

Herberekening Intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen met LHM 4.3.3



Herberekening Intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen met LHM 4.3.3

Auteur(s)

Peter Vermeulen

Herberekening Intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen met LHM 4.3.3

Opdrachtgever	Ministerie van Landbouw, Visserij, Voedselzekerheid en Natuur
Trefwoorden	Intrekgebieden, gewasbeschermingsmiddelen, LHM, stroombaanberekening

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	12-11-2025
Projectnummer	11211077-002
Document ID	11211077-002-BGS-0002
Pagina's	24
Status	Definitief

Auteur(s)

	Peter Vermeulen	
--	-----------------	--

Voorwoord

De onderliggende rapportage is een beschrijving van de berekening van de intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen (uit grondwater) met de meest recente LHM versie v4.3.3 (Janssen, et al. 2025). Het rapport betreft een update van een eerdere berekening van intrekgebieden met LHM 3.4. De hier gehanteerde methodiek is ongewijzigd ten opzichte van methodiek zoals beschreven in de voorgaande rapportage (Janssen en Ball, 2020). Er is in deze rapportage tevens gebruik gemaakt van laatste versie van de iMOD rekencode, v5.6.2 (Vermeulen en Roelofsen, 2025).

Het LHM is het Landelijk Hydrologische Model, een integraal rekeninstrument dat in Nederland wordt gebruikt voor waterbeheer, waterkwaliteit en beleidsanalyses. Het model koppelt grondwater- en oppervlaktewaterprocessen en ondersteunt nationale en regionale analyses op het gebied van droogte, zoetwaterbeschikbaarheid en klimaatadaptatie. Het LHM wordt ontwikkeld door Deltares in samenwerking met Rijkswaterstaat.

Samenvatting

De kaart van de intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen speelt een rol in de toelatingsprocedure voor bestrijdingsmiddelen. Deze kaart wordt gebruikt om te bepalen of generieke criteria, afgeleid voor toepassingsarealen van bestrijdingsmiddelen in Nederlandse landbouwgebieden, in voldoende mate het grondwater in intrekgebieden van drinkwaterwinningen beschermen (Kruijne et al., 2004), of dat er strengere normen nodig zijn als gevolg van afwijkingen in de bodemeigenschappen in deze gebieden ten opzichte van het landbouwareaal als geheel. Tot 2021 is gebruik gemaakt van een kaart van intrekgebieden berekend door Kovar (1998). In 2020 is deze numeriek berekend met het LHM 3.4 (Bos-Burgering, et al. 2018) en beschreven in Janssen en Ball (2020). Sindsdien zijn er wijzigingen opgetreden in de drinkwateronttrekkingen en heeft ook de landsdekkende grondwatermodellering meerdere ontwikkelingen doorgemaakt. Daarom is besloten tot een actualisatie van de kaart uit 2020 met behulp van de meeste recente versie van het Landelijk Hydrologisch Model, LHM v4.3.3. De onderliggende rapportage is een actualisatie van een voorgaande berekening van intrekgebieden (Janssen en Ball, 2020) met LHM 3.4 (Bos-Burgering, et al. 2018).

De kaart met intrekgebieden is gebaseerd op zowel voorwaartse als terugwaartse stroombaanberekeningen. Bij de voorwaartse stroombaanberekening wordt vanuit elke bovenste modelcel vanaf de grondwaterstand een deeltje losgelaten in het stromingsveld en wordt deze gevolgd tot deze in een *sink* verdwijnt. Bij terugwaartse stroombaanberekening worden deeltjes losgelaten rondom onttrekkingsfilters en worden deze deeltjes terugwaarts gevolgd tot deze in een bronterm eindigen.

De nieuwe kaart vertoont op het eerste gezicht grote overeenkomsten met de kaarten uit 1998 en 2020, maar wanneer ingezoomd wordt op individuele intrekgebieden zijn ook grote verschillen zichtbaar. In de nieuwe kaart is het totaal areaal aan intrekgebieden (3894 km²) ongeveer 8% groter dan de met LHM 3.4 door Janssen en Ball (2020) berekende kaart (3603 km²), welke op haar beurt dan 2 keer zo groot was dan de ouder kaart van Kovar (1998): 1530 km².

Summary

The map of the catchment zones of the Dutch drinking water abstraction plays a role in the authorization procedure for crop protection chemicals. This map is used to determine whether generic criteria, derived for application areas of pesticides in Dutch agricultural regions, sufficiently protect the groundwater in abstraction areas of drinking water supplies (Kruijne et al., 2004), or whether stricter standards are needed for these abstraction areas as a result of differences in soil properties in these areas compared to agricultural land as a whole. So far, a map of withdrawal areas calculated in 1998 has been used. Changes have since taken place in drinking water abstractions. The nationwide groundwater modeling has also undergone major development. It has therefore been decided to update the map of calculated withdrawal areas for application in the admission procedure.

The new methodology for calculating the abstraction areas is largely based on the previous approach, but is now applied to a more recent version of the National Hydrological Model (LHM), namely LHM 4.3.3. The underlying report is an update of a previous calculation of abstraction areas using LHM 3.4, as documented in Janssen and Ball (2020). The system consists of applying both forward and backward particle tracking. In forward particle tracking, a particle is released from the phreatic plane from each phreatic model cell into the flow field and followed until it disappears into a sink.

At first sight, the new map shows great similarities with the maps from 1998 and 2020, but when zooming in on individual withdrawal areas, differences are also visible, especially with the 1998 map. In the new map, the total area of withdrawal areas (3894 km²) is approximately 8% larger than the area calculated by Janssen et al. (2020) with LHM 3.4 (3603 km²), which already was more than twice as large as in the older map of Kovar (1998): 1530 km².

Inhoud

	Voorwoord	4
	Samenvatting	5
	Summary	6
1	Introductie	8
2	Methodiek	10
2.1	Inleiding: stroombaanberekeningen	10
2.2	Werkwijze LGM	12
2.3	Werkwijze LHM	14
2.3.1	Het landelijk Hydrologisch Model (LHM)	14
2.3.1.1	Introductie	14
2.3.1.2	Conversie naar steady-state	15
2.3.1.3	Drinkwateronttrekkingen	15
2.3.2	iMOD	17
2.3.3	Voorwaartse Stroombaanberekening	17
2.3.4	Achterwaartse Stroombaanberekening	18
3	Resultaten en conclusies	20
3.1	Resultaten	20
3.2	Conclusies	22
	Referenties	23

1 Introductie

Een belangrijk beschermdoel in de toelatingsprocedure voor het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in Nederland is de bescherming van het grondwater als bron voor de productie van drinkwater. De beoordeling van het risico op uitspoeling van gewasbeschermingsmiddelen naar het grondwater is uitgewerkt in de Beslisboom Uitspoeling (Van der Linden et al., 2004), welke aansluit op de Europese beoordelingsrichtlijnen. In de eerste stap wordt gebruik gemaakt van het Kremsmünster scenario, maar als blijkt dat de berekende uitspoeling groter is dan $0.1 \mu\text{g L}^{-1}$, dan wordt in een hogere trede van de beslisboom het ruimtelijk verdeeld uitspoelingsmodel GeoPEARL gebruikt. Daarmee kan het ruimtelijke 90 percentiel van de uitspoelingsconcentratie berekend worden in het gewasareaal waarin het middel mogelijk toegepast gaat worden.

Kruijne et al. (2004) hebben onderzocht of de methodiek voor de beoordeling van het risico van uitspoeling naar het grondwater voldoende beschermend was voor het grondwater in de grondwateronttrekkingsgebieden. Het ruimtelijke 90 percentiel van de uitspoelingsconcentratie in het landbouwkundig areaal werd vergeleken met dat van de uitspoelconcentratie berekend voor het totale areaal van de grondwateronttrekkingsgebieden. Daarbij werd de analyse beperkt tot de 5 belangrijkste gewassen, nl. mais, gras, graan, aardappelen en suikerbiet, aangezien die voor meer dan 90% van het totale landbouwkundige areaal uitmaken. Hieruit bleek dat het risico op uitspoeling naar het grondwater in de grondwateronttrekkingsgebieden groter was dan dat in het totale landbouwkundige areaal als geheel. Dat werd veroorzaakt doordat de gronden in deze gebieden een lager organische-stof gehalte hebben. Vanwege het grotere risico op uitspoeling werd een veiligheidsfactor 10 geïntroduceerd voor de beoordeling van het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen in deze gebieden, de zgn. grondwaterbeschermingsgebieden.

In 2010 bleek dat het organische stofgehalte in akkerlandgronden zoals die opgenomen zijn in de bodemschematisatie van GeoPEARL te hoog waren ten opzichte van de gemeten waarden in deze gronden. Het werd noodzakelijk geacht om een verbeterde organische stofkaart voor Nederland te maken, zodat daarmee de bodemschematisatie van GeoPEARL voor wat betreft het organische-stofgehalte gecorrigeerd kon worden. De vernieuwde organische-stofkaart voor Nederland en de consequenties voor de beoordeling van het risico op uitspoeling zijn beschreven in Van den Berg et al. (2017). Daarbij bleek dat het verschil in het organische stofgehalte in de grondwateronttrekkingsgebieden en het landbouwkundig areaal als geheel kleiner was dan bij de oude bodemschematisatie van GeoPEARL versie 3.3.3. Afhankelijk van het gewas kan het organisch-stofgehalte groter dan wel kleiner zijn dan in het totale landbouwkundig areaal. Het is dus onzeker of de generieke veiligheidsfactor 10 voor alle GeoPEARL gewassen nog nodig is. Aanbevolen werd om de voorspelde uitspoelconcentratie in de grondwater-onttrekkingsgebieden conform de methodiek van Kruijne et al (2004) te vergelijken met die in het landbouwkundig areaal als geheel. Kruijne et al. (2004) zijn bij hun berekeningen uitgegaan van de kaart van de intrekgebieden van Kovar et al. (1998).

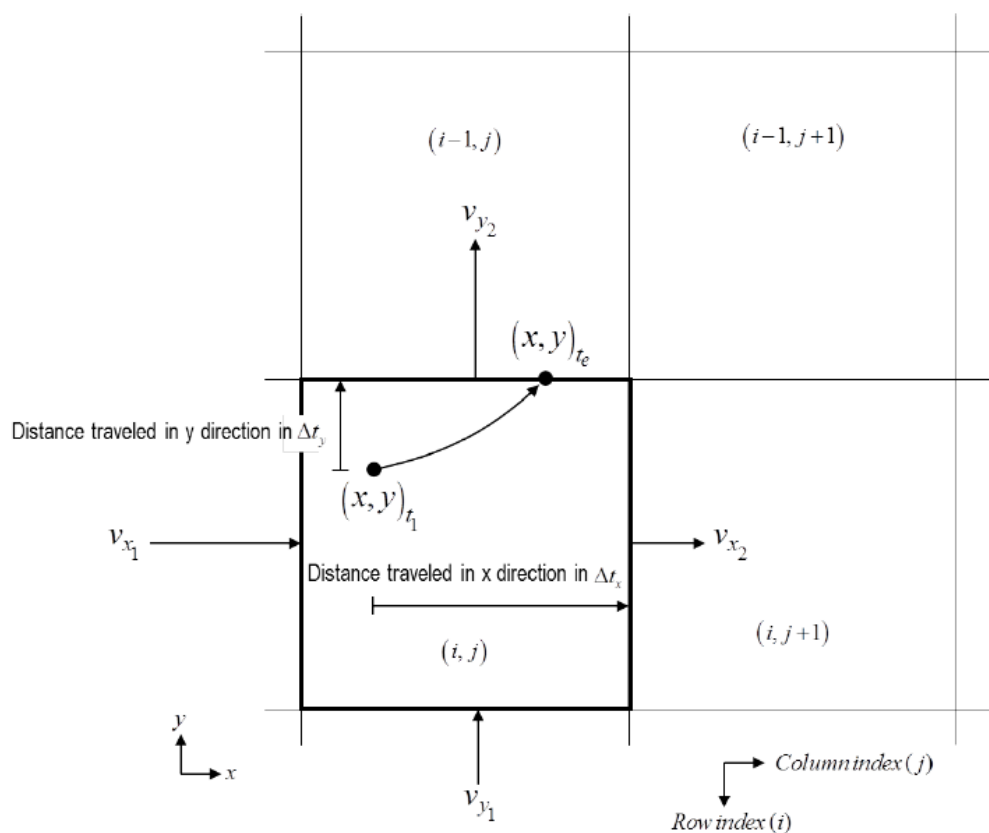
Intrekgebieden worden gedefinieerd als de zones waarbinnen de grondwateraanvulling de onttrekking zal bereiken, ongeacht de termijn waarop dat gebeurt. Sinds Kruijne et al. (2004) zijn er wijzigingen opgetreden in het aantal en de locatie van de grondwaterwinningen (KWR, 2012). Enkele grondwaterwinningen zijn gesloten en andere onttrekken nu het water uit diepere aquifers. Bovendien heeft er een sterke doorontwikkeling plaatsgevonden in de landsdekkende geohydrologische modellering van de Nederlandse ondergrond.

In deze rapportage wordt de methodiek voor de update toegelicht, de resultaten van de toepassing ervan beschreven en de verschillen tussen de nieuwe en oude kaart van intrekgebieden uitgelicht. Voor het maken van de nieuwe kaart is uitgegaan van de methodiek die door Kovar et al. (1998) gebruikt is. De berekeningen van de grondwaterstroming zijn gedaan met het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) versie 4.3.3.

2 Methodiek

2.1 Inleiding: stroombaanberekeningen

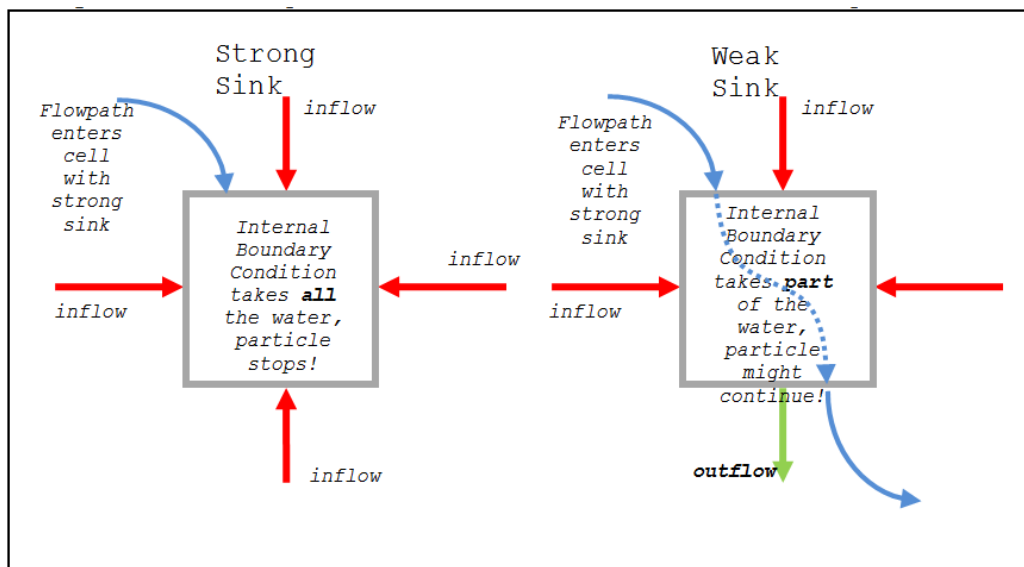
De centrale techniek voor de bepaling van de intrekgebieden is stroombaanberekeningen. Bij stroombaanberekeningen worden deeltjes losgelaten in het door een (in dit geval) grondwatermodel berekend stromingsveld. De deeltjes volgen het stromingsveld totdat een bepaalde, vooraf opgegeven maximale volgtijd is bereikt, of tot de deeltjes terechtkomen in modelcellen waar het stromingsveld voldoet aan bepaalde voorwaarden (i.e. stopcriteria), zoals het voorkomen van "sinks/sources", of andere randvoorwaarden inclusief de buitenranden van het model. Figuur 2-1 illustreert het concept van stroombaanberekeningen; de locatie waar een deeltje een model cel uittreedt (oftewel de rand van een cel bereikt), is het resultaat van een analytische berekening, gebaseerd op alle snelheden over alle cel randen. Vanaf die uittreelocatie wordt het deeltje weer verder gevolgd tot een volgende cel rand, en dit proces wordt herhaald totdat het deeltje de maximale volgtijd heeft bereikt of een model cel bereikt die voldoet aan een stopcriterium.



Figuur 2-1 Schematische weergave van het berekenen van de uittreelocatie en de reistijd voor het geval van 2-dimensionale stroming in het x-y vlak. Uit Pollock (2012).

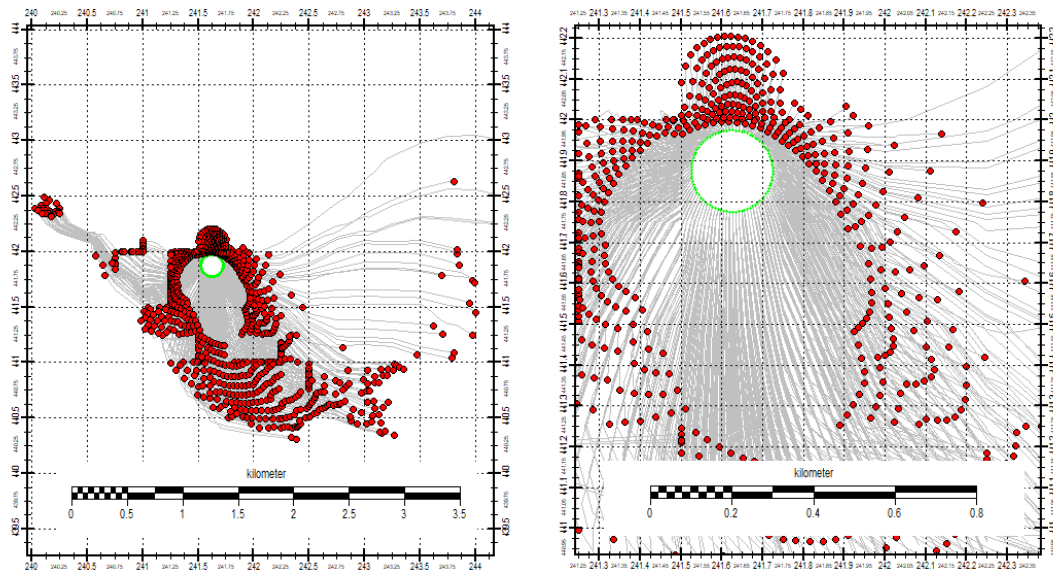
Stroombaanberekeningen kunnen uitgevoerd worden in zowel voorwaartse als achterwaartse stromingsrichting. Bij voorwaartse stroombaanberekeningen, worden de deeltjes gevolgd in de richting van het daadwerkelijke stromingsveld. Voorwaartse berekeningen worden normaal gesproken uitgevoerd als de vraagstelling vooral is waar het water vanuit een bepaald deel van het gemodelleerde domein naartoe stroomt. In geval van achterwaartse stroombaanberekeningen worden de deeltjes gevolgd tegen de stromingsrichting in. Dit wordt vaak gedaan wanneer de vraagstelling vooral is waar het water in een bepaald deel van het gemodelleerde domein vandaan komt.

Een belangrijk aspect van stroombaanberekeningen is hoe omgegaan wordt met zogenaamde *weak sinks* en *strong sinks*. Een *strong sink* is een model cel vanuit waar geen grondwater kan verdwijnen; de *sink* (bv. een onttrekking) is zo sterk dat alle stroming (flux) over de cel randen inwaarts gericht zijn. Een *weak sink* is een model cel met een interne *sink* term (bv. de onttrekking en/of drainerende watergang) die niet groot genoeg is om al het water dat de cel binnenkomt te behouden. Een deel van het water ontsnapt, wat betekent dat over tenminste 1 cel rand de stroming naar buiten is gericht. Het concept van *weak* en *strong sinks* wordt gevisualiseerd in Figuur 2-2. Er kan gekozen worden in de stroombaanberekeningssoftware (zie sectie 2.3.2) om deeltjes te laten stoppen in a) zowel *weak* als *strong sinks*, of b) alleen in *strong sinks*. Als ervoor gekozen wordt deeltje ook in *weak sinks* te laten stoppen, kan aangegeven worden hoe groot die *weak sink* dan moet zijn om het deeltje te laten stoppen. Dit wordt opgegeven via een *weak sink* fractie criterium, dat het percentage is dat de *weak sink* moet zijn ten opzichte van de totale uitstroom term. Dus als deze term 10% is dan betekent dat dat de *weak sink* zelf minimaal 10% van de totale instroom moet zijn. Bij een fractie van 100% zullen stroombanen nooit stoppen in een *weak sink*.



Figuur 2-2 Voorbeeld van een “strong sink” (links) en een “weak sink” (rechts), uit: Vermeulen et al., 2025.

Figuur 2-3 geeft een voorbeeld van een resultaat van stroombaanberekening, in de vorm van de berekende stroombanen vanaf een drinkwateronttrekking in het LHM.



Figuur 2-3 Voorbeeld van startpunten (groen), eindpunten (rood) en stroombanen als resultaat van stroombaanberekeningen in terugwaartse richting startend vanaf een cirkel rondom een drinkwaterwinning. Links: volledig intrekgebied. Rechts: detailbeeld.

2.2 Werkwijze LGM

In overleg met de NL Werkgroep Beslisboom Uitspoeling is besloten om als eerste stap richting de totstandkoming van een geactualiseerde landsdekkende kaart van de intrekgebieden van de drinkwaterwinningen, de methodiek van Kovar et al. (1998) zoveel mogelijk na te bootsen met het LHM. In vervolgstappen is vervolgens bekeken of op deze aanpak verbeteringen mogelijk/nodig zijn. Deze verbeteringen zijn tenslotte doorgevoerd en deze sectie beschrijft kort deze werkwijze.

De landsdekkende kaart van intrekgebieden zoals geproduceerd door Kovar et al. (1998), is tot stand gekomen door stroombaanberekeningen uit te voeren op het LGM (Landelijk Grondwater Model, Pastoors, 1992). Het LGM is in feite een voorganger van het huidige LHM. Het LGM is een op eindige elementen gebaseerd grondwatermodel, daar waar het huidige LHM op de eindige-differentiemethode gestoeld is. Ook maken Kovar et al. (1998) gebruik van maximaal vergunde debieten van de drinkwaterwinningen voor het jaar 1998.

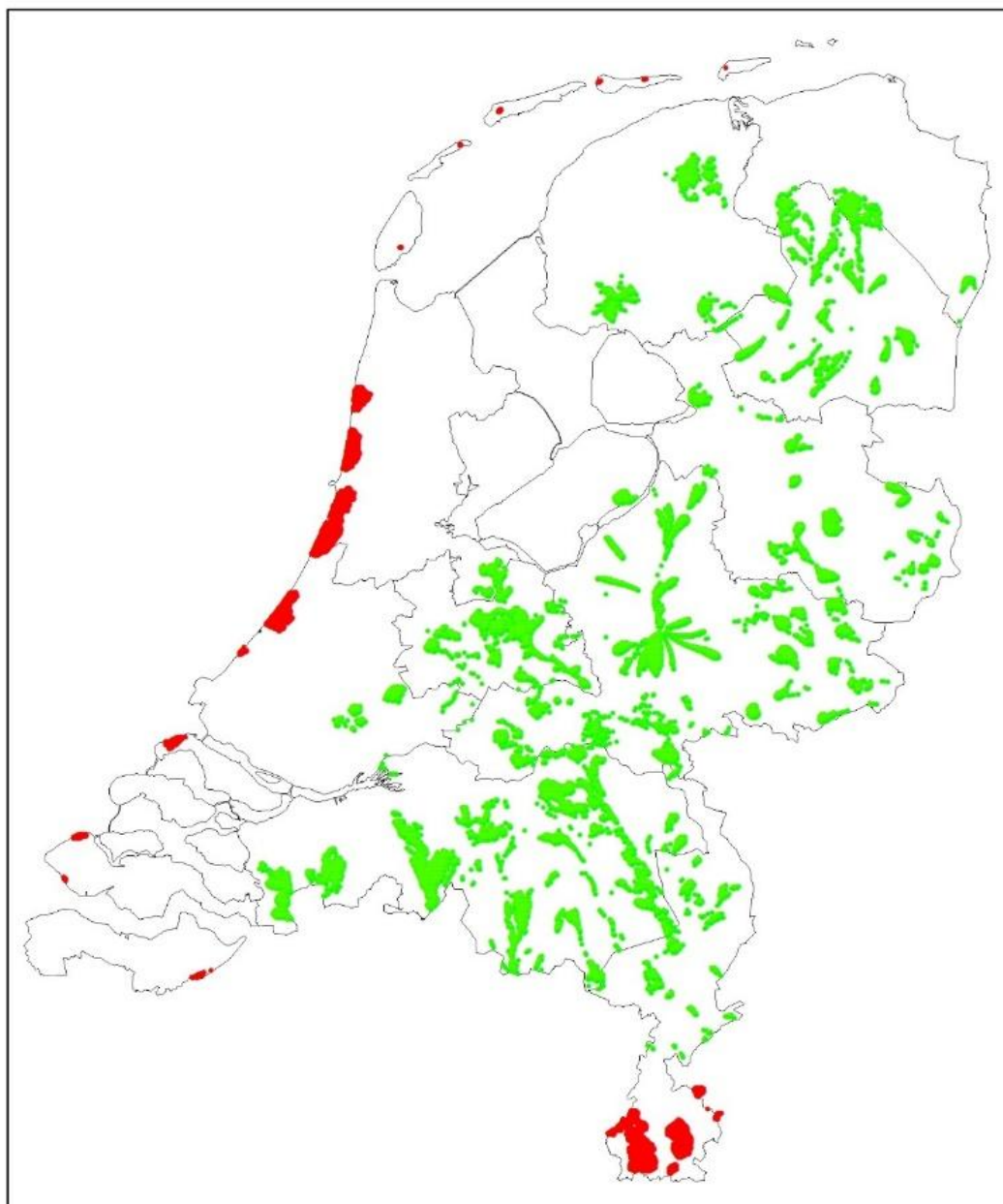
De methode maakt gebruik van voorwaartse stroombaanberekeningen voor het afleiden van de intrekgebieden. In dezelfde studie wordt ook gebruik gemaakt van achterwaartse stroombaanberekeningen, maar alleen voor het verkrijgen van “een beter begrip van stromingspatronen, zowel rondom specifieke onttrekkingen en in een groter gebied (regionale stroming)” (Kovar et al. (1998). De voorwaartse stroombaanberekeningen voor de afleiding van de intrekgebieden is ingezet op 15 LGM deelmodellen. In tegenstelling tot het oorspronkelijke LGM, dat een laterale grid resolutie van 1x1 km heeft, hebben de 15 LGM-deelmodellen een grid resolutie van 250x250m. Door Kovar et al. (1996) was eerder vastgesteld dat deze hogere resolutie noodzakelijk is voor betrouwbare berekening van stroombanen, reistijden en doorbraakcurves.

De startpunten van de deeltjes werden geplaatst op het freatische vlak. In laterale richting werden de startpunten, over het gehele oppervlak van de LGM-deelmodellen, verdeeld in een regelmatig netwerk met een onderlinge afstand van 250 meter. Deze afstand komt overeen met de rekenresolutie van de gebruikte onderliggende LGM-deelmodellen. De deeltjes werden vanaf deze startpunten voorwaarts gevolgd door het stromingsveld totdat aan één van de volgende stopcriteria werd voldaan:

1. Een maximale volgtijd werd overschreden. Deze volgtijd werd ingesteld op 5.000 of 9.000 jaar, afhankelijk van het specifieke deelmodel. Deze volgtijden worden in Kovar et al. (1998) niet verder onderbouwd;
2. Het deeltje de buitenrand van het model bereikte (uitgaande grondwaterstroming over de rand);
3. Het deeltje eindigde in de top van het systeem (m.n. drainage);
4. Het deeltje een onttrekking bereikte.

In de rapportage wordt door de auteurs niet ingegaan op de precieze implementatie van de locatie specifieke stopcriteria 3 en 4. Dat was interessant geweest, omdat hierbij de kwestie speelt van onderscheid tussen *strong-* en *weak sinks*. Vanwege de relatieve grofheid van het onderliggende grondwatermodel (250x250meter) is het oppervlaktewater vrijwel altijd op een bepaalde opgeschaalde manier verwerkt. Binnen een model cel is het niet eenduidig welk deel van de waterbalans beïnvloedt wordt door welke drainage term, waardoor de ontwatering veelal acteert als een *weak sink*. Dat geldt tevens voor de onttrekkingen omdat deze relatief ten opzichte van de achterstroming op deze grove cel minder significant zijn. Hoe hiermee omgegaan is, is door Kovar et al. (1998) niet toegelicht.

Het resultaat van de op deze manier berekende intrekgebieden wordt gegeven in Figuur 2-4.



Figuur 2-4 Kaart van de door Kovar et al. (1998) berekende intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen (in groen; de rode zones betreffen drinkwaterproductiegebieden, welke op een andere wijze zijn afgebakend).

2.3 Werkwijze LHM

2.3.1 Het landelijk Hydrologisch Model (LHM)

2.3.1.1 Introductie

Landsdekkende grondwatermodelleringen worden tegenwoordig veelal gedaan met het bij Deltares in beheer zijnde Landelijk Hydrologisch Model (LHM). Ook voor de nieuwe afleiding van de intrekgebieden is dit model gebruikt. Het LHM is een landsdekkend hydrologisch model voor grondwater- en oppervlaktewatersysteem. Het grondwaterdeel van het LHM bestaat uit 8 modellagen, waarvan iedere modellaag een aquifer en een onderliggende aquitard beschrijft (indien aanwezig). Het model is quasi-3D omdat het aanneemt dat de stroming in de aquitards alleen verticaal is. De meest recente versie van het LHM op het moment van uitvoeren van deze studie is

4.3.3 (Janssen et al. 2025). Ten opzichte van de versie 3.4 die in de studie van Janssen en Ball (2020) is gebruikt is een groot aantal wijzigingen doorgevoerd in het LHM. De belangrijkste en in dit kader meest relevante betreffen:

- Een nieuw geohydrologische lagenmodel op basis van REGIS 2.2 (in plaats van REGIS 2.1) en GeoTOP.
- Inbrengen van vernieuwde/geactualiseerde data van grondwateronttrekkingen, zoals aangeleverd door bronhouders aan de landelijke NHI-database¹. Een belangrijk verschil is tevens dat de meeste drinkwateronttrekkingen nu dynamisch in het model zitten in plaats van stationair (dus met tijdsafhankelijke debieten in plaats van langjarig gemiddelde debieten).
- Sterk vernieuwde en verbeteringen aan de onverzadigde zone- en gewasgroeimodules van het LHM, te weten MetaSWAP en WOFOST. Dit resulteert in verbeterde simulatie van de grondwateraanvulling.

De grondwatercomponent van het LHM is gebaseerd op de grondwaterstromingscode MODFLOW-2005 (Harbaugh, 2005). Omwille van de huidige studie waren enkele aanpassingen noodzakelijk voor het LHM v4.3.3. Deze aanpassingen worden hieronder uitgelegd.

2.3.1.2 Conversie naar steady-state

Het LHM v4.3.3 is een tijdsafhankelijk (dynamisch) model. Het is gebruikelijk om intrekgebieden te berekenen met een stationair model (e.g. Provincie Utrecht (2011), Provincie Limburg (2019)). Het uitvoeren van de in dit rapport beschreven berekeningen in niet-stationaire modus zou uiterst rekenintensief en tijdrovend zijn. De representativiteit van de resultaten zou er niet of nauwelijks mee gebaat zijn, al was het maar omdat de tijdschaal van intrekgebieden de rekenperiode waarvoor het LHM geparameteriseerd is vele malen overstijgt. Tegelijkertijd is het echter aannemelijk dat de tijdsafhankelijkheid in randvoorwaarden (meteorologisch/klimatologisch, debieten) wel degelijk enigszins invloed hebben op het intrekingsgebied. Het stationaire model vorm hierin een goede gemiddelde representativiteit.

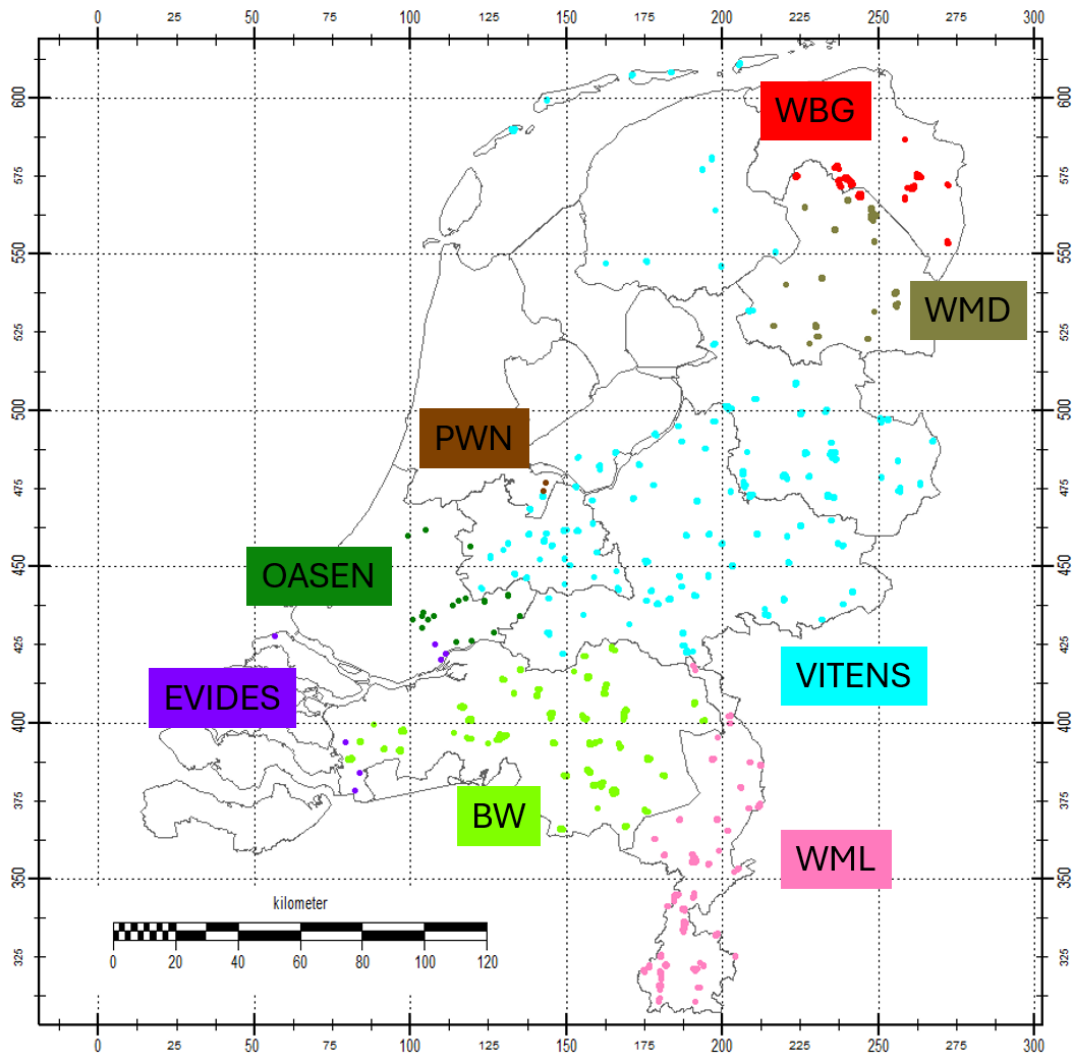
In een eerste stap is het LHM v4.3.3 geconverteerd naar een stationair model, zodat de resulterende stromingsvelden gebruikt konden worden voor de analyses zoals beschreven in dit rapport. De volgende aanpassingen zijn hiervoor gedaan:

- de langjarig gemiddelde grondwateraanvulling is berekend als gemiddelde voor de periode 1980-2019;
- De waterpeilen voor de grote rivieren zijn op maandbasis beschikbaar en hierover is een gemiddelde berekend over de periode 2011-2022;
- Voor de primaire-, secundaire en tertiaire waterlopen is het gemiddelde gehanteerd tussen winter- en zomer periode;
- Van LHM v4.3.3 zijn voor de onttrekkingen mediane waarden berekend over de periode 2011-2018.

2.3.1.3 Drinkwateronttrekkingen

In het LHM worden verschillende soorten onttrekkingen onderscheiden. Zowel uit het grondwater als het oppervlaktewater wordt onttrokken ten behoeve van drinkwater, industrie en beregening. Het LHM v4.3.3 bevat de meest actuele data set voor onttrekkingen (Janssen et al. 2025), zie Figuur 2-5 voor de drinkwateronttrekkingen.

¹ Nederlands Hydrologisch Instrumentarium: 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.



Figuur 2-5 Kaart van de drinkwateronttrekkingen in LHM 4.3.3.

De infiltratiewinningen in de duinregio's zitten niet in het LHM. Daarom kunnen deze niet met de methodologie zoals hier gerapporteerd worden meegenomen. Deze winningen worden daarom buiten beschouwing gelaten.

Het totale vergunde debiet over alle drinkwateronttrekkingen bedraagt $\sim 2.01 \text{ Mm}^3/\text{dag}$ in het LHM v4.3.3. In het LHM v3.4 was dit $2.05 \text{ Mm}^3/\text{dag}$ en bepaald over de periode 1996-2008 (Bos-Burgering, et al. 2018). Per drinkwaterbedrijf is dit weergegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Overzicht van de gemiddelde onttrekkingsdebieten per drinkwaterbedrijf in LHM v4.3.3

Pompstation	Mm3/d	Mm3/jaar	Procent
BRABANT WATER	0.5557	202.83	27.58
VITENS	1.0465	381.98	51.94
WML	0.2003	73.09	9.94
WATERBEDRIJF GRONINGEN	0.0036	1.31	0.18
WATERMAATSCHAPPIJ DRENTHE	0.0029	1.05	0.14
PWN	0.0135	4.93	0.67
OASEN	0.1226	44.74	6.08
EVIDES	0.0696	25.41	3.46
	2.0147	735.36	100.00

2.3.2 iMOD

Het LHM is opgebouwd in iMOD (Vermeulen et al., 2025). iMOD is een gebruiksvriendelijke grafische schil (GUI) en toolbox voor het bouwen, runnen en nabewerken van MODFLOW en MODFLOW-gerelateerde modellen. Zowel de simulaties met de stationaire variant van het LHM 4.3.3 als de stroombaanberekeningen, alsmede de nodige voor- en nabewerkingsstappen, zijn uitgevoerd met iMOD v5.6.1. De voor stroombaanberekeningen gebruikte iMOD-functie is IMODPATH. Voorbeeldbestanden van de invoer voor deze (batch)functie worden gegeven in Bijlagen B en C. Naast iMOD is tevens gebruik gemaakt van scripting in Python en Fortran voor de voor- en nabewerkingsstappen waarvoor geen iMOD-functionaliteit beschikbaar is.

2.3.3 Voorwaartse Stroombaanberekening

Eenzelfde methodiek als gebruikt door Kovar et al. (1998) is toegepast op het LHM. Op twee aspecten verschillen de werkwijzen echter, om praktische dan wel inhoudelijke redenen. Deze worden hieronder toegelicht.

1. Maximale volgtijd:

In de LHM-stroombaanberekening is deze uniform op 9,000 jaar gezet, terwijl deze door Kovar et al. (1998) gezet werd op 5,000 jaar voor freatische onttrekkingen en op 9,000 jaar voor diepe, semi-afgesloten aquifers. Omdat ingeschat is dat het voor de freatische onttrekkingen weinig verschil zou maken of er 5,000 jaar of 9,000 jaar gerekend wordt (freatische onttrekkingen zullen nauwelijks water vangen ouder dan 5,000 jaar), is er omwille van de logistieke eenvoud van de berekeningen voor gekozen een uniforme maximale volgtijd van 9,000 jaar te hanteren voor alle onttrekkingen. Aan de hand van enige testberekeningen is overigens gebleken dat het hanteren van verschillende volgtijden geen effect heeft op de grootte en ligging van de intrekgebieden.

2. Positionering van de Startpunten

Er is gekozen om 1 startpunt per 250x250 meter te plaatsen over het gehele domain van het LHM. Uit een gevoeligheidsanalyse (Janssen en Ball, 2020) is gebleken dat het plaatsen van meerdere startpunten binnen 1 enkele model cel geen effect heeft op de grootte en ligging van de intrekgebieden.

3. Het stopcriterium:

Met betrekking tot de uitstroom in drainage, drainerend oppervlaktewater of onttrekkingen is onderscheid gemaakt tussen *weak-* en *strong sinks*. Daarbij is verder onderscheid gemaakt tussen drainage en/of drainerend oppervlaktewater enerzijds en de onttrekkingen anderzijds. De volgende beslisregels zijn hierbij gehanteerd:

- Deeltjes stoppen alleen in een cel met drainage en/of drainerend oppervlaktewater als dit een *strong sink* is. Dit bleek noodzakelijk, omdat als ervoor gekozen werd om de deeltjes ook in *weak sinks* te laten stoppen, een groot deel van de deeltjes voortijdig werd gestopt. De deeltjes worden namelijk gestart in het freatische systeem, waarin tevens de drainage en/of drainerend oppervlaktewater aanwezig is. Deeltjes starten dus vaak in *weak sink* cellen;
- Deeltjes stoppen te allen tijde indien zij een cel bereiken waarin een onttrekking aanwezig is, onafhankelijk of dit nu een *weak-* of *strong sink* is. Aanvankelijk was hier niet voor gekozen, wat geen goede resultaten opleverde: van sommige winningen werd hierdoor helemaal geen intrekgebied berekend, doordat zij niet resulteren in *strong sink* cellen. Dat heeft te maken met de verhouding tussen de sterkte van de onttrekking en de grootte van de model cel. Hoe groter de model cel, hoe sterker de onttrekking moet zijn om van de cel een *strong sink* te maken. De 250x250m rekenresolutie van het LHM is blijkbaar te grof om van alle drinkwateronttrekkingen *strong sinks* te maken.

Omdat, zoals vermeld in Sectie 2.2, de stopcriteria voor het topsysteem niet expliciet zijn gerapporteerd in Kovar et al. (1998) is niet geheel duidelijk in hoeverre deze beslisregels verschillen van die methode.

2.3.4 Achterwaartse Stroombaanberekening

Naast de naar Kovar et al. (1998) gevormde voorwaartse methodiek zijn de intrekgebieden tevens berekend door middel van een achterwaartse stroombaanberekening. Dit is niet direct geschikt voor het berekenen van de intrekgebieden vanwege het divergente karakter van stroombanen (zie Figuur 2-6). Vanwege dit karakter worden stroombanen al snel onevenredig verdeeld over het grotere oppervlak (Figuur 2-6-links), met als resultaat dat er gaten ontstaan in het aldus berekende intrekgebied. Dit is alleen op te lossen door een enorme hoeveelheid deeltjes rond een sterk convergerend stromingsveld te plaatsen. In het geval van een voorwaartse stroombaanberekening (Figuur 2-6-rechts), in de richting van een onttrekking speelt het probleem niet, omdat er dan gestart wordt vanuit een min-of-meer uniform snelheidsveld en gerekend wordt naar een convergerend veld. Een nadeel van een voorwaartse stroombaanberekening kan wel zijn dat van tevoren goed ingeschat moet worden over welke gebieden het intrekgebied zich minimaal uitstrekt, omdat in het gehele intrekgebied gestart moet worden met deeltjes. In de huidige benadering wordt dit probleem opgelost door over het gehele modeloppervlak (heel Nederland) startpunten te verdelen.



Figuur 2-6 Illustratie van het optreden van “cluttering” van stroombanen bij terugwaartse tracking (links) en het verhelpen van dit probleem middels voorwaartse tracking (rechts). Bron figuur: Provincie Utrecht (2011).

De achterwaartse stroombaanberekening is uitgevoerd met de volgende instellingen voor de definitie van de startpunten:

1. *Ringen van startpunten rondom de onttrekking*

De afstand waarover de ringen verticaal worden verdeeld is gelijk gezet aan de filterlengtes die gebruikt zijn om de winning toe te kennen aan (meerdere) modellagen. Dit is een wijziging ten opzichte van de werkwijze in Janssen en Ball (2020) waar de gehele dikte van de model laag gebruikt wordt voor de positionering van de deeltjes. Winningen kunnen namelijk over meerdere modellaag in het LHM zijn gepositioneerd waarbij het gebruik van één model laag, in combinatie met het LHM v4.3.3, onjuist is. Opgemerkt moet worden dat in Janssen en Ball (2020) een winning ook in het model aan één modellaag is gekoppeld waardoor de keuzes die men toen maakte, toen ook correct waren.

2. *Startpunt verdeling*

Het aantal losgelaten deeltjes wordt per individuele onttrekkingsput steeds verdeeld over 100 verticaal verdeelde ringen met hierop telkens 85 startpunten. De diameter van de ring is 200 meter zodat alle deeltjes binnen de model cel starten waar de winning zich in bevindt. In Janssen en Ball (2020) is aangetoond dat een groot aantal ringen nodig is om convergentie van het totale oppervlak aan intrekgebieden te bereiken. Voor de definitieve berekening is gekozen voor 100 ringen omdat tussen 60 en 100 ringen het oppervlak van de intrekgebieden niet meer toeneemt (Janssen en Ball, 2020). Er wordt nu na iedere 7.5 meter een startpunt op de ring gedefinieerd dat zodoende in totaal 850 deeltjes per onttrekkingsfilter oplevert.

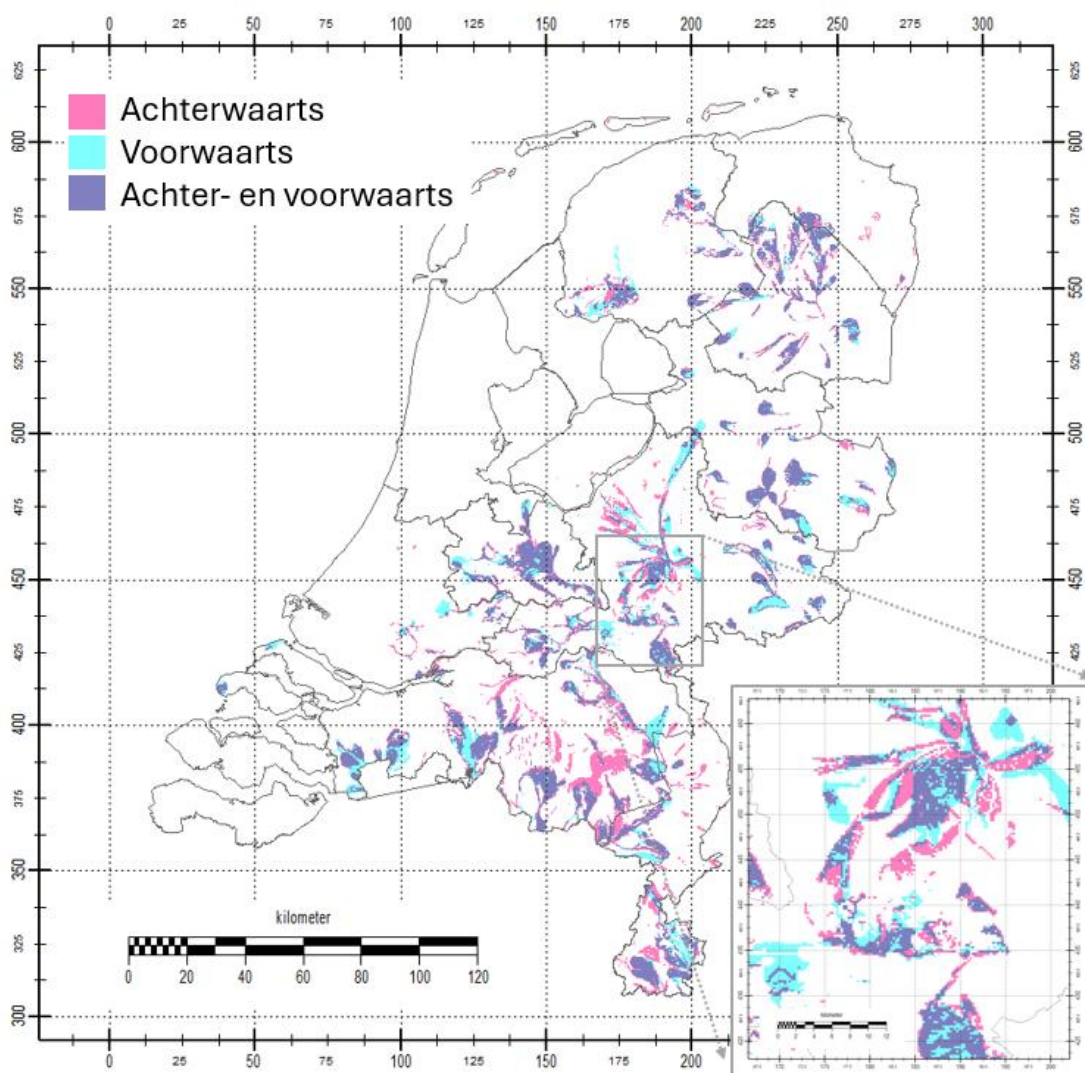
3. *Weak sinks*

In tegenstelling tot de voorwaartse stroombaanberekening worden deeltjes gevolgd totdat zij cellen met een *weak sink* bereiken. Een gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd in Janssen en Ball (2020) en hier is bepaald dat het stoppen bij een *weak sink* het meest realistische intrekgebied oplevert. Het hanteren van fracties geeft over het algemeen een groter intrekgebied. Door de grove schaal van LHM, gaan deeltjes dan nu verder terwijl deze in werkelijkheid wel degelijk afgevangen zouden worden. Hierom is het beter om op dit schaal niveau, bij terugwaartse stroombaanberekeningen, te stoppen bij *weak sinks*.

3 Resultaten en conclusies

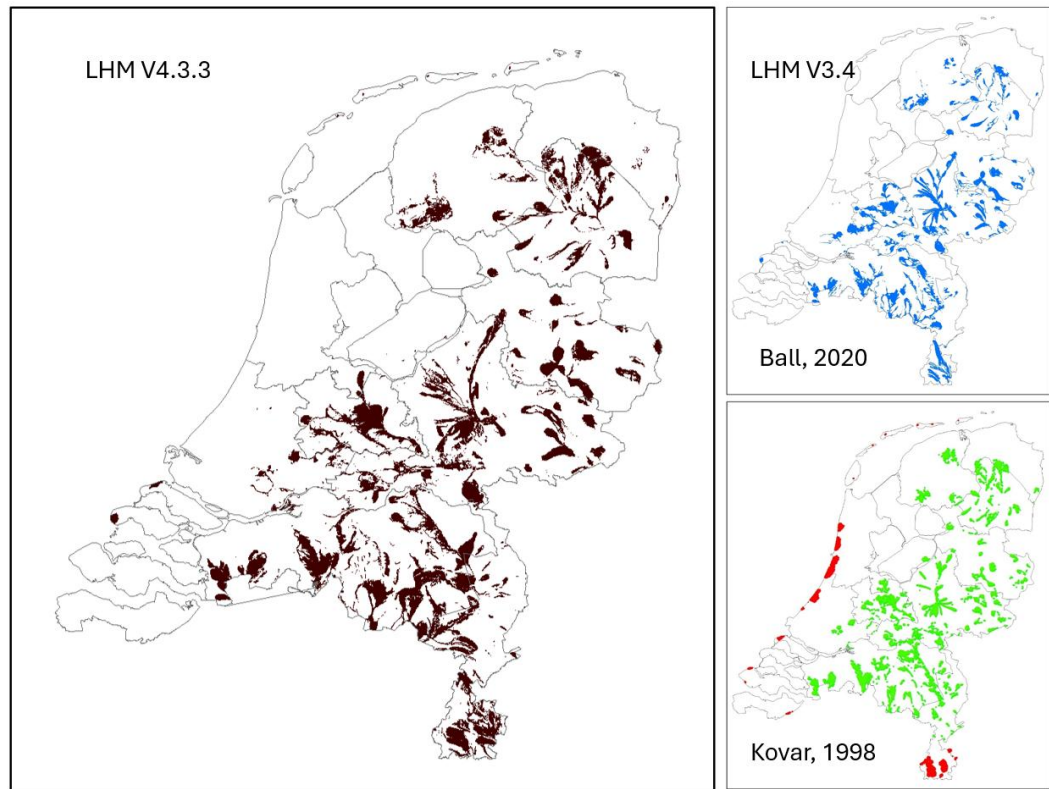
3.1 Resultaten

Figuur 3-1 toont het eindresultaat van de afbakening van intrekgebieden met behulp van de voorwaartse- en achterwaartse stroombaanberekening. Waar gebieden worden geselecteerd vanuit alleen een achterwaartse stroombaanberekening zijn deze roze gekleurd. Waar deze alleen door een voorwaartse stroombaanberekening zijn gevonden, zijn deze blauw. Waar beide berekeningen hetzelfde gebied markeren zijn deze paars gekleurd. Het is duidelijk te zien dat veelal de achterwaartse stroombaanberekening de intrekgebieden aan de buitenbegrenzing vaak wat verruimen, terwijl de voorwaartse stroombaanberekening het interne gebied binnen een intrekgebied opvult, zie het ingezoomde detailfiguur in Figuur 3-1.



Figuur 3-1 Berekende kaart van de intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen volgens LHM 4.3.3.

Het zijn hier dan vooral de deeltjes die starten vanuit deze extreme boven- en/of onder begrenzing van de verticale ringen, die deze buitenzijde enigszins vergroten. Voorwaarts gerekend is het lastiger om in deze buitenste ringen terecht te komen aangezien een kleine afwijking in het startpunt de kans vergroot dat het deeltje langs de winning gaat. Aan de andere kant is het voor het terugwaarts doorrekenen van de deeltjes weer lastiger om een uniform veld te selecteren vanwege het divergente karakter van stroombanen (zie Figuur 2-6). Beide stroombaanberekeningen samen, geven een totaalbeeld van de intrekgebieden.



Figuur 3-2 Berekende kaart van de intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen volgens LHM 4.3.3. De figuur rechtsboven is het intrekgebied volgens LHM v3.4 en rechtsonder deze uit Kovar, 1998.

In lijn met de in deze rapportage gehanteerde conservatieve aanpak, waarbij vanuit een voorzorgprincipe gestreefd wordt naar een zo klein mogelijke kans dat arealen die wel tot een intrekgebied behoren niet als zodanig worden berekend, wordt de definitieve kaart van intrekgebieden verkregen door het voorwaartse- en het achterwaartse resultaat met elkaar te combineren. Het resultaat van het samenvoegen van beide kaarten is gegeven in Figuur 3.5. Wanneer dit resultaat vergeleken wordt met dat van Kovar et al. (1998) valt op dat de beide kaarten op het eerste gezicht grote overeenkomsten vertonen. Wanneer lokaal wordt ingezoomd zijn er echter tevens duidelijke verschillen waarneembaar.

Het totale areaal aan intrekgebieden bedroeg 3602 km² voor de berekening met het LHM v3.4 (Janssen en Ball, 2020). Dit was al twee keer zo groot als de 1530 km² zoals berekend in Kovar (1998). In de berekening met het hernieuwd LHM v4.3.3 bedraagt dit 3894 km² (toename van ~8%). Ondanks dat het totale gemiddelde onttrekkingsdebiet vergelijkbaar is, komt dit onder andere doordat er een aantal winningen bij is gekomen, bijvoorbeeld de winning van de WML bij Boxtel. Tevens kunnen hernieuwde geologische inzichten en/of aan- en ontwateringsmiddelen (watergangen, drainage) en/of gewijzigde grondwateraanvulling als gevolg van hernieuwd conceptuele inzicht en schematisaties zorgen voor gewijzigde intrekgebieden, zowel in vorm, grootte en ligging.

Lokale studies rondom drinkwaterwinningen zullen altijd nodig zijn om een nauwkeurige afbakening te berekenen van de intrekgebieden. Het LHM geeft een ruwe indicatie maar lokale geologie, ontwatering en andere randvoorwaarden zullen dit lokaal beïnvloeden.

3.2 Conclusies

Het Landelijk Hydrologische Model (LHM v4.3.3) is gebruikt voor het afleiden van de intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen ten behoeve van de toelatingsprocedures met betrekking tot gewasbeschermingsmiddelen in Nederland. Hiertoe zijn stroombaanberekeningen toegepast op het stationaire stromingsveld zoals door het LHM berekend. Wat betreft de methode van stroombaanberekening is grotendeels aangesloten bij de methode zoals beschreven in Janssen en Ball (2020). Hier zijn achterwaartse en voorwaartse stroombaanberekeningen gecombineerd om te komen tot de uiteindelijke kaart van intrekgebieden. De nieuwe kaart vertoont op het eerste gezicht grote overeenkomsten met de kaarten uit 2020 (Janssen en Ball, 2020) en die van Kovar (1998), maar wanneer ingezoomd wordt op individuele intrekgebieden zijn ook grote verschillen zichtbaar. In de nieuwe kaart bedraagt het totaal areaal 3894 km² en hiermee ~8% groter dan berekend door het LHM v3.4 (Janssen en Ball, 2020), waarbij die laatste een twee keer zo groot areaal gaf als Kovar (1998). Deze toename wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van een nieuwe winning bij Boxtel, de actualisatie van geohydrologische gegevens en verbeteringen in de modelschematisatie van het landelijke hydrologische model

Lokale studies rondom drinkwaterwinningen zullen altijd nodig zijn om een nauwkeurige afbakening te berekenen van de intrekgebieden. Het LHM geeft een ruw indicatie maar lokale geologie, ontwatering en andere randvoorwaarden zullen dit lokaal beïnvloeden.

Referenties

- Berg, F. van den, Tiktak, A., Hoogland, T., Poot, A., Boesten, J. J. T. I., van der Linden, A. M. A. en Pol, J. W. 2017. Wageningen: Wageningen Environmental Research. 55 p. (Wageningen Environmental Research rapport; no. 2816).
- Bos-Burgering, L.M.T., J.C. Hunink, A.A. Veldhuizen, G. Prinsen, P.E.V. van Walsum, J.R. Pouwels en T. Kroon. Veranderingsrapportage LHM 3.4.0; ontwikkelingen ten behoeve van
- landelijke analyse van de zoetwatervoorziening 2018. Deltares rapport 1120224-000-BGS-0001, 2018.
- Harbaugh, A.W. 2005. MODFLOW-2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model—the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16.
- Hoogewoud, J., A. Veldhuizen, G. Prinsen, J. Hunink. 2011. NHI 2.2. Beschrijving van de veranderingen en toetsing in NHI 2.2. Deltares Rapport 1204179-000.
- Hoogewoud, J., J. Hunink, G. Prinsen, A. Veldhuizen, J. Verkaik. 2012. Veranderingsrapportage NHI 3.0. Beschrijving van de veranderingen in versie 3.0. Deltares Rapport 1206107-000.
- Janssen, G., en Ball, S. 2020. Intrekgebieden van de Nederlandse drinkwaterwinningen berekend met LHM 3.4.0. Deltares rapport 11203718-008-BGS-0003.
- Janssen, G., Vermeulen, P., Van Walsum, P., Prinsen, G., Nogueira, G.E.H., Verkaik, J., Delsman, J., Kok, H., Leander, R., Klapwijk, E., Kroon, T., 2025. Veranderingsrapportage LHM 4.3.3 - De nieuwe release van het Landelijk Hydrologisch Model in het voorjaar van 2025, Deltares report 11211537-001-BGS-0001.
- Kovar, K., G.J.M. Uffink en M.J.H. Pastoors. 1996. Evaluation of the Netherlands Groundwater Model (LGM), for calculating pathlines, travel times and concentrations at abstracting wells. RIVM rapport 703717001.
- Kovar, K., M.J.H. Pastoors, A. Tiktak, F.G. van Gaalen. 1998. Application of the Netherlands Groundwater Model (LGM), for calculating concentration of nitrate and pesticides at abstraction wells in sandy soil areas of the Netherlands. RIVM rapport 703717002.
- Kruijne, R., Tiktak, A., Van Kraalingen, D., Boesten, J.J.T.I., en A.M.A van der Linden. 2004. Pesticide leaching to the groundwater in drinking water abstraction areas, Analysis with the GeoPEARL, Alterra-report 1041.doc, Alterra, Wageningen, 2004
- KWR. 2012. Verzamelen gegevens grondwateronttrekkingen Nederland. Rapport KWR 2012.050 Watercycle Research Institute, Nieuwegein, The Netherlands.
- NHI Projectgroep. 2010. Release Notes NHI versie 2.0 13 mei 2010 – met de verwerkte commentaar van de klankbordgroep. NHI Memo. http://www.nhi.nu/nl/files/9614/2651/4333/releasenotes_NHI_v2_0.pdf
- Pastoors, M.J.H. 1992. Landelijk Grondwater Model; conceptuele modelbeschrijving. RIVM rapport 714305004.
- Provincie Utrecht. 2011. Hydrologische berekeningen t.b.v. bepaling beschermingszones drinkwaterwinningen in de provincie Utrecht. Actualisatie 2011. Provincie Utrecht rapport, ref. 9T8834/R002/901849/Amst.
- Provincie Limburg. 2019. Algemene rapportage deelmodel Roosteren. Herberekening waterwingebieden en grondwaterbeschermingsgebieden Limburg. Concept.
- Vermeulen, P.T.M en F.J. Roelofsen, 2025. iMOD user manual. version 5.6.2. Deltares, The Netherlands. (<http://oss.deltares.nl/web/iMOD>).

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl