares, WENR en buitenlandse partijen en de beheersmaatregelen die hij daarvoor neemt.	X		4
7c	Opdrachtnemer start in augustus/september 2021 met de werkzaamheden. Oplevering van het eindproduct is uiterlijk in december 2022.	X		4
7d	In uw aanbieding beschrijft u een aantal momenten in het project waarop een overleg met de klankbordgroep volgens u zinvol of noodzakelijk is voor het vergroten van draagvlak voor IBRAHYM 3, voor kennisuitwisseling, of voor een betere kwaliteit van het eindproduct.	X		5.1
7e	Tijdens de hele looptijd van het project is er minimaal maandelijks een inhoudelijk overleg over de werkzaamheden en resultaten tussen opdrachtnemer en begeleidingsgroep.	X		5.1
7f	Opdrachtnemer geeft maandelijks aan de projectleider van opdrachtgever een update over de voortgang van het project.	X		5.1
7g	In uw aanbieding beschrijft u de procedure om tot goedkeuring van opgeleverde tussen- en eindproducten te komen. In uw planning houdt u daar rekening mee.	X		5.3

Tabel 2 Projectmatige eisen en wensen voor IBRAHYM 3

Bijlage 1A Offerte Werkzaamheden TNO-GDN

Zie apart document.

Bijlage 1B Offerte Werkzaamheden Deltares en WENR

Zie apart document.

Bijlage 1C Rapport Analyse Beregeningshoeveelheden Limburg

Zie apart document.