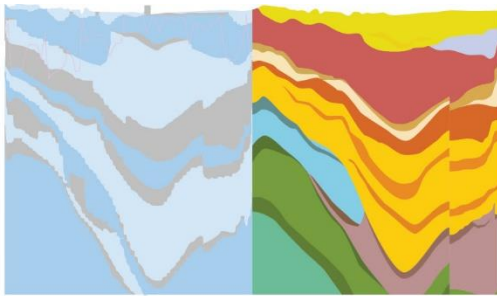


Analyse winbaarheid - Kwantiteit

Deelrapportage 5a van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves



Analyse winbaarheid
Deelrapportage 5 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves

Auteur(s)
Joost Delsman (Deltares)
Romee van Dam (Deltares)

Analyse winbaarheid

Deelrapportage 5 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves

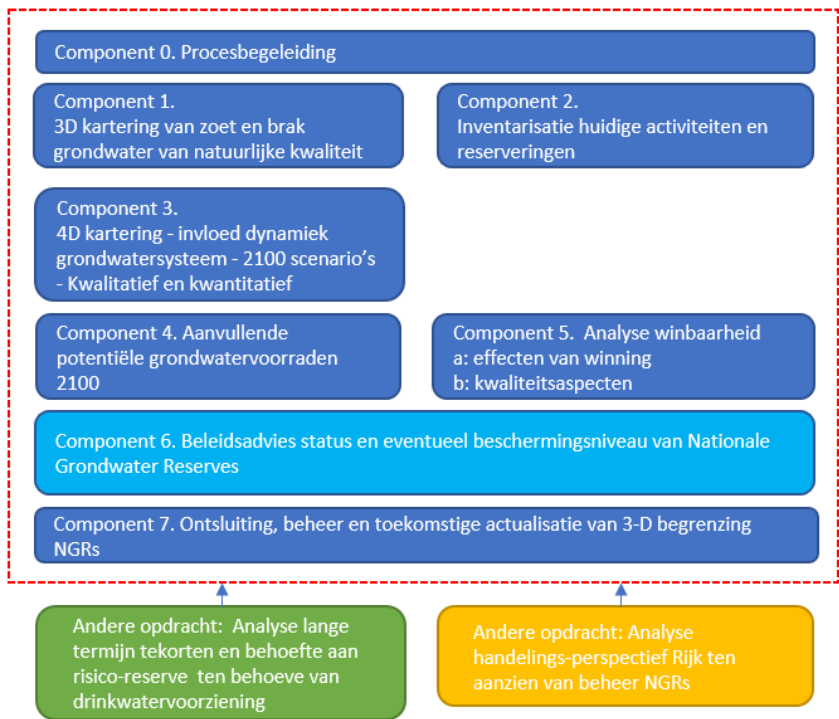
Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Reinout Ogilvie
Referenties	Kenmerk: 31174433, Referentie: 4500329490
Trefwoorden	NGR, drinkwatervoorziening, lange termijn, grondwater

Documentgegevens	
Versie	1.0
Datum	26-09-2024
Projectnummer	11207846-002
Document ID	11207846-002-BGS-0014
Pagina's	76
Classificatie	
Status	Definitief

Samenvatting

In de Beleidsnota Drinkwater (2014) is het concept van Nationale Grondwater Reserves (NGRs) geïntroduceerd met als doel om natuurlijk kapitaal te beschermen ten behoeve van de drinkwatervoorziening in de verre toekomst en om grootschalige en meerjarige crisissituaties op te kunnen vangen. Dit in aanvulling op de Aanvullende Strategische Voorraden (ASVs) waar de provincies verantwoordelijk zijn voor het borgen van de bronnen voor de drinkwatervoorziening op de middellange termijn (2040). Een eerste zeer globale aanzet voor NGR gebieden is opgenomen in de structuurvisie ondergrond (STRONG 2018).

In 2022 heeft het ministerie van Infrastructuur en Water opdracht gegeven aan Deltares en TNO om een gedetailleerd 3D-beeld van de NGRs uit te voeren. Inhoudelijk is het project opgedeeld in 8 componenten (zie Figuur 1).



Figuur 1: Samenvatting van de verschillende componenten van het project en relatie met andere uitgevoerde studies (groen en geel).

De bouwstenen uit de componenten 1 tot 5 zijn ondersteunend voor het proces dat moet leiden tot een advies voor begrenzing van NGRs met een voorstel voor een gepast beschermingsregime afgestemd op het doel van de NGR (component 6). Voorliggend document is de rapportage van component 5a (Analyse winbaarheid, effecten van winning). Onderdeel b: kwaliteitsaspecten wordt separaat gerapporteerd.

Component 5 heeft als doel om de grootte van het potentieel winbare volume grondwater in de NGRs te analyseren. Deze analyse bouwt verder op de resultaten van component 1: “3D kartering van zoet en brak grondwater van natuurlijke kwaliteit”. Potentiële winlocaties in heel Nederland worden getoetst aan de hand van gestelde basiscriteria (chloride gehalte en onvervuild grondwater) met behulp van de kartering uit component 1.

Met modelberekeningen is elke locatie afzonderlijk getest op de winbaarheid van het grondwater (minimaal doorlaatvermogen), op de effecten van de winning op Natura 2000-gebieden en op de kwaliteit van het onttrokken grondwater. Hieruit volgt een 3D-beeld van de gebieden die mogelijk als NGRs zouden kunnen functioneren vanuit geohydrologisch perspectief. Dit 3D-beeld levert een belangrijke bouwsteen aan de technische begrenzing van de NGRs (component 7).

Er worden drie doelen onderscheiden voor Nationale Grondwatervoorraden, die in deze studie als afzonderlijke NGRs worden uitgewerkt. Deze doelen zijn 1) behoud van natuurlijk kapitaal aan grondwater dat niet beïnvloed is door menselijk ingrijpen (NGR Natuurlijk kapitaal), 2) reservebron voor drinkwater ten behoeve van grootschalige calamiteiten (NGR Calamiteit), en 3) reservebron om te voorzien in de (groeierende) drinkwatervraag op de lange termijn (NGR Structurele winning).

NGR Natuurlijk kapitaal is gekarteerd als grondwater met een leeftijd ouder dan 150 jaar (250 jaar als grondwater stedelijke herkomst heeft), met een chloridegehalte $< 5 \text{ g Cl}^-/\text{L}$. Hierbij wordt geen criterium gebruikt voor het doorlaatvermogen, ook water in slecht doorlatende lagen behoort tot het Natuurlijk kapitaal. De technische begrenzing van NGR Natuurlijk kapitaal betreft dan ook grote delen van de Nederlandse ondergrond tot de geohydrologische basis.

NGR Calamiteit is alleen daar gekarteerd waar het doorlaatvermogen additioneel (bovenop de criteria van Natuurlijk kapitaal) minimaal $500 \text{ m}^2/\text{d}$ bedraagt. Bij winning (getoetst voor grote onttrekkingsvolumes van 10 en 20 miljoen m^3/jaar) mag daarboven binnen 10 jaar geen water worden aangetrokken dat te jong of te zout is. Grote aaneengesloten gebieden met potentiële locaties voor NGR Calamiteit liggen in Noord-Brabant, Gelderland en midden Limburg. Zeeland, Noord-Holland en Drenthe bevatten vrijwel geen potentiële locaties. De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Calamiteit bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume van rond de $2 \cdot 10^{12}$ en $8 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$. Onderzochte lange termijn ontwikkelingen (Klimaat Hd2100 en grootschalige herinrichting watersysteem) laten slechts beperkte veranderingen zien in de begrenzing van NGR Calamiteit.

Ook NGR Structurele winning is alleen daar gekarteerd waar het doorlaatvermogen additioneel (bovenop de criteria van Natuurlijk kapitaal) minimaal $500 \text{ m}^2/\text{d}$ bedraagt. Bij winning (getoetst voor onttrekkingsvolumes van 2 en 4 miljoen m^3/jaar) mag daarboven binnen 30 jaar geen water worden aangetrokken dat te jong of te zout is, én in grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden mag geen significante grondwaterverlaging ($> 2 \text{ cm}$) of kwelvermindering ($> 0.1 \text{ mm/d}$) plaatsvinden. Een belangrijk kleiner gedeelte van Nederland is ook potentieel geschikt voor NGR Structurele winning. Aaneengesloten gebieden met geschikte locaties liggen voornamelijk in Noord-Brabant (zoet en brak) en in Utrecht (vooral zoet). Noord-Holland, Zeeland, Limburg en Drenthe bevatten vrijwel geen potentiële locaties. De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Structurele winning bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume van rond de $2 \cdot 10^{11}$ en $4 \cdot 10^{11} \text{ m}^3$. Uit de technisch begrensde NGR Structurele winning kan gelijktijdig maximaal zo'n 240 miljoen m^3/jaar worden gewonnen zonder dat de cumulatieve effecten de gestelde criteria overschrijden. Klimaat Hd2100 geeft een 20% afname van geschikte locaties, grootschalige herinrichting van het watersysteem resulteert daarentegen in een 15% toename in het aantal geschikte locaties.

Inhoud

Samenvatting	4
1 Inleiding	8
1.1 Aanleiding en context	8
1.2 Werkwijze in het kort	9
1.2.1 Methode	9
1.2.2 Proces	10
1.3 Leeswijzer	11
2 Criteria technische begrenzing NGRs	12
3 Methode	18
3.1 Afbakening initieel zoekgebied	18
3.2 Modelberekeningen wandelend pompstation	19
3.3 Evaluatie winbaarheid criteria	22
3.4 Draagkrachtanalyse NGR Structurele winning	23
3.5 Vingeroefening clustering NGR gebieden	24
3.6 Lange termijn ontwikkelingen	25
4 Resultaten	27
4.1 Natuurlijk kapitaal	27
4.2 Calamiteit	29
4.2.1 Initieel zoekgebied NGR Calamiteit	29
4.2.2 Evaluatie effecten winning	29
4.3 Structurele winning	33
4.3.1 Initieel zoekgebied NGR Structurele winning	33
4.3.2 Evaluatie effecten winning	33
4.3.3 Draagkrachtanalyse	37
4.4 Vingeroefening verdere ruimtelijke inperking NGRs	39
4.4.1 Natuurlijk kapitaal	39
4.4.2 Calamiteit	41
4.4.3 Structurele winning	42
4.5 Lange termijn ontwikkelingen	42
4.5.1 Calamiteit	42
4.5.2 Structurele winning	44
5 Discussie	46
6 Conclusie	49
7 Referenties	51

A	Begrippenlijst	52
B	Stroomschema's analyse	53
C	Dwarsdoorsneden Initieel zoekgebied	55
D	Dwarsdoorsneden Technische begrenzing NGRs	57
E	Dwarsdoorsneden clustering NGRs	61
E.1	Calamiteit	61
E.2	Structurele winning	64
E.3	Draagkrachtanalyse	67
F	Aanpassingen modelberekeningen langjarige ontwikkelingen	69
F.1	Klimaatverandering – Hoge uitstoot - droog	69
F.2	Herinrichting watersysteem	70
G	Totstandkoming kaart grondwaterafhankelijke Natura 2000 gebieden	72

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

In de Beleidsnota Drinkwater (IenM, 2014) is het concept van Nationale Grondwater Reserves (NGRs) geïntroduceerd met als doel om natuurlijk kapitaal te beschermen ten behoeve van de drinkwatervoorziening in de verre toekomst en in geval van grootschalige en meerjarige crisissituaties. Dit in aanvulling op de Aanvullende Strategische Voorraden (ASVs) met als doel om bronnen voor de drinkwatervoorziening op de middellange termijn (2040) te borgen. Provincies zijn verantwoordelijk voor de ASVs.

Een eerste aanzet voor NGR gebieden is opgenomen in de Structuurvisie ondergrond (STRONG) (IenW & EZK, 2018). Het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) heeft nu behoefte aan een uitgewerkter beeld van de NGRs, en heeft Deltares en TNO gevraagd hier gezamenlijk een advies voor uit te brengen. Het project is opgedeeld in 8 componenten, waarvan 7 inhoudelijk zijn en 1 bestaat uit procesbegeleiding (zie Figuur 1 in de samenvatting). De 7 inhoudelijke componenten leveren de bouwstenen om uiteindelijk tot een advies over begrenzing en eventuele bijbehorende bescherming van NGRs te komen.

Voorliggende rapportage beschrijft de resultaten van **Component 5a: Winbaarheid, onderdeel kwantiteit.**

De relatie tussen de verschillende componenten

In *Component 1* wordt een 3D-kartering uitgevoerd van de grondwatervoorraden in de ondergrond van Nederland die in potentie geschikt zijn als NGR. Daarin wordt onder andere de geologische opbouw, de zoet-brak-zout grensvlakken en de ouderdom van het grondwater bekeken, zonder dat op basis van specifieke criteria al harde keuzes gemaakt worden over de begrenzing. Het maken van keuzes gebeurt in een later stadium. In *component 2* wordt een inventarisatie gemaakt van huidig gebruik en van (mogelijk toekomstig) reserveringen waarmee rekening gehouden moet worden bij de begrenzing van de NGRs en/of bij de ontwikkeling van eventueel beleid om de NGRs te beschermen. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om gebieden die in het kader van de energietransitie mogelijkheden bieden om geothermie te ontwikkelen.

Omdat het grondwatersysteem een dynamisch systeem is, wordt in *component 3* gekeken naar de invloed van lange termijn ontwikkelingen op het grondwatersysteem (tijdshorizon 2100). Er wordt daarbij onderzocht in hoeverre die ontwikkelingen van invloed kunnen zijn op de begrenzing en/of kwaliteit van de NGRs. Voorbeelden zijn:

- uitbreidingen in grondwateronttrekkingen (drinkwatervraag)
- klimaatscenario's, zeespiegelstijging, bodemdaling
- inrichting en landgebruik
- autonome verzilting
- lange termijn effecten van (beëindigen van) bruinkoolwinning

In *component 4* wordt onderzoek verricht naar mogelijke andere grondwatervoorraden zoals kwelwater uit polders of grondwater onder het IJsselmeergebied. Het is van belang om een beeld te hebben van deze alternatieve bronnen, omdat hiermee de mogelijk toekomstige inzet van NGR beperkt kan worden. In *component 5 (voorliggend rapport)* wordt een analyse uitgevoerd naar de winbaarheid van de potentiële NGRs.

De verschillenden onderdelen van dit project leiden tot een advies voor begrenzing van NGRs en een advies ten aanzien van bescherming van die reserves (*component 6*). Om

rekening te kunnen houden met de verschillende belangen is een brede klankbordgroep in het leven geroepen. *Component 0* gaat over het proces met de klankbordgroep (zie paragraaf 1.2.2). *Component 7* gaat over de ontsluiting van de data en bestanden via een online viewer.

Het NGR 3D-kartering project staat niet op zichzelf. Er zijn weliswaar grote volumes aan grondwater van goede kwaliteit aanwezig in de ondergrond, maar gebruik van deze voorraden heeft consequenties. Zo dragen grondwateronttrekkingen bij aan verdroging van natuur en vanuit die optiek wordt bijvoorbeeld in Noord-Brabant ingezet op een reductie van grondwateronttrekking. Inzet van NGRs voor de structurele drinkwatervoorziening op lange termijn ligt hier dus niet voor de hand. Omdat de druk op ons watersysteem toeneemt, zetten partijen als de drinkwaterbedrijven, provincies en het Rijk ook juist in op waterbesparing om de groei in drinkwatervraag te verminderen. Het is duidelijk dat we in Nederland dus zuinig en slim met NGR voorraden om moeten gaan om onze omgeving niet onnodig te belasten en dit natuurlijk kapitaal ook voor toekomstige generaties beschikbaar te houden. Parallele initiatieven van het Rijk, provincies en/of drinkwaterbedrijven, gericht op bijvoorbeeld waterbesparing, gebruik van andere bronnen en strategische samenwerking geven hier invulling aan en beleid ten aanzien van eventueel toekomstige benutting van NGRs moet in die context beschouwd worden.

1.2 Werkwijze in het kort

1.2.1 Methode

In component 5a zijn de effecten van grondwateronttrekkingen op potentiële NGR-locaties geanalyseerd. Deze locaties moeten, afhankelijk van het NGR-doel, voldoen aan criteria met betrekking tot de kwaliteit van het water (zoutgehalte, vervuiling), de winbaarheid (doorlaatvermogen watervoerend pakket), de effecten van de onttrekking op Natura 2000 en de kwaliteit van het onttrokken water.

Het initiële zoekgebied voor de NGRs is bepaald aan de hand van twee opgezette basiscriteria: zoutgehalte en leeftijd water (als indicator voor vervuild/schoon drinkwater). Deze basiscriteria impliceren dat het water voldoet aan een bepaalde kwaliteit. Het gebied dat hieruit volgt, wordt gedefinieerd als het gebied van het Natuurlijk kapitaal. Voor de NGR doelen structurele winning en calamiteit is het ook van belang dat het grondwater op de aangewezen locaties ook opgepompt kan worden. Daarom moeten de aangewezen locaties binnen het initiële zoekgebied voor deze doelen ook voldoen aan het criterium winbaarheid. Vervolgens is er met een wandelend pompstation¹ gekeken naar de effecten van de winning (Natura 2000) en naar de kwaliteit van het onttrokken water (zoutgehalte en leeftijd water). De modellen, die daarvoor gebruikt zijn, zijn gebaseerd op het LHM zoet-zout versie 4.1.2.

In tijden van calamiteit² is er relatief kortdurend (10 jaar) een grotere hoeveelheid water nodig (10 of 20 miljoen m³/jaar). Voor structurele winning is gedurende 30 jaar een kleinere hoeveelheid van (2 of 4 miljoen m³/jaar) nodig. Via een stroombaananalyse is onderzocht of er in die tijdspanne grondwater wordt onttrokken met te hoog zoutgehalte of een te jonge leeftijd. Daarnaast mogen er voor het beleidsdoel Structurele winning ook geen negatieve effecten ontstaan in grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden. Hiervoor is gekeken naar de daarvoor toegestane verlaging van de grondwaterstand (< 0.02 m ten opzichte van

¹ Een 'wandelend pompstation' is een geheel van modelberekeningen waarbij er steeds een winning wordt gesimuleerd op een steeds wisselende locatie. Deze winning / dit pompstation 'wandelt' zo door het gebied heen. Met een dergelijk geheel aan berekeningen kunnen de effecten van een winning per locatie worden onderzocht.

² Calamiteit is in Nijsten et al (2020) aangeduid als een gebeurtenis waarbij: 1) de minimale tijdsduur 2 jaar bedraagt, 2) drinkwaterproductie en -vraag ernstig in onbalans zijn, 3) het volumeverlies dermate groot is dat het niet middels reguliere / bestaande netwerk kan worden opgevangen, en 4) een groot leveringsgebied treft.

referentiemodel) en kwelflux verlaging (< 0.1 mm/dag ten opzichte van referentiemodel). Voldoet een locatie aan alle gestelde criteria dan zou dit een potentiële NGR kunnen worden. In de laatste stap zijn de potentiële NGR-locaties samengevoegd tot potentiële NGR gebieden. Hieruit volgen de geschikte gebieden die vanuit geohydrologisch perspectief per beleidsdoel als NGR aangewezen kunnen worden. De resultaten van component 5a dragen bij aan het bestuurlijke proces voor de definitieve begrenzing van de NGRs

Vanwege het grote aantal modelberekeningen (rond de 60.000) is het aanmaken, berekenen en analyseren van de gebruikte modellen geautomatiseerd. In de workflow manager Snakemake zijn python scripts aan elkaar verbonden, zodat bij een kleine wijziging automatisch alle relevante stappen opnieuw doorlopen konden worden. De scripts zijn openbaar beschikbaar op Gitlab (https://gitlab.com/deltares/imod/nhi-fresh-salt/-/tree/NGR_Branch?ref_type=heads). De berekeningen zijn uitgevoerd op een externe Azure cloud server.

1.2.2 Proces

Het belang van goed drinkwater en de beschikbaarheid van voldoende bronnen van goede kwaliteit is evident groot. Provincies en drinkwaterbedrijven spelen hierin een belangrijke rol. Bescherming van grondwater legt echter ook belemmeringen op aan andere gebruiksfuncties aan maaiveld en in de ondergrond. Zo bestaat er bijvoorbeeld een spanningsveld tussen beschermen van grondwatervoorraden en het mogelijk maken van de energietransitie waarbij technieken als geothermie en gesloten en open bodemenergiesystemen steeds meer toegepast zullen worden.

Deltares en TNO voeren de NGR-studies uit in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). Het project wordt begeleid door een Begeleidingsgroep met vertegenwoordigers van IenW, Binnenlandse Zaken, het ministerie van Economische Zaken en Staatstoezicht op de Mijnen (SodM). Gezien de verantwoordelijkheden en belangen van andere partijen is daarnaast een brede klankbordgroep in het leven geroepen. De klankbordgroep bestaat naast bovengenoemde organisaties uit vertegenwoordigers van alle provincies, alle drinkwaterbedrijven, koepelorganisaties zoals VNG, UvW, IPO en Vewin, de bodemenergie en geothermie sector en de Inspectie voor Transport en Leefomgeving.

De rol van de klankbordgroep is tweeledig: Enerzijds om optimaal gebruik te kunnen maken van de kennis die beschikbaar is bij partijen in de klankbordgroep. Hiertoe zijn op gezette momenten werksessies georganiseerd met de klankbordgroep. Anderzijds is het zaak om betrokken partijen zorgvuldig te informeren over het NGR traject en om feedback te vragen op de aanpak en (tussen)resultaten, om zodoende tot breed gedragen resultaten te komen. Hiervoor zijn gedurende de looptijd van het project een aantal klankbordgroepoverleggen georganiseerd. In Tabel 1 hieronder is een overzicht gegeven van de bijeenkomsten in het eerste en tweede projectjaar.

Om de informatievoorziening tussen partijen te vergemakkelijken is in het project naast de normale communicatiekanalen ook gebruik gemaakt van een online omgeving (SharePoint), wat het mogelijk maakt om eenvoudig bestanden uit te wisselen. Daarnaast draagt het ministerie van IenW vanaf het tweede projectjaar (2023) ter voorbereiding van de uiteindelijke besluitvorming ook zorg voor informatievoorziening op bestuurlijk niveau via het Bestuurlijk Overleg Water.

Tabel 1: Overzicht bijeenkomsten Klankbordgroep en Werksessies in 1^e jaar van het project (periode maart 2022 – juli 2024)

Maand	Sessie	Doel bijeenkomst
Maart 2022	Klankbordgroep	Startoverleg; bespreken en aanscherpen aanpak
Mei 2022	Werksessie	Component 1: Vaststellen werkwijze 3D kartering, inclusief facultatieve verdiepingsslag voor regiospecifieke zaken / differentiatie
Juni 2022	Werksessie	Component 2: Inventarisatie activiteiten huidig en toekomstig gebruik/ beslag ondergrond
Juni 2022	Klankbordgroep	Stand van zaken componenten 1, 2 en 3
September 2022	Werksessie Noord Werksessie Zuid	Component 1: 3-D Kartering zoekt en brak grondwater van natuurlijke kwaliteit - Bespreken conceptresultaten kartering, aanscherpen criteria en verdere aanpak
November 2022	Klankbordgroep	Bespreken resultaten component 1, 2 en aanpak component 3
November 2022	Werksessie	Component 3: Bespreken resultaten en inbreng klankbordgroep
Januari 2023	Klankbordgroep	Bespreken eindresultaten componenten 1, 2 en 3. Vooruitblik naar werkzaamheden in tweede projectjaar0
Maart 2023	Werksessie	Gezamenlijk criteria vaststellen om de analyse winbaarheid uit te kunnen voeren en om tot technische begrenzing van de NGRs te komen, voor de 3 NGR-doelen (Natuurlijk kapitaal, calamiteiten en structurele drinkwaterwinning)
Juni 2023	Klankbordgroep	Bespreken voortgang van componenten 3, 4, 5, 6 en 7.. Speciale aandacht voor eerste resultaten van component 4 (aanvullende voorraden).
Juli 2023	Werksessie	Bespreken aanpak en te gebruiken criteria voor de winbaarheid t.a.v. kwantiteit en kwaliteit.
September 2023	Klankbordgroep	Inloop uurtje – vragen over resultaten en status activiteiten
Oktober 2023	Werksessie	Presenteren tussenresultaten van componenten 3,4 en 5. Vertaling analyse winbaarheid naar begrenzing NGRs en verkenning risico's voor NGRs en beleidsopties ter bescherming van NGRs.
November 2023	Werksessie	Bespreken conceptresultaten begrenzing NGRs en botsproeven.
Januari 2024	Klankbordgroep	Inloop uurtje – vragen over resultaten en status activiteiten
Juni 2024	Werksessie	Bespreken eindresultaten begrenzing NGRs en beschermingsopties.
Juli 2024	Klankbordgroep	Bespreken nieuwe resultaten na aanpassing getoetste natuurgebieden.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de criteria van de technische begrenzing beschreven. Hoofdstuk 3 presenteert de methode waarna de resultaten in hoofdstuk 4 worden beschreven voor achtereenvolgend de drie NGR doelen Natuurlijk kapitaal, Calamiteiten en Structurele drinkwatervoorziening. Hoofdstuk 5 en 6 delen respectievelijk de discussie en de conclusies.

2 Criteria technische begrenzing NGRs

NGRs zijn brakke en zoete grondwatervoorraden waarvan de kwaliteit niet aangetast is door menselijk handelen en die bruikbaar zijn voor drie mogelijke doelen:

1. Behoud van natuurlijk kapitaal aan grondwater dat niet beïnvloed is door menselijk ingrijpen.
2. Reservebron voor drinkwater ten behoeve van grootschalige calamiteiten.
3. Reservebron om te voorzien in de (groeierende) drinkwatervraag op de lange termijn (horizon 2050 - 2100).

Om deze voorraden te begrenzen moet deze omschrijving in karteerbare criteria vertaald worden. Afhankelijk van het NGR-doel, kunnen daar criteria bijkomen met betrekking tot technische winbaarheid of de effecten van de winning .

Natuurlijk kapitaal

Het gaat hierbij om de intrinsieke waarde van zoet en brak grondwater waarvan de kwaliteit niet beïnvloed is door menselijk handelen ('schoon' grondwater). In deze definitie is het niet van belang of het water technisch winbaar is (kunnen we het water redelijkerwijs opgepompt krijgen) en of de effecten van eventuele onttrekking acceptabel zijn. Voor de bepaling van Natuurlijk kapitaal zijn criteria die betrekking hebben op de technische winbaarheid en criteria die de effecten van winning beschrijven niet relevant.

Calamiteiten

In geval van inzet van NGRs te behoeve van calamiteiten is in principe sprake van winning van beperkte duur en/of is de nood dermate groot dat effecten van onttrekking van ondergeschikt belang zijn. De technische winbaarheid is hierbij wel een relevant criterium.

Structurele winning

In het geval dat NGRs ingezet worden ten behoeve van de van structurele drinkwatervoorziening is naast de technische winbaarheid ook van belang dat de winning geen onacceptabele effecten veroorzaakt op andere functies / andere bij het grondwater betrokken belangen.

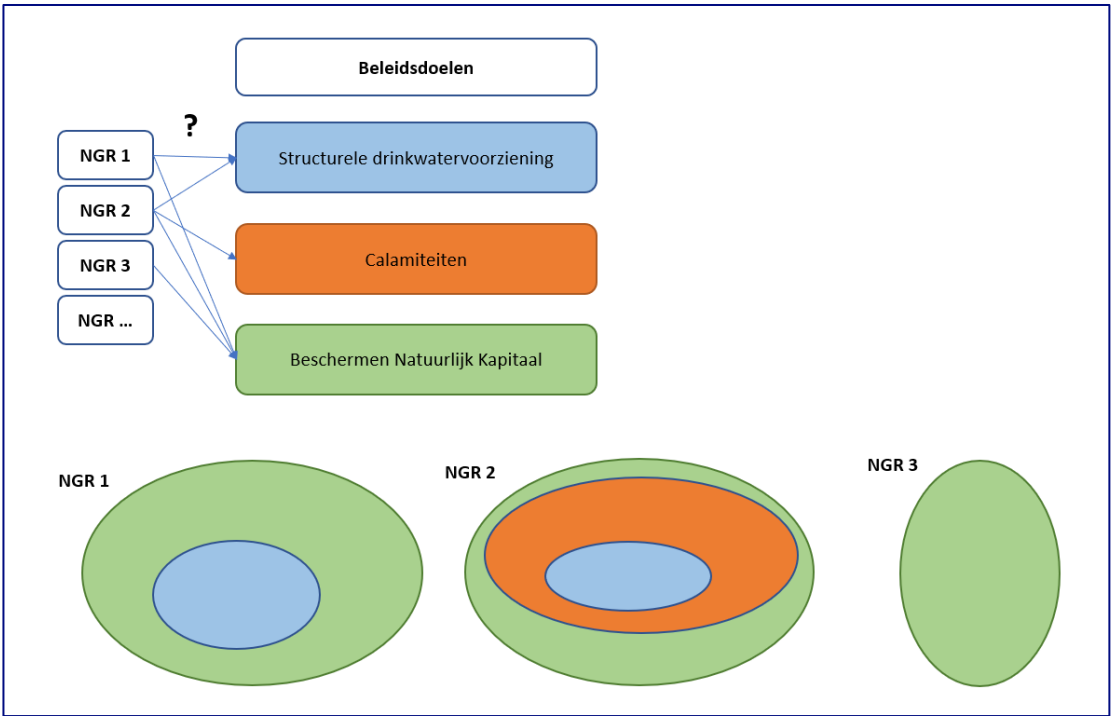
Deze drie doelen leiden achtereenvolgens tot een getrapte toepassing van basiscriteria (zoet en brak en geen menselijke beïnvloeding), van winbaarheidscriteria (kan redelijkerwijs voldoende water uit de grond opgepompt worden) en van effectcriteria (zijn de effecten van het onttrekken acceptabel). Zie Figuur 2 voor een schematische weergave van het resultaat van deze getrapte toepassing van criteria.

De winbaarheidscriteria en zeker de effectcriteria zijn bedoeld voor het afbakenen van NGRs, waarbij de ondergrondvolumes kansrijk zijn voor het betreffende doel. Wanneer daadwerkelijke inzet overwogen wordt, zal hoe dan ook aanvullend onderzoek nodig zijn om te beoordelen of een locatie daadwerkelijk geschikt is. Dit zowel vanuit technische oogpunt (in geval van inzet voor een calamiteit en bij structurele inzet) als vanuit maatschappelijk oogpunt (milieueffectenrapportage en vergunningsprocedure etc. in geval van structurele inzet).

Een belangrijk aandachtspunt bij het vaststellen van criteria is hoe we de effecten van winning en kwaliteit van het te winnen water dusdanig in beeld brengen dat dit zowel uitvoerbaar is binnen dit project op nationaal niveau en dat er ook voldoende rekening

gehouden wordt met regionale aspecten zoals verschillen in hydrogeologie en huidige situatie (effecten huidige onttrekkingen).

In Tabel 2 is deze denkwijze vertaald naar kwantificeerbare criteria om tot begrenzing van de NGRs voor de verschillende beleidsdoelen te komen. Deze criteria zijn samengesteld door de klankbordgroep tijdens de werksessie van 7 maart 2023.



Figuur 2: Schematische weergave begrenzing NGRs met stapsgewijze toepassing criteria naar beleidsdoel.

Tabel 2 Overzicht NGR criteria.

	Criterium	Natuurlijk kapitaal	Calamiteit	Structurele winning
NGR basis	Kwaliteit niet beïnvloed door menselijk handelen	Leeftijd als benadering van diffuus verontreinigingsfront: minimaal 150 jaar oud (startpunt 1950, eindpunt 2100) Voor grondwater afkomstig uit stedelijk gebied strenger criterium: startpunt 1850 ¹	Idem	Idem
	Chlorideconcentratie	Zoet: < 0,15 g Cl ⁻ /L Brak: < 5 g Cl ⁻ /L	Chloridegehalte idem	Chloridegehalte idem
	Andere waterkwaliteits-aspecten	Niet op voorhand	Niet op voorhand ²	Niet op voorhand ²
	Bovenliggende weerstand	Inclusief slechtdoorlatende lagen, omdat het om intrinsieke waarde van grondwater gaat en de winbaarheid niet relevant is.	Geen criterium opgenomen, zit impliciet in leeftijdscriterium	Geen
	Minimum oppervlakte/volume	Op voorhand geen criteria voor minimale oppervlakte of volume. Volgt eventueel na analyse eerste resultaten.	Idem	Idem
	Uitgezonderde gebieden (bijv. stedelijk gebied, ASV-gebieden, etc).	Niet op voorhand. Volgt eventueel in later stadium na eerste analyse van resultaten.	Niet op voorhand. Volgt eventueel in later stadium na eerste analyse van resultaten. Expliciet ook bijv. niet de intrekgebieden van bestaande winningen uitsluiten omdat een additionele winning daar ook kan mits de eerste winning kan blijven functioneren.	Niet op voorhand. Volgt eventueel in later stadium na eerste analyse van resultaten. Ook ASV-gebieden in eerste instantie niet uitgezonderd, omdat deze juist geschikt zijn om nieuwe winningen te realiseren, waarbij komende decennia moet blijken in hoeverre deze ingezet worden. In vervolgstap wordt besloten of een dubbelbestemming wenselijk / handig is, of dat de gebieden beleidsmatig alsnog uit de NGRs geknipt moeten worden.

Winbaarheid	Doorlaatvermogen / kD	Geen criterium	> 500 m ² /d per watervoerend pakket, waarbij we watervoerende pakketten definiëren als watervoerende lagen die gescheiden worden door een slechtdoorlatende laag met een weerstand > 500 d ³	Idem
	Onttrekkingsvolume voor toetsing	n.v.t.	10 en 20 miljoen m ³ /jaar	2 en 4 miljoen m ³ /jaar
Effect van winning	Kwaliteit onttrokken water (zowel aantrekken van jonger – potentieel verontreinigd – grondwater als voorkomen verzilting.	n.v.t.	Reistijd vanaf bovenliggend menselijk beïnvloed water én vanaf onderliggend chloridegrensvlak > 10 jaar ⁴	Idem, maar > 30 jaar ⁵ Keuze voor 30 jaar is naar analogie van ASV-aanpak Gelderland, waarin gesteld is dat aanleg en ingebruikname van een drinkwaterwinning voor een werkingsduur van minder dan 30 jaar niet rendabel is.
	Grondwaterstand – maximale daling:	n.v.t.	Geen criterium – noodsituatie	0,02 m bij Natura 2000-gebieden met grondwaterafhankelijke natuurdoelen ⁶
	- Natura 2000-gebieden - grondwaterafhankelijk			
	- Kritieke infrastructuur kwetsbaar voor verlaging van grondwaterstand en/of bodemdaling (bijv. wegen, spoorlijnen, waterkeringen)	n.v.t.	Geen selectiecriterium.	Geen criterium ⁷
	- Bebouwing / Stedelijk gebied	n.v.t.	Geen criterium – noodsituatie	Geen criterium ⁷

	- Landbouw	n.v.t.	Geen criterium – noodsituatie	Geen criterium ⁷
	- Bodemdaling (algemeen)	n.v.t.	Geen criterium – noodsituatie	Geen criterium ⁷
	Effect op bestaande onttrekkingen	n.v.t.	Geen criterium ⁸ Locaties van bestaande locaties voor drinkwaterwinning (mits openbaar beschikbaar) worden als informatielaag toegevoegd.	Geen criterium ^{7,8}
	Minimale afstand tot bodemenergiesystemen?	n.v.t.	Geen criterium – noodsituatie ⁹	Geen criterium ⁷
	Kwelveranderingen: Natura 2000-gebieden: kwelafhankelijk	n.v.t.	Geen criterium	in gebieden met kwel: afname kwelflux > 0,1 mm/dag
	Waterbalans Bijv. Eisen aan onttrekking in relatie tot neerslag - verdamping per jaar/seizoen?	n.v.t.	Geen criterium	Geen criterium
Beschermbaarheid	Voor beschermbaarheid zijn in de kartering geen additionele criteria opgenomen. Beschermbaarheid komt aan de orde in het beleidsadvies (deelrapport 6).			

- ¹ Een beperking van deze aanpak is dat stroombanen berekend worden op basis van het huidige grondwaterstromingsbeeld en de huidige landgebruikskaart. Veranderingen in het grondwaterstromingsbeeld in de periode 1850 – 2100, bijvoorbeeld als gevolg van de veranderende waterhuishouding, inpolderingen of klimaatverandering worden dus buiten beschouwing gelaten. Ook zullen we voor het tweede criterium gebruik maken van huidige kaarten van stedelijk gebied. Gezien de groei van stedelijk gebied sinds 1850 is dit een overschatting (veilige benadering).
- ² Op voorhand worden er geen gebieden uitgesloten aan de hand van andere waterkwaliteitsaspecten. Wel wordt na de initiële begrenzing, de verspreiding van stoffen die van nature voorkomen en de geschiktheid voor de bereiding van drinkwater kunnen beperken in beeld gebracht. Voor relevante stoffen zullen we via de tool grondwaterkwaliteit-in-beeld toetsen of en waar deze stoffen in te hoge concentraties voorkomen. De analyse is beschikbaar als NGR deelrapportage 5b (Gunnink et al., 2024).
- ³ Het criterium van 500 m²/d is in Nederland een relatief lage waarde, in de drinkwaterpraktijk wordt eerder 1000 m²/d gehanteerd als minimaal doorlaatvermogen. Er is bewust gekozen voor een lagere waarde, om NGR voorkomens in bijvoorbeeld uitwiggende pakketten in het oosten niet uit te sluiten.
- ⁴ Ten aanzien van waterkwaliteitsaspecten was voorgesteld dat de grondwaterkwaliteit zodanig moet zijn dat de nodige zuiveringsinstallatie binnen 2 jaar gebouwd kan worden. Deze analyse valt buiten het doel van deze verkennende studie. Dergelijke aspecten zullen aan de orde moeten komen wanneer er daadwerkelijk plannen zijn om een NGR in te zetten.
- ⁵ Dit wordt bepaald aan de hand van stroombaan analyse, waarbij geldt dat het punt afvalt als één stroombaan niet voldoet aan het criterium.
- ⁶ Wanneer de toestand van een Natura 2000-gebied niet op orde is, is geen enkele daling van grondwaterstand acceptabel. Echter, aangezien dit gaat over mogelijke inzet voor de drinkwaterwinning op de zeer lange termijn, wordt ervan uit gegaan dat er tegen de tijd dat de NGRs ingezet worden een goede grondwatertoestand heerst en een effect tot 0,02 m acceptabel is.
- ⁷ Voor structurele inzet van NGRs gaan we ervan uit dat dit voor een specifieke locatie uitgezocht wordt wanneer er plannen zijn om een onttrekking te realiseren (projectMER). Er kan dan besloten worden dat een locatie toch ongeschikt bevonden wordt of dat maatregelen worden genomen om schade aan kritieke infrastructuur etc. te voorkomen of te vergoeden in geval van landbouwschade.
- ⁸ Het is weliswaar van belang dat een 'NGR-winning' geen significante verstoring veroorzaakt van een bestaande winning voor drinkwater. Dit wordt echter niet meegenomen als toetsingscriterium, omdat op de tijdsschaal van NGRs (2050-2100 of zelfs verder) er wijzigingen in bestaande onttrekkingen kunnen optreden en er dientengevolge mogelijk onterecht of de verkeerde zones uitgesloten zouden worden als dit meegenomen wordt als criterium (onvoldoende robuust criterium).
- ⁹ In praktijk kan ook in geval van een grootschalig calamiteit een afweging nodig zijn tussen het voldoen aan de energievraag dan wel en de drinkwatervraag op een bepaalde locatie. Op voorhand is dit echter geen criterium om NGR-gebieden in te perken.

3 Methode

3.1 Afbakening initieel zoekgebied

In component 1 zijn verschillende ondergrondkarakteristieken gekarteerd: het doorlaatvermogen van watervoerende lagen, de verticale weerstand van scheidende lagen, grensvlakken van het chloridegehalte en reistijd van het grondwater vanaf maaiveld. Deze karakteristieken zijn in de vorm van landelijke, gebiedsdekkende grids met een resolutie van 250 x 250 m gekarteerd per LHM (zoet-zout)-modellaag. Deze kaarten vormen de basis voor de afbakening van het initiële zoekgebied voor de NGRs. De gekarteerde eigenschappen worden hieronder toegelicht. Uitgebreidere informatie kan gevonden worden in het rapport van component 1.

Schematisatie ondergrond LHM zoet-zout

Vanuit LHM versie 4.1 zijn landelijke grids van de top en de basis van de watervoerende en scheidende modellagen beschikbaar. De vierkante gridcellen hebben een resolutie van 250 m. Voor het overgrote deel zijn deze tot stand gekomen door samenvoeging van de (destijds) 125 REGIS II v2.2 eenheden tot de 8 LHM modellagen: 1 freatische deklaag en 7 watervoerende pakketten (en impliciet 7 tussenliggende scheidende lagen). Dit is vervolgens weer verder onderverdeeld voor de 39 lagen (waarvan 10 de freatische deklaag vormen) van LHM zoet-zout. De grotere verticale resolutie is nodig om het transport van zoet en zout grondwater nauwkeuriger te kunnen berekenen.

Doorlaatvermogen en verticale weerstand

Het doorlaatvermogen (kD) is een belangrijke maatstaf voor geschiktheid van een watervoerend pakket (WVP) voor grondwaterwinning. Op basis van de verticale hydraulische weerstand (c) worden voor begrenzing van de NGRs watervoerende pakketten onderscheiden. Watervoerende pakketten worden daarbij pas van elkaar onderscheiden bij een tussenliggende hydraulische weerstand groter dan 500 dagen. De toegepaste kD en c waarden zijn overgenomen uit LHM versie 4.1. De waarden van kD en c in het LHM versie 4.1 zijn tot stand gekomen door de doorlatendheden van iedere REGIS II V2.2 eenheid naar rato te verwerken in 8 LHM modellagen. In de totstandkoming van het LHM zijn daarbij verschillende aanpassingen gedaan aan de basisgegevens vanuit REGIS. Zo is bijvoorbeeld een recentere kartering van de keileemvoorkomens in LHM verwerkt, zijn de verticale weerstanden in de Formatie van Bortel gebaseerd op GeoTOP, is de verticale weerstand van de Waalre-klei vergroot op basis van ervaringen uit het Brabantmodel, en is de horizontale doorlatendheid van de formatie van Breda verminderd (Hunink et al., 2020). Door deze aanpassingen zijn inconsistenties ontstaan tussen REGIS en LHM. In voorliggende studie zijn de LHM waarden gebruikt.

Chloride gehalte

Het chloride gehalte van het grondwater in een NGR gebied moet minder dan 5 g Cl/L zijn. Daarnaast wordt er nog een onderscheid gemaakt tussen gebieden met zoet grondwater (< 0.15 g Cl/L) en gebieden met brak grondwater (0.15 - 5 g Cl/L). In deze component wordt gebruikt gemaakt van grensvlakken van het chloridegehalte uit component 1. De basis voor de NGR 3D-kartering van het chloridegehalte wordt gevormd door het landelijke 3D-chloridebestand dat onderdeel is van het NHI (Delsman et al., 2020). Dit bestand is tot stand gekomen door interpolatie van alle destijds beschikbare chloride-analyses, boorgatmetingen, VES-metingen en helikopter-EM surveys. De kansverdeling van de chlorideconcentratie op elke geïnterpoleerde locatie is gekarakteriseerd met het 25-percentiel, de mediaan en het 75-percentiel. In component 5 wordt gebruik gemaakt van de mediaan uit de kansverdeling van

de chlorideconcentratie op elk geïnterpoleerde locatie. Om interpolatieartefacten zo veel mogelijk te verwijderen is het chloridebestand 20 jaar ingespeeld met het LHM zoet-zout model versie 4.1.

Reistijd water vanaf maaiveld

De leeftijd van een druppel grondwater wordt bepaald door de reistijd te nemen vanaf het infiltratiemoment aan het maaiveld. De leeftijd van het grondwater dient als indicator voor antropogene vervuiling vanaf maaiveld. De reistijden van het grondwater zijn bepaald met een stationaire reistijdmodellering voor de huidige grondwatersituatie (2020) met behulp van een ‘leeftijdstracer’ (Goode, 1996). Tegelijkertijd zijn met tracers in het model ook herkomstgebieden van grondwater gekarteerd (is een grondwaterdruppel afkomstig uit een landbouw-, stedelijk-, of natuurgebied). Vervolgens zijn reistijdvlakken voor verschillende reistijden vanaf maaiveld (bijvoorbeeld 75, 150, 200 jaar) uit de resultaten afgeleid. Grondwater ouder dan 150 jaar in niet stedelijke gebieden wordt gezien als schoon water. De rationale achter deze 150 jaar is dat de intensivering van de landbouw zo’n 50 jaar geleden is gestart (waarna de kans op diffuse verontreinig van grondwater sterk is toegenomen), en menselijk beïnvloed water de NGRs de komende 100 jaar niet mag bereiken. In stedelijke gebieden is een grotere marge van 250 jaar genomen, omdat in stedelijke omgeving al eerder vervuiliingsbronnen aanwezig waren.

De combinatie van de gekarakteriseerde schematisatie van de ondergrond, doorlaatvermogen, verticale weerstand, chloridegehaltes en leeftijd van het water resulteert in een 3D beeld van Nederland. De gebieden die voldoen aan de basiscriteria voor chloridegehalte en leeftijd van het water zijn geschikt als NGR Natuurlijk kapitaal. De gebieden die ook voldoen aan het winbaarheid criterium vormen het initiële zoekgebied voor de NGRs met als beleidsdoel calamiteit of structurele winning. Hiervoor geldt dat de kD per watervoerend pakket groter dan 500 m²/d moet zijn. Voor de uiteindelijke aanwijzing van NGR gebieden voor calamiteit en structurele winning moeten de gebieden ook nog voldoen aan de effecten criteria. Dit wordt in de volgende paragraaf besproken. Figuur 22 in Bijlage B geeft een stroomschema van de totstandkoming van de initiële begrenzing van NGRs.

3.2 **Modelberekeningen wandelend pompstation**

Binnen het initiële zoekgebied is vervolgens voor de NGRs Calamiteit en Structurele winning onderzocht waar de locaties binnen het zoekgebied voldoen aan de ‘Effect van winning’-criteria. Dit is onderzocht met een wandelend pompstation, waarbij elke 2 km, in elk watervoerend pakket binnen de initiële begrenzing een winning is geplaatst, effecten zijn berekend en getoetst op de betreffende criteria. Hiervoor is gebruik gemaakt van een uitsnede uit het volledige model rondom de winlocatie. De ‘elke 2 km’ is uit praktische overwegingen, het aantal benodigde berekeningen loopt snel op met een kleinere tussenafstand. Figuur 23 in Bijlage B geeft een stroomschema van de verschillende stappen in het rekenproces. Deze verschillende stappen worden hieronder nader toegelicht.

Bepaling locaties

Modellocaties zijn voor NGRs Calamiteit en Structurele winning afzonderlijk bepaald op elke 2 km in de x- en y- richting en elk watervoerend pakket dat voldoet binnen het initieel begrensde NGR-gebied. Er kunnen dus meerdere potentiële NGRs verspreid over de diepte van de ondergrond zitten op één locatie, wanneer er meerdere watervoerende pakketten in de diepte voldoen aan de initiële criteria. Per punt is ook gekeken of het gaat om een onttrekkingsbron in zoet water (< 0.15 g Cl/L) of in brak water (0.15-5 g Cl/L). Hiervoor is de hoogste chloridewaarde op die locatie over de gehele diepte van het watervoerende pakket gebruikt. Het kan dus voorkomen dat een deel van het water in een ‘brakke’ onttrekking te kenschetsen is als zoet.

Referentiemodel

Om de effecten van de grondwateronttrekking te bepalen voor elk punt is de uitgangstoestand voor heel Nederland (zonder extra onttrekking) stationair berekend met LHM zoet-zout versie 4.1.2. Dit referentiemodel (zie Tabel 3) vormde de basis voor de modellen die in een volgende stap per locatie gemaakt zijn. De initiële zoutconcentratie van dit referentiemodel is de 20 jaar ingespeelde mediane waarde uit het landelijke 3D-chloride bestand. De berekeningen zijn uitgevoerd met iMOD-WQ versie 5.4. De resultaten van het landsdekkende referentiemodel (stijghoogten en kwelfluxen) zijn gebruikt om de effecten van de grondwateronttrekkingen te beoordelen.

Tabel 3: Referentiemodel

Referentiemodel	Informatie
Software reactief transport	iMOD-WQ versie 5.4
Model	LHM zoet-zout versie: 4.1.2
Resolutie model grid	250 m x 250 m
Aantal lagen	39
Chloride gehalten	LHM-p50 (20 jaar inspeeltijd)
Schematisatie ondergrond, kD en c waarden	Gebaseerd op REGIS II V2.2
Leeftijd water	Stationaire reistijdmodellering met leeftijd- en herkomsttracers

Bepaal modeldomein en uitsnede model uit referentiemodel

Vervolgens zijn er per potentiële winlocatie vier afzonderlijke modellen gecreëerd om de effecten per beleidsdoel (structurele winning en calamiteit) en per onttrekkingsdebiet (2, 4, 10 en 20 miljoen m³/jaar) te toetsen. Tabel 4 geeft een overzicht van de eigenschappen van deze modellen. De wandelend-pompstation-modellen zijn gemaakt door een vierkant model uit het referentie LHM zoet-zout model te snijden, rondom de coördinaten van de potentiële winlocatie. De grootte van het model is bepaald met behulp van de vergelijking van De Glee (De Glee, 1930). Op basis van het voortschrijdend gemiddelde van de kD (aritmetisch gemiddelde) en c (harmonisch gemiddelde) in het gebied is de afstand berekend tot waar de onttrekking nog invloed heeft op de stijghoogte (maximaal 0.001 m verschil) in het gebied. Het voortschrijdend gemiddelde werd bepaald door het gemiddelde te berekenen over een verschuivend gebied van 40 km x 40 km. De analytisch berekende afstand is vermenigvuldigd met een factor 5 als extra marge. Om de rekentijd beperkt te houden, is maximale domein grootte ingesteld op 50 km x 50 km. Mocht een model uiteindelijk na de berekeningen met iMOD-WQ toch randeffecten vertonen dan werden de berekeningen opnieuw uitgevoerd zonder een maximale afstand tussen de rand en de put en met een minimale afstand van 25 km.

Randvoorwaarden en stationaire berekening modeluitsnede

Op de randen van ieder model is een vaste stijghoogte ingesteld (Dirichlet randvoorwaarde), gebaseerd op de berekende stijghoogten uit het referentiemodel. De startcondities (stijghoogte en zoutgehalte) volgen ook uit het referentiemodel. Breuken (HFB-package) en isotropie (ANI-package) zijn overgenomen vanuit het referentiemodel en per model aangepast aan het nieuwe modeldomein. De overige randvoorwaarden worden door iMOD-WQ 'automatisch' geknipt uit de randvoorwaarden van het referentiemodel. De onttrekkingsput is als WEL-package toegevoegd aan het model. De extractie van 2, 4, 10 of 20 miljoen m³/jaar is omgerekend naar een debiet per dag. Dit debiet is vervolgens verdeeld over de lagen binnen het geschikte watervoerende pakket. De verdeling is naar rato van de kD per laag ten op zichte van de totale kD van het watervoerend pakket. In totaal zijn er rond

de 60.000 modellen gecreëerd. Deze zijn allemaal stationair doorerekend met iMOD-WQ versie 5.4. Er is gebruikt gemaakt van een externe Azure server om deze vele berekeningen te kunnen uitvoeren. Door de gekozen werkwijze (gemodelleerde onttrekkingsfilter verdeeld over gehele watervoerende pakket) kunnen onrealistisch lange filters ontstaan. Dit kan mogelijk effect hebben op de toetsing op het verziltingscriterium, omdat eventueel te diep water wordt aangetrokken.

Tabel 4: Kenmerken modellen wandelend pompstation.

Wandelend pompstation	Informatie
Resolutie	2 km x 2 km (resolutie modelberekeningen 250 m x 250 m)
Criteria chloride gehalte	Zoet: < 0,15 g Cl ⁻ /L Brak: 0,15 - 5 g Cl ⁻ /L (LHM-p50, 20 jaar inspeeltijd)
Criteria leeftijd water	Niet stedelijk gebied: >150 jaar Stedelijk gebied: >250 jaar
Criteria kD WVP	> 500 m ² /d
Model	(Deel)model geknipt uit referentiemodel (LHM zoet-zout versie: 4.1.2)
Randvoorwaarden	Constante stijghoogte uit referentiemodel
Onttrekkingsdebiet put	Calamiteit: 10 en 20 miljoen m ³ /jaar, Structurele winning: 2 en 4 miljoen m ³ /jaar (Debiet verdeeld over alle lagen binnen het watervoerend pakket, naar rato van de kD per laag)
Initiële stijghoogtes en chloride gehalten	Referentiemodel LHM zoet-zoet versie 4.1.2

Stroombaan berekening

Na het doorrekenen van elk uitgesneden stationair model is er een stroombaananalyse uitgevoerd om de kwaliteit van het onttrokken water te achterhalen. De stroombanen zijn berekend met de iMODPATH functie in iMOD-V5.2, gebruikmakend van de berekende fluxen in het geknipte stationaire model. Rond de onttrekkingsbron zijn 400 deeltjes losgelaten in een straal van 200 m in het horizontale vlak. De 400 deeltjes zijn verdeeld over de gehele diepte van het filter. De herkomst van deze 400 deeltjes is vervolgens uitgerekend met de “backward” methode van iMODPATH. Hiermee wordt uitgerekend waar deeltjes die in de onttrekking terechtkomen vandaan zijn gekomen. De stroombanen die hiermee uitgerekend zijn geven de reistijd van het deeltje aan. Hiermee kon later bekeken worden of er binnen 10 jaar (NGR Calamiteit) of 30 jaar (NGR Structurele winning) te zout of te jong water werd onttrokken.

Tabel 5 Kenmerken stroombaanberekening.

Stroombaan berekening	Informatie
Software	iMODPATH functie in iMOD versie 5.2
Methode	Backward particle tracking (losgelaten deeltjes bewegen in tegengestelde richting als de grondwaterstroming, van winfilter terug naar maaiveld)
Aantal deeltjes	400
Straal rond put	200 m
Diepte rond put	Deeltjes verdeeld over elke 20 m

Toetsing randeffecten

Nadat de berekeningen zijn uitgevoerd werd gecheckt of het modeldomein groot genoeg was. De stijghoogten van de cellen naast de rand zijn vergeleken met het referentiemodel. Was er een grotere afwijking dan 0.005 m dan treden er mogelijk randeffecten op van de opgelegde stijghoogten. Het model is dan opnieuw gedraaid met een groter modeldomein (minimaal 50 km x 50 km). Ook is er gekeken naar de stroombanen. De leeftijd van de deeltjes die bij de rand van het model aankomen moeten minimaal 10 jaar (voor NGR Calamiteit) en 30 jaar (NGR Structurele winning) zijn om de herkomst van het onttrokken water te kunnen achterhalen. De modellen die hier niet aan voldeden zijn ook opnieuw uitgerekend met een groter modeldomein.

3.3 Evaluatie winbaarheid criteria

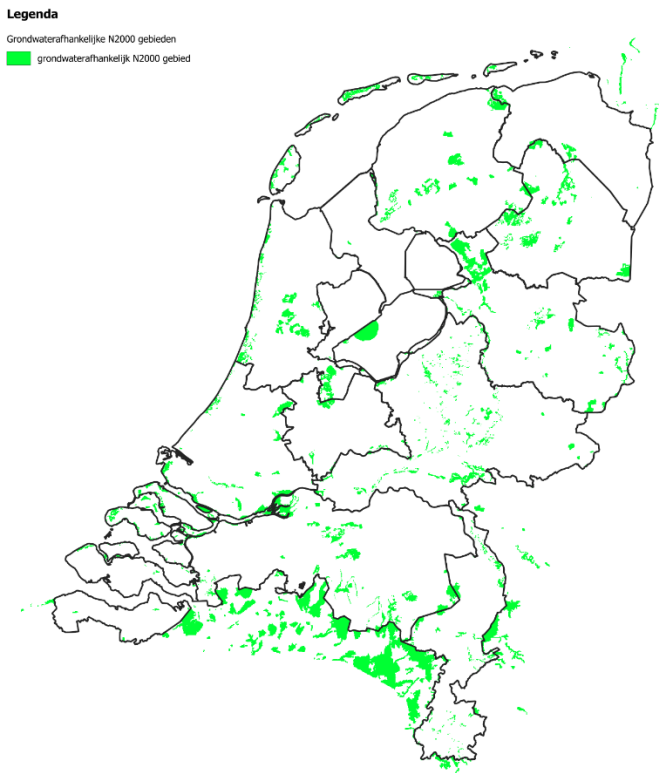
Voor de analyse van de effecten van de onttrekkingen is gebruik gemaakt van het ingespeelde NHI zoet-zout 3D chloridebestand en de reistijd- en herkomstberekening. Voor elke LHM zoet-zout modelcel is hierbij aangegeven of het zoutgehalte zout (≥ 5 g Cl/L), brak (0.15-5 g Cl/L), of zoet (< 0.15 g Cl/L) is. Ook is aangegeven of leeftijd van het water minimaal 150 jaar (reistijd vanaf maaiveld) is of minimaal 250 jaar is voor grondwater met een stedelijke herkomst. Voor de beoordeling van de Natura 2000 criteria is gebruik gemaakt van een kaart met daarop alle Natura 2000-gebieden in Nederland en in de delen van België en Duitsland die binnen het bereik van het LHM vallen. Voor de analyse is er alleen gekeken naar de Natura 2000-gebieden die afhankelijk zijn van het grondwater (Van Den Eertwegh et al., 2019).

Vervolgens zijn de effecten van de winning getoetst (zie Tabel 6). Voor de beleidsdoelen Calamiteit en Structurele winning is de herkomst van het onttrokken water getoetst. Binnen een gestelde termijn (10 jaar voor Calamiteit, 30 jaar voor Structurele winning) mag er geen 'te zout' en geen 'te jong' grondwater in de onttrekking komen. De concrete vertaling hiervan is dat er geen deeltje in de 'backwards particle tracking' binnen de gestelde termijn in een 'te zoute' of 'te jonge' cel terecht mag komen. 'Te zout' is daarbij voor een onttrekking die zich in brak water bevindt grondwater met een chloridegehalte van meer dan 5 g Cl/L. Voor een onttrekking die zich in zoet water bevindt, is te zout grondwater ook brak grondwater, dus met een chlorideconcentratie meer dan 0.15 g Cl/L.

Voor het beleidsdoel Structurele winning is daarnaast getoetst op effecten op grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden. In deze gebieden (Figuur 3, de totstandkoming van deze kaart is beschreven in bijlage G) mag verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de onttrekking niet meer dan 0.02 m ten opzichte van het referentiemodel bedragen. Bij een grotere grondwaterstandverlaging dan dit criterium valt de locatie af voor het beleidsdoel Structurele winning. Ook is er gekeken of er in de Natura 2000-gebieden in het referentiemodel een kwelflux aanwezig was. In deze gebieden met kwelflux werd getoetst of de kwelflux met niet meer dan 0.1 mm/dag afnam. Als een locatie afviel, werd genoteerd wat het gemiddelde en maximale afname in grondwaterstand/kwelflux is en hoe groot het getroffen gebied is. De Natura 2000 criteria zijn niet van toepassing voor beleidsdoel Calamiteit.

Tabel 6: Evaluatie effecten criteria.

Criteria	Waardes
Natura 2000 verlaging grondwaterstand	Maximaal 0.02 m (t.o.v. van het referentiemodel)
Natura 2000 verandering kwelflux	Maximaal 0.1 mm/dag binnen kwellende gebieden
Reistijd stroombanen onttrokken water	Calamiteit: 10 jaar Structurele winning: 30 jaar
Leeftijd onttrokken water	Niet stedelijk gebied: >150 jaar Stedelijk gebied: >250 jaar
Chloride gehalte onttrokken water	Zoet punt: < 0,15 g Cl ⁻ /L Brak punt: < 5 g Cl ⁻ /L (LHM-p50)
Aantal stroombanen dat mag falen (leeftijd, chloride gehalte)	0



Figuur 3 Grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden. Totstandkoming van deze kaart is beschreven in bijlage G.

3.4 Draagkrachtanalyse NGR Structurele winning

In de evaluatie zijn de mogelijke locaties elk afzonderlijk getoetst op overschrijding van de winbaarheidscriteria. Wanneer evenwel meerdere winlocaties in de NGR Structurele winning worden ingericht, zullen cumulatieve effecten optreden, die daarmee de gestelde criteria alsnog kunnen overschrijden. Bij ingebruikneming van de NGR Structurele winning met meerdere winningen zal dan ook naar locaties binnen het gekarteerde gebied moeten worden gezocht, waarbij effecten niet overlappen, of waarbij het cumulatieve effect alsnog voldoet aan de gestelde criteria. De vraag komt dan ook op hoeveel water maximaal uit de

NGR Structurele winning kan worden gewonnen, waarbij de cumulatieve effecten de gestelde criteria niet overschrijden.

Theoretisch zijn er vele verdelingen van winlocaties binnen het gekarteerde gebied mogelijk, die opgeteld de criteria niet overschrijden. Deze verdelingen zijn onmogelijk alle te onderzoeken. Er is daarom met een pragmatische methode gezocht naar een verdeling van winningen binnen het gekarteerde gebied, die binnen de gestelde criteria het te winnen debiet maximaliseert. In deze methode wordt uitgegaan van het superpositie-principe, dat stelt dat grondwatereffecten – als het grondwatersysteem lineair reageert – opgeteld mogen worden. Omdat het grondwatersysteem zeker in de aanwezigheid van drainagemiddelen die wel / niet draineren niet lineair is, wordt het voorlopige resultaat vervolgens in een gecombineerde modelberekening doorerekend en geanalyseerd.

De cumulatieve effecten zijn alleen bekeken op het grondwaterstandsverlagingsbeeld. Er is verder alleen gebruik gemaakt van de beschikbare onttrekkingsdebieten van 2 en 4 miljoen m³/jaar. Verder is, om onrealistisch grote freatische verlagingen te voorkomen in gebieden op grotere afstand van grondwaterafhankelijke Natura 2000 gebieden, een additioneel criterium gesteld van maximaal 1 m freatische grondwaterstandsverlaging in niet-Natura 2000 gebieden.

De volgende stappen zijn gevolgd:

- 1) Bepaal maximale draagkracht eerst per locatie
Voor locaties waar op meerdere diepten mogelijke winningen zijn gekarteerd, wordt het cumulatieve effect van deze winningen bepaald. Dit gebeurt op basis van het per mogelijke winning opgeslagen resultaat voor de maximale grondwaterstandsvaling in Natura 2000-gebieden en daarbuiten.
 - a. Tel de maximale verlaging op voor de onttrekkingen op deze locatie voor verschillende WVP's voor het maximale debiet van elke onttrekking
 - b. Verminder het debiet (van 4 naar 2 miljoen m³/jaar) of uiteindelijk verwijder de onttrekking als het opgetelde maximale effect een criterium overschrijdt. Werk hierbij van ondiep naar dieper WVP.
- 2) Bepaal vervolgens de maximale draagkracht van gecombineerde locaties
Hierbij is gebruik gemaakt van de opgeslagen freatische grondwaterstandsverlaging van de onderzochte locaties / onttrekkingshoeveelheden. De volgende stappen zijn in een aantal iteraties afgelopen:
 - a. Sommeer het ruimtelijke freatische grondwaterstandsverlagingsbeeld voor overblijvende locaties,
 - b. Test criteria voor het gesommeerde verlagingsbeeld,
 - c. Per locatie die niet voldoet:
 - i. Bekijk welke onttrekking het meeste bijdraagt aan de te grote verlaging
 - ii. Verwijder deze onttrekking en vervang als mogelijk door onttrekking met lager debiet (van 4 naar 2 miljoen m³/jaar) of verwijder volledig.
 - d. Stop als het gesommeerde verlagingsbeeld overal voldoet, anders terug naar a)
- 3) Als laatste stap is een controleberekening uitgevoerd met alle overblijvende onttrekkingen toegevoegd aan het LHM zoet-zout. Wanneer uit deze controleberekening nog overschrijdingen naar voren kwamen, zijn handmatig onttrekkingen verwijderd.

3.5 Vingeroefening clustering NGR gebieden

In voorgaande stappen zijn voorlopige NGR gebieden gekarteerd die voldoen aan de gestelde criteria voor het betreffende beleidsdoel. Deze kartering heeft op 'celniveau'

plaatsgevonden, en kent zowel grotere aaneengesloten gebieden als kleine losliggende gebieden. Definitieve aanwijzing vergt verdere discussie op beleidsniveau, onder meer over de beschermbaarheid. Om deze discussie te ondersteunen zijn enkele aanvullende analyses gedaan die handvaten bieden om de gekarteerde gebieden nader in te kunnen perken. De analyses bieden alvast een eerste inzicht in de grootte van potentiële gebieden. Dit brengt ook de opties in beeld om de gebieden eventueel verder in te perken tot de meest robuuste kern. Deze robuuste kern bestaat uit de gebieden die de grootste potentie hebben en het makkelijkste beschermd kunnen worden.

Voor beleidsdoel Natuurlijk kapitaal is 2D in beeld gebracht hoeveel doorstroomde dikte gekarteerd is als Natuurlijk kapitaal. De achterliggende gedachte hierbij is dat je wellicht primair de gebieden wil beschermen waar zich het meeste grondwater van Natuurlijk kapitaal in de ondergrond bevindt. In deze analyse is alleen de watervoerende dikte in beeld gebracht, waarbij als extra eis is gesteld dat de volledige watervoerende dikte van een watervoerend pakket voldoet aan de criteria voor Natuurlijk kapitaal. Deze totale doorstroomde dikte Natuurlijk kapitaal is vervolgens verder opgedeeld in zoet en brak water.

Een ander uitgangspunt om de aangewezen NGR Natuurlijk kapitaal ruimtelijk in te perken kan de natuurlijk aanwezige bescherming zijn, in de vorm van bovenliggende scheidende lagen. Er is daarom in beeld gebracht hoeveel doorstroomde dikte van Natuurlijk kapitaal zich onder scheidende lagen met een bepaalde weerstand bevindt. Dit is in beeld gebracht voor een cumulatieve bovenliggende weerstand van 1000, 2000, 5000 en 10.000 dagen.

Voor de NGRs voor beleidsdoelen Calamiteit en Structurele winning is elk het aaneengesloten volume bepaald, en zijn vervolgens de grootste aaneengesloten volumes geselecteerd. Aaneengesloten betekent hier dat een drie-dimensionale cel (x, y, laag) die voldoet aan de criteria horizontaal dan wel verticaal direct verbonden is met een andere cel die aan de criteria voldoet. Het totale aaneengesloten volume is vervolgens bepaald als de som van alle celvolumes (celbreedte * cellengte * laagdikte) binnen dit aaneengesloten volume. Het aaneengesloten volume betreft hiermee het ‘grondvolume’, niet het winbaar volume. Deze analyse is uitgevoerd voor zowel zoete als brakke NGR gebieden. Voor NGR Structurele winning is de analyse ook uitgevoerd voor het gebied dat in de draagkrachtanalyse ook cumulatief voldoet aan de gestelde criteria.

3.6 Lange termijn ontwikkelingen

De Nationale Grondwater reserves zijn bedoeld voor periode vanaf 2100. In de eerder besproken modelanalyse van het wandelend pompstation zijn geschikte gebieden bepaald aan de hand van de huidige situatie. Het grondwatersysteem is echter dynamisch. Daarom is in Component 3 (De Louw & Pouwels, 2023; Janssen & Meeusen, 2024) gekeken naar de invloed van lange termijn ontwikkelingen op het grondwatersysteem (tijdshorizon 2100). Daarbij is onderzocht in hoeverre die ontwikkelingen van invloed kunnen zijn op de begrenzing en/of kwaliteit van de NGRs. Een aantal voorbeelden zijn:

- uitbreidingen in grondwateronttrekkingen (drinkwatervraag),
- klimaatscenario's, zeespiegelstijging, bodemdaling,
- inrichting en landgebruik,
- autonome verzilting,
- lange termijn effecten van (beëindigen van) bruinkoolwinning.

De hoofdvraag is uiteindelijk in hoeverre deze ontwikkelingen van invloed kunnen zijn op de kartering van de NGRs. Het is belangrijk om uiteindelijk de meest robuuste kern van de mogelijke NGR locaties aan te wijzen als gebied om te beschermen. Uit de tussentijdse resultaten van voorliggend rapport en het onderzoek van Component 3 (Janssen & Meeusen,

2024) kan geconcludeerd worden dat de effecten van de lange termijn ontwikkelingen op de NGR-kartering voornamelijk zullen voortvloeien uit veranderende grondwateraanvulling, grotendeels los van de effecten op de grensvlakken. De hoekpunten van deze verschillende ontwikkelingen zijn verkend door twee scenario's door te rekenen:

- Klimaatverandering volgens het Hd-scenario (Hoge uitstoot, droog)
- Herinrichting watersysteem volgens Water+Bodem sturend principes, geen klimaatverandering

In beide scenario's worden daarbij ook autonome verziltingsprocessen, zeespiegelstijging en bodemdaling opgenomen. De modelaanpassingen worden kort beschreven in Bijlage F, een uitgebreide beschrijving is te vinden in (Janssen & Meeusen, 2024).

Klimaatverandering volgens het Hd-scenario heeft een mogelijk effect op de winbaarheid van de NGRs vanwege een sterke reductie van de grondwateraanvulling. Dit kan leiden tot een grotere verlaging van de grondwaterstand door onttrekkingen. Merk hierbij op dat de toegepaste afname van de grondwateraanvulling waarschijnlijk een overschatting betreft, doordat de verwachte reductie van de actuele verdamping door droogtestress van gewassen maar beperkt kon worden meegenomen (Janssen & Meeusen, 2024). De herinrichting van het watersysteem zorgt eerder voor een toenemende grondwateraanvulling. Beide ontwikkelingen hebben daarbij een ruimtelijk wisselend effect op de verplaatsing van het zoet-zoutgrensvlak en de grens van 'te jong' water.

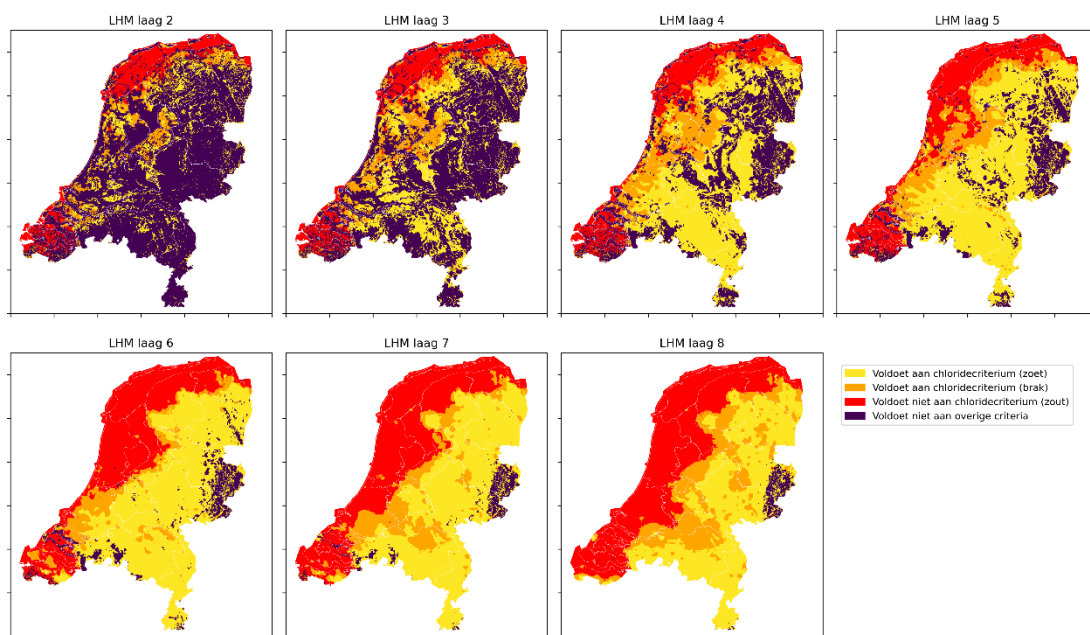
Voor beide lange termijn scenario's is eenzelfde winbaarheidsanalyse uitgevoerd als voor de huidige situatie. De wandelend pompstation berekeningen zijn daarbij uitgevoerd op de berekende grondwatersituatie (randvoorwaarden, zoet-zoutverdeling en grondwaterleeftijd) voor het jaar 2100 van beide scenario's. In deze berekeningen geldt de grondwatersituatie in het jaar 2100 als referentie, ten opzichte waarvan de grondwaterstandsverlagingen worden berekend. Merk op dat hierdoor ook bij de toekomstige ontwikkelingen wordt verondersteld dat Natura 2000-gebieden in het jaar 2100 in de referentiesituatie in goede toestand gebracht zijn. De stroombaananalyse wordt op dezelfde manier uitgevoerd als voor de huidige situatie, alleen met een veranderde zoet-zoutverdeling en grondwaterleeftijd.

4 Resultaten

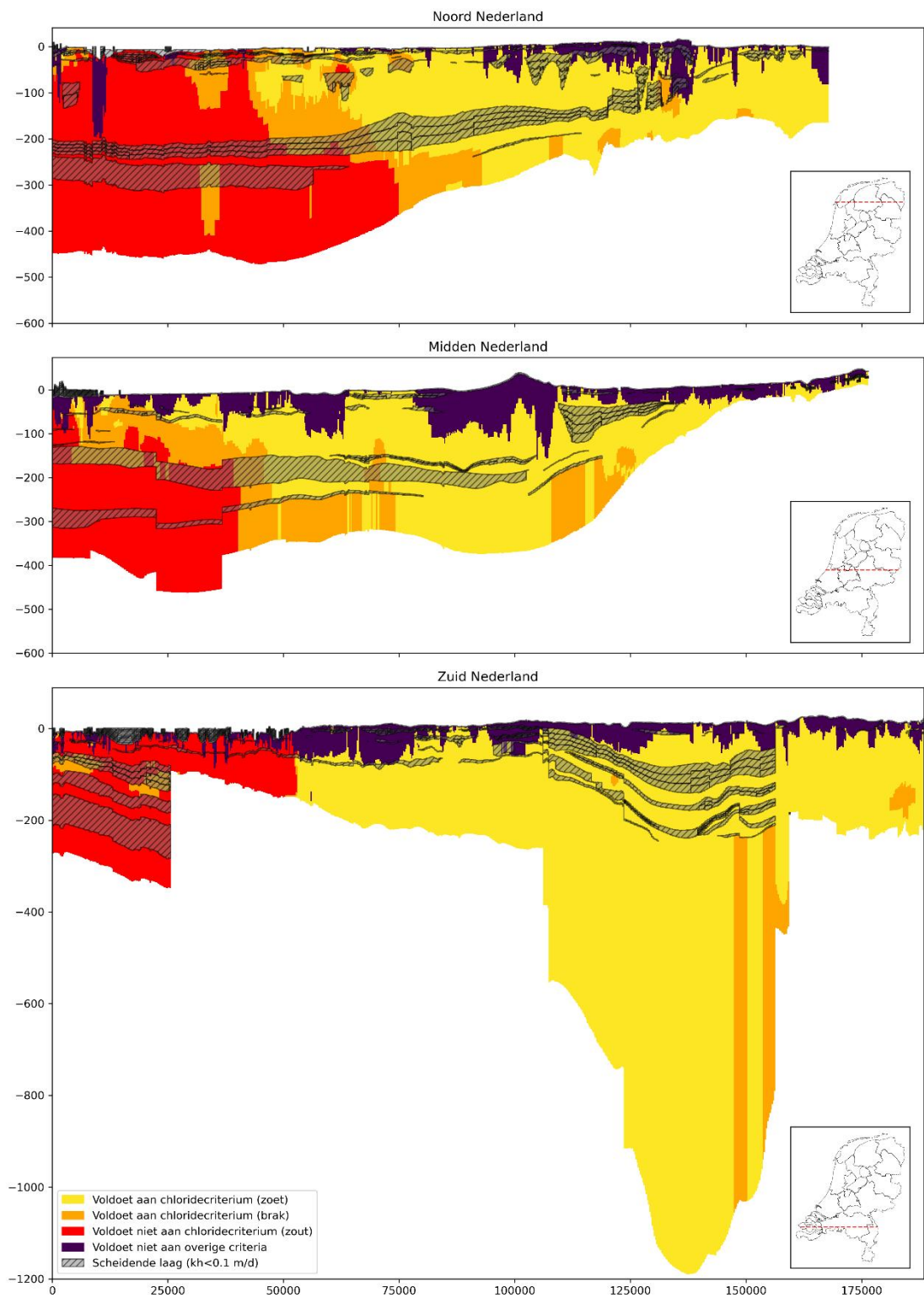
4.1 Natuurlijk kapitaal

De afbakening op grond van de basiscriteria voor de NGR beleidsdoel Natuurlijk kapitaal geeft het initiële zoekgebied weer voor Natuurlijk kapitaal. Het zoekgebied wordt aan de bovenzijde begrensd door het grensvlak met 'te jong', menselijk beïnvloed water. In het westelijk deel van Nederland wordt het zoekgebied aan de west- en onderzijde begrensd door het zout-brak grensvlak (5 g Cl/L). Verder wordt het zoekgebied aan de onderzijde begrensd door de geohydrologische basis. Conform de gestelde criteria maken zowel watervoerende als weerstand biedende lagen deel uit van het zoekgebied. Figuur 4 geeft de kartering van het initiële zoekgebied van NGR Natuurlijk kapitaal voor de 8 LHM modellagen, Figuur 5 geeft het initiële zoekgebied voor drie doorsneden door Nederland. Het initiële zoekgebied voor NGR Natuurlijk kapitaal omvat een groot deel van de Nederlandse ondergrond. Alleen in de Zeeuwse ondergrond, de Waddeneilanden en in het oosten waar Tertiaire lagen tot dicht onder de oppervlakte voorkomen wordt hoegenaamd geen Natuurlijk kapitaal gekarteerd.

De 150 jaar leeftijdsgrens is op verschillende momenten bediscussieerd in de werksessies. Het is immers slechts een indicator, en geen harde maat voor vervuiling van grondwater. Zo vallen bijvoorbeeld gebieden met jong grondwater dat is geïnfiltreerd in natuurgebieden zoals de Veluwe buiten de definitie. Ook in de duinen langs de kust vallen locaties af op het leeftijdscriterium. Na discussie is besloten de grens te handhaven, wegens het karakter van de NGR Natuurlijk kapitaal als oud, niet menselijk beïnvloed grondwater.



Figuur 4 Initieel zoekgebied NGR Natuurlijk kapitaal per LHM laag. LHM laag 2 correspondeert met het eerste watervoerende pakket, afhankelijk van tussenliggende weerstand zijn daaropvolgende LHM lagen diepere watervoerende pakketten.

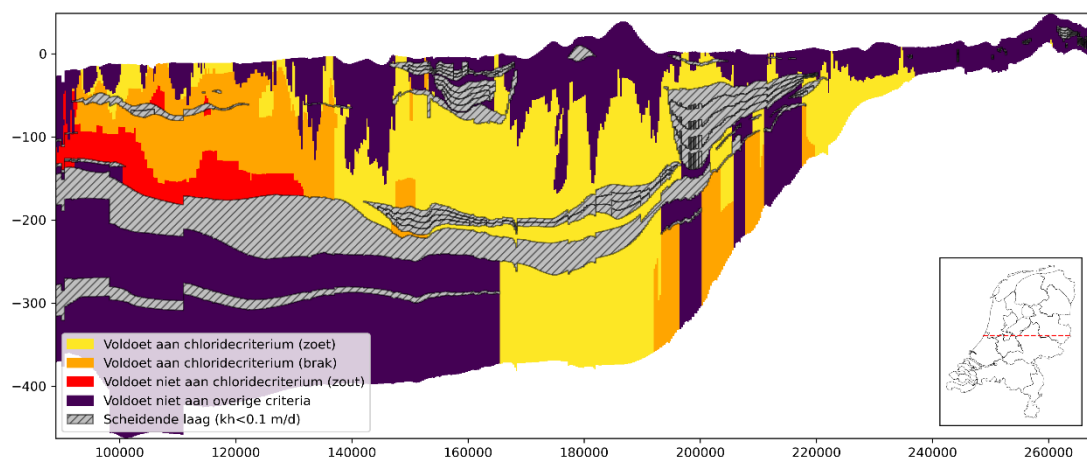


Figuur 5 Initieel zoekgebied NGR Natuurlijk kapitaal voor drie doorsneden door Nederland.

4.2 Calamiteit

4.2.1 Initieel zoekgebied NGR Calamiteit

De eerste afbakening van het zoekgebied voor de NGR met beleidsdoel Calamiteit is gemaakt door toetsing aan de basis- en winbaarheidscriteria voor beleidsdoel Calamiteit. De basiscriteria zijn identiek aan de NGR Natuurlijk kapitaal, behalve dat de weerstand biedende lagen zijn uitgesloten van de NGR. Daarnaast wordt een minimaal doorlaatvermogen per watervoerend pakket van 500 m²/d gehanteerd. Naast het uitsluiten van de weerstand biedende lagen worden door dit minimaal doorlaatvermogen verschillende watervoerende pakketten uitgesloten van de eerste afbakening. Zo valt een belangrijk deel van het diepste watervoerende pakket af op dit criterium, net als het ondiepe grondwatersysteem in het oosten (vergelijk Figuur 6 met Figuur 5, midden). Zie bijlage C voor meer dwarsdoorsneden. Merk op dat de afbakening van de NGR Calamiteit zich richt op het te winnen volume water. Dit sluit niet uit dat ook bijvoorbeeld weerstand biedende lagen die zich onder of boven de gekarteerde NGR bevinden uiteindelijk beschermd dienen te worden.

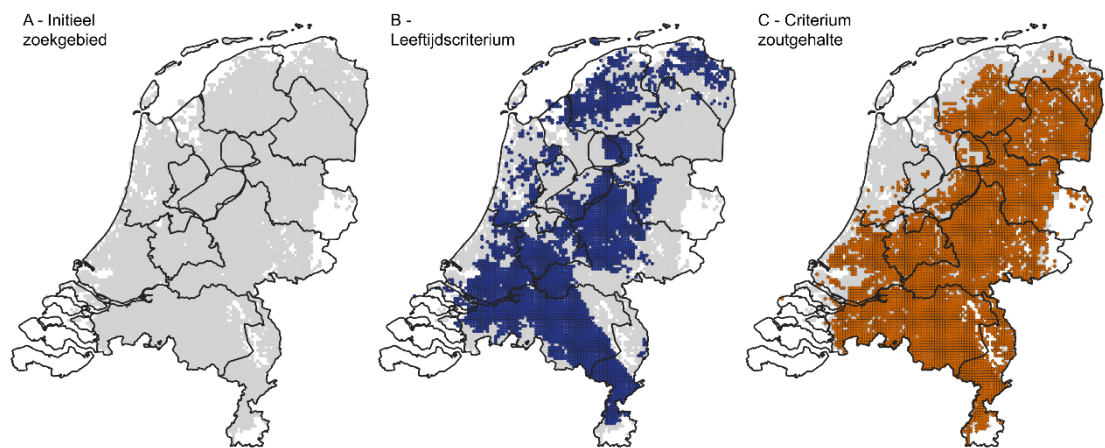


Figuur 6 Initieel zoekgebied NGR Calamiteit voor een W-O doorsnede over Midden Nederland.

4.2.2 Evaluatie effecten winning

Het initieel zoekgebied is vervolgens geanalyseerd op effecten van een winning met behulp van een wandelend pompstation. De NGR Calamiteit wordt hierbij getoetst op het binnen 10 jaar aantrekken van 'te jong', dan wel 'te zout' grondwater door de winning. Effecten op natuurgebieden wordt niet getoetst.

Figuur 7A geeft het initieel zoekgebied: de locaties die voldoen aan de basis en winbaarheid criteria voor NGR Calamiteit. De kaart laat alleen het bovenaanzicht zien, er kunnen meerdere punten onder één stip vallen. De punten kunnen namelijk op meerdere dieptes voorkomen op de zelfde locatie. Voor elke punt is er een apart model gedraaid waarmee de effecten van de winning doorgerekend zijn. Figuur 7B geeft aan welke locaties voldoen aan het leeftijd criterium. In het oosten vallen relatief veel locaties af doordat de m watervoerende pakketten hier relatief dun zijn en er geen dikke weerstand biedende kleilaag boven ligt. Hierdoor heeft het grondwater in deze gebieden een te korte reistijd en valt af op basis van het leeftijd criterium. Figuur 7C laat zien welke locaties voldoen aan het chloride criterium. Langs de kust en in grote delen Noord-Holland vallen locaties af. Relatief veel locaties langs de kust voldoen alsnog aan het chloride criterium doordat op er verschillende dieptes gekeken wordt naar het chloride gehalte. Zodra één WVP in de diepte voldoet aan het criterium verschijnt er een stip voor die locatie op de 2D kaart.



Figuur 7: Evaluatie locaties NGR Calamiteit voor een onttrekkingsdebiet van 10 en 20 miljoen m³/jaar. De gekleurde stippen geven aan dat een locatie voldoet aan het getoonde criterium. Op één locatie kunnen meerder geschikte punten liggen, variërend in diepte of onttrekkingsdebiet. De grijze gebieden voldoen niet aan de gestelde effecten criteria. De witte gebieden zijn niet meegenomen in deze analyse omdat ze niet voldoen aan de basis en winbaarheid criteria. A) Het initiële zoekgebied voor NGR Calamiteit. B) Leeftijd (leeftijd onttrokken grondwater >100 jaar in niet stedelijk gebied, > 250 jaar in stedelijk gebied). C) Chloride gehalte (zoet: < 0.15 g Cl/L, brak: 0.15-0.5 g Cl/L).

De locaties die aan alle gestelde criteria voldoen voor het beleidsdoel calamiteit zijn te zien in Figuur 8. Op de locaties waar een onttrekkingsdebiet van 20 miljoen m³/jaar mogelijk is, is ook een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar mogelijk. 29% procent van alle locaties uit het initiële zoekgebied voor NGR Calamiteit voldeden aan alle gestelde eisen voor een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar (zie Tabel 7). Voor een onttrekkingsdebiet van 20 miljoen m³/jaar voldeed 24% van de onderzochte punten. Voor winningen van 20 miljoen m³/jaar is een areaal beschikbaar van 8.500 km², voor winningen van 10 miljoen m³/jaar een areaal van 10.000 km². Daarvan is grofweg 70% zoet en 30% brak.

Op de locaties die voldoen kan elk afzonderlijk een winning worden ingericht met het aangegeven debiet. Wanneer meerdere winningen in het gebied worden ingericht tellen effecten evenwel op, waardoor grote verlagingen kunnen ontstaan. Dit is voor NGR Structurele winning nader onderzocht (draagkrachtanalyse, H4.3.3). Voor NGR Calamiteit is dit niet onderzocht, aangezien deze NGR niet wordt getoetst op een stijghoogte-criterium.

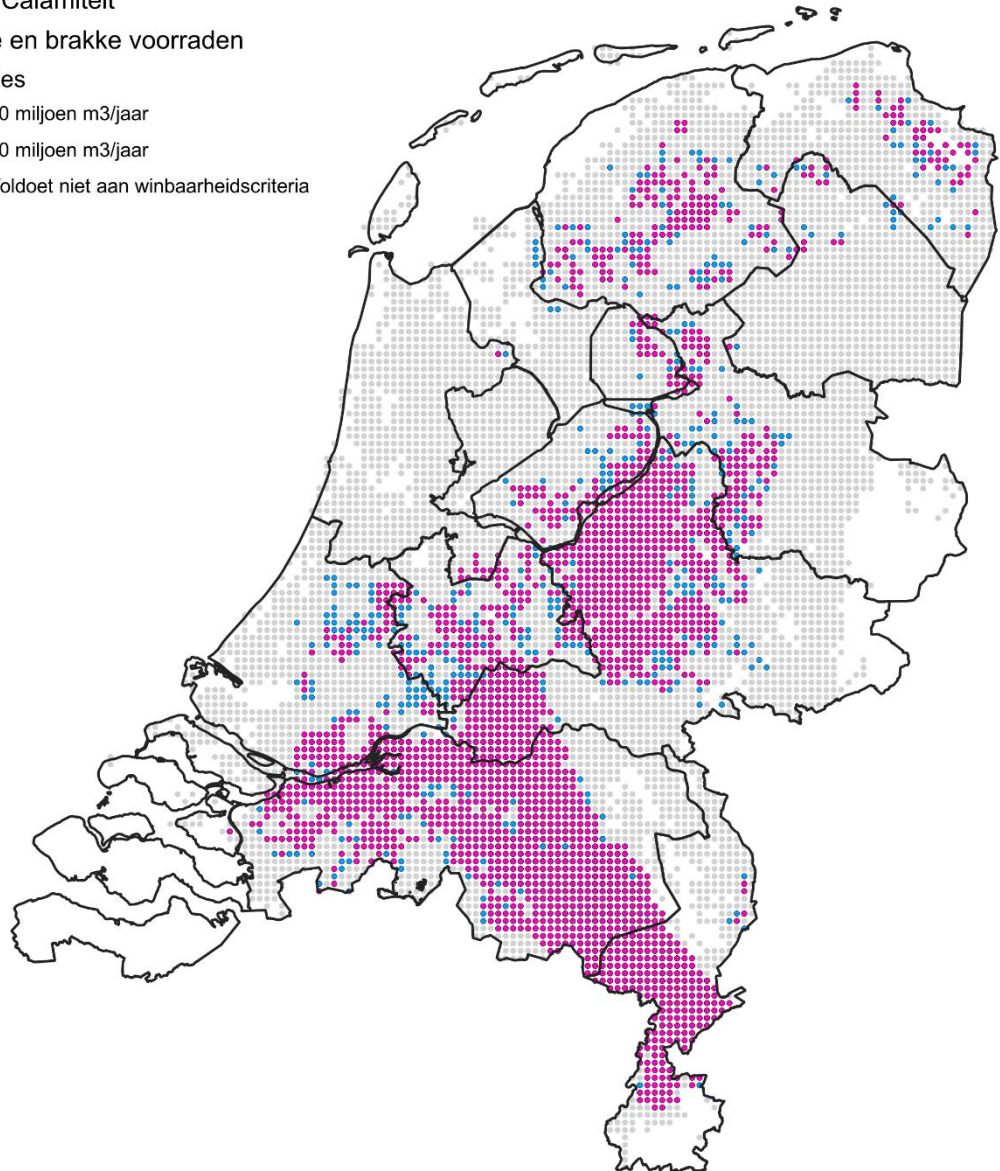
Legenda

NGR Calamiteit

Zoete en brakke voorraden

Locaties

- 10 miljoen m³/jaar
- 20 miljoen m³/jaar
- Voldoet niet aan winbaarheidscriteria



Figuur 8 Potentiële geschikte locaties voor NGR Calamiteit voor een onttrekkingsdebiet van 10 en 20 miljoen m³/jaar. Er kunnen meerdere geschikte punten op één locatie liggen (variërend in diepte en onttrekkingsdebiet).

Tabel 7: Analyse van het aantal punten dat is doorgerekend en voldoet aan de gestelde criteria voor NGR Calamiteit. De percentages bij de criteria zijn berekend door het aantal geschikte punten per categorie zoet, brak of totaal te delen door, respectievelijk, het aantal punten zoet, brak of totaal.

Calamiteit	10 miljoen m3/jaar	20 miljoen m3/jaar
Totaal aantal punten initieel zoekgebied	12291	
Aantal punten zoet	7582 (62%)	
Aantal punten brak	4709 (38%)	
Voldoet aan leeftijd criterium	Zoet: 2932 (62%)	Zoet: 2627 (62%)
	Brak: 2256 (48%)	Brak: 1948 (41%)
	Totaal: 5188 (42%)	Totaal: 4575 (37%)
Voldoet aan chloride gehalte	Zoet: 6316 (83%)	Zoet: 5888 (78%)
	Brak: 2425 (51%)	Brak: 2242 (48%)
	Totaal: 8741 (71%)	Totaal: 8130 (66%)
Voldoet aan alle effecten criteria	Zoet: 2369 (31%)	Zoet: 1975 (26%)
	Brak: 1191 (25%)	Brak: 989 (21%)
	Totaal: 3560 (29%)	Totaal: 2964 (24%)

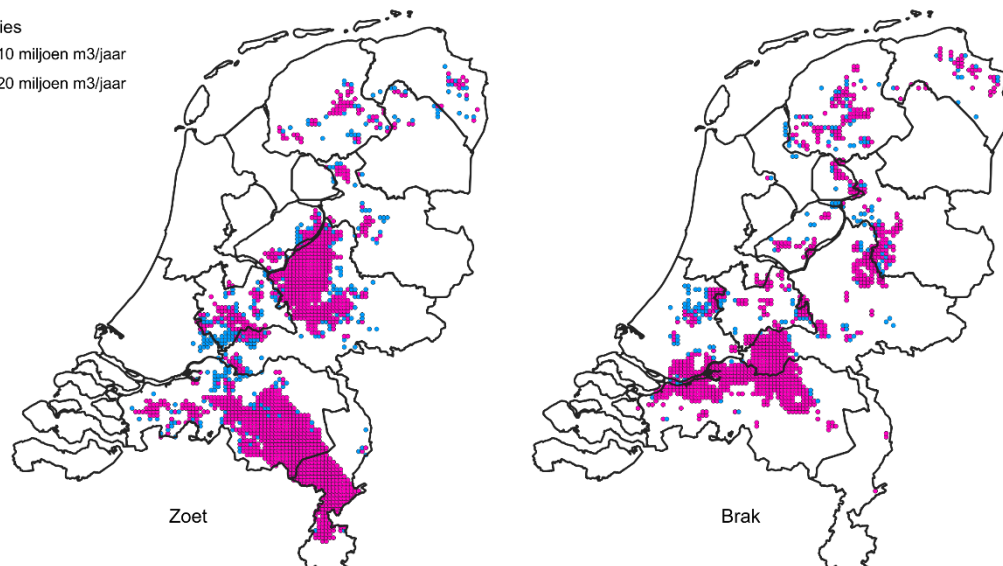
In Figuur 9 zijn de locaties voor NGR Calamiteit gesplitst in zoete en brakke grondwater gebieden. 67% van de het totaal aantal geschikte punten (voor beide onttrekkingsdebieten) ligt in een gebied met zoet grondwater. Deze geschikte zoete gebieden liggen voornamelijk in de Roerdalslenk, de Veluwe en rond Utrecht.. Gebieden meer naar de kust hebben een te hoog chloridegehalte. Daarnaast hebben de diepe gebieden in het oosten van het land ook een te hoog chloridegehalte. De potentiële zoete grondwatergebieden die mogelijk als NGR Calamiteit zouden kunnen functioneren liggen niet evenredig door het hele land verspreid. Er zijn vrijwel geen potentiële locaties te vinden in Noord-Holland en Zeeland. Ook in Drenthe en Zuid-Holland is het aanbod beperkt.

Geschikte brakke gebieden liggen vooral in een gebied rond het noorden van Noord-Brabant, doorlopend in het Gelderse rivierengebied en het noordelijke deel van Gelderland. Daarnaast voldoen ook een aantal kleinere gebieden in Zuid-Holland, Utrecht, Flevoland, Friesland, Gelderland, Overijssel en Groningen. De provincies Noord-Holland, Limburg, Drenthe en Zeeland bevatten vrijwel geen potentiële locaties.

Legenda

Locaties

- 10 miljoen m³/jaar
- 20 miljoen m³/jaar



Figuur 9: Potentiële geschikte locaties NGR Calamiteit in zoete (links) en brakke (rechts) grondwater gebieden. Blauwe stippen tonen de geschikte locaties voor een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar. Op plekken waar ook een onttrekkingsdebiet van 20 miljoen m³/jaar mogelijk is wordt een roze stip getoond.

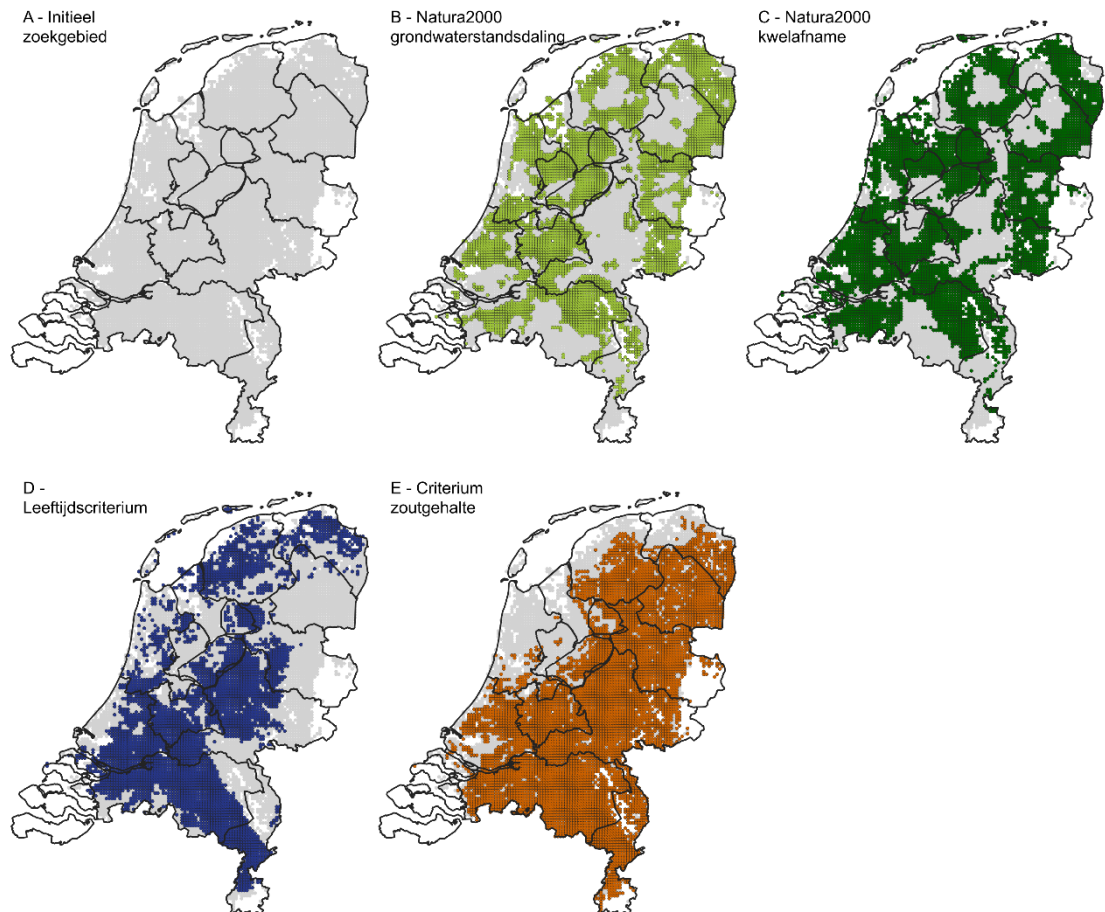
4.3 Structurele winning

4.3.1 Initieel zoekgebied NGR Structurele winning

Het initieel zoekgebied voor de NGR Structurele winning is gelijk aan het initieel zoekgebied van NGR Calamiteit (zie paragraaf 4.2.1).

4.3.2 Evaluatie effecten winning

In Figuur 10A zijn de locaties te zien binnen het initiële zoekgebied van de NGRs met beleidsdoel Structurele winning die voldoen aan de basis en winbaarheid criteria. Figuur 10B t/m Figuur 10E laten per criterium (leeftijd, zoutgehalte en de Natura 2000 criteria) zien welke punten aan dit criterium voldoen. Figuur 10B en Figuur 10C geven de locaties weer die voldoen aan de Natura 2000 criteria (grondwaterstandsverlaging en kwelflux verandering). Vooral punten in de Veluwe, delen van Noord-Brabant, Limburg en Drenthe vallen af doordat hier veel Natura 2000-gebieden liggen. Het onttrekkingsdebiet bij structurele winningen is lager dan bij calamiteit, maar er wordt wel voor een langere tijd onttrokken (30 in plaats van 10 jaar). Hierdoor is het gebied dat voldoet aan de kwaliteit criteria (te jong / te zout) voor NGR Structurele winning ongeveer gelijk aan dat voor NGR Calamiteit (vergelijk Figuur 10D en 10E met Figuur 7B en 7C). De verschillen in de totaalafweging tussen NGRs Calamiteit en Structurele winning worden dan ook met name veroorzaakt door de Natura 2000 criteria voor NGR Structurele winning.



Figuur 10: Evaluatie locaties NGR Structurele winning voor een onttrekkingsdebiet van 2 en 4 miljoen m³/jaar. De gekleurde stippen geven aan dat een locatie voldoet aan het getoonde criterium. Op één locatie kunnen meerder geschikte punten liggen, variërend in diepte of onttrekkingsdebiet. De grijze gebieden voldoen niet aan de gestelde effecten criteria. De witte gebieden zijn niet meegenomen in deze analyse omdat ze niet voldoen aan de basis en winbaarheid criteria. A) Het initiële zoekgebied voor NGR Structurele winning. B) Natura 2000 grondwaterstand (daling < 0.02 m). C). Natura 2000 kwelflux (afname < 0.1 mm/dag). D) Leeftijd (leeftijd onttrokken grondwater > 100 jaar in niet stedelijk gebied, > 250 jaar in stedelijk gebied). E) Chloride gehalte (zoet: < 0.15 g Cl/L, brak: 0.15-0.5 g Cl/L).

Figuur 11 geeft het totaalbeeld aan locaties die voldoen aan de criteria voor NGR Structurele winning. Het is mogelijk dat er op één locatie op meerdere dieptes (verschillende WVPs) een geschikt punt is. Op de locaties waar een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar mogelijk is, is ook een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar mogelijk. 8% procent van alle punten uit het initiële zoekgebied voor NGRs voldeed aan alle gestelde eisen voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar (zie Tabel 8). Voor een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar voldeed 3% van alle punten aan de eisen.

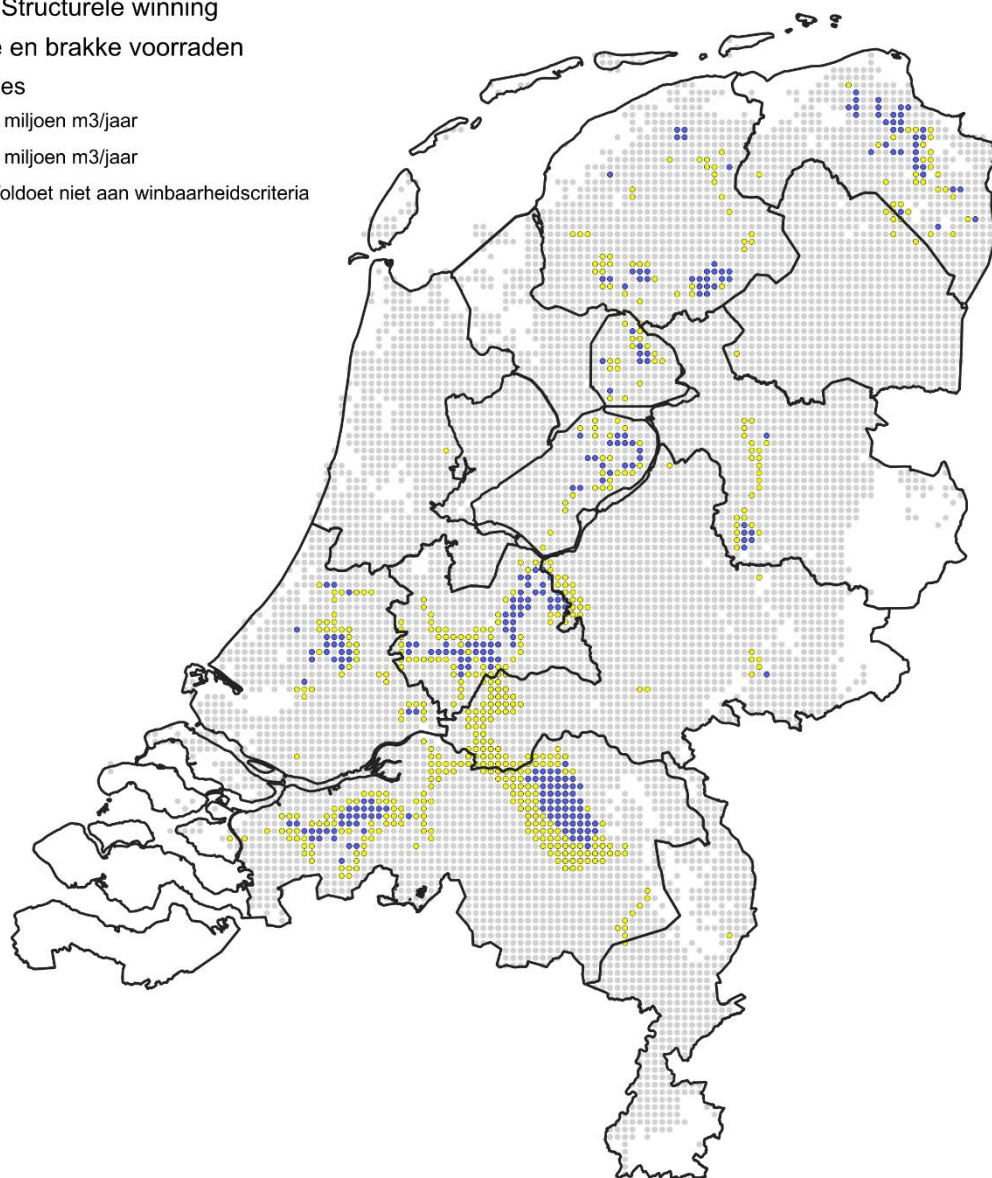
Legenda

NGR Structurele winning

Zoete en brakke voorraden

Locaties

- 2 miljoen m³/jaar
- 4 miljoen m³/jaar
- Voldoet niet aan winbaarheidscriteria



Figuur 11: Potentiële geschikte locaties voor NGR Structurele winning voor een onttrekkingsdebiet van 2 en 4 miljoen m³/jaar. Er kunnen meerdere geschikte punten op één locatie liggen (variërend in diepte en onttrekkingsdebiet).

Tabel 8: Analyse van het aantal punten dat is doorgerekend en voldoet aan de gestelde criteria voor NGR Structurele winning. De percentages bij de criteria zijn berekend door het aantal geschikte punten per categorie zoet, brak of totaal te delen door, respectievelijk, het aantal punten zoet, brak of totaal.

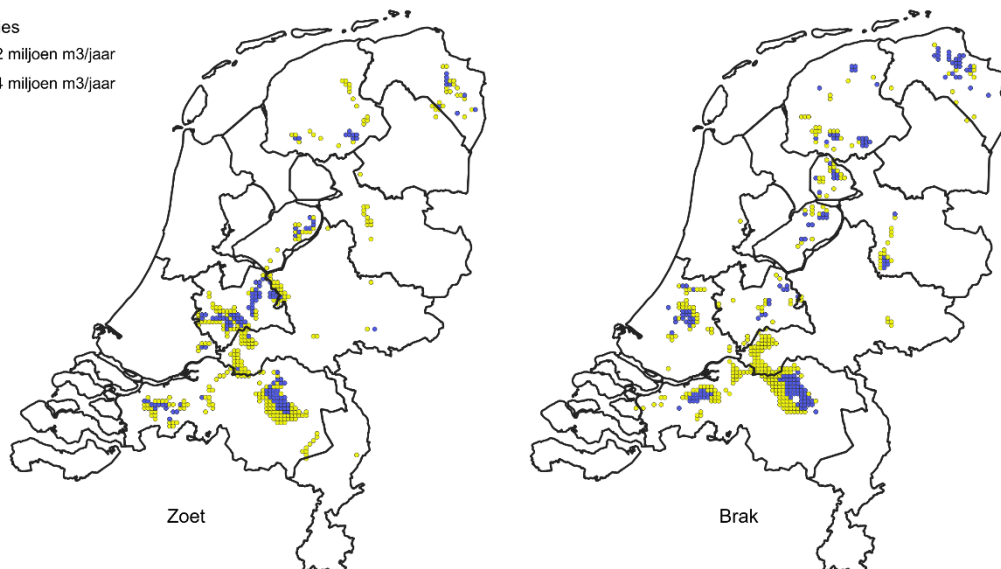
Structurele winning	2 miljoen m3/jaar	4 miljoen m3/jaar
Totaal aantal punten initieel zoekgebied	12291	
Aantal punten zoet	7582 (62%)	
Aantal punten brak	4709 (38%)	
Voldoet aan leeftijd criterium	Zoet: 3072 (62%)	Zoet: 2814 (62%)
	Brak: 2426 (52%)	Brak: 2168 (46%)
	Totaal: 5498 (45%)	Totaal: 4982 (41%)
Voldoet aan chloride gehalte	Zoet: 6538 (86%)	Zoet: 6201 (82%)
	Brak: 2505 (53%)	Brak: 2374 (50%)
	Totaal: 9043 (74%)	Totaal: 8575 (70%)
Voldoet aan N2000 grondwaterstand	Zoet: 2873 (38%)	Zoet: 1967 (26%)
	Brak: 2592 (55%)	Brak: 1766 (38%)
	Totaal: 5465 (44%)	Totaal: 3733 (30%)
Voldoet aan N2000 kwel	Zoet: 3668 (48%)	Zoet: 2589 (34%)
	Brak: 3131 (66%)	Brak: 2293 (49%)
	Totaal: 6799 (55%)	Totaal: 4882 (40%)
Voldoet aan alle effecten criteria	Zoet: 494 (7%)	Zoet: 148 (2%)
	Brak: 484 (10%)	Brak: 170 (4%)
	Totaal: 978 (8%)	Totaal: 318 (3%)

In Figuur 12 zijn de locaties gesplitst in zoete en brakke grondwater gebieden. Het percentage geschikte punten dat in zoet grondwater ligt is respectievelijk 51% en 47% voor een onttrekkingsdebiet van 2 en 4 miljoen m³/jaar. Dit percentage ligt een stuk lager dan voor NGR Calamiteit (67%). Zoet grondwater ligt in Nederland over het algemeen ondieper dan brak grondwater. Ondiepe onttrekkingen zorgen lokaal voor een sterke verlaging van de grondwaterstand en kwelflux. Dit zorgt ervoor dat veel punten afvallen op de Natura 2000 criteria. Veel locaties in de Veluwe en in de Roerdalslenk die wel geschikt waren voor het beleidsdoel calamiteit vallen hierdoor nu af voor NGR Structurele winning.

Legenda

Locaties

- 2 miljoen m³/jaar
- 4 miljoen m³/jaar



Figuur 12 Potentiële geschikte locaties NGR Structurele winning in zoete (links) en brakke (rechts) grondwater gebieden. Gele stippen tonen de geschikte locaties voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar. Op plekken waar ook een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar mogelijk is wordt een blauwe stip getoond.

Geschikte punten met zoet grondwater voor een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar liggen (voornamelijk) in delen van Utrecht, Noord-Brabant, naast meer geïsoleerde gebieden in Flevoland, Friesland, Groningen en Zuid-Holland. Met een lager onttrekkingsdebiet komen naast een gebied in westelijk Overijssel er vooral punten bij rondom de geschikte 4 miljoen m³/jaar locaties. De potentiële gebieden liggen vooral in een strook door het midden van het land en zijn niet over het hele land gelijk verdeeld. Er zijn vrijwel geen potentiële locaties aanwezig in Noord-Holland, Zeeland, Limburg en Drenthe. Brakke gebieden die potentieel geschikt zijn als NGR Structurele winning komen liggen voor een belangrijk deel in min of meer hetzelfde gebied als de geschikte zoete gebieden, maar dan dieper. In Zuid-Holland is er westelijker nog een potentieel brak gebied geschikt voor NGR Structurele winning. Potentiële punten zijn vrijwel afwezig in Noord-Holland, Zeeland, Limburg en Drenthe.

4.3.3

Draagkrachtanalyse

In de draagkrachtanalyse is gekeken naar maximaal mogelijke gelijktijdige winning uit de technisch gekarteerde NGR Structurele winning, waarbij ook de cumulatieve effecten voldoen aan de gestelde criteria voor winbaarheid. Door niet-lineaire effecten traden in de controle-berekening effecten op Natura 2000-gebieden op, die niet in de optelling van individuele effecten naar voren kwamen. Additioneel zijn daarom winningen rondom Natura 2000-gebieden waar te grote cumulatieve effecten optraden handmatig verwijderd (Figuur 13). Figuur 14 geeft de verdeling over zoete en brakke grondwatervoorraden.

De resultaten van de draagkrachtanalyse laten zien dat er maximaal zo'n 240 miljoen m³/jaar potentieel gewonnen kan worden, zonder de gestelde criteria te overschrijden (Tabel 9). Zo'n 90% van de potentiële locaties valt af in deze analyse. Kleine clusters blijven over, verspreid over het oorspronkelijk gebied met potentiële structurele winningen. De gekozen opzet van de analyse, waarbij achtereenvolgens winningen worden verwijderd die resulteren in de grootste grondwaterstandsaling, bepaalt hierbij deels de vorm van het resultaat. Gebieden het verst verwijderd liggen van Natura 2000-gebieden blijven zo 'over'. Andere verdelingen

over het gekarteerde gebied zijn daarbij uiteraard ook mogelijk, maar deze zijn niet onderzocht.

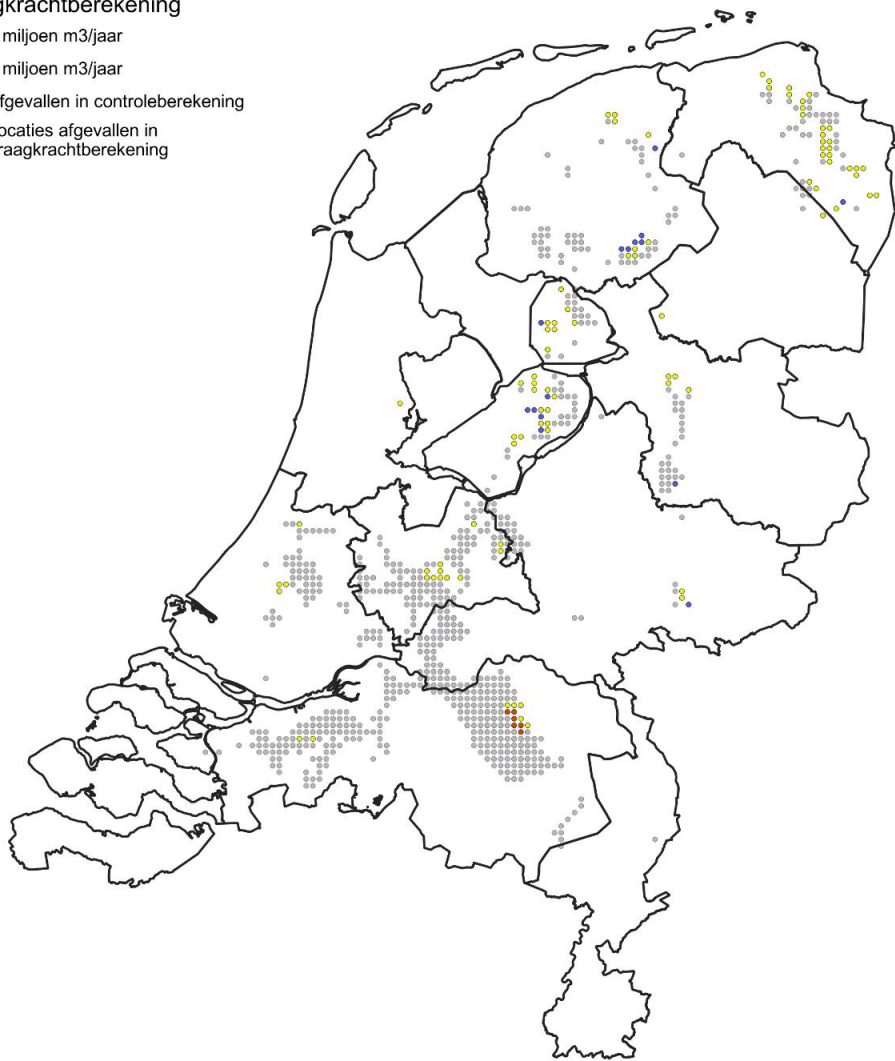
Tabel 9 Analyse van het aantal punten dat i individueel of cumulatief voldoet aan de gestelde criteria voor NGR Structurele winning.

	Totaal	Zoet	Brak
Evaluatie winbaarheid (n locaties)	978	494	484
Draagkrachtanalyse (n locaties)	104	42	62
Winbaar debiet draagkrachtanalyse (miljoen m³/jaar)	238	98	140

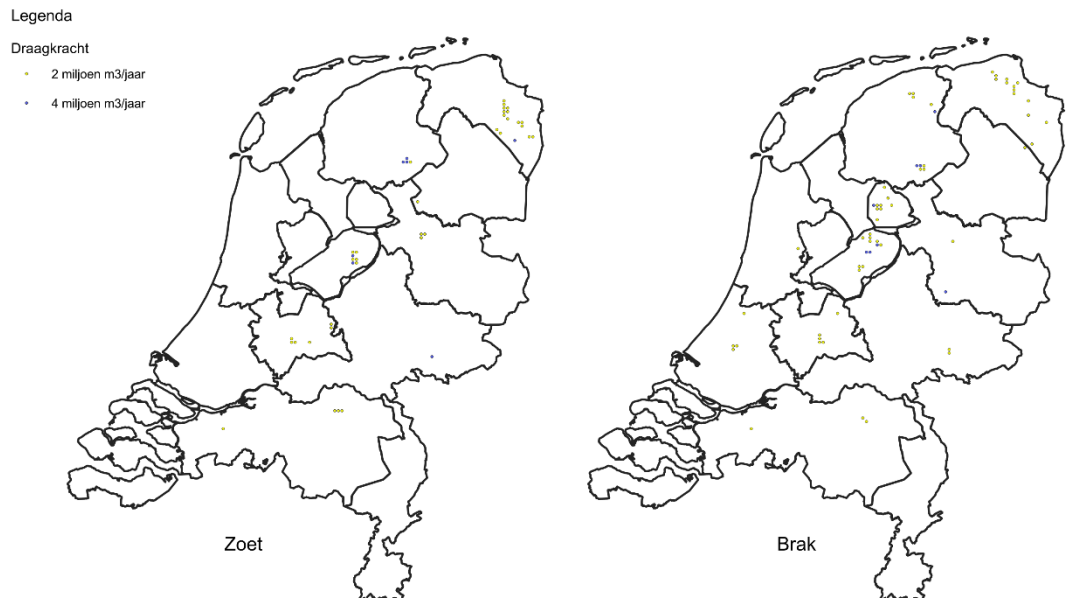
Legenda

Draagkrachtberekening

- 2 miljoen m3/jaar
- 4 miljoen m3/jaar
- Afgevallen in controleberekening
- Locaties afgevallen in draagkrachtberekening



Figuur 13: Potentiële geschikte locaties voor gelijktijdige winning binnen NGR Structurele winning voor een onttrekkingsdebiet van 2 en 4 miljoen m³/jaar. Er kunnen meerdere geschikte punten op één locatie liggen (variërend in diepte en onttrekkingsdebiet).

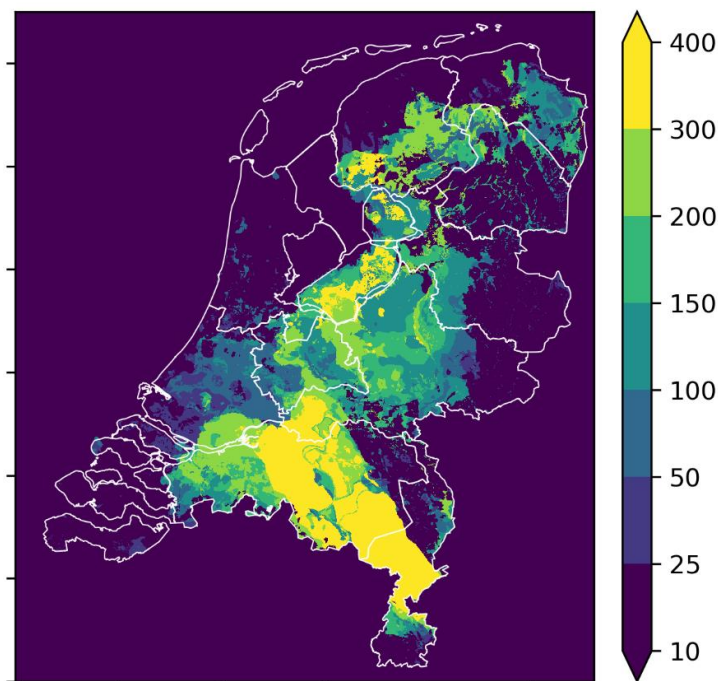


Figuur 14 Potentiële geschikte locaties voor gelijktijdige winning binnen NGR Structurele winning in zoete (links) en brakke (rechts) grondwater gebieden. Gele stippen tonen de geschikte locaties voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar. Op plekken waar ook een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar mogelijk is wordt een blauwe stip getoond.

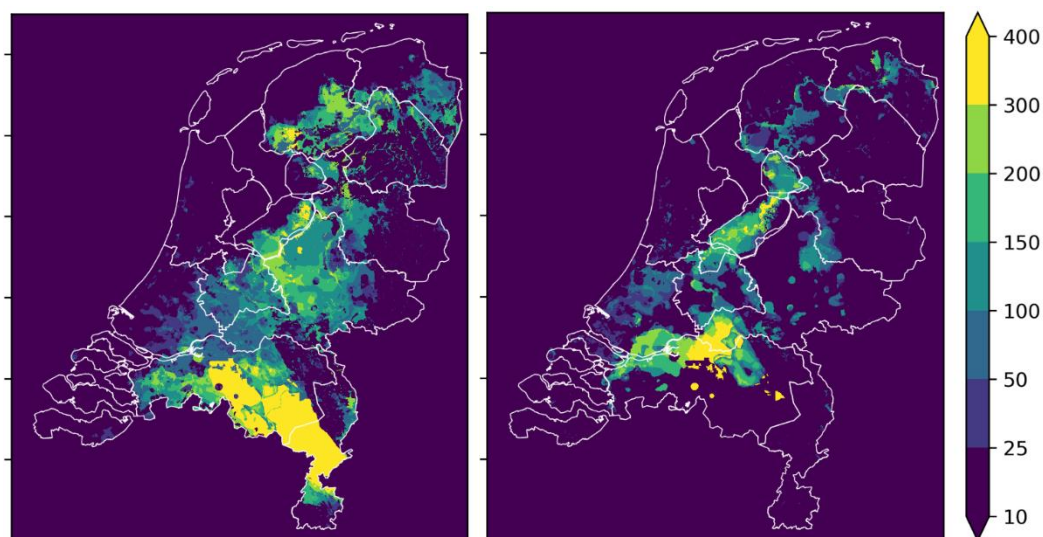
4.4 Vingeroefening verdere ruimtelijke inperking NGRs

4.4.1 Natuurlijk kapitaal

Het initiële zoekgebied voor NGR Natuurlijk Kapitaal vormt een gebied dat bijna gelijk is aan heel Nederland. Daarom is als vingeroefening in beeld gebracht welk gebied de grootste potentie heeft (grootste dikte aan NGR Natuurlijk kapitaal) en het makkelijkst beschermd kan worden (grootste bovenliggende weerstand). Deze robuuste kern is in beeld gebracht door te kijken naar de dikte van de geschikte watervoerende pakketten en de verticale weerstand van de bovenliggende weerstandslaag. Figuur 15 laat de doorstroomde dikte van het Natuurlijk Kapitaal in heel Nederland zien zonder eisen voor de bovenliggende weerstandslaag. De doorstroomde dikte Natuurlijk kapitaal kan onderverdeeld worden in zoete en brakke grondwater gebieden (zie Figuur 16). Een groot volume zoet grondwater van natuurlijke kwaliteit is gelegen in de Roerdalslenk. Ook dieper onder de Veluwe, Flevoland en zuidwest Friesland bergt een groot volume zoet grondwater dat voldoet als natuurlijk kapitaal. Grote volumes brak grondwater van natuurlijke kwaliteit bevinden zich in het noorden van Noord-Brabant en in Flevoland.

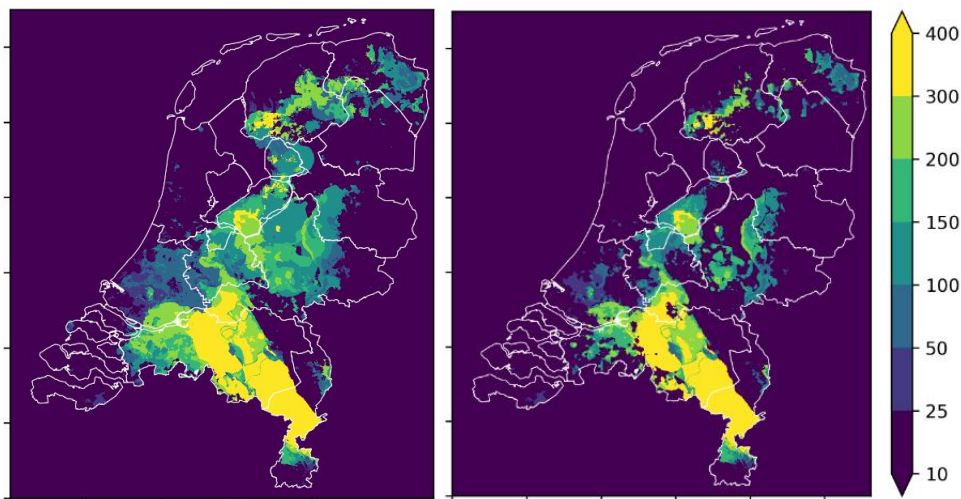


Figuur 15 Totale doorstroomde dikte (m) Natuurlijk kapitaal. In deze figuur is voor de dikte alleen de dikte van watervoerende lagen meegeteld, wanneer deze volledig als NGR natuurlijk kapitaal zijn gekarteerd.



Figuur 16: Dikte (m) potentiaal natuurlijk kapitaal in meters, onderverdeeld in zoete (links) en brakke (rechts) grondwater gebieden. In deze figuur is voor de dikte alleen de dikte van watervoerende lagen meegeteld, wanneer deze volledig als NGR natuurlijk kapitaal zijn gekarteerd. De dikte van het zoete of brakke grondwater daarbinnen hoeft niet een geheel watervoerend pakket te bedragen.

In Figuur 17 is de dikte van gebied te zien dat ook onder een bovenliggende weerstandslaag van respectievelijk 2000 en 10.000 dagen ligt. De dikte van Natuurlijk Kapitaal met een bovenliggende weerstand van 2000 dagen wijkt niet veel af van de oorspronkelijk gekarteerde dikte (Figuur 15). Boven het grootste deel van het Natuurlijk Kapitaal is daarmee al een redelijke weerstand aanwezig. Ook met een significante weerstand van 10.000 resteert nog een aanzienlijk gebied.

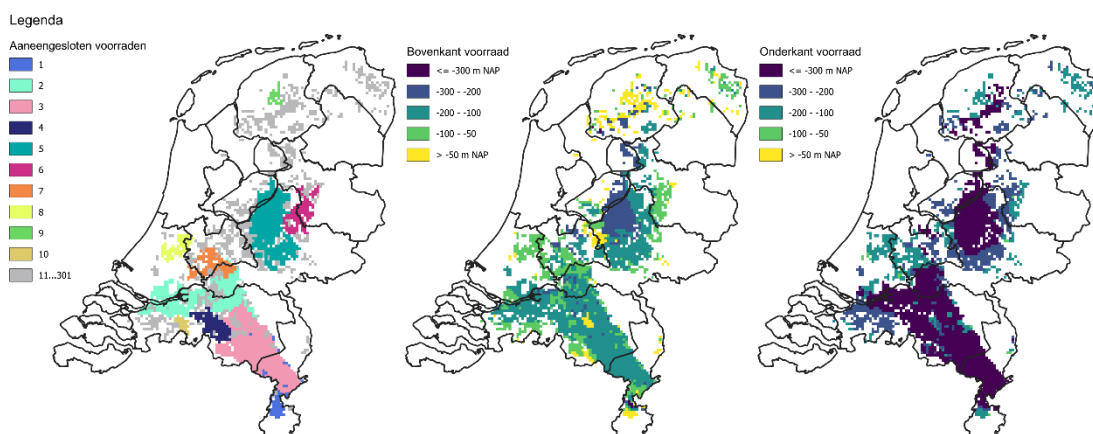


Figuur 17: Dikte (m) potentiaal natuurlijk kapitaal in meters, met een cumulatieve bovenliggende weerstand van 2000 dagen (links) en 10.000 dagen (rechts).

4.4.2

Calamiteit

Om te analyseren welke NGR locaties samen een aaneengesloten, robuust volume vormen zijn de locaties geclusterd die elkaar in de diepte of lateraal raken. Deze aaneengesloten volumes zijn genummerd in aflopende grootte van het volume. Figuur 18 geeft een bovenaanzicht van de onderscheiden aaneengesloten NGR gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar. In deze analyse worden alleen NGR gebieden met een ondergrondvolume groter dan 125 miljoen m³ (bijvoorbeeld 2,5 km * 2,5 km * 20 m) onderscheiden. Naast het bovenaanzicht is ook gekarteerd hoe diep (bovenkant en onderkant) deze gebieden liggen. In Bijlage E.1 worden dwarsdoorsneden gegeven van deze clustering. Hierin is ook te zien of de NGR gebieden in zoet grondwater (geel) of in brak grondwater (oranje) liggen. De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Calamiteit bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume³ van rond de 2·10¹² en 8·10¹¹ m³.

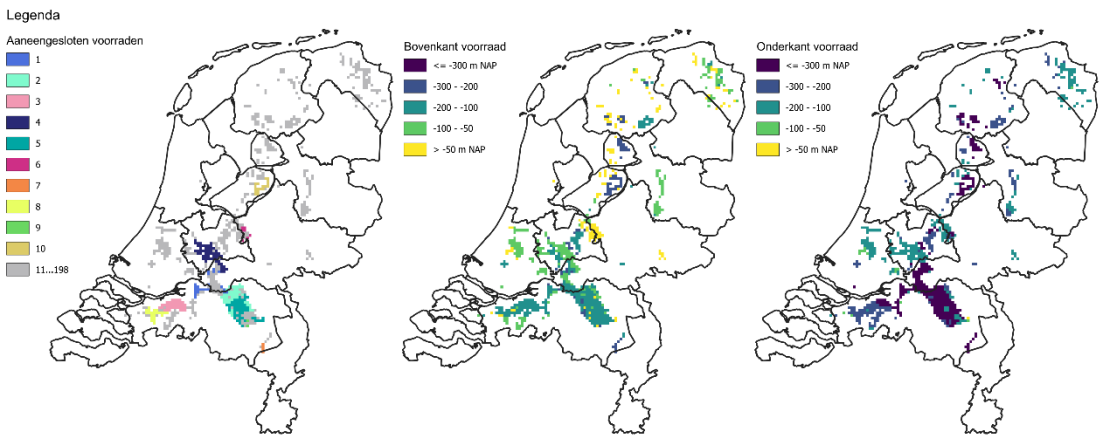


Figuur 18 Links) Geclusterde NGR Calamiteit gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar. Elke kleur geeft een ander gebied weer, de gebieden kunnen in de diepte overlappen. Alleen de tien grootste gebieden zijn gekleurd. Midden) de bovenkant (m NAP) van de geclusterde NGR Calamiteit gebieden. Rechts) de onderkant (m NAP) van de geclusterde NGR Calamiteit gebieden.

³ Let op dat hier het 3D ondergrondvolume (water + zand/klei) van het gekarteerde gebied wordt bedoeld, en geenszins het winbare volume uit de NGR.

4.4.3 **Structurele winning**

Eenzelfde analyse is uitgevoerd voor de NGR Structurele winning. Figuur 19 geeft een bovenaanzicht van de onderscheiden aaneengesloten NGR gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar. De nummering is daarbij oplopend naar afnemend volume. In deze analyse worden alleen NGR gebieden met een ondergrondvolume groter dan 125 miljoen m³ (bijvoorbeeld 2,5 km * 2,5 km * 20 m) onderscheiden. Naast het bovenaanzicht is ook gekarteerd hoe diep (bovenkant en onderkant) deze gebieden liggen. In Bijlage E.2 worden dwarsdoorsneden gegeven van deze clustering. Hierin is ook te zien of de NGR gebieden in zoet grondwater (geel) of in brak grondwater (oranje) liggen. De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Structurele winning bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume³ van rond de 2·10¹¹ en 4·10¹¹ m³.

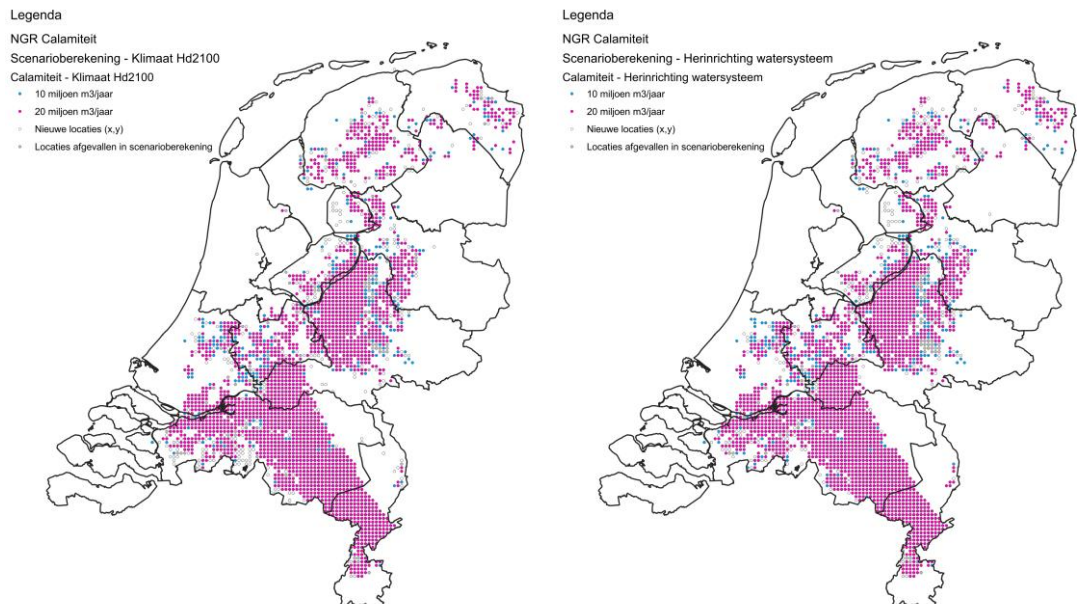


Figuur 19 Links) Aaneengesloten NGR Structurele winning gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar. Elke kleur geeft een ander gebied weer, de gebieden kunnen in de diepte overlappen. Alleen de tien grootste gebieden zijn gekleurd. Midden) de bovenkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning gebieden. Rechts) de onderkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning gebieden.

4.5 **Lange termijn ontwikkelingen**

4.5.1 **Calamiteit**

Het resultaat van de winbaarheidsanalyse bij lange termijn ontwikkelingen voor NGR Calamiteit wordt gegeven in Figuur 20. Duidelijk is dat de begrenzing van de NGR Calamiteit weinig beïnvloed wordt door de opgelegde veranderingen in het grondwatersysteem, de verschuivingen in goed- dan wel afgekeurde locaties zijn minimaal. Aan de westrand van het begrensde gebied voor beide ontwikkelingen kleine verschuivingen zichtbaar, die verband houden met de verschuiving van het zoet-zout grensvlak.



Figuur 20 Potentiële geschikte locaties voor NGR Calamiteit voor een onttrekkingsdebiet van 10 en 20 miljoen m³/jaar in de situatie bij klimaatverandering Hd2100 (links), en grootschalige herinrichting van het watersysteem (rechts). Er kunnen meerdere geschikte punten op één locatie liggen (variërend in diepte en onttrekkingsdebiet). Het is ook mogelijk dat geschikte locaties in de scenario's op een andere (nieuwe) diepte liggen dan in de huidige situatie, deze locaties worden niet als nieuwe locatie aangeduid in de figuur. Nieuwe locaties zijn alleen getoond als er op die (x, y) coördinaten in de huidige situatie geen geschikte NGR voorkwam.

Hoewel de scenario's beide verschuivingen laten zien in het grensvlak van 'te jong' water, werkt dit niet significant door in de effect toetsing van de NGR Calamiteit. Het verschil in aantal goedgekeurde locaties ten opzichte van de huidige situatie is beperkt tot enkele procenten (Tabel 10). Let op dat er ook enkele 'nieuw getoetste' locaties verschijnen in vergelijking tot de analyse van de huidige situatie (initieel zoekgebied in Tabel 10). Dit heeft te maken met verschuivingen in de chloride- en 'te jong' grensvlakken, waardoor toepassing van de initiële criteria een net ander initieel zoekgebied geeft.

Tabel 10 Veranderingen in het aantal locaties dat voldoet aan de gestelde criteria voor NGR Calamiteit voor de geanalyseerde langjarige ontwikkelingen ten opzichte van de huidige situatie.

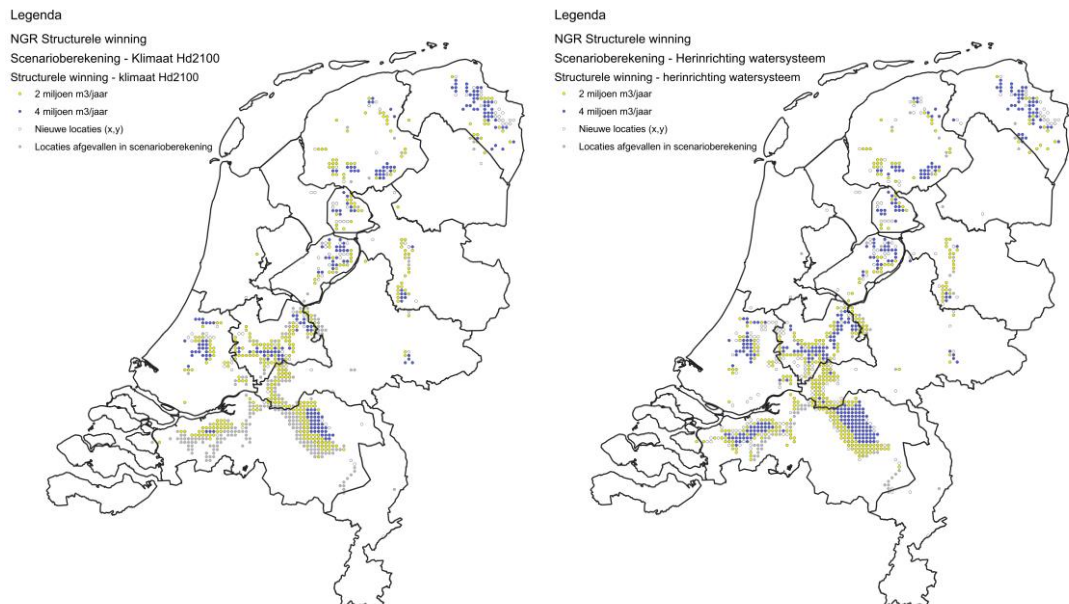
Calamiteit	Huidige situatie		Klimaat Hd2100		Herinrichting watersysteem	
	10 miljoen m ³ /jaar	20 miljoen m ³ /jaar	10 miljoen m ³ /jaar	20 miljoen m ³ /jaar	10 miljoen m ³ /jaar	20 miljoen m ³ /jaar
Initieel zoekgebied	12291	12291	12503	12503	12318	12318
Voldoen aan criteria effecten	3560	2964	3805	3212	3760	3180
- daarvan zoet	2369	1975	2532	2139	2488	2099
- daarvan brak	1191	989	1273	1073	1272	1081

4.5.2 **Structurele winning**

Figuur 21 geeft het resultaat van de winbaarheidsanalyse bij lange termijn ontwikkelingen voor NGR Structurele winning. De begrenzing van de NGR Structurele winning wordt sterker beïnvloed door de opgelegde veranderingen in het grondwatersysteem dan de NGR Calamiteit, doordat deze NGR ook wordt getoetst op daling van de grondwaterstand in grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden. Het klimaatscenario Hd2100 geeft een afname van geschikte locaties (20% afname bij 2 miljoen m³/jaar, Tabel 11). De veranderingen in het begrensde gebied vinden veelal plaats aan de randen van het eerder begrensde gebied, met name in Noord-Brabant. Herinrichting van het watersysteem leidt over het geheel tot een toename van geschikte locaties (15% toename bij 2 miljoen m³/jaar, Tabel 11). Deze toename zit voornamelijk in meer geschikte watervoerende pakketten in min of meer hetzelfde gebied als in de huidige situatie. Ook voor NGR Structurele winning verandert het initiële zoekgebied door veranderingen in de chloride- en ‘te jong’ grensvlakken.

De locaties worden – net als in de huidige situatie – getoetst onder de aanname dat in de referentiesituatie (zonder wandelend pompstation) de grondwatersituatie in de Natura 2000-gebieden op orde is. Dat het moeilijker wordt om onder bijvoorbeeld klimaat Hd2100 de grondwatersituatie in de Natura 2000-gebieden op orde te krijgen is daarbij evident, maar maakt geen deel uit van de hier gepresenteerde analyse. De effecten die zichtbaar zijn in de scenario’s komen dan ook niet doordat de grondwaterstand in de scenario’s is veranderd ten opzichte van de huidige situatie, maar omdat de respons van de grondwaterstand op een winning in de scenario’s anders is. Dit komt in het Hd2100 scenario doordat er minder grondwateraanvulling is, waardoor het te onttrekken water over een groter gebied moet worden aangevuld. Daarnaast ‘hangt’ door de lagere grondwaterstand de grondwaterstand aan minder ontwateringsmiddelen en spreiden effecten van een winning zich door de verminderde infiltratie ook daarom over een groter gebied uit. Merk op bij deze resultaten dat de vermindering van de grondwateraanvulling in het toegepaste scenario maar beperkt kon worden gecorrigeerd voor de verwachte toename van verdampingsreductie (planten verdampen minder bij verminderde waterbeschikbaarheid) (Janssen & Meeusen, 2024). De berekende effecten zijn daarom waarschijnlijk een overschatting.

In het herinrichting watersysteem scenario is in de zand-, klei- en veengebieden geprobeerd de grondwaterstand actief omhoog te brengen, door peilopzet, verwijdering van ontwateringsmiddelen en reductie van onttrekkingen. De grondwateraanvulling is daarbij in dit scenario niet veranderd ten opzichte van de huidige situatie. De effecten van een winning spreiden zich door de in dit scenario toegepaste maatregelen uit over een beperkter gebied dan in de huidige situatie, waardoor meer locaties voldoen aan de effect criteria (Tabel 11).



Figuur 21 Potentiële geschikte locaties voor NGR Structurele winning voor een onttrekkingsdebiet van 2 en 4 miljoen m³/jaar in de situatie bij klimaatverandering Hd2100 (links), en grootschalige herinrichting van het watersysteem (rechts). Er kunnen meerdere geschikte punten op één locatie liggen (variërend in diepte en onttrekkingsdebiet). Het is ook mogelijk dat geschikte locaties in de scenario's op een andere (nieuwe) diepte liggen dan in de huidige situatie, deze locaties worden niet als nieuwe locatie aangeduid in de figuur. Nieuwe locaties zijn alleen getoond als er op die (x, y) coördinaten in de huidige situatie geen geschikte NGR voorkwam.

Tabel 11 Veranderingen in het aantal locaties dat voldoet aan de gestelde criteria voor NGR Structurele winning voor de geanalyseerde langjarige ontwikkelingen ten opzichte van de huidige situatie.

Structurele winning	Huidige situatie		Klimaat Hd2100		Herinrichting watersysteem	
	2 miljoen m ³ /jaar	4 miljoen m ³ /jaar	2 miljoen m ³ /jaar	4 miljoen m ³ /jaar	2 miljoen m ³ /jaar	4 miljoen m ³ /jaar
Initieel zoekgebied	12291	12291	12503	12503	12318	12318
Voldoen aan criteria effecten	978	318	787	279	1138	440
- daarvan zoekt	494	148	364	106	538	195
- daarvan brak	484	170	423	173	600	245

5 Discussie

Deze rapportage beschrijft de totstandkoming van de technische begrenzing van NGRs voor de beleidsdoelen Natuurlijk kapitaal, Calamiteit en Structurele winning. Deze technische begrenzing vormt de input voor de beleidsdiscussie voor het uiteindelijke voorstel voor begrenzing. In de totstandkoming van de technische begrenzing zijn verschillende keuzes gemaakt en aannamen gedaan die het resultaat beïnvloeden. Onderstaande discussie bespreekt de belangrijkste aannamen en hun invloed op het eindresultaat.

Numerieke modellering

De resultaten van de technische begrenzing leunen bijna volledig op numerieke modellering, en daarmee op de aannamen in en parameterisering van de toegepaste modellen. Om verschillen tussen regio's te vermijden is het Landelijk Hydrologisch Model toegepast, meer specifiek het LHM zoet-zout versie 4.1.2. Door de resolutie van dit model en landsdekkende parameterisatie kunnen resultaten lokaal afwijken. De berekeningen met het wandelende pompstation berekeningen zijn uitgevoerd voor een stationaire situatie, waarbij wordt gerekend met een langjarig gemiddelde grondwateraanvulling. Met variatie tussen jaren (natte of droge jaren) of binnen het jaar (natte winter versus droge zomer) wordt door deze aanname geen rekening gehouden.

Grondwater kwaliteit

De kwaliteit van het grondwater is in deze analyse bepaald aan de hand van het chloridegehalte en de reistijd van het onttrokken water vanaf maaiveld. De analyse van de reistijd van het onttrokken water is gedaan door middel van (backward) particle tracking. Hierbij wordt gekeken wanneer een deeltje 'te jong' of 'te zout' water bereikt, dit op basis van het 3D beeld van grondwaterleeftijd en chloridegehalte. Het 3D beeld zelf wordt hierbij niet beïnvloed door de onttrekking. Dit is voor de meeste locaties geen probleem, de deeltjes representeren immers het toestromen van het te jonge / te zoute water naar de onttrekking. In kwelgebieden zou dit wel tot een onderschatting van de hoeveelheid toegestroomd te jong water vanuit de oppervlakte kunnen leiden, omdat geïnfiltreerd water eenvoudigweg niet aanwezig is in het 3D beeld.

Een verdere beperking van het 3D beeld van te jong water is dat deze berekend is op basis van het huidige grondwaterstromingsbeeld en de huidige landgebruikskaart. Veranderingen in het grondwaterstromingsbeeld in de periode 1850 – 2100, bijvoorbeeld als gevolg van de veranderende waterhuishouding, grondwaterwinning, inpolderingen of klimaatverandering worden dus buiten beschouwing gelaten. Ook is er gebruik gemaakt van de huidige kaarten van het stedelijk gebied. Gezien de groei van stedelijk gebied sinds 1850 leidt dit tot een overschatting (veilige benadering).

De reistijd van het grondwater is alleen een goede indicator voor potentieel vervuild grondwater voor stoffen die goed oplossen in het water en zich verspreiden met de grondwaterstroming. Stoffen zoals VOCL's worden op deze manier niet correct uitgesloten, deze stoffen zijn door hun hogere dichtheid minder afhankelijk van het regionale stromingsbeeld. Er zijn ook van nature voorkomende stoffen met hoge concentraties, bijvoorbeeld arseen en fossiel zout water, die wellicht vragen om een regionale aanpassing van de bovengrens van de voor NGR bruikbare reistijd. Invloeden daarvan worden niet ondervangen met de reistijdmodellering. Hiervoor bieden de signaalkaarten van *Component 5b Winbaarheid deel kwaliteit* meer informatie.

Lokale omstandigheden

Voor heel Nederland zijn dezelfde criteria toegepast om de potentiële NGR locaties aan te wijzen. Regionale en lokale omstandigheden (anders dan de hydrogeologie) zijn daarin niet meegenomen in deze analyse. Gebieden in de duinen vallen bijvoorbeeld af in deze analyse op grond van het leeftijd criterium. In de realiteit wordt er juist gebruik gemaakt van dit “jonge” schone grondwater uit de duinen als drinkwater. In deze gebieden zou daarom afgeweken kunnen worden van eis dat het water ouder dan 150 jaar moet zijn. Daarnaast kan het bijvoorbeeld ook zijn dat het hydrologisch systeem in een gebied al aan zijn capaciteit voor grondwateronttrekkingen zit. Kennis van de regionale en lokale omstandigheden vormt daarom een belangrijke volgende stap in het aanwijzen van geschikte NGR gebieden.

Begrenzing NGR gebieden

De potentiële geschikte locaties die uit deze studie naar voren komen (technische begrenzing) representeren gebieden van 2 x 2 km. De uiteindelijke NGRs zullen een groter gebied beslaan. Hiervoor moeten de losse locaties samengevoegd worden. In dit rapport zijn de locaties die elkaar lateraal of in de diepte raken samengevoegd tot één gebied. In een draagkrachtanalyse is voor NGR Structurele winning verder gekeken naar cumulatieve effecten bij gelijktijdige winning uit de NGR, waaruit kleine clusters over blijven, verspreid over het oorspronkelijk gebied met potentiële structurele winningen.. De in voorliggend rapport gepresenteerde resultaten vormen geschikte gebieden vanuit een technisch perspectief. Naast deze technische blik zijn ook andere aspecten van belang zoals: lokale omstandigheden, regionale spreiding, alternatieve drinkwaterbronnen in een gebied en strijdige belangen. Nadat de NGR gebieden zijn aangewezen zal er ook een beschermingsgebied om de NGRs aangewezen moeten worden, waar binnen het grondwater beschermd wordt tegen vervuiling door activiteiten aan het maaiveld of in de ondergrond te verbieden, die de kwaliteit van het grondwater negatief kunnen beïnvloeden. Deze stap zal in component 6 (beleidsadvies) worden uitgevoerd. Daarnaast zal in component 6 ook met een juridische blik gekeken worden naar verschillende beschermingsniveaus van deze gebieden in relatie tot andere (concurrerende) belangen (ASV's, WKO's, geothermie etc.). De synthese van alle componenten zal uiteindelijk leiden tot advies voor de aanwijzing en begrenzing van beschermgebieden rondom NGR gebieden.

Gebruik van 'harde' criteria

In alle stappen van de technische begrenzing is gebruik gemaakt van harde, binaire criteria, waarbij een gebied wel of niet voldoet. Dit is een andere benadering dan bijvoorbeeld gekozen is in een vergelijkbare analyse, die is uitgevoerd bij de afleiding van ASV voor de Provincie Gelderland (Tauw, 2018), waarbij meer gradueel naar meer of minder geschikt is gekeken. Deze keuze is tijdens verschillende werksessies bediscussieerd. De achtergrond van de gemaakte keuze is dat in het proces naar het afleiden van NGRs de technische begrenzing (voorliggende rapportage) het maximaal mogelijke volume in kaart brengt. Dit maximale volume wordt vervolgens in vervolgstappen ingeperkt tot een voorgesteld beschermd NGR volume. Bij het zoeken naar een maximaal volume passen minimale geschiktheidscriteria, zoals gehanteerd in voorliggende rapportage.

Waarom wijken de begrensde gebieden af van de aangewezen ASV?

Bij aanwijzing van de ASV is door de provincies gezocht naar geschikte, winbare volumes grondwater, wat als doel sterk overeenkomt met de technische begrenzing van de NGR. ASV gebieden zijn daarbij in de technische begrenzing van NGR niet expliciet uitgesloten. Toch komen de ASV gebieden goeddeels niet overeen met de NGR gebieden. Hier zijn verschillende redenen voor. Zo is 'water als natuurlijk kapitaal' als eerste voorwaarde van NGRs gehanteerd, wat bijvoorbeeld leidde tot randvoorwaarden aan de leeftijd van het grondwater. De focus op de langere termijn gaf verder andere uitgangspunten (zoals de maximale grondwaterstandsverlaging in Natura 2000 gebieden, waarbij de gebieden is aangenomen dat de grondwatersituatie in deze gebieden bij benutting in 2100 in goede

toestand is gebracht). Dit naast verschillen in de procedure en gehanteerde grondwatermodellen.

6 Conclusie

In voorliggende technische analyse zijn de gebieden die potentieel gebruikt kunnen worden voor de verschillende NGR beleidsdoelen in kaart gebracht. Deze gebieden zijn afzonderlijk bepaald voor de beleidsdoelen Natuurlijk kapitaal, Calamiteit en Structurele winning. Voor elk beleidsdoel is er ook onderscheid gemaakt tussen zoete en brakke gebieden. Het initiële zoekgebied voor de NGR Natuurlijk kapitaal is bepaald aan de hand van basiscriteria (chloride gehalte en leeftijd van het water). Voor de NGRs Calamiteit en Structurele winning geldt het additionele criterium dat het water ook winbaar moet zijn (minimale kD van WVP). De effecten van mogelijke winning zijn voor NGRs Calamiteit en Structurele winning geanalyseerd door middel van een wandelend pompstation. Geschikte locaties voldeden aan eisen voor de kwaliteit van het onttrokken grondwater (chloridegehalte en leeftijd) voor een periode van 10 jaar voor Calamiteit en 30 jaar voor Structurele winning. Daarnaast mochten Structurele winningen geen negatieve gevolgen hebben voor Natura 2000-gebieden.

De technische begrenzing van NGR Natuurlijk kapitaal omvat een groot deel van de Nederlandse ondergrond. Alleen in de Zeeuwse ondergrond, en in het oosten waar Tertiaire lagen tot dicht onder de oppervlakte voorkomen bevinden zich geen geschikte gebieden. Als vingeroefening is de doorstroomde dikte van aanwezige begrensde Natuurlijk kapitaal bepaald, en is gekeken in welke mate zich beschermende kleilagen boven het begrensde Natuurlijk kapitaal bevinden. Vooral in de Roerdalslenk bevindt zich een grote doorstroomde dikte aan technisch begrensd Natuurlijk kapitaal. Boven het grootste deel van het technisch begrensde Natuurlijk kapitaal is een aanzienlijke weerstand aanwezig.

Potentiële locaties voor NGR Calamiteit met zoet grondwater liggen voornamelijk in de Roerdalslenk, de Veluwe en in Utrecht. Potentiële brakke gebieden liggen vooral in noorden van Noord-Brabant, doorlopend in het Gelderse rivierengebied, en het noorden van Gelderland. Daarnaast liggen er kleine versnipperde gebieden in een strook door het midden van het Nederland (Noord-Zuid). De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Calamiteit bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume⁴ van rond de $2 \cdot 10^{12}$ en $8 \cdot 10^{11}$ m³.

Een kleiner gedeelte van Nederland is potentieel geschikt voor NGR Structurele winning. De extra eisen op het gebied van Natura 2000 zorgt er voor dat veel locaties in de Veluwe en in de Roerdalslenk, die wel geschikt waren voor het beleidsdoel calamiteit, afvallen voor de NGR Structurele winning. Daarnaast zorgt de lange onttrekkingstijd van 30 jaar ervoor dat er op veel gebieden te zout of te jong water onttrokken wordt. Ondanks de veel lagere onttrekkingsdebieten (2 en 4 in vergelijking tot 10 en 20 miljoen m³/jaar voor NGR Calamiteit) vallen hierdoor ongeveer dezelfde gebieden af als voor NGR Calamiteit. Geschikte locaties met zoet grondwater liggen voornamelijk in delen van Noord-Brabant en Utrecht. Verder liggen er nog kleine gebieden versnipperd het strook door het midden van het land (Noord-Zuid). De potentiële brakke gebieden voor NGR Structurele winning liggen op vergelijkbare locaties, maar dan op grotere diepte. De potentiële zoete en brakke gebieden voor NGR Structurele winning bedragen, respectievelijk, een ondergrondvolume⁴ van rond de $2 \cdot 10^{11}$ en $4 \cdot 10^{11}$ m³.

Voor de NGR Structurele winning is onderzocht hoeveel water er gelijktijdig uit de NGR gewonnen kan worden zonder de gestelde effect criteria te onderscheiden. Uit de analyse

⁴ Let op dat hier het 3D ondergrondvolume (water + zand/klei) van het gekarteerde gebied wordt bedoeld, en geenszins het winbare volume uit de NGR.

blijkt dat gelijktijdig zo'n 240 miljoen m³/jaar kan worden gewonnen, dit betreft zo'n 10% van de potentiële winlocaties van NGR Structurele winning . In de resulterende verdeling wordt gewonnen in gebieden op de grootste afstand van Natura 2000 gebieden. Andere verdelingen dan de onderzochte kunnen mogelijk zijn.

Op basis van scenarioberekeningen is onderzocht in hoeverre de technisch begrensde NGRs robuust zijn voor lange termijn ontwikkelingen. De beschouwde lange termijn ontwikkelingen zijn Klimaat Hd2100 en grootschalige herinrichting watersysteem en zijn gebaseerd op Component 3 (Janssen & Meeusen, 2024). De resultaten van de wandelend pompstation analyse voor deze scenario's laat beperkte veranderingen zien in de omvang van de technisch begrensde NGR Calamiteit. Door de afgenomen grondwaterwataanvulling neemt het aantal geschikte locaties voor NGR Structurele winning af met 20% in het Klimaat Hd2100 scenario. Het Herinrichting watersysteem scenario resulteert daarentegen in een 15% toename van het aantal geschikte locaties.

Potentiële gebieden voor NGR Calamiteit en Structurele winning liggen niet evenredig over heel Nederland verspreid. De provincies Zeeland, Noord-Holland en Drenthe beschikken over bijna geen enkele potentiële locatie. Terwijl de overige provincies, met name Noord-Brabant, wel beschikken over (grote) gebieden. Limburg bevat alleen een groot geschikt gebied voor NGR Calamiteit en vrijwel geen geschikte locaties voor NGR Structurele winning.

De resultaten uit deze component geven een 3D kartering van potentiële locaties die mogelijk als NGRs zouden kunnen functioneren vanuit een geohydrologisch perspectief. Dit 3D-beeld levert een belangrijke bouwsteen als technische begrenzing van de NGRs. Daarnaast is een eerste inschatting gemaakt van het mogelijke winbare volume dat zich in Nederland bevind. Naast deze technische begrenzing zijn ook andere aspecten van belang voor het aanwijzen van NGR gebieden zoals: lokale omstandigheden, regionale spreiding, alternatieve drinkwater bronnen in een gebied en strijdige belangen. De resultaten van deze 3D kartering zijn ondersteunend voor het proces dat moet leiden tot een advies voor begrenzing van NGRs met een voorstel voor een gepast beschermingsregime dat is afgestemd op het doel van de NGR (component 6).

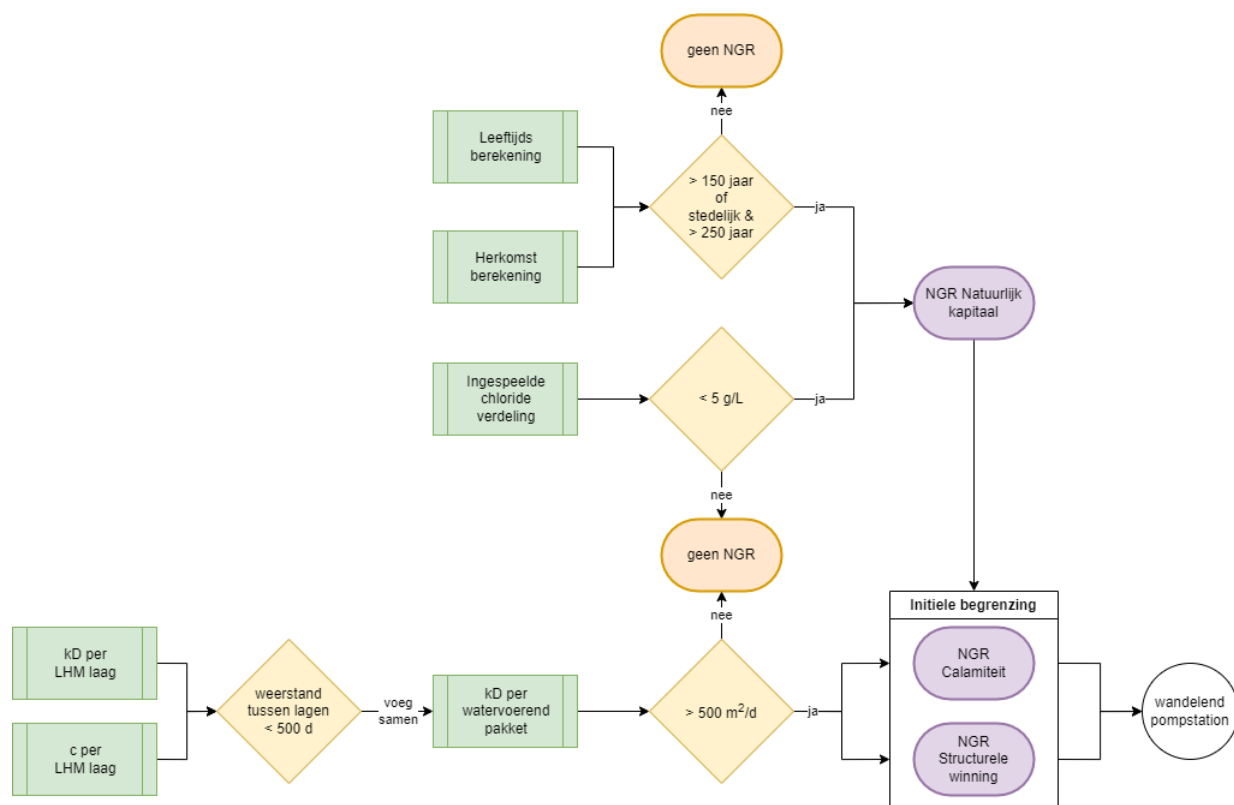
7 Referenties

- De Glee, G. J. (1930). *Over grondwaterstromingen bij waterontrekking door middel van putten*. Technische Hoogeschool Delft.
- De Louw, P., & Pouwels, J. (2023). *4D-kartering - invloed dynamiek grondwatersysteem - 2100 scenario's: Deelrapportage 3 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserve*. Deltares rapport 11207846-002-BGS-0006.
- De Louw, P., Witte, J.-P., van den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., Pouwels, J., & Hunink, J. (2022). Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland. *Stromingen: Vakblad Voor Hydrologen*, 28(1), 3–21.
- Delsman, J., America, I., & Mulder, T. (2022). *Grondwaterverziltiging en watervraag bij een stijgende zeespiegel. Kennisprogramma Zeespiegelstijging, spoor II*. Deltares rapport 11208039-009-BGD-0001.
- Delsman, J. R., Oude Essink, G., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., Romero Verastegui, B., & Janssen, G. M. C. M. (2020). Actualisatie zout in het NHI - Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model. In *Deltares rapport 11205261-003-BGS-0001*.
- Erkens, G., Kooi, H., & Melman, R. (2021). *Actualisatie bodemdalingsvoorspellingskaarten*, Deltares rapport 11206724-002-BGS-0001.
- Goode, D. J. (1996). Direct simulation of groundwater age. *Water Resources Research*, 32(2), 289–296.
- Gunnink, J., Van Vliet, M. & Zaadnoordijk, W. (2024). Analyse winbaarheid kwaliteit - Deelrapportage 5b van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves.
- Hunink, J. C., van Walsum, P., Vermeulen, P., Pouwels, J., Bootsma, H., Janssen, G., Swierstra, W., Prinsen, G., Meshgi, A., Veldhuizen, A., de Lange, W., Hummelman, H. J., Bos-Burgering, L., & Kroon, T. (2020). *Veranderingsrapportage LHM 4.0*. In *Deltares rapport 11203718-000-BGS-0002*.
- IenW, & EZK. (2018). *Structuurvisie Ondergrond (STRONG)*.
- KNMI. (2023). *KNMI'23-klimaatsscenario's voor Nederland*. KNMI-Publicatie 23-03.
- Meeusen, R., de Louw, P., Boelens, R., & Mens, M. (2023). *Effectiviteit van bufferzones voor grondwaterstandsverhoging in grondwaterafhankelijke natuurgebieden op de zandgronden Een modelverkenning op landelijke schaal*. Deltares rapport 11209259-000-ZWS-0001.
- Janssen, G. en Meeusen, R. (2024). *Invloed dynamiek grondwatersysteem op kartering Nationale Grondwater Reserves Kwantitatieve uitwerking: deelrapportage 3b van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves*. Deltares rapport.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM). (2014). *Beleidsnota Drinkwater. Schoon drinkwater voor nu en later*.
- Tauw. (2018). *Methodiek regionale studies ASV Gelderland: fase 1*.
- Van Den Eertwegh, G., Bartholomeus, R., De Louw, P., Witte, F., Van Dam, J., Van Deijl, D., Hoefsloot, P., Clevers, S., Hendriks, D., Van Huijgevoort, M., Hunink, J., Mulder, N., Pouwels, J., & De, J. (2019). *Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland - Rapportage Fase 1: ontwikkeling van uniforme werkwijze voor analyse van droogte en tussentijdse bevindingen* (Issue september).
- Vos, R. (2021). *Zeespiegelstijging na 2200 ten behoeve van zoetwaterbeheer en zandige kust*. RWS WVL memo d.d. 17-06-2021.

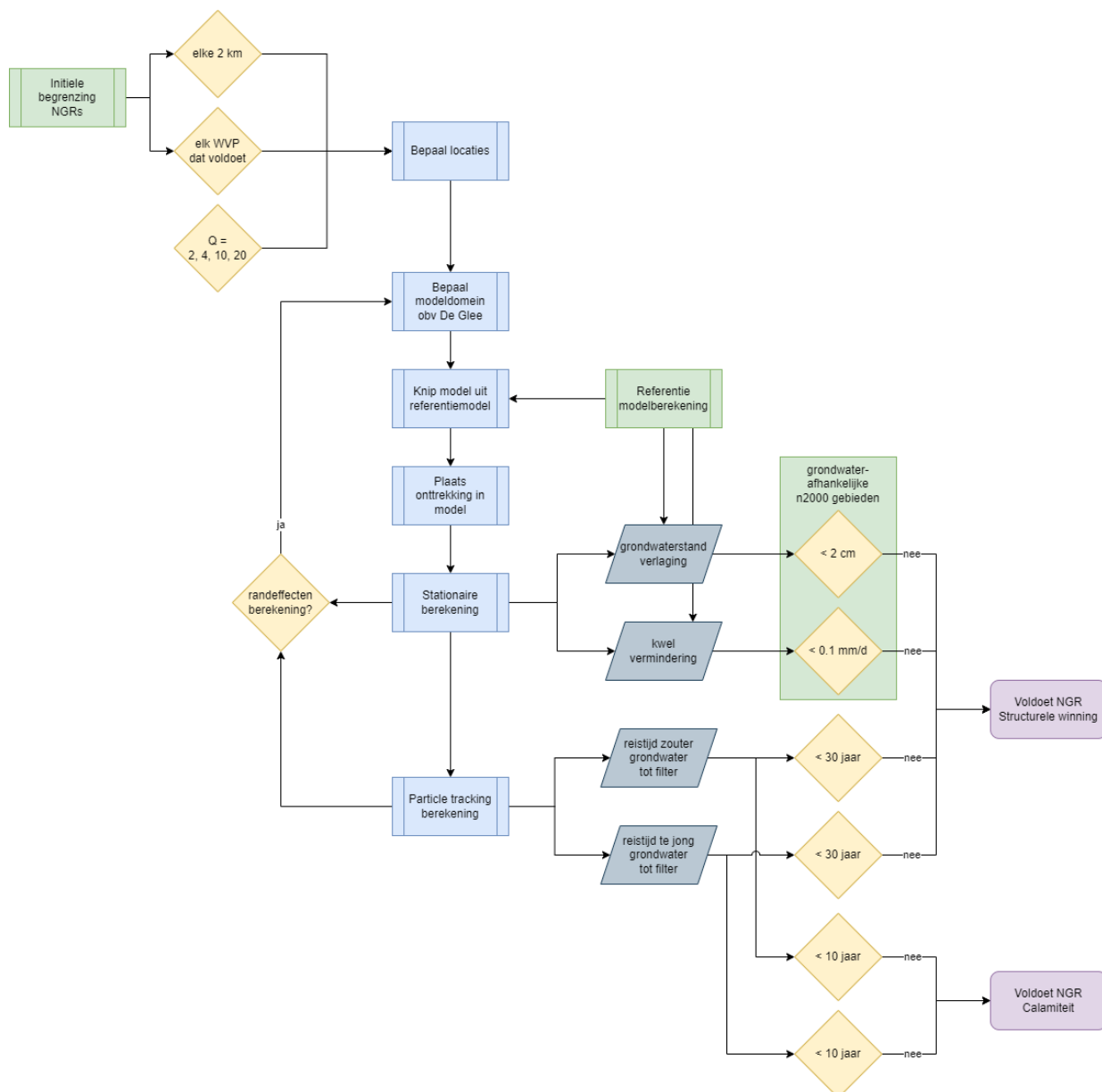
A Begrippenlijst

ASV	Aanvullende Strategische Voorraden; waar de provincies verantwoordelijk zijn voor het borgen van de bronnen voor de drinkwatervoorziening op de middellange termijn (2040)
DMB-front	Het front van door de mens beïnvloed grondwater
c	Verticale hydraulische weerstand
Cl ⁻	Chloride ionen
IenW	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
IPO	Interprovinciaal Overleg
kD	Doorlaatvermogen
KPZSS	Kennisprogramma Zeespiegelstijging
KWO of WKO	Koude-warmteopslag
LHM	Landelijk Hydrologische Model. De landelijke toepassingen van het NHI
LSW	Local Surface Water unit
PlanMER	Plan-milieueffectrapportage
NGR	Nationale Grondwater Reserves; Zoet en brak grondwater van natuurlijke kwaliteit
NHI	Nederlands Hydrologisch Instrumentarium
SEAWAT	Computer programma om drie-dimensionale variabele dichtheidsstroming te berekenen, bijvoorbeeld voor zoet, brak en zout grondwater.
SodM	Staatstoezicht op de Mijnen
STRONG	Structuurvisie Ondergrond
UvW	Unie van Waterschappen
VEWIN	Vereniging van drinkwaterbedrijven in Nederland
VNG	Vereniging van Nederlandse Gemeenten
VOCL	Vluchtige chloorkoolwaterstoffen
WVP	Watervoerend pakket

B Stroonschema's analyse

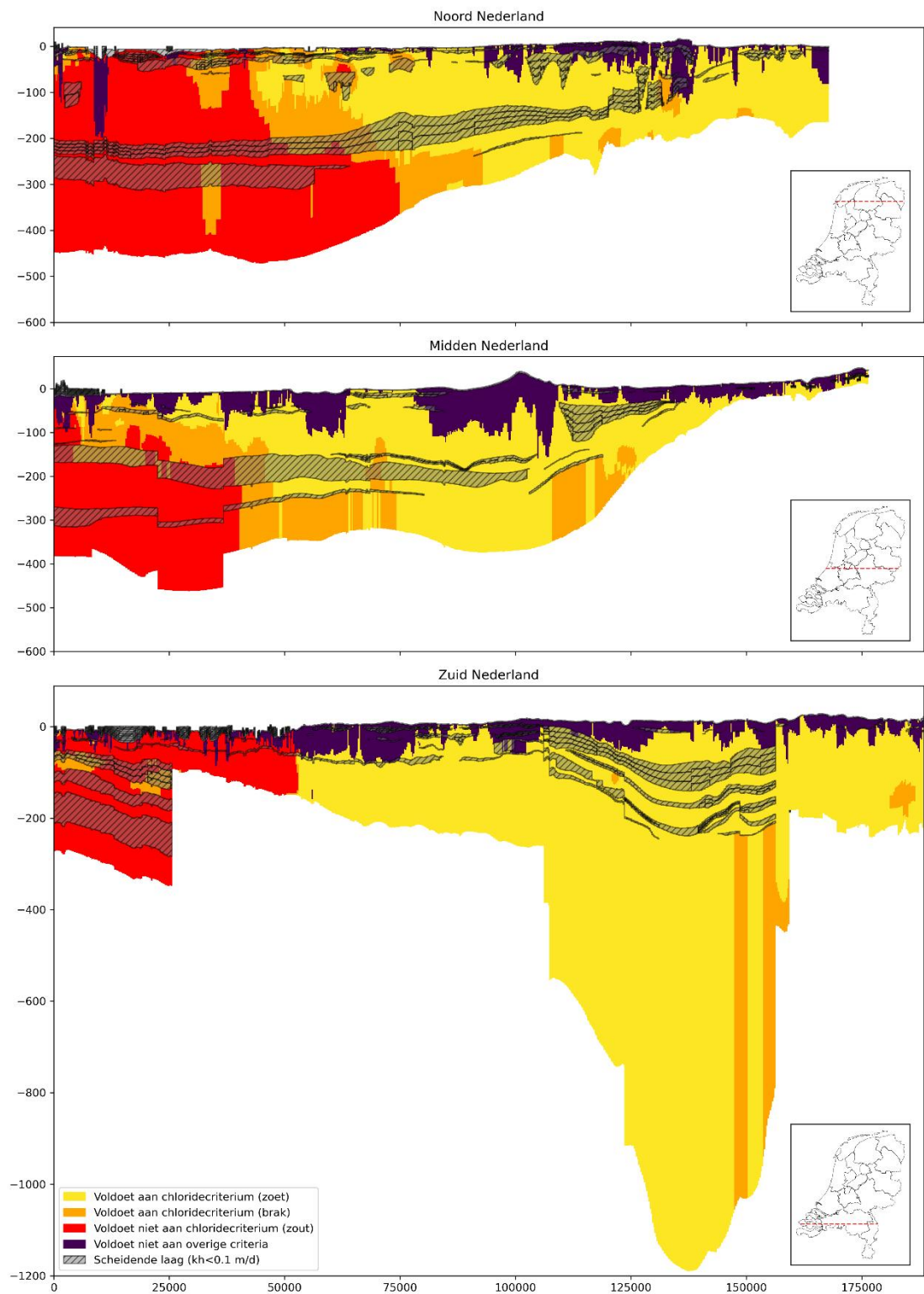


Figuur 22 Stroonschema afbakening initieel zoekgebied.

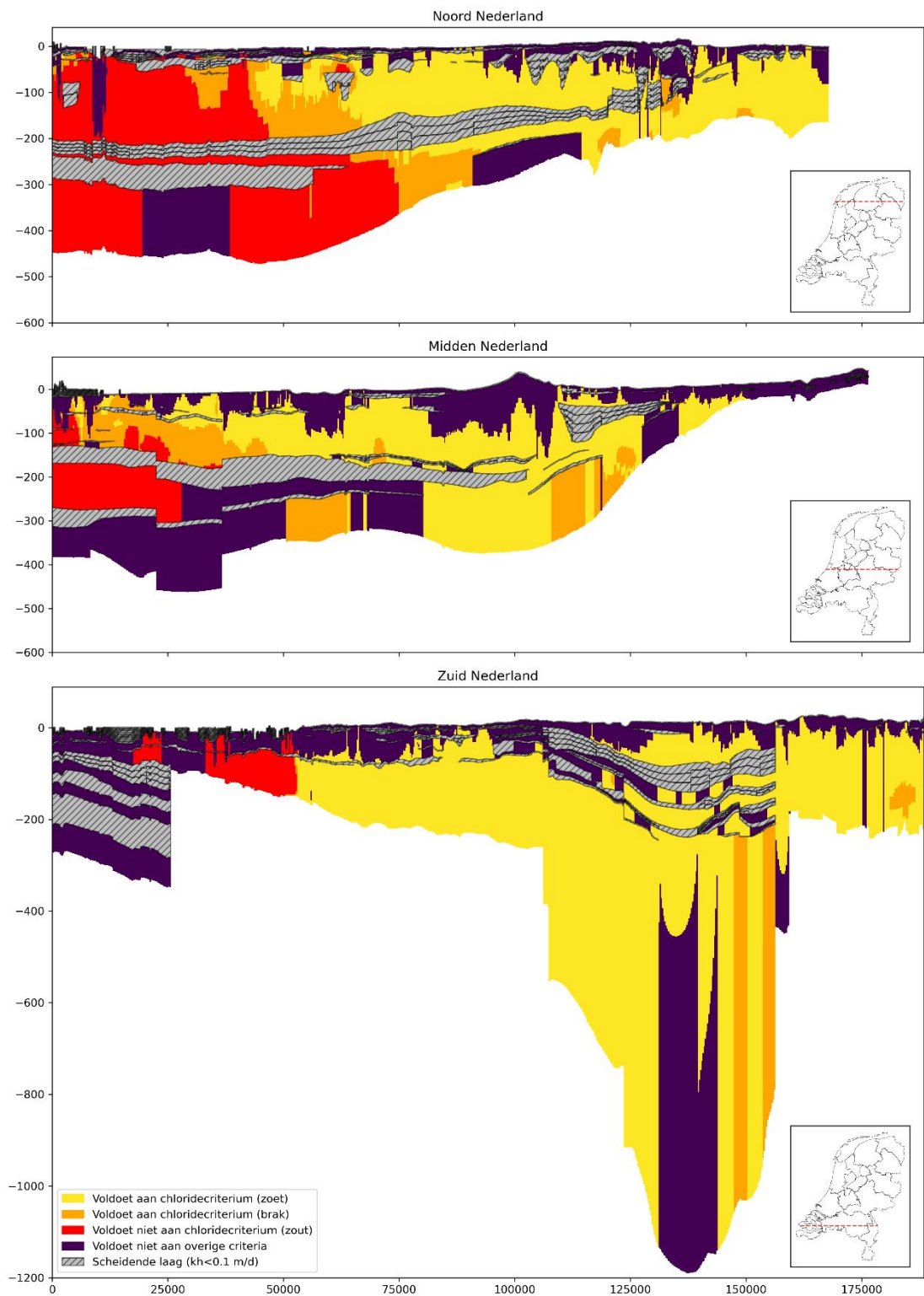


Figuur 23 Stroomschema bepaling effecten winning voor NGRs Calamiteit en Structurele winning op basis van 'wandeland pompstation'.

C Dwarsdoorsneden Initieel zoekgebied



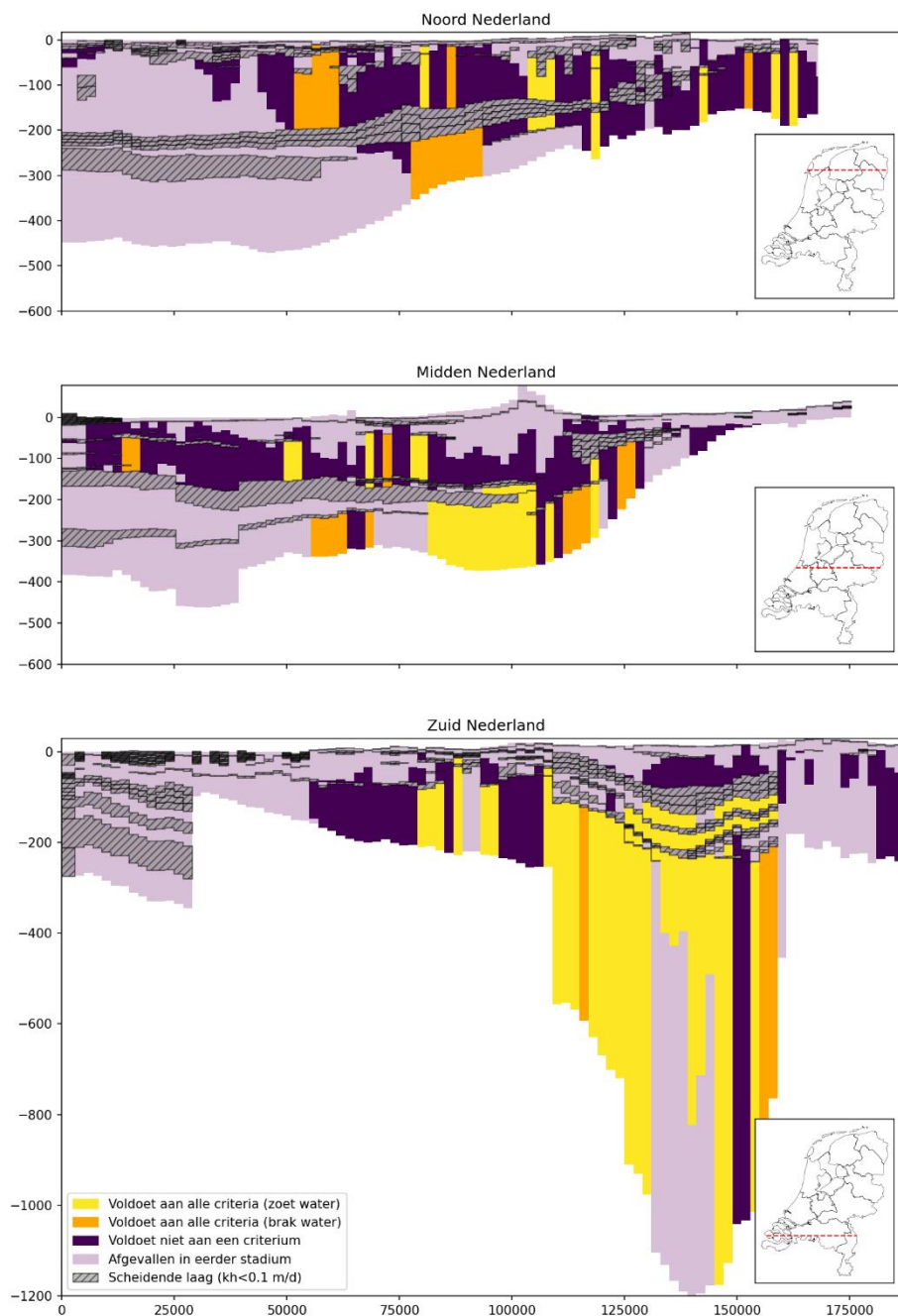
Figuur 24 Dwarsdoorsneden Initieel zoekgebied NGR Natuurlijk kapitaal.



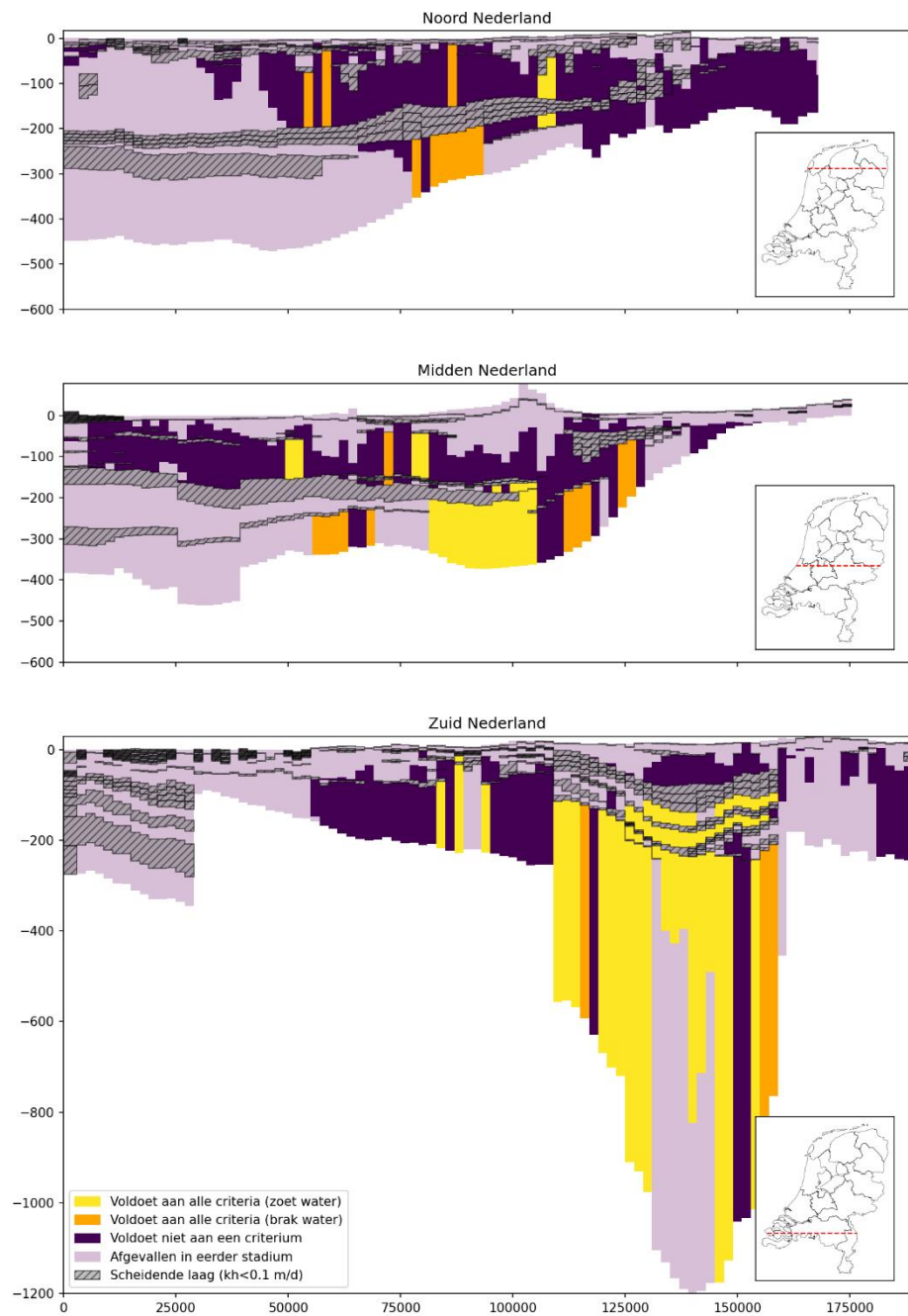
Figuur 25 Dwarsdoorsneden Initieel zoekgebied NGRs Calamiteit en Structurale winning (initieel zoekgebied is gelijk).

D Dwarsdoorsneden Technische begrenzing NGRs

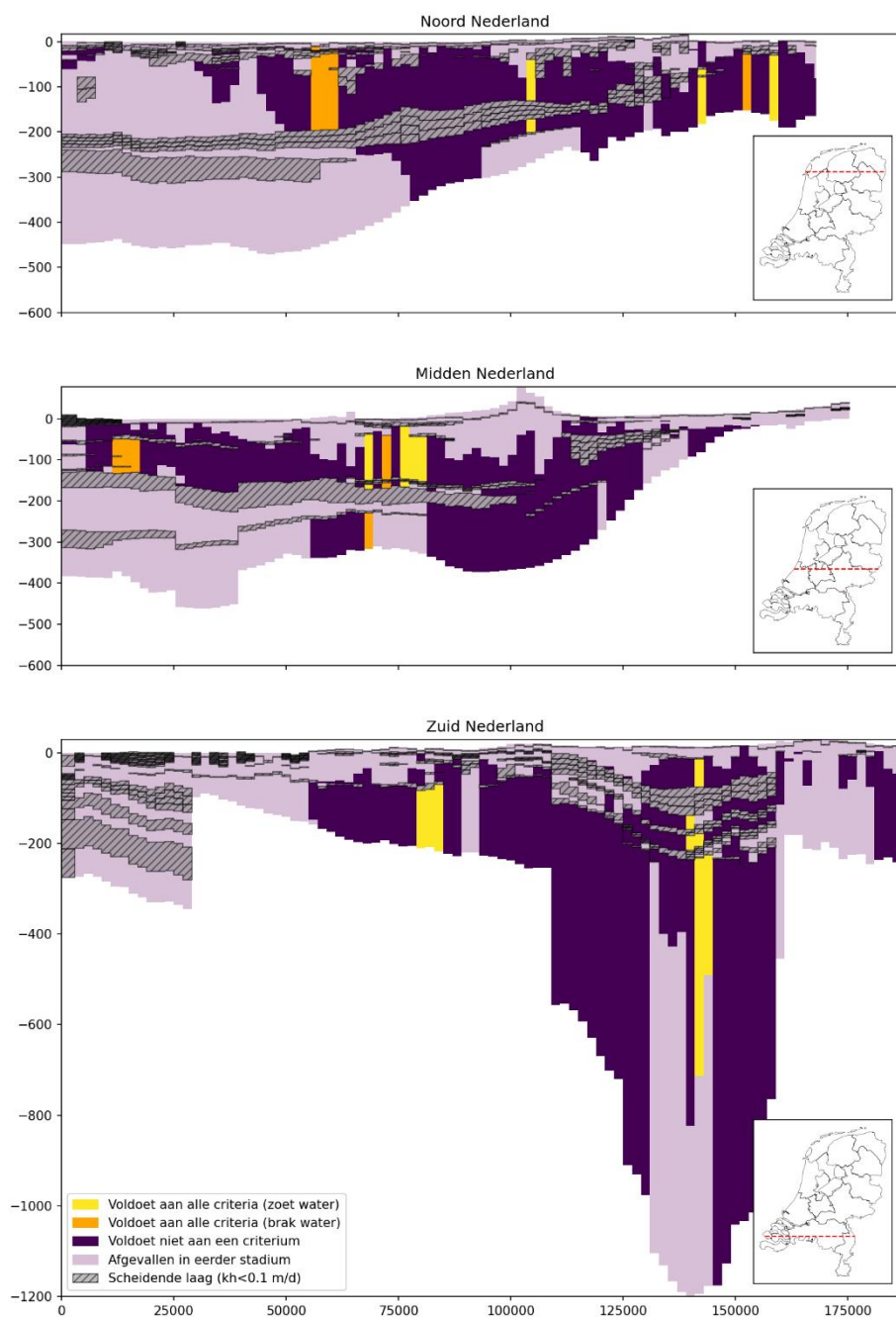
NB. Technische begrenzing Natuurlijk kapitaal is gelijk aan Initieel zoekgebied.



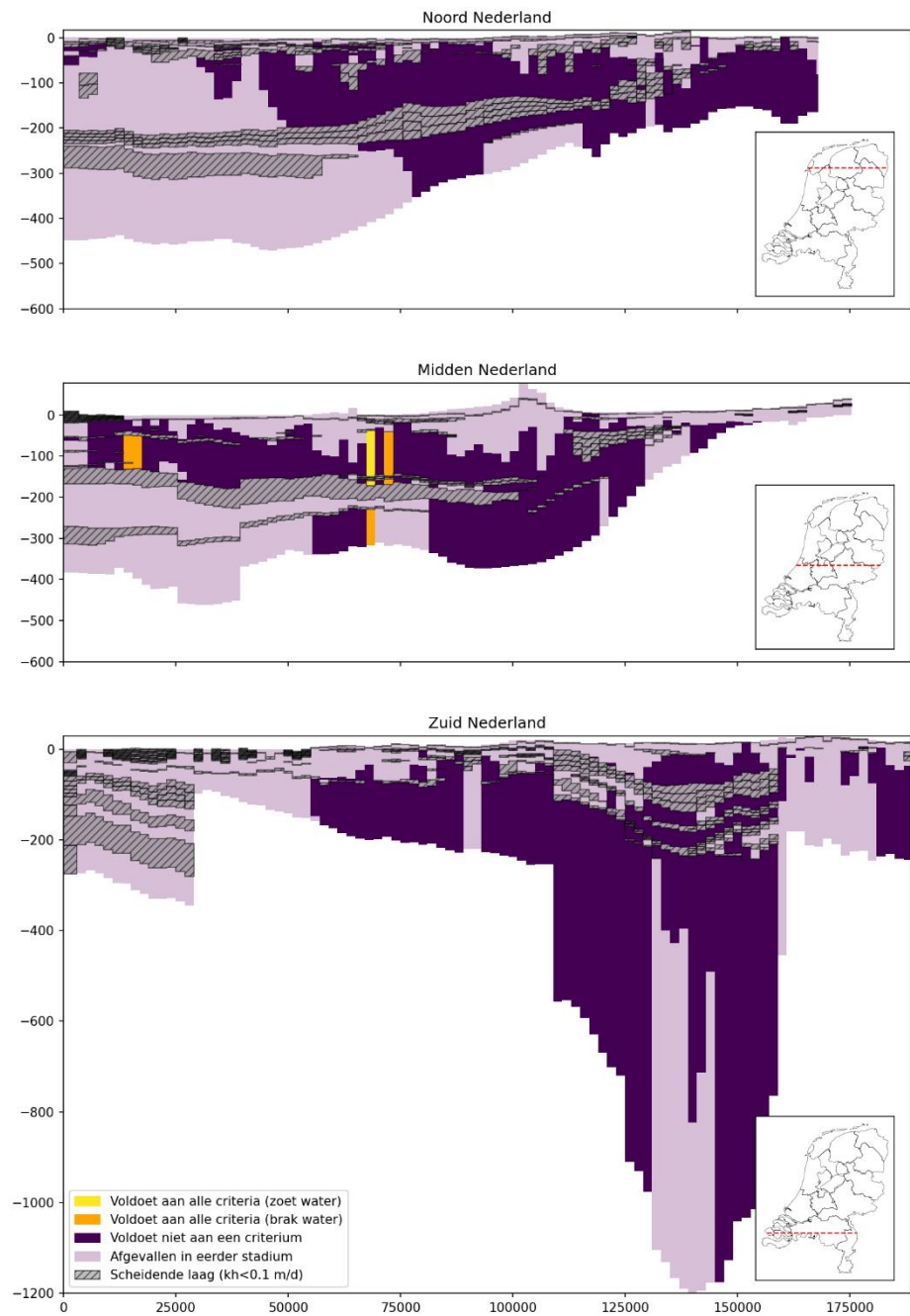
Figuur 26 Dwarsdoorsneden toetsing effecten NGR Calamiteit 10 miljoen m³/jaar.



Figuur 27 Dwarsdoorsneden toetsing effecten NGR Calamiteit 20 miljoen m³/jaar.



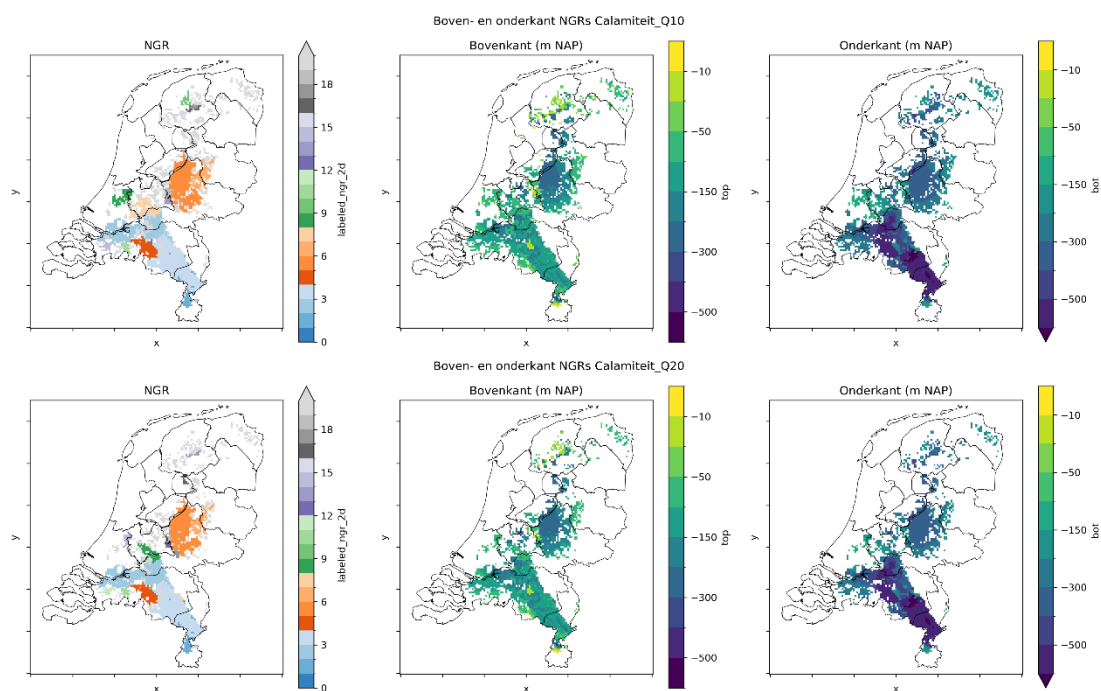
Figuur 28 Dwarsdoorsneden toetsing effecten NGR Structurele winning 2 miljoen m^3 /jaar.



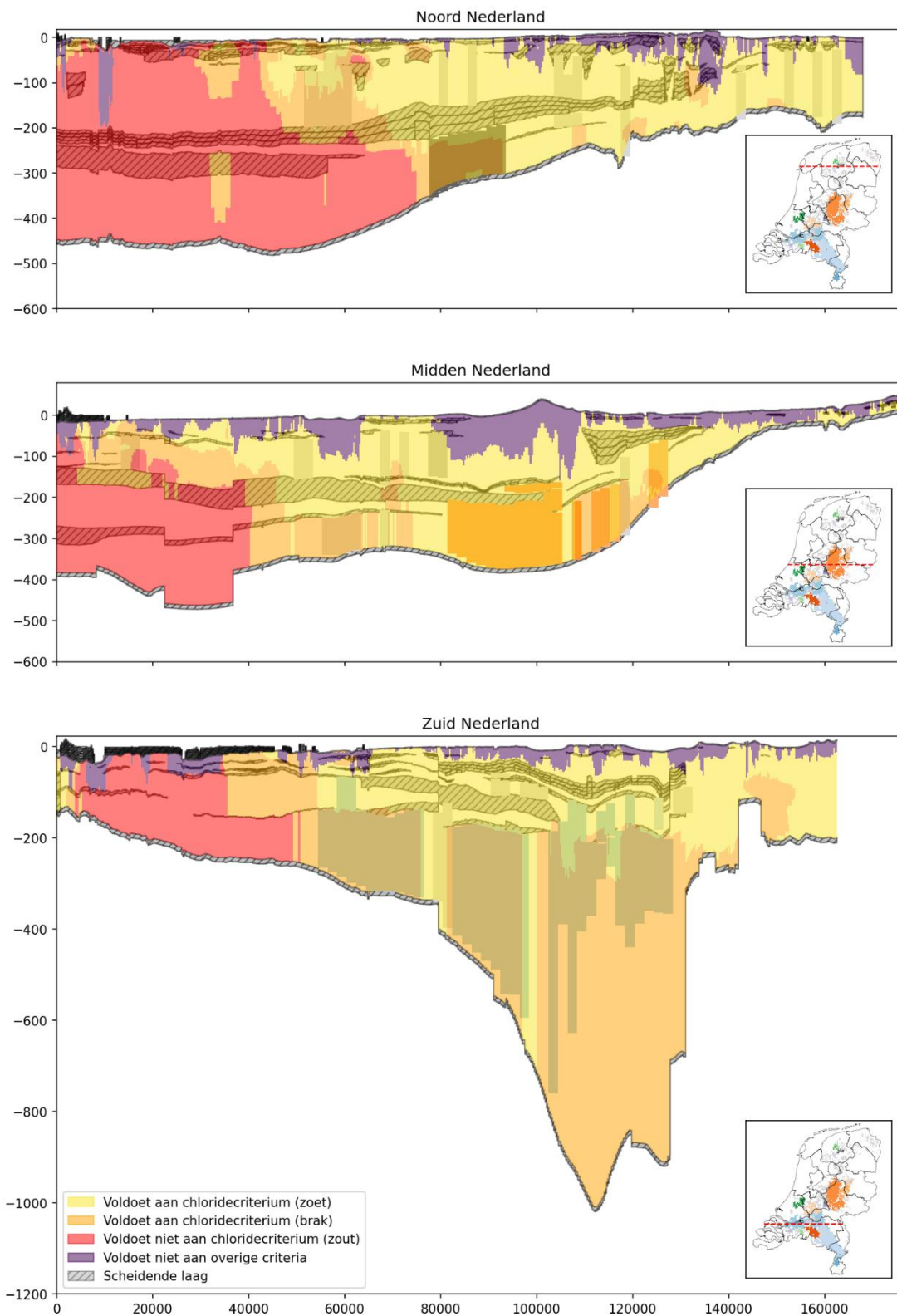
Figuur 29 Dwarsdoorsneden toetsing effecten NGR Structurele winning 4 miljoen m³/jaar.

E Dwarsdoorsneden clustering NGRs

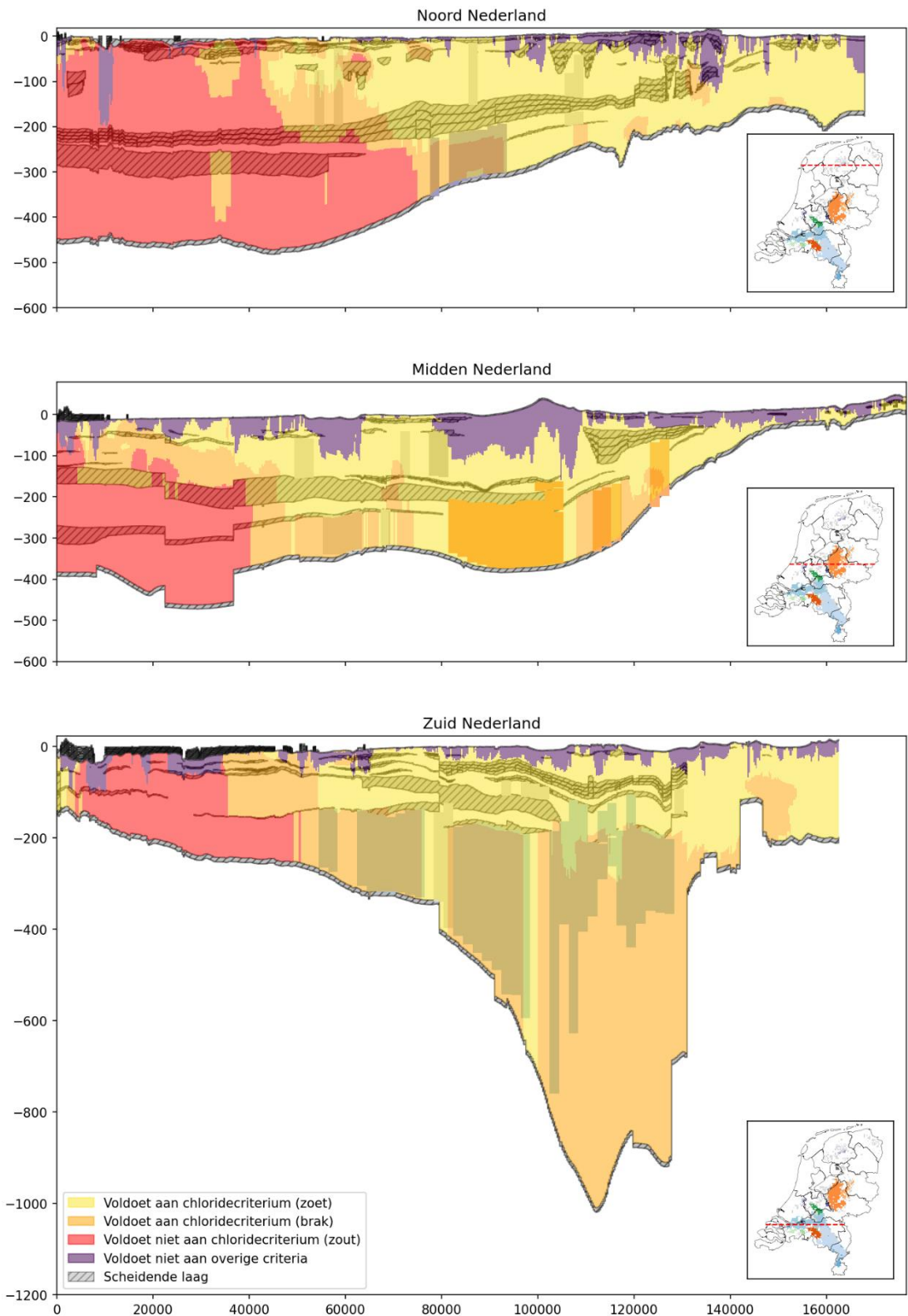
E.1 Calamiteit



Figuur 30: Links) 19 geclusterde NGR Calamiteit gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 10 (boven) en 20 (onder) miljoen m³/jaar. Elke kleur geeft een ander gebied weer, de gebieden kunnen in de diepte overlappen. Midden) de bovenkant (m NAP) van de geclusterde NGR Calamiteit gebieden. Rechts) de onderkant (m NAP) van de geclusterde NGR Calamiteit gebieden.

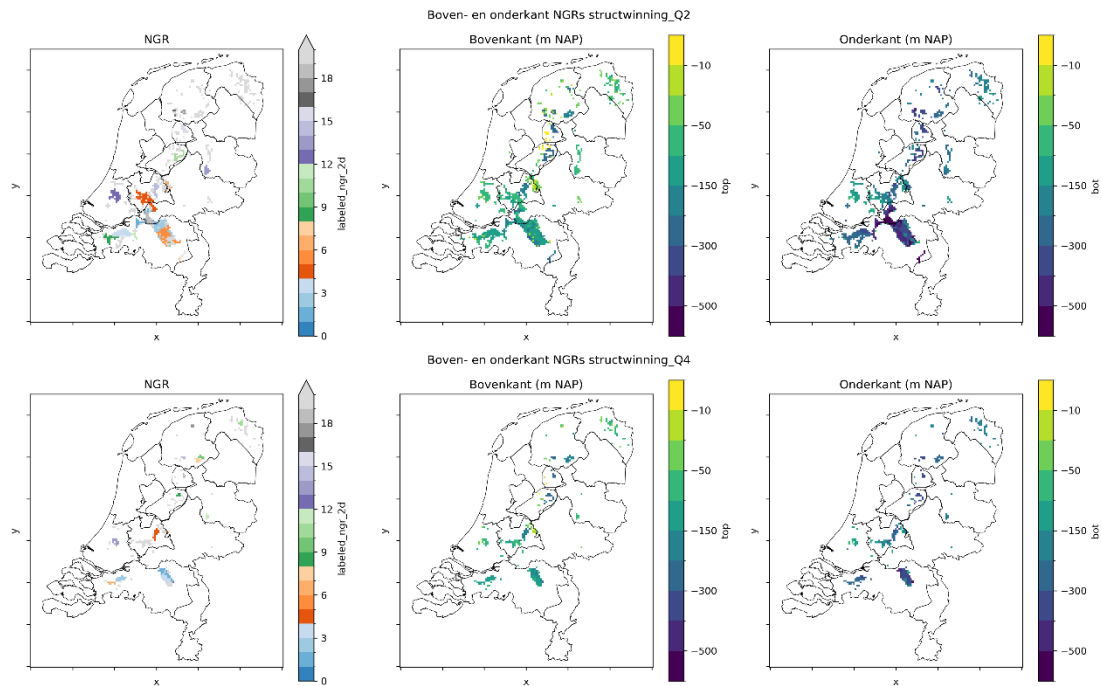


Figuur 31: Dwarsdoorsneden geclusterde NGR-calamiteit gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 10 miljoen m³/jaar. Elk geclusterd gebied heeft een aparte kleur en wordt transparant over de gekleurde chloride gehalten getekend. De geclusterde gebieden raken elkaar ergens lateraal of in de diepte. Het is mogelijk dat dit raakpunt niet plaatsvindt in de specifieke dwarsdoorsneden maar op een andere locatie.

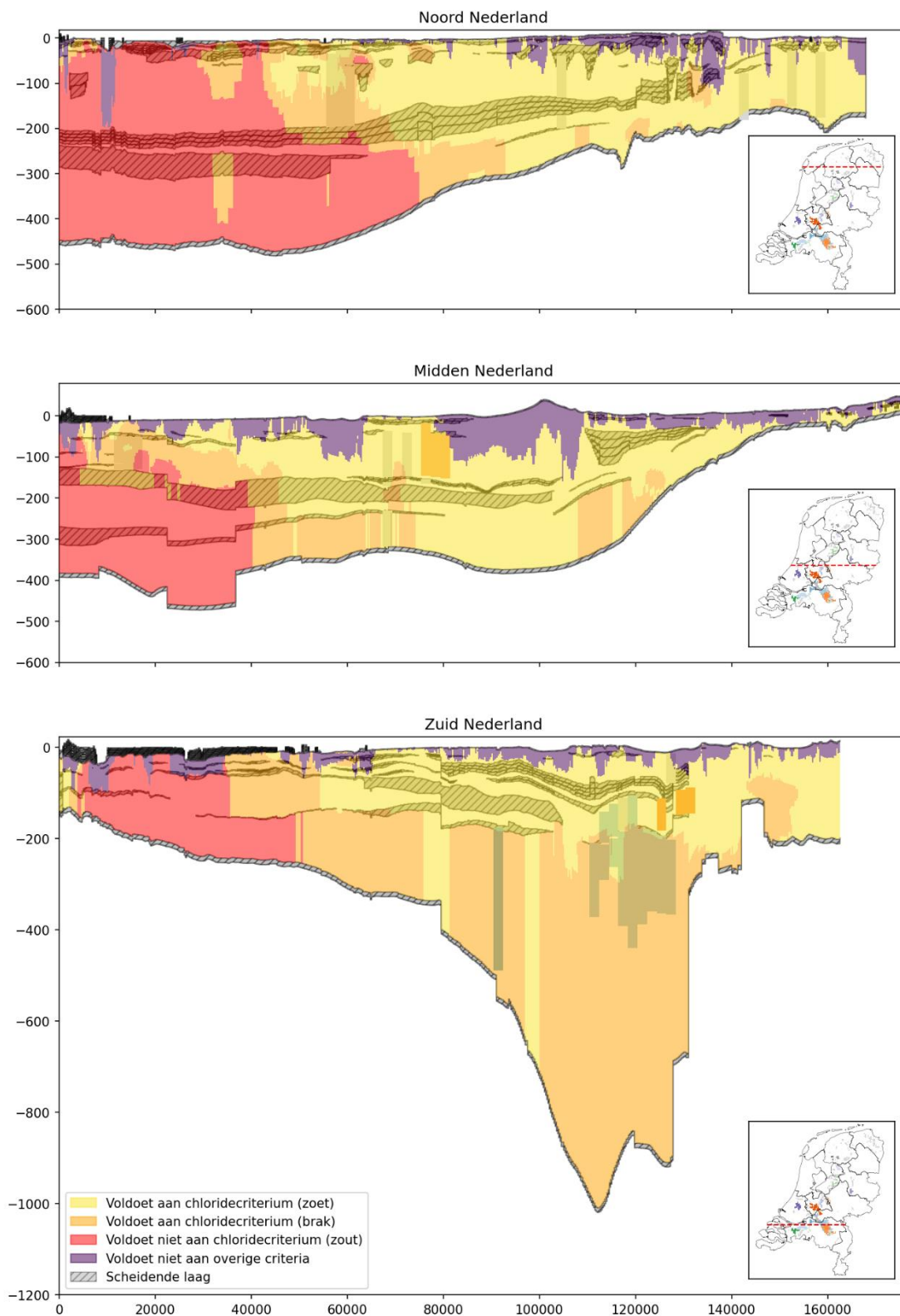


Figuur 32 Dwarsdoorsneden geclusterde NGR-calamiteit gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 20 miljoen m³/jaar. Elk geclusterd gebied heeft een aparte kleur en wordt transparant over de gekleurde chloride gehalten getekend. De geclusterde gebieden raken elkaar ergens lateraal of in de diepte. Het is mogelijk dat dit raakpunt niet plaatsvindt in de specifieke dwarsdoorsneden maar op een andere locatie.

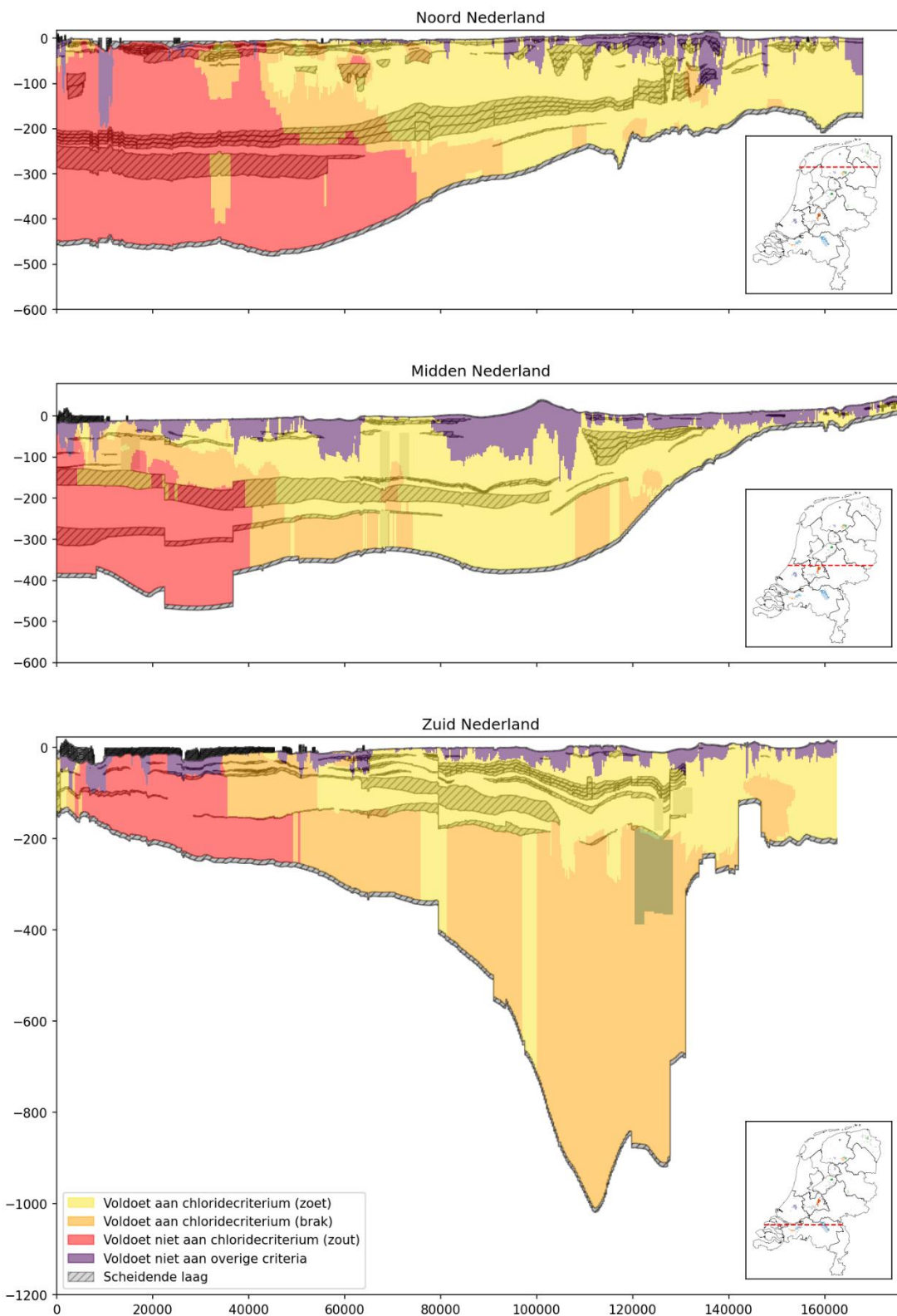
E.2 Structurele winning



Figuur 33: Links) 19 geclusterde NGR Structurele winning gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 2 (boven) en 4 (onder) miljoen m³/jaar. Elke kleur geeft een ander gebied weer, de gebieden kunnen in de diepte overlappen. Midden) de bovenkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning gebieden. Rechts) de onderkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning gebieden.

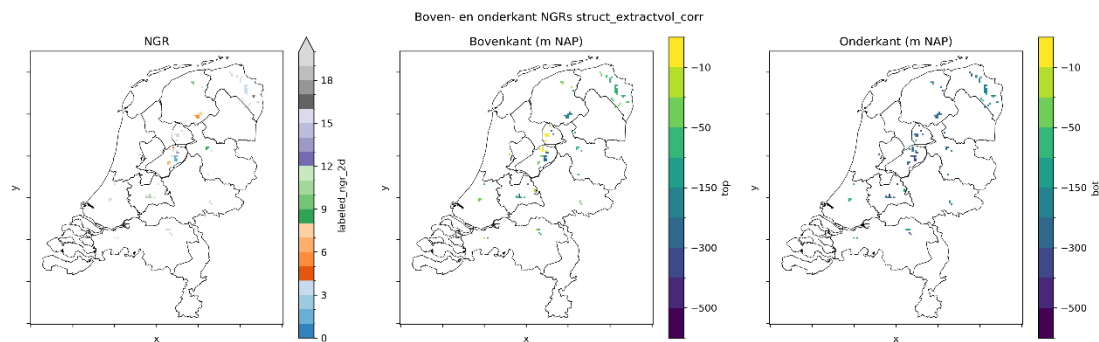


Figuur 34 Dwarsdoorsneden geclusterde NGR Structurele winning gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 2 miljoen m³/jaar. Elk geclusterd gebied heeft een aparte kleur en wordt transparant over de gekleurde chloride gehalten getekend. De geclusterde gebieden raken elkaar ergens lateraal of in de diepte. Het is mogelijk dat dit raakpunt niet plaatsvindt in de specifieke dwarsdoorsneden maar op een andere locatie.

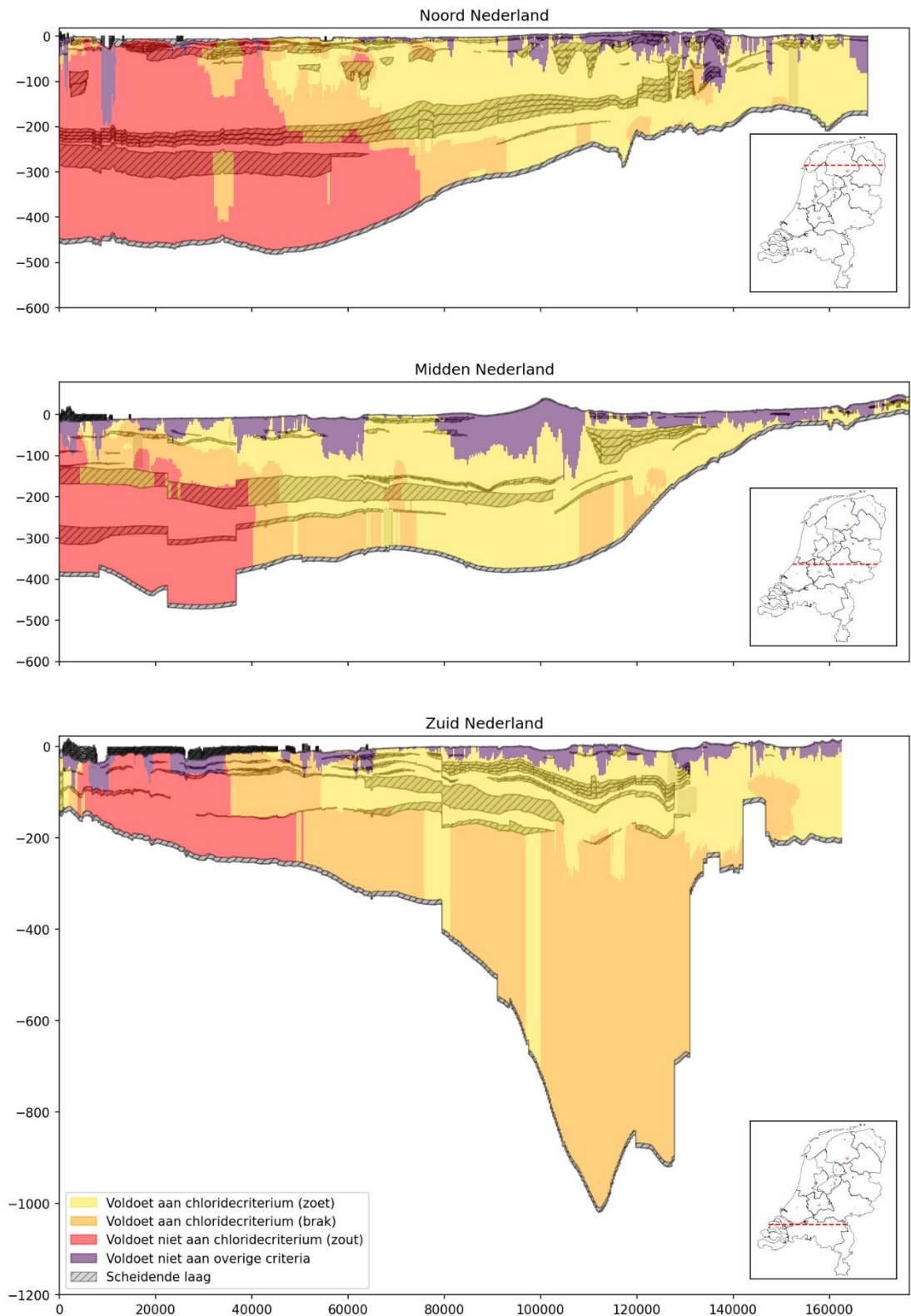


Figuur 35 Dwarsdoorsneden geclusterde NGR Structurele winning gebieden voor een onttrekkingsdebiet van 4 miljoen m³/jaar. Elk geclusterd gebied heeft een aparte kleur en wordt transparant over de gekleurde chloride gehalten getekend. De geclusterde gebieden raken elkaar ergens lateraal of in de diepte. Het is mogelijk dat dit raakpunt niet plaatsvindt in de specifieke dwarsdoorsneden maar op een andere locatie.

E.3 Draagkrachtanalyse



Figuur 36: Links) Aaneengesloten NGR Structurele winning - draagkracht gebieden. Elke kleur geeft een ander gebied weer, de gebieden kunnen in de diepte overlappen. Midden) de bovenkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning – draagkracht gebieden. Rechts) de onderkant (m NAP) van de geclusterde NGR Structurele winning – draagkracht gebieden.



Figuur 37 Dwarsdoorsneden geclusterde NGR Structurele winning – draagkracht gebieden. Elk geclusterd gebied heeft een aparte kleur en wordt transparant over de gekleurde chloride gehalten getekend. De geclusterde gebieden raken elkaar ergens lateraal of in de diepte. Het is mogelijk dat dit raakpunt niet plaatsvindt in de specifieke dwarsdoorsneden maar op een andere locatie.

F Aanpassingen modelberekeningen langjarige ontwikkelingen

F.1 Klimaatverandering – Hoge uitstoot - droog

Voor de implementatie van klimaatverandering is gebruik gemaakt van de recent gepubliceerde KNMI'23 scenario's (KNMI, 2023). Er is gekozen voor het Hd scenario omdat verwacht werd dat dit scenario de meeste invloed heeft op het winbare volume van de NGRs. Het Hd scenario staat voor een hoge uitstoot ('H') met een nat scenario ('n'). In het hoge uitstootscenario (aangeduid met hoofdletter 'H') blijft de uitstoot in gelijke mate toenemen tot 2080 om daarna af te vlakken. De 'n' scenario's kennen een sterke vernatting in de winter (met nog steeds een verdroging in de zomer, zij het aanzienlijk minder dan in de droge scenario's van het KNMI). De klimaatscenario's grijpen in het LHM zoetzout aan op de langjarig gemiddelde grondwateraanvulling. De grondwateraanvulling is berekend als het langjarige verschil tussen de neerslag en de verdamping. De berekening en discussie over deze methode staat beschreven in het rapport van Component (Janssen & Meeusen, 2024). Voor de berekening van de gehele periode 2000 t/m 2100 is er een opbouw van klimaatverandering gedurende deze periode. Vervolgens is de situatie in 2100 als conditie overgenomen voor de stationaire modelberekeningen van het "wandeland pompstation".

Naast de grondwateraanvulling zijn ook de effecten zeespiegelstijging meegenomen. Het KNMI heeft in 2023 ook nieuwe zeespiegelstijgingsscenario's uitgebracht. Het doorgerekende scenario is dat van de bovengrens van de hoge scenario's, oftewel 124 cm zeespiegelstijging in 2100. De implementatie van zeespiegelstijging volgt die van de studie naar de effecten van extreme zeespiegelstijging op grondwaterverziltiging en watervraag (Delsman et al., 2022), die in het kader van het Kennisprogramma Zeespiegelstijging (KPZSS) is uitgevoerd. Samengevat houdt dit in:

- De zeespiegelstijgingscurve die is gehanteerd is afkomstig van (Vos, 2021). De curve is in het model geïmplementeerd in vijfjaarlijkse stappen. De condities van de laatste stap zijn vervolgens overgenomen voor de stationaire modelberekeningen van het "wandeland pompstation".
- Zeespiegelstijging in rivier- en zeearmen die nu open zijn, is 1 op 1 meegenomen met het stijgen van het waterpeil.
- Waar een fysieke afscheiding is tussen de zee en het binnenwater, stijgt het landinwaartse waterpeil niet mee.
- De doorwerking van de zeespiegelstijging op rivierwaterstanden wordt meegenomen voor het hoofdwatersysteem. De mate van 'meestijgen' is mede afhankelijk van de rivierafvoer: hoe lager de rivierafvoer, hoe sterker het relatieve effect van de zeespiegel op rivierwaterstanden landinwaarts.
- Veranderende, van zeespiegelstijging afhankelijke chlorideconcentraties in de Rijn-Maasmonding zijn gebaseerd op berekeningen uit Haasnoot et al., 2018. Voor het overige oppervlaktewater wordt chlorideconcentratie niet aangepast aan de zeespiegelstijging.

De condities van de laatste stap in 2095 zijn vervolgens overgenomen voor de stationaire modelberekeningen van het "wandeland pompstation".

Net als de zeespiegelstijging volgt ook de bodemdaling de implementatie volgens de KPZSS studie (Delsman et al., 2022). Het verloop van de bodemdaling in het model is conform de prognoses in de Klimaateffectatlas (<https://www.klimaateffectatlas.nl/nl/bodemdalingsvoorspellings-kaarten>) (Erkens et al., 2021) voor het scenario Business-as-Usual. Dit scenario gaat uit van voortgaande peilindexatie en

sterke klimaatverandering. Dit scenario heeft in het model effect op het peil van de regionale waterlopen (primair, secundair en tertiair systeem) en de verschillende drainagesystemen (buisdrainage, maaiveldgreppels en oppervlakteafvoer). Met het peil zakt ook de bodemligging van de waterlopen. In de modelberekeningen van Component 3 vonden de peilindexatiemomenten elke 10 jaar plaats. Na het laatste indexatiemoment (2095) werden peilen, drainagesystemen en het maaiveld tot het einde van de modelberekening niet meer geïndexeerd. De situatie in 2095 is als conditie overgenomen in de stationaire modelberekeningen van het “wandeland pompstation”.

De effecten van autonome verzilting worden in de stationaire modelberekeningen van het “wandeland pompstation” meegenomen door de resultaten van chloride concentraties in 2100 uit de berekeningen van component 3 te gebruiken als start concentraties.

De gecombineerde effecten van de bovengenoemde lange termijn ontwikkeling op de stijghoogte van het grondwater uit de lange termijn berekeningen van Component 3 worden in de stationaire modelberekeningen van het “wandeland pompstation” gebruikt als startwaardes.

F.2 Herinrichting watersysteem

De herinrichting van het watersysteem is gebaseerd op de bevindingen De Louw & Pouwels (2023). Zij bespreken, voor de vier landschapstypen waarin Nederland grofweg kan worden ingedeeld (zandgebied, kleigebied, veenweidegebied en het Limburgse kalklandschap), hoe het watersysteem in de toekomst anders ingericht zou kunnen worden om aan de wateropgaven te voldoen. Hieronder wordt per landschapstype kort samengevat welke verandering in LHM-zoetzout zijn geïmplementeerd. Het kalklandschap is daarbij buiten beschouwing gebleven, omdat De Louw & Pouwels (2023) aangaven dat de watersysteemveranderingen die zij voor ogen hadden een geringe impact hebben op het gemiddelde grondwatersysteem. Uitgebreidere achtergrond en discussie punten worden toegelicht in rapport van Component 3 (Janssen & Meeusen, 2024).

Zandgebieden (hoge zandgronden)

De Louw et al. (2022) stelden een herinrichting van het zandlandschap en watersysteem voor, waarbij wordt gestreefd naar optimaal natuurherstel en waarbij invulling wordt gegeven aan het principe van water- en bodemsysteem sturend bij de ruimtelijke ordening. Een belangrijke rol is hierin weggelegd voor bufferzones rondom natuurgebieden vanwege de modelmatig aangetoonde hoge effectiviteit (Meeusen et al., 2023). De in LHM-zoetzout doorgevoerde herinrichting van het watersysteem in het zandgebied volgt grotendeels de aanpak uit bovengenoemde studie (Meeusen et al., 2023):

- 1) In een bufferzone van 500m rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden:
 - a. Buisdrainage verwijderd
 - b. Ontwateringsdiepte verhoogd tot 0.3m-mv
- 2) In een bufferzone van 1000m rondom grondwaterafhankelijke natuurgebieden:
 - a. Onttrekkingen (niet-landbouw) gehalveerd
- 3) Buiten de bufferzones: grondwaterstandsverhoging van 25cm nagestreefd via ophoging van slootbodems en peilen en drainage. Hierbij is een minimale ontwateringsdiepte van 0.5m gehanteerd.

Kleigebied

In het kleigebied, en dan specifiek de zeekleipolders, speelt de problematiek van interne verzilting van het oppervlaktewater. Herinrichting van het watersysteem in de zeekleipolders kan er dus op gericht zijn om de zoute kweldruk te verminderen. Dit kan middels peilopzet,

wat zorgt voor een significante verlaging van het stijghoogteverschil tussen het eerste watervoerend pakket waar de brakke kwel uit afkomstig is en het freatische peil.

Dit is als volgt geïmplementeerd in LHM-zoetzout:

- In polders is een peilverhoging tot de gemiddelde drooglegging van 80 cm-mv toegepast op zowel het polderpeil als het boezempeil.
- Deze verhoging tot 80 cm-mv is berekend ten opzichte van het gemiddelde peil per Local Surface Water unit (LSW) in het gekoppelde MOZART model binnen LHM-zoetzout.
- Polders zijn aangegeven als locaties waar het winterpeil lager ligt dan -3m tot NAP.

Veenweide

In het veenweidegebied speelt vooral de bodemdalingsproblematiek door veenoxidatie en de daaraan gerelateerde uitstoot van broeikasgassen. Het ligt voor de hand dat in de toekomst het beleid er meer en meer op gericht zal zijn de bodemdaling af te remmen. Ook hier ligt de sleutel in peilopzet.

Dit is in het LHM-zoetzout als volgt geïmplementeerd:

- De oppervlaktewaterpeilen worden verhoogd tot 20cm-mv.
- In plaats van de bodemdalingskaart behorende bij het Business-as-Usual scenario voor bodemdaling, wordt de kaart behorende bij het 'Parijs-akkoord-scenario' toegepast. Deze kaart impliceert peilfixatie i.p.v. peilindexatie en is daarom beter in lijn met de gehanteerde peilopzet. De condities van de laatste stap in bodemdaling (in 2095) zijn vervolgens overgenomen voor de stationaire modelberekeningen van het "wandeland pompstation".

Naast de effecten van de herinrichting van het watersysteem zijn ook de effecten van autonome verzilting, zeespiegelstijging en bodemdaling op de stijghoogten en chloride gehalten voor 2100 ook door gerekend in dit scenario. Deze implementaties zijn op dezelfde manier als bij het klimaatverandering scenario. De uitkomsten van de lange termijn scenario's

De gecombineerde effecten van de bovengenoemde lange termijn ontwikkeling op de stijghoogte van het grondwater en op het chloridegehalte in 2100 uit de lange termijn berekeningen van Component 3 worden in de stationaire modelberekeningen van het "wandeland pompstation" gebruikt als startwaardes.

G Totstandkoming kaart grondwaterafhankelijke Natura 2000 gebieden

De NGR's met als doel "Structurele winning" mogen geen nadelige effecten hebben op grondwaterafhankelijke Natura 2000-gebieden. Voor deze toetsing is gebruik gemaakt van een kaart met daarop de Natura 2000-gebieden die grondwaterafhankelijk zijn. Deze notitie beschrijft de totstandkoming van deze kaart.

Grondwaterafhankelijke natuur

In de Klimaateffectatlas is een landsdekkende typering opgenomen van de grondwaterafhankelijkheid van natuurbeheertypen (KWR/FWE, 2021). Deze grondwaterafhankelijke natuurkaart bestaat uit een classificering van natuurbeheertypen (Bij12, 2024) in Nederland die geen, weinig gevoelig (W), gevoelig (G) of zeer gevoelig (Z) zijn voor droogte. Hiervan zijn de natuurbeheertypen die weinig gevoelig, gevoelig of zeer gevoelig zijn voor droogte geselecteerd (zie Tabel 12).

Tabel 12: Natuurbeheertypen die droogtegevoelig zijn. Bron: Klimaateffectatlas (KWR/FWE, 2021).

Weinig gevoelig	Gevoelig	Zeer gevoelig
Dennen-, eiken-, en beukenbos	Gemaaid rietland	Zwakgebufferd ven
Duinbos	Hoog- en laagveenbos	Zuur ven of hoogveenven
Eendenkooi	Kranswierwater	Vochtige duinvallei
Glanshaverhooiland	Kruiden- en faunarijk grasland	Vochtig hooiland
Haagbeuken- en essenbos	Moeras	Veenmosrietland en moerasheide
Kruiden- en faunarijke akker	Park- en stinzenbos	Trilveen
Rivier- en moeraslandschap	Rivier- en beekbegeleidend bos	Nat schraalland
Ruigteveld	Vochtig en hellinghakhout	Hoogveen
Vochtig bos met productie	Vochtig weidevogelgrasland	
Wilgengriend	Vochtige heide	
Zand- en kalklandschap	Wintergastenweide	

In gebieden waar de grondwaterstand zeer diep (Gt VII en Gt VIII) is, of waar zich schijnspiegels bevinden, is er weinig interactie tussen het diepe grondwater en de vegetatie. Voor een deel van de natuurbeheertypen geldt dat deze in dit geval (combinatie vóórkomen en diepe grondwaterstand) uit de kaart worden verwijderd. De betreffende natuurbeheertypen zijn aangegeven door expert Flip Witte (mondelinge mededeling, 2024) en vermeld in Tabel 13.

Tabel 13: Natuurbeheertypen die alleen grondwatergevoelig zijn als de grondwatertrap lager is dan VII én geen schijn grondwaterspiegel. W = weinig gevoelig, G = gevoelig.

Natuurbeheertype	Gevoeligheid
Park- en stinzenbos	G
Vochtig en hellinghakhout	G
Kruiden- en faunarijk grasland	G
Vochtig bos met productie	W
Duinbos	W
Dennen-, eiken-, en beukenbos	W
Glanshaverhooiland	W
Haagbeuken- en essenbos	W
Vochtig bos met productie	W
Kruiden- en faunarijke akker	W

Voor de combinatie van grondwaterafhankelijke natuurbeheertypen en diepe grondwaterstand is gebruik gemaakt van het BRO Model Grondwaterspiegeldiepte (BRO, 2022), specifiek het gegevensbestand Grondwatertrappen Gt – Modus. Dit gegevensbestand kent een resolutie van 50 x 50 m. Waar de natuurbeheertypen in Tabel 13 overlappen met Gt klassen VII en VIII of nodata (grondwaterstand dieper dan Gt VIII is niet in de kaart opgenomen) is de overlap uit de kaart gesneden.

Er is voor zover bekend geen landelijke kaart met schijngrondwaterspiegels beschikbaar. De 'oude' bodemkaart 1:50000 kent wel het attribuut schijnspiegels, maar deze zijn alleen op het Drents plateau gekarteerd. Bepaling van de overlap van natuurbeheertypen met schijnspiegels heeft om deze reden niet plaatsgevonden.

Daarnaast zijn de natuurbeheertypen die oppervlaktewater betreffen weggelaten in de uiteindelijke natuurkaart omdat we alleen naar terrestrische natuurgebieden kijken (zie Tabel 14).

Tabel 14: Natuurbeheertypen die bestaan uit oppervlaktewater en uitgesloten zijn van de analyse. W = weinig gevoelig, G = gevoelig

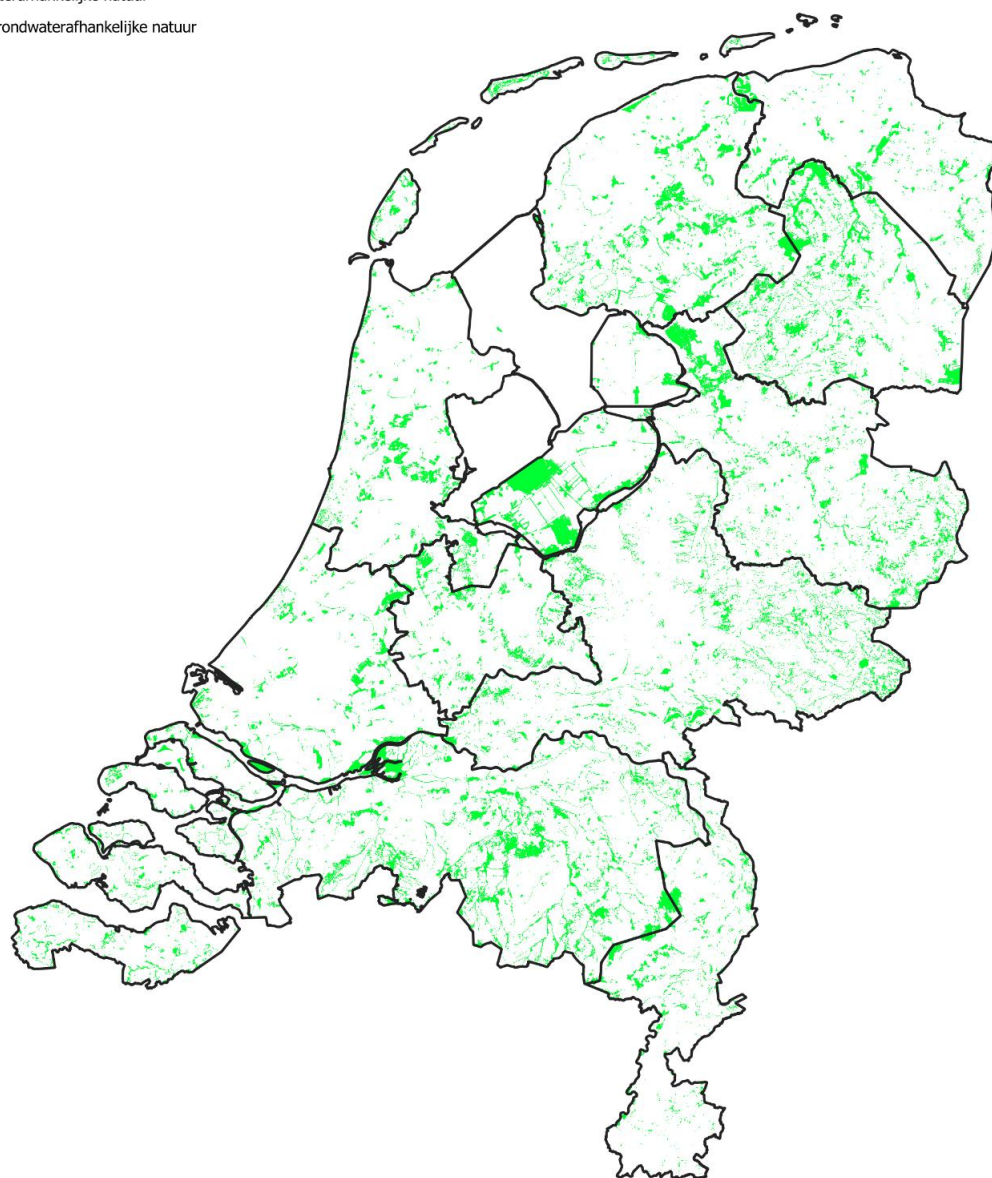
Natuurbeheertype	Gevoeligheid
Beek en bron	G
Zoete plas	W

Hieruit volgt de kaart met grondwaterafhankelijke natuur (Figuur 38).

Legenda

Grondwaterafhankelijke natuur

 grondwaterafhankelijke natuur



Figuur 38: Grondwaterafhankelijke (terrestrische) natuurgebieden.

Natura 2000

Voor de NGR “Structurele winning” wordt alleen getoetst op effecten in Natura 2000-gebieden. De grondwaterafhankelijke natuurkaart van Nederland wordt daarom in een volgende stap bijgesneden tot de Natura 2000-gebieden.

Effecten van een winning zijn niet gebonden aan landsgrenzen. De kaart is daarom uitgebreid met Natura 2000-gebieden in Duitsland en België langs de landsgrenzen. Er was geen informatie beschikbaar om de grondwaterafhankelijkheid van deze Natura 2000-gebieden vast te stellen. Wel zijn open water Natura 2000-gebieden uitgesloten van de kaart. De uitgesloten gebieden worden in Tabel 15 vermeld.

Tabel 15: Natura 2000-gebieden met grote open wateren die zijn uitgesloten van de natuurkaart.

Code	Naam
DE2210401	Niedersächsisches Wattenmeer und angrenzendes Küstenmeer
DE2507331	Unterems und Außenems
NL9801001	Waddenzee
NL9802026	Westerschelde & Saeftinghe
BE2300006	Schelde- en Durmeëstuarium van de Nederlandse grens tot Gent
BEMNZ0005	Vlakte van de Raan
BEMNZ0004	SBZ 3 / ZPS 3
BE2524317	Kustbroedvogels te Zeebrugge-Heist

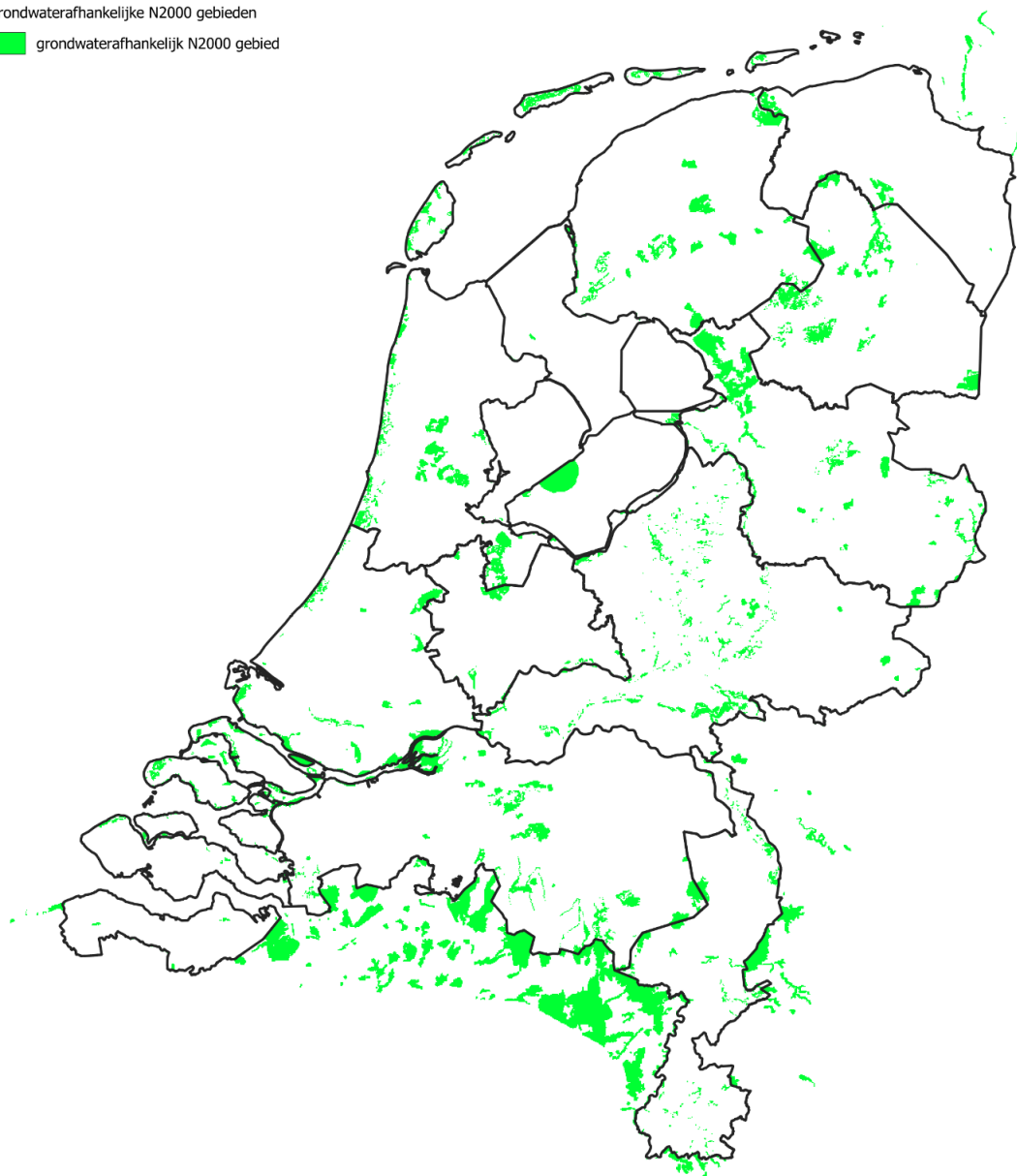
Grondwaterafhankelijke Natura 2000 kaart

De grondwaterafhankelijke natuurgebieden die overlappen met Natura 2000-gebieden in Nederland vormen uiteindelijk de natuurkaart die gebruikt is voor de analyse. De Natura 2000-gebieden van Duitsland en België zijn aan deze kaart toegevoegd. De kaart is eerst gemaakt op een resolutie van 50 x 50 meter. Daarna is kaart opgeschaald naar 250 x 250 meter. Hieruit volgt de grondwaterafhankelijke Natura 2000 kaart die in de NGR toetsing gebruikt is (Figuur 39).

Legenda

Grondwaterafhankelijke N2000 gebieden

 grondwaterafhankelijk N2000 gebied



Figuur 39: Grondwaterafhankelijke Natura 2000 kaart zoals gebruikt in toetsing NGR.

Referenties

Bij12, 2024. Beschrijving natuurtypen. <https://www.bij12.nl/onderwerp/natuursubsidies/index-natuur-en-landschap/natuurtypen/>. Laatst geraadpleegd juli 2024.

BRO, 2022. Model Grondwaterspiegeldiepte (WDM). <https://basisregistratieondergrond.nl/inhoud-bro/registratieobjecten/modellen/model-grondwaterspiegeldiepte-wdm/>. Laatst geraadpleegd juli 2024.

KWR / FWE, 2021. Kaartverhaal Droogtegevoeligheid Natuur. Klimaat-effectatlas. <https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/droogtegevoeligheid-natuur>. Laatst geraadpleegd juli 2024.

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