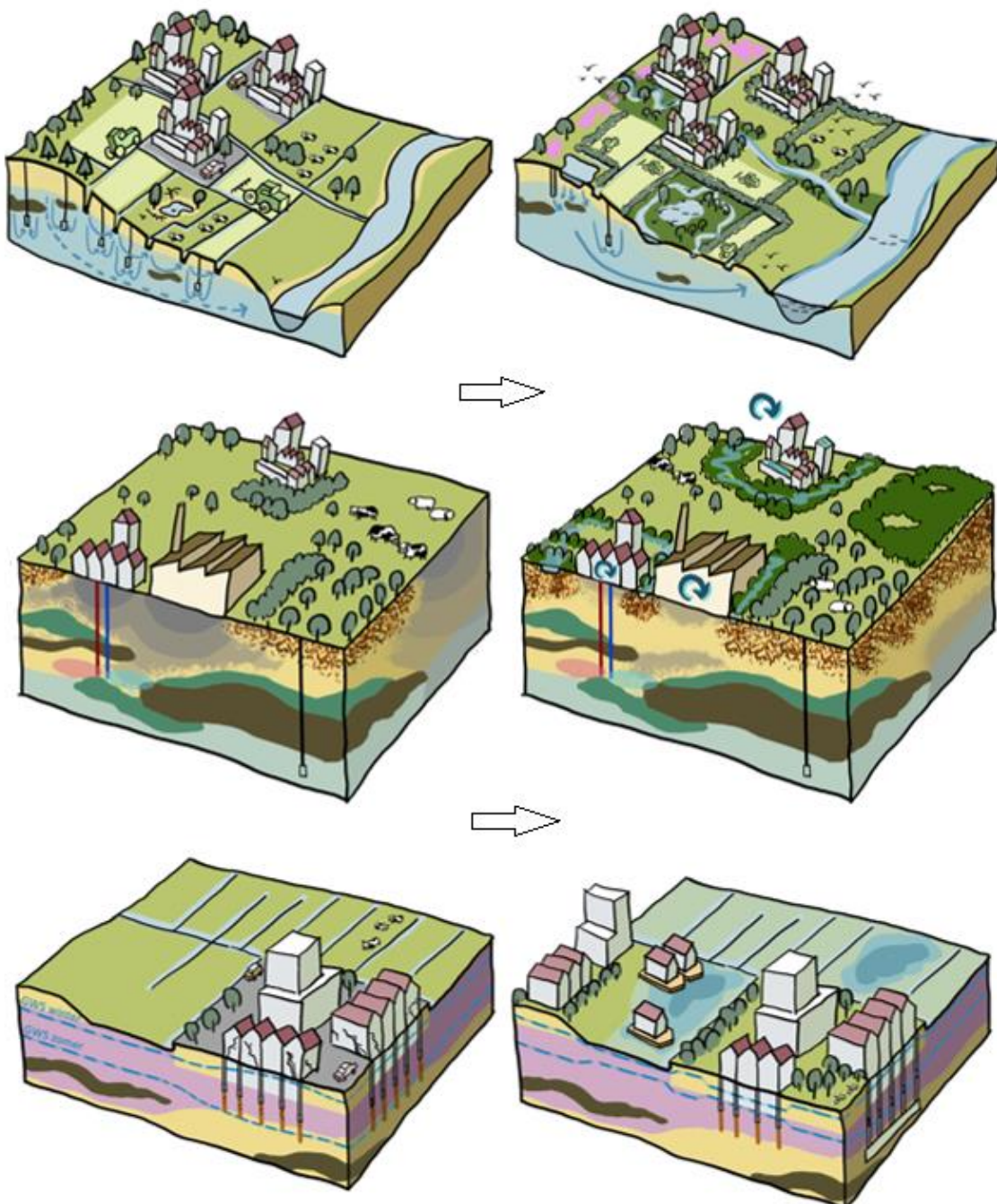


Integrale Grondwaterstudie Nederland

module 1: landelijke analyse



Integrale Grondwaterstudie Nederland

module 1: landelijke analyse

Auteur(s)

Dimmie Hendriks (Deltares)
Hilde Passier (Deltares)
Annemieke Marsman (Deltares)
Otto Levelt (Deltares)
Naomi Lamers (Deltares)
Johan Valstar (Deltares)
Marco Hoogvliet (Deltares)
Perry de Louw (Deltares)
Joachim Rozemeijer (Deltares)
Frans van de Ven (Deltares)
Jan Maurits van Linge (Applied Spatial Research - Wageningen Environmental Research)
Xiaolu Hu (Applied Spatial Research - Wageningen Environmental Research)
Michaël van Buuren (Applied Spatial Research - Wageningen Environmental Research)

Partner

Wageningen Environmental Research, WAGENINGEN

Integrale Grondwaterstudie Nederland

module 1: landelijke analyse

Opdrachtgever	Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat
Contactpersoon	Judith van Zuijlen
Referenties	BO18 2022
Trefwoorden	Grondwater, verdroging natuur, grondwaterkwaliteit, stedelijk gebied, energietransitie, zoetwatervoorziening

Documentgegevens

Versie	0.3
Datum	04-07-2023
Projectnummer	11208092-001
Document ID	11208092-001-BGS-0001
Pagina's	194
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

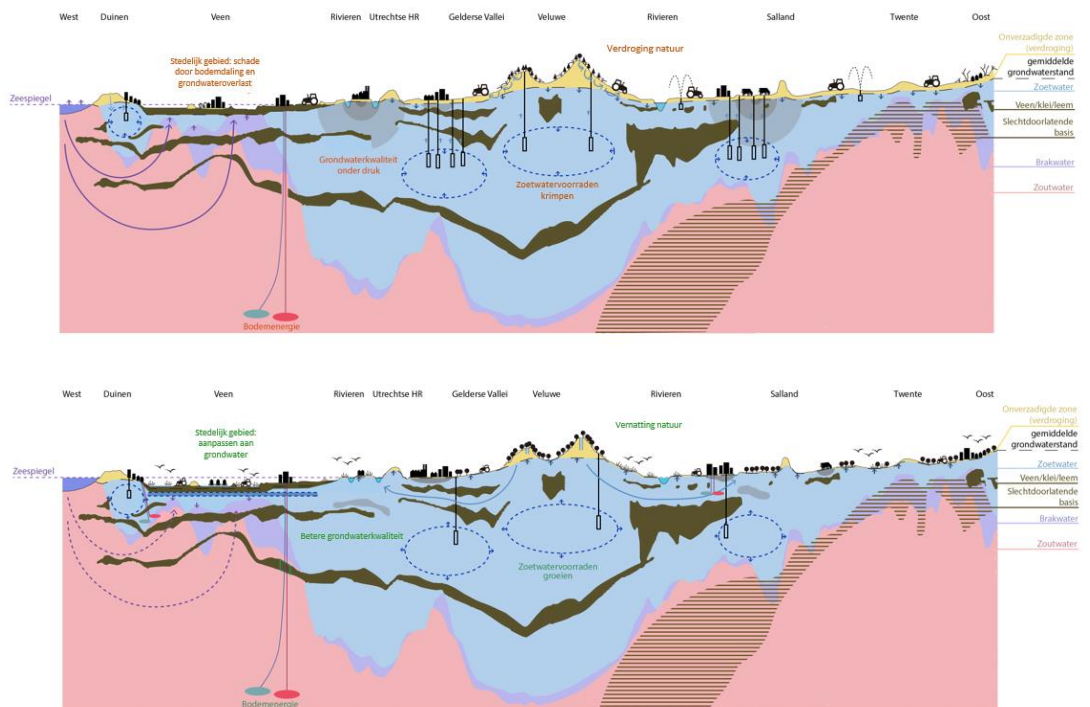
	Deltares: Dimmie Hendriks, Hilde Passier, Annemieke Marsman, Otto Levelt, Naomi Lamers, Johan Valstar, Marco Hoogvliet, Perry de Louw, Joachim Rozemeijer, Frans van de Ven, Wageningen Environmental Research: Jan Maurits van Linge, Xiaolu Hu, Michaël van Buuren	

Samenvatting

Het grondwater staat in grote delen van Nederland zwaar onder druk. Zowel de hoeveelheid neemt af, als de kwaliteit ervan. Hierdoor verdrogen en vervuilen natuurgebieden en kan de beschikbaarheid van voldoende zuiver water voor drinkwaterbereiding en ander gebruik, zoals voor landbouw, niet gegarandeerd worden. De vraag naar grondwater voor landbouw, drinkwater en als medium voor thermische energie wordt groter en de watervragers zitten in elkaars (vaar)water (Deltares et al., 2021). Klimaatverandering versterkt de druk op het grondwater.

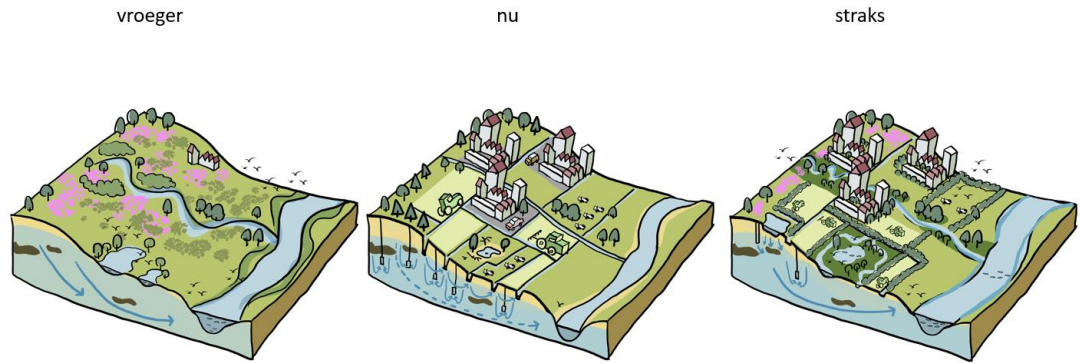
In het project Integrale Grondwaterstudie Nederland wordt voor een breed publiek van beleidsmakers, waterbeheerders en experts een beeld geschetst van de bestaande en gewenste toestand van het grondwater op landelijke schaal. Trends en aandachtspunten zijn beschreven en gevisualiseerd voor vijf thema's: 'verdroging natuur' (Hoog Nederland), 'bescherming grondwaterkwaliteit', 'energietransitie en grondwater', 'stedelijk gebied en grondwater' (focus op Laag Nederland) en 'zoetwatervoorziening en grondwater'. Uitgangspunt bij de oplossingsrichtingen is dat het **natuurlijke grondwatersysteem leidend** is.

Deze integrale grondwaterstudie geeft uitgangspunten om 'water en bodem sturend' vorm te geven en levert input voor regionale uitwerkingen zoals in de regionale gebiedsprogramma's van het NPLG.



Dwarsprofielen van de ondergrond en het grondwater van Nederland (west-oost) met daarin een conceptuele weergave van de aandachtspunten (boven) oplossingsrichtingen (onder) op het gebied van grondwater. Een uitvergroete versie van deze dwarsprofielen is te vinden in Bijlage A.

Natuurgebieden in Hoog Nederland zijn verdroogd en verdrogen verder; noodzakelijke verhoging grondwaterpeil kan niet zonder aanpassen land- en watergebruik.



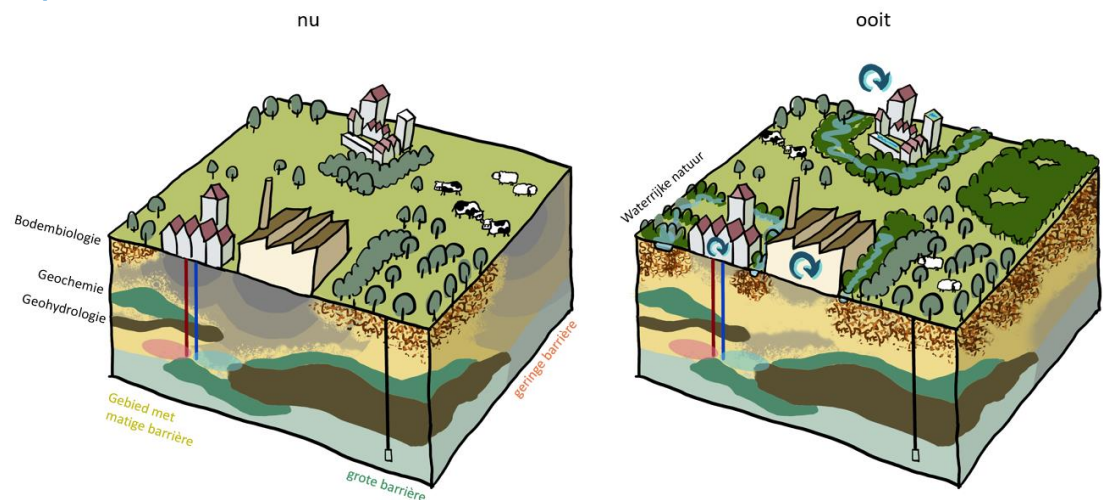
Veranderingen van het land- en watergebruik in Hoog Nederland door de tijd en het effect daarvan op het grondwater en natuur. Links: natuurlijke situatie (tot zo'n 200 jaar geleden); midden: huidige situatie (nu); rechts: mogelijke toekomstige situatie waarin met een aantal maatregelen grondwaterstanden te verhogen en kwelstromen te versterken. Het gaat daarbij om de volgende type maatregelen: minder ontwateren, minder onttrekken, infiltreren oppervlaktewater. Voor deze maatregelen is aanpassing van het landgebruik nodig. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

Natuurgebieden op de zandgronden, in kwelzones en hoogveenresten, zijn verdroogd en worden steeds droger. Intensivering van landgebruik (ontwatering, meer beregening, meer snelle afspoeling) en toename van grondwateronttrekkingen (landbouw, drinkwater, industrie) zorgen sinds 1850 voor structurele verlaging van de grondwaterstanden met schade aan natuur en afnemende biodiversiteit als gevolg. Klimaatverandering (lange droge perioden) verergert dit probleem.

Het verhogen van grondwaterstanden en het herstellen van kwelstromen (met de juiste waterkwaliteit) is mogelijk door het vasthouden van gebiedseigen water, minder onttrekken en actief aanvullen van het grondwater. Verwacht wordt dat het toepassen van deze maatregelen in bufferzones van een paar honderd meter om natuurgebieden verdroging tegengaat. Aanvullend onderzoek is nodig om dit beeld aan te scherpen en om de kennis over de effectiviteit van verschillende maatregelen te vergroten.

Het tegengaan van verdroging van natuurgebieden vereist verandering van landgebruik in delen van Hoog Nederland: van intensieve naar extensieve landbouw en/of combinaties met andere vormen van landgebruik.

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door allereerst emissies te beperken en bronnen aan te pakken en daarnaast gebruik te maken van de natuurlijke bescherming in de ondergrond kunnen de risico's worden beperkt.



De situatie met betrekking tot de kwaliteit van grondwater. Links zoals die nu is en rechts zoals het ooit kan worden als de grondwaterkwaliteit beter beschermd wordt, dan:

- worden stoffen circulair binnen de locaties met belastende activiteiten gehouden en worden gebruik en emissies van verontreinigende middelen beperkt;
- zijn er minder belastende activiteiten in de zones met een geringe barrière tegen verontreinigingen (biologische, geohydrologische, geochemische barrières);
- worden natuurlijke reinigende processen in het de bodem- en watersysteem bevorderd zoals in waterrijke natuur;
- is er geen risico van lekken van verontreinigd water langs bodemenergiesystemen;
- worden diepere schone watervoorraden zoals voor drinkwaterwinning goed schoon gehouden;
- is verspreiding van stoffen via grondwaterstroming beperkt.
- is het grondwater een schone bron voor oppervlaktewater en natuur

Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

Grondwater stroomt traag en kan verontreinigingen ver en diep verplaatsen. Wat vies is wordt niet zomaar schoon. Verontreiniging op de ene plaats kan effect hebben op een andere plaats. Als gevolg van de traagheid in het systeem, zijn de nadelige effecten van verontreinigingen op die andere plaats vaak pas later merkbaar.

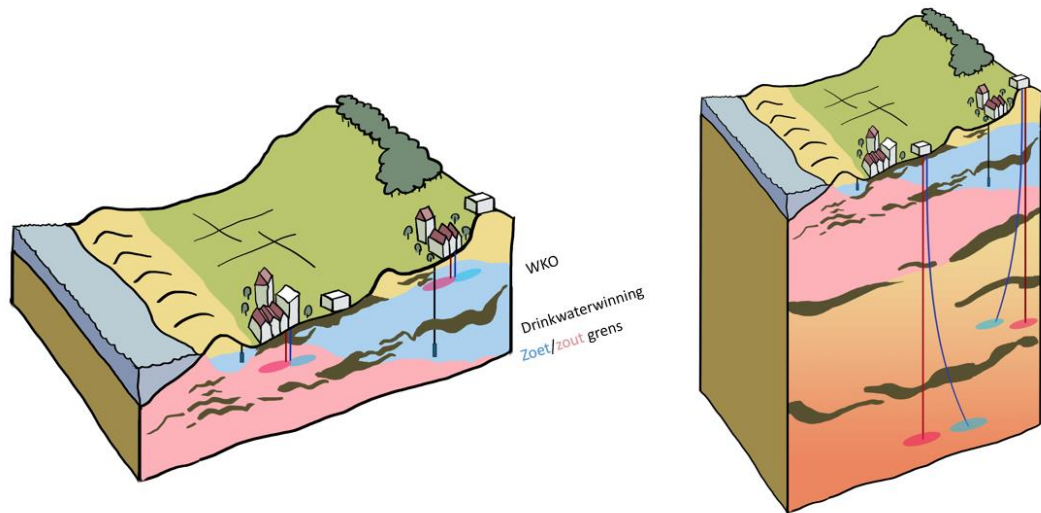
De afgelopen decennia heeft voortgaande verontreiniging van het grondwater plaatsgevonden via oppervlaktewater, vanaf maaiveld en via de lucht; zowel met antropogene stoffen uit puntbronnen zoals industrie en rwzi's, als uit diffuse bronnen zoals de landbouw. Behalve van zwaar verontreinigde zones in het grondwater, is er ook sprake van vergrijzing van het grondwater: een front van door de mens licht verontreinigd grondwater vanuit alle bronnen samen verspreidt zich met de tijd steeds verder en dieper in het grondwatersysteem. Verontreinigingen in het grondwater leveren problemen op voor drinkwaterproductie, natuur, industrie en landbouw. Ook zorgt de diffuse verontreiniging van het bovenste grondwater er in veel gebieden voor dat waterkwaliteitsdoelen in het oppervlaktewater niet gehaald worden.

Om de grondwaterkwaliteit beter te beschermen en te verbeteren en om de risico's voor kwetsbare functies te beperken zijn bewustwording en een systeemgerichte aanpak in gebieden belangrijk. Hierbij is gerichte monitoring belangrijk bij het tijdig opsporen van verontreinigingen. Een drietal oplossingen zijn relevant voor het grondwatersysteem:

- Beperken van emissies en voorkomen van verontreiniging:
- Zuiveren grondwater (bron – pad – receptor),
- Benutten, behouden en versterken van natuurlijke barrières waar mogelijk en rekening houden met gebieden waar het grondwater kwetsbaar is voor verontreiniging en waar verontreinigingen zich gemakkelijk en ver kunnen verspreiden.

Grootschalige infiltraties (bv. aanleg zoetwaterreserves) en verhoging van de grondwaterstand (tegengaan verdroging natuurgebieden) *kunnen* leiden tot verslechtering grondwaterkwaliteit, maar kunnen ook worden ingezet om grondwaterkwaliteit te verbeteren.

Gebruik van grondwater voor thermische energie heeft potentie, maar energie activiteiten mogen de grondwaterkwaliteit niet schaden.



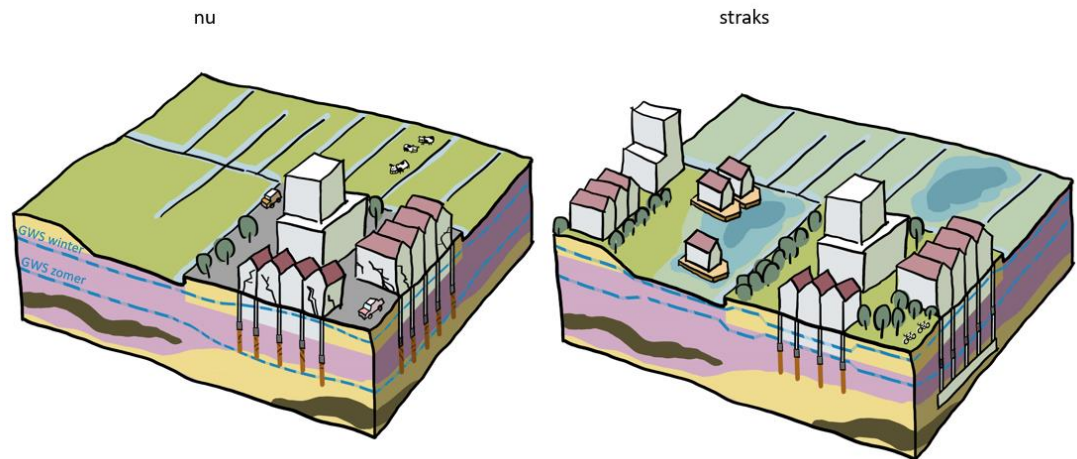
Visualisatie van bodemenergiesystemen waarbij grondwater als bron voor thermische energie wordt gebruikt en geothermie. . Links: 3-D beeld van open WKO systemen in de diepte in laag en hoog Nederland gecombineerd met ondiepe drinkwaterwinningen vanuit de duinen (westen) en vanuit de diepere grondwatersystemen (oosten). Rechts: 3-D beeld van een geothermiesysteem op grote diepte tot ca. 1 a 2 km, gecombineerd met drinkwaterwinningen tot ca. 200m diepte. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

De afgelopen decennia is het aantal bodemenergie-systemen waarbij grondwater wordt gebruikt voor thermische energie in Nederland sterk toegenomen, vooral in en rond stedelijk gebied. De verwachting is dat deze toename de komende decennia doorzet (energietransitie). Er is veel zorg over doorboringen van afsluitende kleilagen in de ondergrond bij aanleg van bodemenergiesystemen en mogelijke negatieve effecten daarvan op de grondwaterkwaliteit (verontreiniging en verzilting). Daarnaast is er een toename van geothermiesystemen, die gebruik maken van aardwarmte vanuit diepe lagen tot ca. 1 a 2 km.

Het grondwaterbeschermingsbeleid met het oog op natuur, industriële winningen en drinkwaterwinning is in sommige gebieden ontoereikend, in andere gebieden te belemmerend (te restrictief beleid). Door goed inzicht in het grondwatersysteem rond drinkwatervoorzieningen kan de potentie voor bodemenergie en geothermie mogelijk beter worden benut.

Door informatie over ligging en diepte van ondergrondse energiesystemen te combineren met informatie over ligging en diepte van grondwaterwinningen en potentiële verspreiding van verontreinigd of verzilt grondwater (door doorboringen van kleilagen) kan inzicht worden verkregen in mogelijke risicogebieden (3-dimensionaal). Belangrijk daarbij is het bieden van inzicht in hoeverre doorboringen werkelijk lekkage kunnen veroorzaken en onder welke omstandigheden dit een risico vormt voor de grondwaterkwaliteit.

Rekening houden met grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied.



Situatie van het stedelijk gebied en de omgeving in Laag Nederland in de huidige situatie (links) en in een mogelijke toekomstige situatie (rechts) waarbij in bestaand en nieuw stedelijk gebied rekening is gehouden met veranderingen van grondwaterstanden:

- nieuwe bebouwing in minder kwetsbare gebieden;
- nieuwe bebouwing aanpassen op vernatting en grondwaterdynamiek;
- bestaande bebouwing aanpassen aan grondwaterdynamiek (oa. andere fundering);
- actief grondwaterbeheer bij bebouwing waar aanpassing op korte termijn niet onmogelijk is.

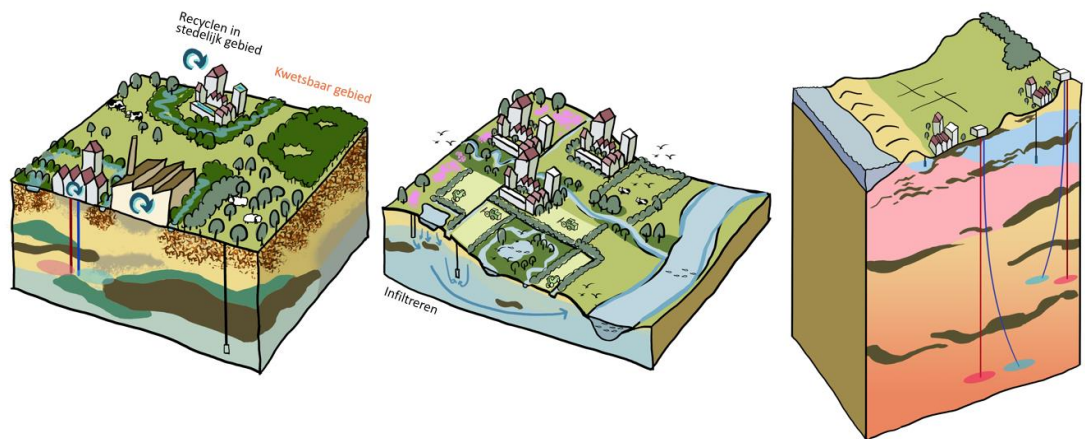
Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

Grote delen van het stedelijk gebied zijn momenteel niet bestand tegen een grotere grondwaterdynamiek als gevolg van klimaatverandering (droge zomers, piekbuien). Daarnaast is er sprake van voortschrijdende bodemdaling in grote delen van Laag-Nederland. Dit leidt, vooral in gebieden met slappe bodems (veen en klei), tot een stapeling van effecten in (verschilzettingen, paalrot, grondwateroverlast en mogelijk zoutschade) met oplopende schadekosten tot gevolg.

Om CO₂-uitstoot, bodemdaling en verzilting in Laag Nederland tegen te gaan, zal een deel van het gebied moeten worden vernat door een verhoging van de waterpeilen (Kamerbrief 'Water en Bodem sturend', 25 november 2022). Tijdens droge zomers zal dit schade door verschilzettingen beperken, maar tijdens natte perioden leidt de maatregel waarschijnlijk tot een toename van de grondwateroverlast.

Het is belangrijk dat de bebouwde omgeving beter bestand wordt – en blijft – tegen een dynamischer en veranderend grondwaterregime. Toekomst-bestendig maken kan door het vermijden van kwetsbare gebieden en het robuust (her)ontwikkelen van (nieuw) stedelijk gebied en infrastructuur.

Om voldoende zoete grondwatervoorraad te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd.



Visualisatie van verschillende aandachtspunten en oplossingen om grondwatervoorraden te borgen. Links: beperken van hoogwaardig gebruik door recycleren van water voor laagwaardige toepassing en maatregelen op het gebied van grondwaterkwaliteit om de grondwatervoorraden te beschermen. Midden: mogelijke maatregelen en aanpassingen ten behoeve van water vasthouden in bodem en ondergrond en ondergrondse infiltraties van water dragen bij aan het vergroten van de zoetwatervoorraden. Rechts: weergave van geothermiesysteem op grote diepte tot ca. 1 a 2 km en drinkwaterwinningen tot ca. 200m diepte. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

De vraag naar en winning van grondwater voor drinkwaterbereiding is de afgelopen 70 jaar sterk gestegen; deze stijging zal de komende decennia, naar verwachting, doorzetten. Ook in de landbouwsector is het grondwatergebruik gestegen, vooral sinds de droge zomer van 2018 wordt veel meer grondwater onttrokken voor irrigatie van de landbouw. In de industrie is de laatste jaren een afname zichtbaar van het grondwatergebruik, na een sterke toename gedurende de vorige eeuw. Ook natuur heeft een watervraag. Daarbij gaat het vooral om voldoende hoge grondwaterstanden en basisafvoer vanuit het grondwater in beken.

Tegelijkertijd staan grondwatervoorraden onder druk als gevolg van intensieve ontwatering, verharding/verdichting van de bodem, verontreiniging en bodemenergie en is, als gevolg van klimaatverandering, de beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater in toekomstige zomers waarschijnlijk lager. De vraag is of er in de toekomst voldoende grondwater beschikbaar is om te gebruiken voor drinkwater, landbouw en industrie, zonder dat dit leidt tot verdere verdroging van natuurgebieden.

In de toekomst kan het gebruik van grondwater met drinkwaterkwaliteit worden beperkt tot hoogwaardig gebruik. Belangrijk hiervoor is bewustwording van de waarde van grondwater met goede kwaliteit. Daarnaast kan worden gedacht aan het stimuleren van innovaties, aanscherpen van de regelgeving of (gestaffelde) beprijzing van het gebruik van drinkwater.

Daarnaast is het beschermen van de kwaliteit van grondwatervoorraden en het zorgen voor voldoende aanvulling van het grondwater belangrijk. Dit laatste kan door het vasthouden van gebiedseigen grondwater of infiltratie van water met een goede kwaliteit. Ook kan de flexibiliteit van winningen worden vergroot, om verlaging van grondwaterstanden in kwetsbare gebieden tijdens zomerperioden te voorkomen. Bijvoorbeeld door drinkwaternetten te koppelen of door tijdelijk een andere bron te gebruiken.

Bescherming en herstel van grondwatervoorraden vergt aanpassing van het water- en

landgebruik. Rekening houden met grotere fluctuaties van het grondwater en combineren van maatregelen op het gebied van kwantiteit en kwaliteit zijn daarbij de sleutel. De landbouw- en energietransitie en stedelijke innovaties bieden hiervoor kansen.

De verschillende opgaven en oplossingsrichtingen op het gebied van grondwater kunnen in samenhang worden gevisualiseerd. Hiermee ontstaan eerste inzichten voor integrale oplossingen om het grondwatersysteem van Nederland te herstellen en robuust te maken voor toekomstige veranderingen. Door de oplossingsrichtingen van de thema’s beschreven in deze integrale grondwaterstudie te combineren is synergie te behalen (zie onderstaande tabel).

Samenvatting van de synergie tussen de grondwaterthema’s op het gebied van oplossingsrichtingen en aandachtspunten.

	Verdroging Natuur	Bescherming Grondwaterkwaliteit	Energietransitie en Grondwater	Stedelijk gebied en Grondwater
Zoetwater- voorziening	Hou rekening met grondwaterafhankelijke natuur als “gebruiker” van grondwater (verhogen grondwaterstanden, versterken kwelfluxen en beek- afvoeren), bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van een onttrekingsplafond en voorkeursvolgorde (Hoog Nld).	Bescherm grondwaterkwaliteit in intrekgebieden van (toekomstige) drinkwater- bronnen door stoppen/ beperken en saneren van grondwaterverontreinigingen, door gebruik te maken van natuurlijke barrières in de ondergrond en door gerichte monitoring. Voorkom ongewenste effecten op de grondwaterkwaliteit bij (grootschalige) infiltratie van water in de ondergrond en benut kansen waar infiltratie kan bijdragen aan verbetering van de grondwaterkwaliteit.	Voorkom verontreiniging van grondwater in beschermings- gebieden van drinkwaterwinningen door bodem-energiesystemen (zie ook: “Bescherming grondwaterkwaliteit - Energietransitie en grondwater”). Drinkwaterwinningen in stedelijk gebied in oost en zuidoost Nld en (toekomstige) boringsvrije zones zorgen voor beperking van bodemenergie.	Beperk risico’s op veront- reiniging van grondwater in beschermingsgebieden van drinkwaterwinningen. Zorg voor duurzame beschikbaarheid van grondwater voor drinkwater bij nieuw stedelijk gebied (Hoog Nld).
Stedelijk gebied en Grondwater	Hou in (toekomstig) stedelijk gebied nabij natuur rekening met stijging grondwaterstan- den door vernattingsmaat- regelen. Hoog Nld: op flanken en in beekdalen; Laag Nld: nabij veenweide dat wordt vernat.	Combineer het saneren van grondwaterverontreiniging in het stedelijk gebied met (her)ontwikkeling en ondergrondse (bouw)activi- teiten, zoals aanleg van WKO’s of warmtenetten. Accepteer een zekere mate van verontreiniging in het stedelijk gebied, maar monitor het grondwater en beheers de risico’s op verspreiding.	Hou bij de aanleg van WKO systemen rekening met een verandering van grondwater- standen (bv. meer fluctuaties) in (nieuw) stedelijk gebied. Voorkom of beperk verspreiding van verontreinigingen in het stedelijk gebied door aanleg van open WKO systemen en/of doorboring van scheidende lagen.	
Energietransitie en Grondwater	Weinig tot geen bodemenergie in of nabij natuurgebieden.	Voorkom of beperk lekkage van verontreinigd of zout grond- water bij doorboring van scheidende lagen door kennis over ondergrond en grondwaterstroming. Voorkom of beperk of verminder verspreiding van verontreinigingen door WKO systemen door kennis over de bodem- en grondwaterkwaliteit en monitoring.		
Bescherming Grondwater- kwaliteit	Combineer vernattings- maatregelen met verbetering grondwaterkwaliteit in bufferzones rond grondwater- afhankelijke natuur (Hoog Nld). Voorkom averechtste effecten op de grondwaterkwaliteit bij vernatting.			

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	16
1.1	Grondwater onder druk	16
1.2	Integraal beeld over grondwater nodig voor beleid	16
1.3	Studiegroep Grondwater	16
1.4	Grondwaterkennis in Nederland	17
1.5	Aandachtspunten Nederlandse grondwater	18
1.6	Water en Bodem Sturend als uitgangspunt	18
1.7	Verbinding met aanbevelingen van Studiegroep Grondwater	19
2	Grondwater in Nederland	21
2.1	Betekenis van grondwater	21
2.2	Het grondwatersysteem	22
2.2.1	Watervoerende en scheidende lagen	22
2.2.2	Infiltratie, kwel en ouderdom	23
2.2.3	Grondwaterstand en stijghoogte	23
2.2.4	Grondwaterstroming	23
2.2.5	Geneste grondwatersystemen	24
2.3	Kenmerken van het Nederlandse grondwater	25
2.3.1	Grondwater van west naar oost	25
2.3.2	Hoog en Laag Nederland	26
2.3.3	Grondwaterstanden (nu en toekomst)	26
2.3.4	Grondwaterkwaliteit	28
2.3.5	Verzilting	30
3	Verdroging natuurgebieden (focus op Hoog Nederland)	32
3.1	Structureel verlaagde grondwaterstand leidt tot natuurschade	32
3.1.1	Verlaging grondwaterstand door intensief land- en watergebruik	32
3.1.2	Natuurgebieden verdrogen	34
3.1.3	Klimaatverandering versterkt verdroging	34
3.2	Verhogen grondwaterstanden om verdroging tegen te gaan	37
3.2.1	Effect vernattingsmaatregelen	37
3.2.2	Vernatten in bufferzones rondom natuurgebieden	40
3.2.3	Aanpassingen landgebruik nodig	42
3.2.4	Combineren met verbetering grondwaterkwaliteit en landbouwtransitie	42
3.3	Suggesties voor kennisverdieping	42
4	Bescherming grondwaterkwaliteit	44
4.1	Voortgaande verslechtering grondwaterkwaliteit	44
4.1.1	Toenemende verontreiniging	44
4.1.2	Effecten op drinkwater, natuur, landbouw en recreatie	45

4.1.3	Bekende verontreinigingen in het grondwater	46
4.1.4	Opkomende stoffen in het grondwater	50
4.1.5	Slecht afbreekbaar, giftig en mobiel	51
4.1.6	Stapelings van verontreinigingen	51
4.2	Risico's grondwaterverontreiniging in beeld brengen	51
4.2.1	Beperkingen chemische toestandsbeoordeling grondwater voor Kaderrichtlijn Water	51
4.2.2	Beeld van probleemstoffen en opkomende stoffen in het grondwater	52
4.3	Emissies beperken en grondwater zuiveren ondergronds	53
4.4	Benutten en behouden natuurlijke barrières	55
4.4.1	Fysische (geohydrologische) barrières	55
4.4.2	Biologische barrières	57
4.4.3	Geochemische barrières	58
4.5	Landelijk globaal beeld van de kwetsbaarheid van de Nederlandse ondergrond voor verontreiniging	59
4.6	Verhogen grondwaterstanden en grootschalige infiltratie: risico's en kansen grondwaterkwaliteit	61
4.7	Systeemgericht beheer en beleid voor grondwaterkwaliteit	63
4.8	Suggesties voor kennisverdieping	63
5	Energietransitie en grondwater	65
5.1	Typen bodemenergiesystemen en geothermie	65
5.2	Aantal bodemenergiesystemen in Nederland	66
5.3	Mogelijke effecten op grondwaterkwaliteit	67
5.3.1	Interferentie met verontreiniging	68
5.3.2	Doorboring afsluitende lagen	68
5.3.3	Lekkage van hulpstoffen	69
5.4	Bodemenergie en grondwaterwinningen	69
5.4.1	Grondwaterwinning voor drinkwater	69
5.4.2	Industrie	70
5.4.3	Landbouw	71
5.5	Bodemenergie en stedelijk gebied	71
5.6	Huidige regelgeving bodemenergie	71
5.6.1	Geothermie	71
5.6.2	Open bodemenergiesystemen	72
5.6.3	Gesloten bodemenergiesystemen	73
5.6.4	Toepassing en handhaving in de praktijk	73
5.7	Inzicht in risico's voor drinkwaterwinning als gevolg van doorboringen	74
5.8	Knelpunten	75
5.9	Suggesties voor kennisverdieping	77
6	Stedelijke gebied en grondwater (focus op Laag Nederland)	79
6.1	Stedelijk gebied kwetsbaar voor veranderingen grondwater	79
6.1.1	Bodemdaling en CO ₂ uitstoot in veenweidegebied	81
6.1.2	Vernatting veenweidegebied	82
6.1.3	Grondwateroverlast	82
6.1.4	Schade door verschildzettingen en paalrot	84

6.1.5	Risico's drukte stedelijke ondergrond	87
6.2	Verlaag kwetsbaarheid voor grondwaterveranderingen	88
6.2.1	Vermijd gebieden met bestaande of toekomstige risico's	88
6.2.2	Verminderen gevoeligheid bebouwing en infrastructuur	90
6.2.3	Gerichte aanpassingen en actief grondwaterbeheer	91
6.3	Suggesties voor kennisverdieping	91
7	Zoetwatervoorziening vanuit grondwater	93
7.1	Toename zoetwatervraag	93
7.1.1	Drinkwater	93
7.1.2	Landbouw	94
7.1.3	Industrie	95
7.2	Bescherming grondwaterkwaliteit	95
7.3	Borgen zoetwatervoorraad in de ondergrond	97
7.3.1	Grondwater alleen voor hoogwaardig gebruik	98
7.3.2	Reserveer voor de toekomst	98
7.3.3	Verbeteren bescherming van grondwaterkwaliteit	100
7.3.4	Aanvullen zoetwatervoorraden in de ondergrond	100
7.3.5	Maak zoetwaterbronnen flexibel	101
7.4	Suggesties voor kennisverdieping	102
8	Synergie van aandachtspunten en oplossingen	103
8.1	Landelijk beeld en synergie van grondwaterthema's	103
8.1.1	Landelijk beeld van opgaven	103
8.1.2	Landelijk beeld van oplossingsrichtingen	104
8.1.3	Synergie grondwaterthema's	105
8.2	Veluwe en IJsselvallei: strategisch belang voor drinkwater en natuur	106
8.2.1	Grondwatervoorraad van strategisch belang	106
8.2.2	Verdroging en verontreiniging	107
8.2.3	Versterken potentie van het gebied	108
8.2.4	Beschermen waterkwaliteit cruciaal	108
8.2.5	Aanpassingen landelijk en stedelijk gebied nodig	110
8.3	Groene hart: vernatting, infiltratie en bodemenergie bieden kansen	110
8.3.1	Bodemdaling en verzilting zorgen voor schade	110
8.3.2	Vernatting combineren met verbetering en behoud grondwaterkwaliteit	110
8.3.3	Toekomstbestendig stedelijk gebied	112
8.3.4	Kansen voor bodemenergie en zoetwateropslag in de ondergrond	112
9	Referenties	114
	Bijlage A - dwarsprofielen en blokdiagrammen	119
	Thema Bescherming grondwaterkwaliteit	124
	Thema Energietransitie en grondwater	125
	Thema Stedelijk gebied en grondwater (focus Laag Nederland)	126
	Thema Zoetwatervoorziening en grondwater	127
	Bijlage B - verslag eerste workshop klankbordgroep	129

Bijlage C - verslag tweede workshop klankbordgroep	149
Bijlage D - verslag expert werksessie	172
Bijlage E - Beschikbare data en kaarten	178
Bijlage F - Aanbevelingen en acties uit Advies Studiegroep Grondwater	193

1 Inleiding

1.1 Grondwater onder druk

Het grondwater staat in grote delen van Nederland zwaar onder druk. Zowel de hoeveelheid neemt af, als de kwaliteit ervan. Hierdoor verdrogen en vervuilen natuurgebieden en kan de beschikbaarheid van voldoende zuiver water voor drinkwaterbereiding en ander gebruik, zoals voor landbouw, niet gegarandeerd worden. De vraag naar grondwater voor landbouw, drinkwater en thermische energie wordt groter en de watervragers zitten in elkaars (vaar)water (Deltares et al., 2021). Klimaatverandering versterkt de druk op het grondwater.

Het ontbreekt aan een integraal beeld van deze ontwikkelingen, of beschikbare informatie is verouderd. Door beschikbare gegevens bij elkaar te brengen in kaarten, de ruimtelijke samenhangen in beeld te brengen en een update te geven waar nodig, ontstaat inzicht in de situatie, de urgentie en de meekoppelkansen om de problematiek aan te pakken en de juiste beleidskeuzes te maken over ruimte- en watergebruik voor de toekomst.

Met de landelijke analyse van de Integrale Grondwaterstudie Nederland wordt voor een breed publiek van beleidsmakers, waterbeheerders en experts een overzicht gegeven van de actuele kennis en beschikbare gegevens en kaartbeelden op schaal van Nederland. Op basis hiervan zijn een aantal hoofdboodschappen geformuleerd, ondersteunt door visualisaties, waarbij het principe “water en bodem sturend” centraal staat.

1.2 Integraal beeld over grondwater nodig voor beleid

Om grondwater volwaardig mee te kunnen nemen bij het maken van keuzes op nationaal en regionaal niveau op het gebied van ruimtelijke inrichting en waterbeleid – en beheer, is een actueel, integraal en ruimtelijk beeld van de toestand van het grondwater en de ontwikkelingen nodig. Ondanks dat er veel deelstudies zijn over de kwaliteit en kwantiteit van het grondwater in Nederland, bestaat zo’n een integraal, landelijk beeld nog niet

Door de bestaande kennis van het grondwater, de bedreigingen, de vraag naar water en de ruimtelijke relaties tussen gebieden en gebruikers bij elkaar te brengen en te combineren, worden de aandachtsgebieden in Nederland zichtbaar vanuit verschillende invalshoeken. Een dergelijk landelijk, integraal beeld van het grondwater geeft niet alleen inzicht in aandachtsgebieden (risico’s), maar geeft ook inzicht in oplossingsrichtingen en kansen. Kansen die benut kunnen worden bij het maken van ruimtelijke keuzes. Bijvoorbeeld kansen om zoetwatervoorraden van goede kwaliteit aan te leggen en te behouden, aardwarmte te winnen, natuurgebieden te herstellen. Dit integrale ruimtelijk beeld kan grotendeels gemaakt worden door bestaande studies te combineren. Tegelijkertijd zullen hiaten in de kennis van het grondwatersysteem duidelijk worden. De Integrale grondwaterstudie Nederland levert visualisaties en beelden die gebruikt kunnen worden door beleidsmakers bij het identificeren van knelpunten en bij het maken van keuzes voor het gebruik van water en ruimte.

1.3 Studiegroep Grondwater

De Stuurgroep Water¹ heeft in 2020 de hoog ambtelijke Studiegroep Grondwater ingesteld, bestaande uit een vertegenwoordiging van IPO, UvW, VNG, Vewin, Ministerie LNV,

¹ In het Bestuurlijk Overleg Water (BO Water) vindt het bestuurlijk overleg plaats tussen de minister van Infrastructuur en Waterstaat en bestuurders van waterschappen, provincies, gemeenten en drinkwaterbedrijven.

Ministerie I&W, Ministerie EZK en de staf Deltacommissaris. De Studiegroep heeft als opdracht gekregen om in kaart te brengen welke opgaven er met betrekking tot grondwater liggen en om te analyseren wat nodig is om te komen tot duurzame instandhouding van grondwatervoorraden. Voor deze analyse is een overzicht van de feiten nodig, als gemeenschappelijke basis voor analyse en beleidsvorming. Hiervoor is door de Kerngroep van de Studiegroep een Feitenrelaas Grondwater opgesteld bestaande uit een vijftal factsheets over de volgende thema's: Verdroging Hoog Nederland, Grondwater Laag Nederland, Grondwaterkwaliteit, Maatschappelijke en economische waarde van grondwater, en Grondwater en energietransitie.

Op basis van dit feitenrelaas heeft het ministerie van IenW aan Deltares gevraagd om ook een visuele analyse te maken, welke hierop aansluit. Dit heeft geresulteerd in deze integrale grondwaterstudie die in de tweede helft van 2022 is uitgevoerd.

Tijdens Module 1 van de Integrale Grondwaterstudie Nederland is op twee momenten een workshop georganiseerd met een klankbordgroep bestaande uit leden van het kernteam van de Studiegroep Grondwater en andere stakeholders. Een eerste workshop vond plaats halverwege het project. Tijdens deze workshop werden de conceptresultaten van de landelijke analyse toegelicht. Daarnaast is in een ontwerpende setting gezamenlijk verder richting gegeven aan de vorm van de eindproducten, hoofdboodschappen en visualisaties. Tijdens de tweede workshop met de klankbordgroep aan het einde van het project, zijn de concept eindproducten, hoofdboodschappen en visualisaties doorgesproken. De tijdens deze workshop geleverde input is meegenomen bij de afronding van de eindproducten. De opbrengst van de twee workshops is vastgelegd (zie Bijlagen B en C van dit rapport).

1.4 Grondwaterkennis in Nederland

Een aantal Nederlandse kennisinstituten hebben expertise op het gebied van grondwater: Deltares, TNO, KWR, RIVM, WUR en PBL. Voor het uitvoeren van de Integrale Grondwaterstudie worden verschillende expertises gecombineerd ingezet en geïntegreerd met kennis van de relevante gebruiksfuncties. Daarom zijn diverse experts van binnen en buiten Deltares ingezet in dit project. Hierdoor is de meest actuele kennis op een aantal thema's bijeengebracht. Tevens wordt hiermee de afstemming met verschillende lopende projecten en programma's geborgd, zoals met Kartering Nationale Grondwater Reserves, Naar een herstelde waterbalans, Kennisimpuls waterkwaliteit en Deltaprogramma Zoetwater.

Ten behoeve van de landelijke analyse van de Integrale Grondwaterstudie is een werksessie met de kennisinstituten gehouden. Tijdens deze werksessie is besproken wat de belangrijkste thema's en vragen zijn ten aanzien van grondwater in Nederland. Daarnaast is geïnterviewd welke relevante kaarten en datasets op landelijke schaal beschikbaar zijn. Het verslag van deze werksessie is te vinden in Bijlage D. Een overzicht van de bijeen gebrachte kaartmateriaal en gegevens wordt gegeven in Bijlage E.

Voor deze Integrale Grondwaterstudie Nederland hebben de kennisinstitutenexpertise specifiek ingebracht op de volgende onderdelen:

- Deltares: projectleiding; aanleveren en bijeenbrengen materiaal; organisatie activiteiten; maken van kaarten; schrijfteam.
- TNO Geologische Dienst Nederland (TNO-GDN): deelname werksessie over inventarisatie kaarten, data en modellen en formulering hoofdthema's; consultatie conceptbeelden energietransitie en grondwater; feedback op conceptrapport

Doel van dit overleg is het afstemmen van het waterbeleid, de uitvoering en monitoring daarvan op bestuurlijk niveau.

- RIVM: deelname werksessie over inventarisatie kaarten; data en modellen en keuze hoofdthema's; aanleveren van materiaal en feedback op conceptrapport.
- KWR: deelname werksessie over inventarisatie kaarten; data en modellen en keuze hoofdthema's; aanleveren van materiaal en feedback op conceptrapport.
- WEnR: de visualisaties en kaartbeelden in dit rapport zijn in samenwerking met landschapsarchitecten van Wageningen Environmental Research (afdeling Applied Spatial Research) tot stand gekomen tijdens meerdere werksessies; deelname werksessie over inventarisatie kaarten, data en modellen en keuze hoofdthema's; aanleveren van materiaal en feedback op conceptrapport.
- PBL: gesprek over afstemming lopende trajecten en uitwisseling informatie over bestaande kaartbeelden.

1.5 Aandachtspunten Nederlandse grondwater

In de praktijk heeft de afgelopen decennia de aanpak “peil volgt functie” centraal gestaan in grote delen van Nederland. Dit heeft geleid tot een flinke intensivering van de ontwatering waardoor het grondwater versneld wordt afgevoerd en grondwaterstanden flink zijn gedaald. Daarnaast leidde de toename van het gebruik van grondwater voor drinkwaterbereiding sinds de jaren 50 tot een extra aanslag op het grondwatersysteem. Inmiddels is, mede als gevolg van deze aanpak en de voortschrijdende intensivering van land- en watergebruik, de druk op het grondwater sterk toegenomen. Hierdoor verdrogen en vervuilen natuurgebieden en kan de beschikbaarheid van voldoende schoon water voor drinkwaterbereiding en andere gebruiksfuncties zoals landbouw in de toekomst mogelijk niet gegarandeerd worden. De vraag naar het water voor landbouw, drinkwater en energietransitie wordt groter en de watervragers zitten in elkaars (vaar)water. Daarnaast kampt het stedelijk gebied met toenemende schade als gevolg van onder andere bodemdaling en grondwateroverlast (Deltares et al., 2021). Klimaatverandering versterkt de problemen.

Tijdens de werksessie met de kennisinstituten (zie paragraaf 1.4 en Bijlage D) is een overzicht gemaakt van belangrijke landelijke thema's op het gebied van grondwater. In de volgende hoofdstukken wordt voor deze thema's op landelijke schaal inzicht gegeven in de trends, aandachtspunten/knelpunten en oplossingsrichtingen:

- Hoofdstuk 2: Grondwater in Nederland
- Hoofdstuk 3: Verdroging natuur (focus op Hoog Nederland)
- Hoofdstuk 4: Bescherming grondwaterkwaliteit
- Hoofdstuk 5: Energietransitie en grondwater
- Hoofdstuk 6: Stedelijke gebied en grondwater (focus op Laag Nederland)
- Hoofdstuk 7: Zoetwatervoorziening en grondwater
- Hoofdstuk 8: Synergie van aandachtspunten en oplossingen

Bij het uitwerken van oplossingsrichtingen staat het principe “Water en Bodem sturend” centraal.

1.6 Water en Bodem Sturend als uitgangspunt

De aanpak waarbij “peil volgt functie” centraal staat, wordt momenteel herzien. Om voldoende beschikbaarheid van schoon grondwater voor toekomstige generaties en het behoud van de waarde van het grondwater voor andere functies zeker te stellen, is het van belang om het gedachtegoed van 'duurzaam grondwaterbeheer' een grotere plek te geven binnen het Nederlandse grondwaterbeheer. 'Water als ordenend principe' is een belangrijk uitgangspunt, waarbij (grond-)water als mede-ordenend principe wordt beschouwd. In het coalitieakkoord uit 2021 wordt dan ook gesteld dat water en bodem worden sturend moet zijn

bij ruimtelijke planvorming². De kamerbrief “Water en Bodem sturend” (dd. 25 november 2022) en het Advies van de Studiegroep Grondwater (dd. 28 november 2022) voorzien in een aantal uitgangspunten en structurerende keuzes om dit beleid vorm te geven.

De afgelopen decennia is het concept van systeemgericht grondwaterbeheer op verschillende manieren geïnterpreteerd en toegepast. In aansluiting op diverse nota's uitgebracht rond de eeuwwisseling (o.a. Waterbeleid 21e eeuw, Anders omgaan met water – kabinetsstandpunt³) past dit begrip bij het beheer van grondwater waarbij zo min mogelijk verandering van de natuurlijke grondwaterstroming plaatsvindt. Anderzijds werden de begrippen 'systeemgericht grondwaterbeheer' en 'water als ordenend principe' geïnterpreteerd in de zin dat het water gegeven zijn functies en eigenschappen zo goed mogelijk worden geordend - water als regelsysteem dus. In het in 2001 verschenen advies 'Bergen met Beleid' van de Raad voor het Landelijk Gebied (RLG; mei 2001) wordt deze zienswijze aangehangen. Gesteld wordt dat de maat en schaal van onze ruimtelijke inrichting niet meer past bij de maat en schaal van de natuurlijke hydrologische systemen. Veerkracht zal vooral een artificiële basis krijgen in ruimte en techniek.

1.7 Verbinding met aanbevelingen van Studiegroep Grondwater

De Studiegroep Grondwater (zie paragraaf 1.3) geeft in haar advies (dd. 28 november 2022) een tiental aanbevelingen met daaraan gekoppelde acties. De inhoudelijke kennis en informatie in voorliggend rapport 'Integrale Grondwaterstudie Nederland', kunnen gebruikt worden bij de uitvoering van de acties bij de aanbevelingen van de Studiegroep Grondwater. Tabel 1.1 geeft, per aanbeveling, een overzicht van in welk(e) hoofdstuk(ken) en paragrafen waar deze informatie te vinden is.

Deze integrale grondwaterstudie geeft uitgangspunten om 'water en bodem sturend' vorm te geven en levert input voor regionale uitwerkingen van de aanbevelingen, zoals in de regionale gebiedsprogramma's van het NPLG.

² <https://www.kabinetsformatie2021.nl/documenten/publicaties/2021/12/15/coalitieakkoord-omzien-naar-elkaar-vooruitkijken-naar-de-toekomst>

³ https://puc.overheid.nl/rijkswaterstaat/doc/PUC_23226_31/

Tabel 1.1 Vindplaats in voorliggend rapport van inhoudelijke kennis en informatie bij de tien aanbevelingen uit het advies van de Studiegroep Grondwater.

Aanbevelingen Studiegroep Grondwater		Inzichten landelijke analyse Integrale Grondwaterstudie
1	Houd grondwater vast. Zorg voor waterbeheer en landgebruik gericht op de sponswerking van de bodem (Hoog NL)	Hoofdstuk 3 (paragraaf 3.2, paragraaf 3.3)
2	Draag bij aan natuurherstel door een duurzaam evenwicht tussengrondwater en landgebruik te realiseren (inclusief drinkwaterwinning) (Hoog NL)	Hoofdstuk 3 (paragraaf 3.2, paragraaf 3.3)
3	Beperk en borg kosten grondwateronder- en overlast via levenscyclusbenadering in bodemdalingsgevoelig stedelijk gebied (Laag NL)	Hoofdstuk 6 (paragraaf 6.2, paragraaf 6.3)
4	Vul de grondwater-zorgplicht van gemeenten effectief in (Laag NL)	Hoofdstuk 6 (paragraaf 6.2, paragraaf 6.3)
5	Beperk en accepteer verzilting vanuit grondwater (Laag NL)	Hoofdstuk 2 (paragraaf 2.3.5) Hoofdstuk 7 (paragraaf 7.3)
6	Voorkom verdere achteruitgang grondwaterkwaliteit door bronaanpak	Hoofdstuk 4 (paragraaf 4.1, paragraaf 4.3, paragraaf 4.7)
7	Verhoogde handelingsnelheid door frequent te meten in het bovenste grondwater	Hoofdstuk 4 (paragraaf 4.8)
8	Stimuleer kennisontwikkeling en -deling op het gebied van grondwaterkwaliteit en energietransitie	Hoofdstuk 5
9	Verbeter vergunningverlening, toezicht en handhaving in het grondwaterdomein	Hoofdstuk 4 (paragraaf 4.7) Hoofdstuk 5 (paragraaf 5.6 en paragraaf 5.8) Hoofdstuk 7 (paragraaf 7.3)
10	Zorg voor voldoende aandacht voor grondwater in beleid(sinstrumenten) en plannen	Paragraaf 2.1, paragraaf 3.1, paragraaf 4.2, paragraaf 4.7, paragraaf 5.6, paragraaf 6.2, paragraaf 7.3

2 Grondwater in Nederland

2.1 Betekenis van grondwater

Grondwater vervult van nature een belangrijke rol in de natuurlijke functies van water en bodem. Daarnaast heeft het grondwater ook allerlei functies (diensten) voor de mens (Griffioen et al., 2002; Stuurman en Griffioen, 2003).

Natuurlijke functies

De natuurlijke werking van het grondwater binnen het natuurlijke water- en bodemsysteem is tweeledig:

- Hoge grondwaterstanden en kwelstromen met een goede waterkwaliteit zijn een randvoorwaarde voor terrestrische, grondwaterafhankelijke ecosystemen;
- Voeding van oppervaterlichamen via kwelstromen en ontwateringssysteem zorgt voor behoud van watervoerendheid van waterlopen in droge perioden (basisafvoer) en bepaalt (deels) de kwaliteit van oppervlaktewater. In droge perioden zorgt het grondwater, in de natuurlijke situatie, voor meer dan 95% van de afvoer van beken. Beide aspecten zijn belangrijk voor aquatische ecosystemen.

Ten behoeve van het handhaven van deze functies zijn zowel een minimale fysische grondwaterkwantiteit als een minimale fysische en chemische grondwaterkwaliteit noodzakelijk.

Functies voor de mens

Daarnaast heeft het grondwater ook een aantal functies voor de mens:

- drinkwatervoorziening voor de mens;
- water voor drinken van vee;
- watervoorziening voor levensmiddelen- en genotsmiddelenindustrie;
- watervoorziening voor landbouw;
- proceswater voor industrie;
- koelwater voor industrie;
- grondwater als opslagmedium voor of bron van warmte.

Deze functies zijn alle directe functies, ofwel functies waarbij het grondwater gebruikt en verbruikt wordt, of waarbij er een ruimtelijke claim op de ondergrond wordt gelegd.

Indirecte functies

Tenslotte zorgt grondwater ook voor bepaalde condities die activiteiten op en in de bodem mogelijk maken. De aanwezigheid (of afwezigheid) van het grondwater leidt tot:

- het voorkomen van bodemdaling door daling van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;
- het voorkomen van CO₂ emissies uit organische bodems door daling van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;
- het voorkomen van (ongelijk)verzakken van civieltechnische constructies en gebouwen (verschilzetting) door daling van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;
- het voorkomen van grondwateroverlast door stijging van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;
- het bewaard blijven van cultuur-historische (incl. archeologische) waarden door daling van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;
- het vertragen van paalrot van houten palen die als fundering voor (oude) gebouwen fungeren door daling van grondwaterstanden te beperken of voorkomen;

- de grondwaterstand bepaalt de mogelijkheden voor de landbouw, zowel wat betreft gewassen en beweiding als voor landbouwwerkzaamheden. Hoge grondwaterstanden kunnen leiden tot wateroverlast in de landbouw (natschade), te lage grondwaterstanden kunnen juist weer leiden tot droogteschade.

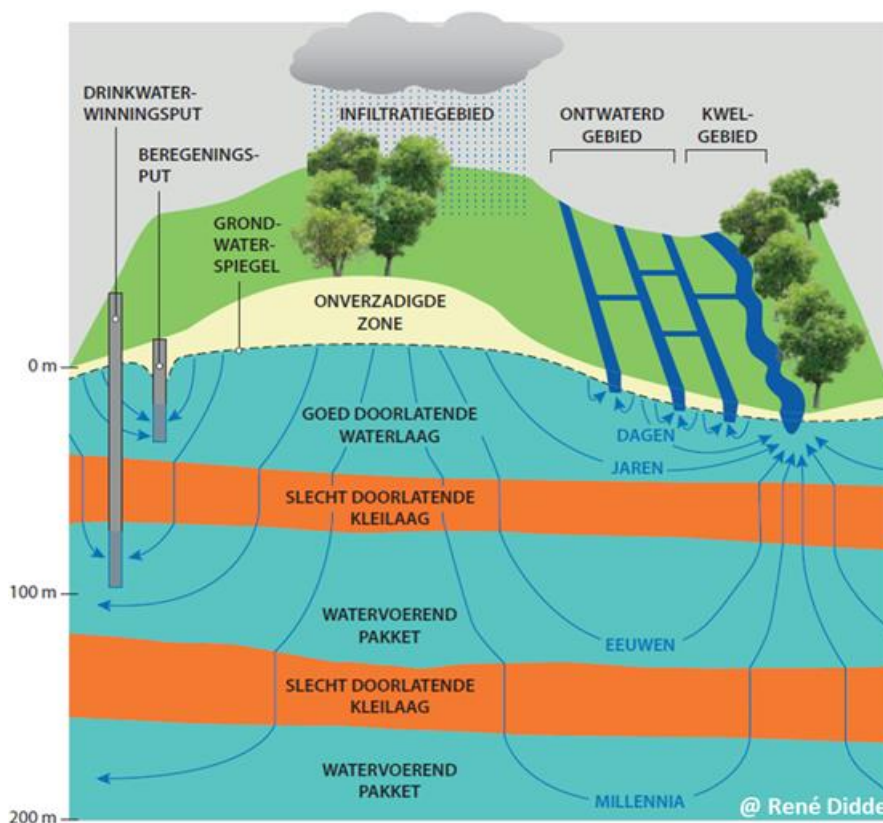
2.2 Het grondwatersysteem

Deze paragraaf bevat een beknopte beschrijving van een aantal belangrijke, generieke kenmerken van grondwatersystemen: verschil tussen watervoerende en scheidende lagen, infiltratie en kwel, ouderdom van grondwater en de principes van grondwaterstroming en geneste systemen.

2.2.1 Watervoerende en scheidende lagen

De ondergrond is in veel gebieden gelaagd opgebouwd en bevat een afwisseling van goed doorlatende lagen opgebouwd uit zand of grind (aquifers of watervoerende lagen) en slecht doorlatende lagen (aquitard, slecht doorlatende laag of afsluitende lagen) opgebouwd uit klei, leem of hard gesteente (Figuur 2.1). Het grondwater stroomt vooral door de goed doorlatende lagen. Stroming door een slecht doorlatende laag is mogelijk, verloopt zeer traag. Lateraal kunnen slechtdoorlatende lagen verdwijnen (uitwiggen), waardoor de watervoerende lagen hier wel met elkaar verbonden zijn.

De bovenste watervoerende laag wordt het freatisch grondwater genoemd. Het freatisch vlak is de dunne zone tussen de met water verzadigde bodem en de onverzadigde zone. Het freatische grondwater is van groot belang voor de functies aan het oppervlak, zoals landbouw en natuur.



Figuur 2.1 Schematische weergave van een grondwatersysteem met infiltratie- en kwelgebieden, grondwaterspiegel, grondwaterstroming en goed doorlatende en slechtdoorlatende lagen. Bron: René Didde, 2021

2.2.2 Infiltratie, kwel en ouderdom

Onder hoger gelegen infiltratie- of wegzijgingsgebieden gebieden infiltreert regenwater en oppervlaktewater via het ondiepe grondwater naar diepere watervoerende lagen. In lager gelegen kwelgebieden vindt juist stroming vanuit ondiepere watervoerende lagen naar de oppervlakte plaats, en vormt daarmee een belangrijke bron voor de afvoer van beken (Figuur 2.1).

Grondwater is een traag systeem. De ouderdom van grondwater (aantal jaar sinds infiltratie van regenwater of oppervlaktewater in de ondergrond) kan sterk verschillen. Het bovenste grondwater, afkomstig van neerslag dat in de bodem percoleert, kan via oppervlakkige afstroming, buisdrainage, greppels en sloten relatief snel in het oppervlaktewater komen en worden afgevoerd. Als het water echter eenmaal dieper in de grond dringt, kan het daar lange tijd verblijven. Het grondwater in infiltratiegebieden kan relatief jong zijn (dagen/weken), terwijl het grondwater in de diepere ondergrond een ouderdom van honderden tot duizenden jaren kan hebben (Figuur 2.1). In gebieden met ondiepe afsluitende kleilagen kan ook het ondiepe grondwater relatief oud zijn.

Doordat grondwater traag en ver stroomt, kunnen oppervlakkige verontreinigingen die mee infiltreren naar het grondwater zich tot grote diepte en over grote afstanden verplaatsen. Wat vies is wordt niet zomaar schoon. Verontreiniging op de ene plaats kan zich via grondwaterstromen in de ondergrond over grote afstanden verspreiden, en daardoor effect hebben op een andere plaats.

2.2.3 Grondwaterstand en stijghoogte

De stijghoogte is het potentieel peil van het wateroppervlak van grondwater, gemeten vanaf een bepaald niveau. Het is de hoogte van het water in een peilbuis, of de hoogte waarop het grondwater zou staan bij het slaan van een put. In het geval van een artesisch grondwater (diep grondwater dat onder druk staat) kan de stijghoogte boven het aardoppervlak uitkomen.

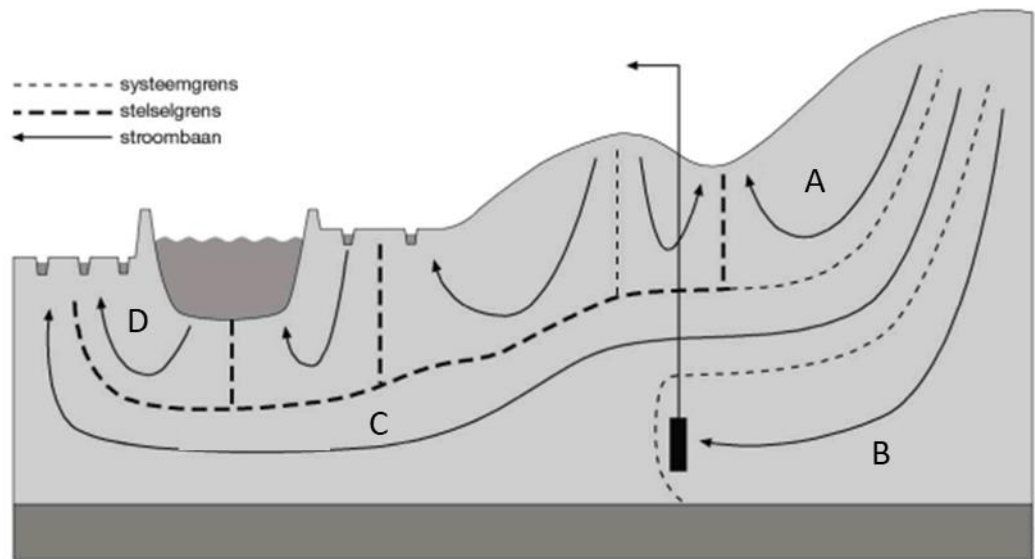
De grondwaterstand is de stijghoogte van de bovenste watervoerende laag, het freatische grondwater, ten opzichte van het maaiveld op een bepaald tijdstip, gemeten in een boorgat of een peilbuis met een ondiep filter, waarvan de diepte en de lengte van het filter is aangepast aan de bodemgesteldheid ter plaatse.

Van een schijngrondwaterstand is sprake als de grondwaterstand afwijkt van de freatische grondwaterstand in een gebied, als gevolg van plaatselijke afwijkingen in de bodemopbouw. Bijvoorbeeld op een slechtdoorlatende kleilaag kan na regenval een schijngrondwaterstand ontstaan. Ook sommige vennen vormen zich als gevolg van een schijn(grond)waterstand veroorzaakt door een ondoorlatende laag.

2.2.4 Grondwaterstroming

In een natuurlijke situatie stroomt grondwater vanuit een hoger gelegen infiltratie- of wegzijgingsgebied naar lager gelegen gebieden, zoals kwelgebieden of beekdalen (Figuur 2.2 - A). De afgelopen eeuwen zijn veel veranderingen aangebracht aan het watersysteem, zoals grondwateronttrekkingen voor drinkwater landbouw en industrie. Een ingrijpende verandering is ook het aanleggen van polders en kanalen en intensieve ontwatering om gebieden geschikt te maken voor landbouw en bewoning. Deze veranderingen hebben invloed op de manier waarop grondwater door de ondergrond stroomt. De grondwaterstroming kan bijvoorbeeld sterk bepaald worden door onttrekkings- en/ of infiltratieputten of bronbemaalingspompen (Figuur 2.2 - B). Ook de waterhuishoudkundige maatregelen aan oppervlaktewater, zoals drainage, sloten, kanalen en polders, veroorzaken een wijziging in de grondwaterstroming. Als gevolg van drukverschillen stroomt het grondwater in laag gelegen gebieden veelal omhoog (Figuur 2.2 - C). In het geval

grondwaterstanden lager staan dan het oppervlaktewaterpeil, zal juist infiltratie van water vanuit waterlopen naar het grondwater plaatsvinden (Figuur 2.2 - D).



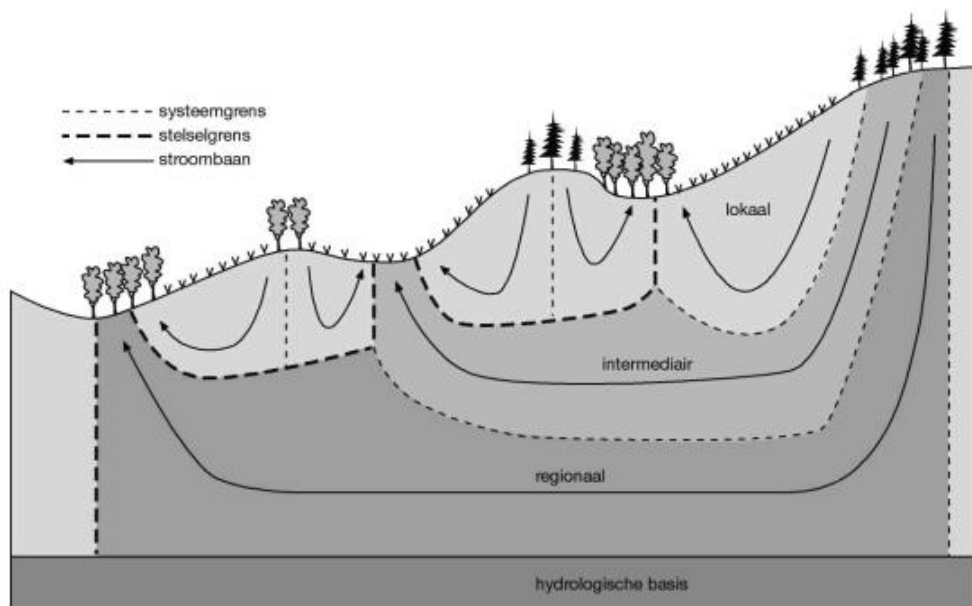
Figuur 2.2 Schematische weergave grondwaterstroming in verschillende situaties: A. grondwaterstroming van een wegzijgingsgebied naar een natuurlijke laagte; B. grondwaterstroming rond een grondwateronttrekking; C en D. grondwaterstroming rond (aangelegde) waterlopen en polders (bron: Stuurman en Griffioen, 2003).

2.2.5 Geneste grondwatersystemen

Regionale grondwatersystemen kenmerken zich door grondwaterstroming over grote afstanden en diepten (regionale of supra-regionale systemen). Binnen deze grootschalige grondwatersystemen zijn ook op lokale en intermediaire schaal zijn 'geneste' grondwatersysteem te onderscheiden (Figuur 2.3; Stuurman en Griffioen, 2003):

- Micro-systemen zijn systemen waar ondiepe stroming op perceelschaal optreedt van het centrale deel van het perceel naar de dichtstbijzijnde sloot of greppel. In het geval buisdrainage aanwezig is, wordt de stroming versneld doordat het grondwater via de buisdrainage in de bodem naar de sloten wordt afgevoerd. De grondwaterstroming vindt plaats in de bovenste meters en de verblijftijd is in de orde van dagen tot weken;
- Lokale systemen zijn systemen waarbij het instroomgebied (wegzijgingsgebied aan maaiveld, meer of injectieput) en het uitstroomgebied (beekdal, droogmakerij of onttrekkingsput) aan elkaar grenzen. De maximale diepte waarop het grondwater stroomt is gering en de verblijftijd betrekkelijk kort tot maximaal enkele tientallen jaren. Een oeverinfiltratiewinning is een voorbeeld van een lokaal, gedwongen systeem;
- Intermediaire systemen zijn gebieden met tenminste één lokaal systeem tussen het infiltratie- en kwelgebied. De systemen zijn betrekkelijk ondiep, afhankelijk van de geohydrologische opbouw van de ondergrond (< 50 m-mv). De verblijftijden bedragen enkele tientallen tot honderden jaren;
- Regionale systemen hebben een hooggelegen infiltratiegebied gebied en een laaggelegen kwelgebied. Voor natuurlijke regionale systemen geldt bijvoorbeeld dat het wegzijgingsgebied op de waterscheiding ligt en het kwelgebied in de regionale topografische depressie (beekdal, diepe polder). De systemen strekken zich gebruikelijk tot tamelijk grote diepte uit en de verblijftijd en zijn tientallen tot enkele duizenden jaren. Een voorbeeld is het systeem van de Utrechtse Heuvelrug;
- Supraregionale systemen zijn systemen die zich uitstrekken over verschillende regionale waterscheidingen; het infiltratiegebied en het uitstroomgebied liggen ver uit elkaar en het hoogteverschil is relatief groot. Het grondwater in deze systemen stroomt tot grote diepte (> 100 m -m v) en de verblijftijd en zijn zeer lang (> 1000 jaar). Een voorbeeld is het

systeem dat gevoed wordt op de Vlaamse Kempen en na een reistijd van ca 30.000 jaar kwelt rond Den Bosch.

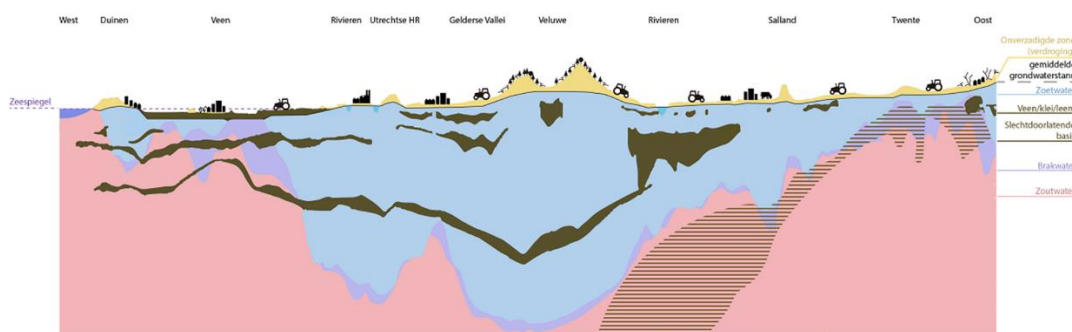


Figuur 2.3 Schematische weergave van geneste lokale, intermediaire en regionale grondwatersystemen (bron: Stuurman en Griffioen, 2003).

2.3 Kenmerken van het Nederlandse grondwater

2.3.1 Grondwater van west naar oost

Figuur 2.4 toont een doorsnede van de ondergrond van Nederland tot 350 meter onder zeeniveau. Hierin is zichtbaar dat de dikte van de laag met zoet water sterk verschilt. Toen de kust 5000 jaar geleden veel oostelijker lag, is zeewater in de bodem terechtgekomen. In het westen en in delen van het oosten van Nederland, zoals Twente, bevindt het brakke en zoute grondwater zich relatief dicht onder het oppervlak. In het westen gaat het om brak en zout water van Holocene ouderdom. Als gevolg van de aanwezigheid van polders en zeespiegelstijging bewegen het brakke en zoute grondwater hier langzaam omhoog. In Twente gaat het om water van Tertiaire oorsprong dat door ijs omhoog is gestuwd. Dit is connaat water en staat vrijwel stil. De voorraad zoet grondwater zit grotendeels in goed doorlatende, grofzandige afzettingen uit het Pleistoceen. De dikte van de zoetwaterbel is het grootste onder de Veluwe.



Figuur 2.4 Dwarsprofiel van de Nederlandse ondergrond met daarin de verdeling tussen zoet, brak en zout water en de ligging van scheidende lagen en de slechtdoorlatende basis (bron: TNO/Deltares).

2.3.2 Hoog en Laag Nederland

Nederland kan grofweg worden ingedeeld in twee regio's (Figuur 2.5): de overwegend vrij-afwaterende zandgebieden (Hoog Nederland) en de lagere delen van Nederland met veen- en kleibodems in de kustzones en langs de grote rivieren (Laag-Nederland). In Hoog Nederland is alleen plaatselijk inlaat van oppervlaktewater naar hoger gelegen gebieden mogelijk. Dit gebied is voor de zoetwatervoorziening vooral afhankelijk van neerslag en het aanwezige grondwater. In Laag-Nederland is een deel van het grondwater brak of zout dat in de diepere polders omhoog kwelt en het oppervlaktewater verzilt. Wel kan hier zoetwater worden ingelaten vanuit de grote rivieren en het IJsselmeer en verdeeld over de achterliggende gebieden.



Figuur 2.5 Hoog Nederland (omlijnd gebied) en Laag Nederland (wit).

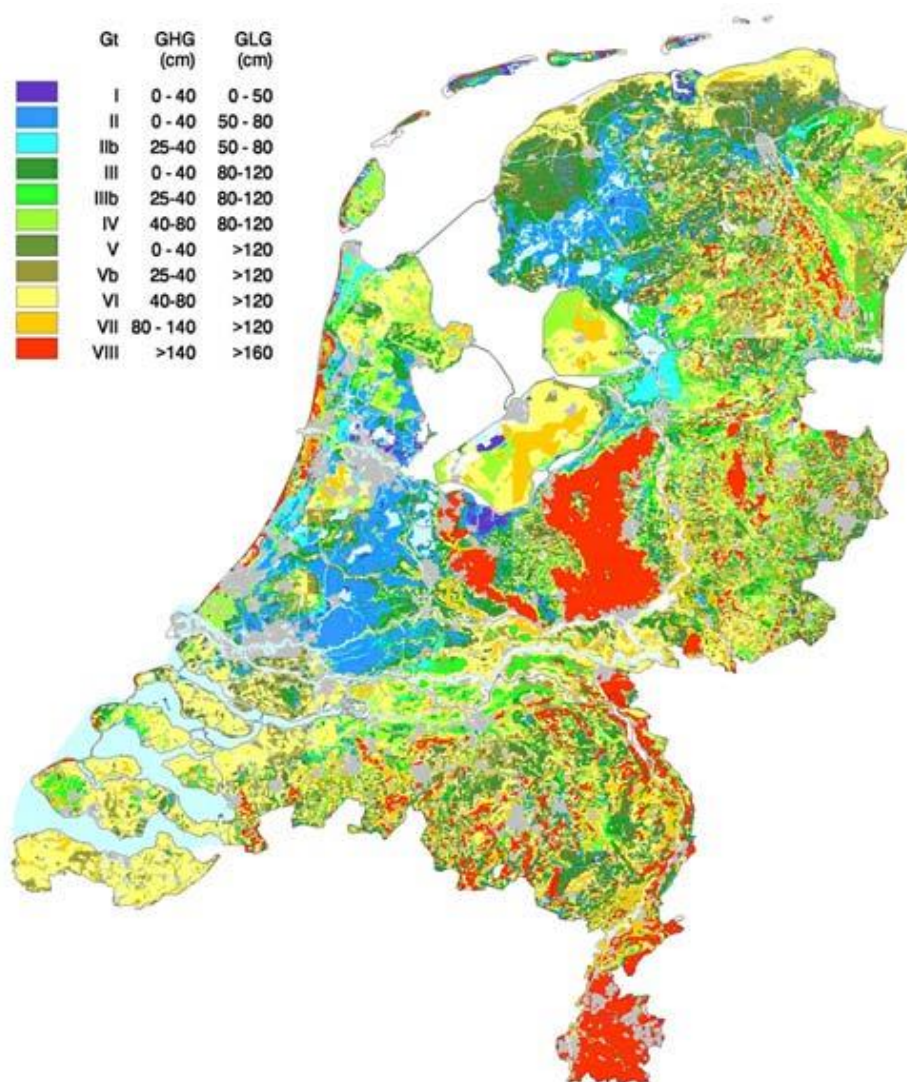
2.3.3 Grondwaterstanden (nu en toekomst)

Grondwaterstand is de stijghoogte van het freatische grondwater ten opzichte van het maaiveld. De grondwaterstand is van grote invloed het groeimilieu voor gewassen (zowel landbouw als natuur), de gebruiksmogelijkheden van de grond en bodemvorming. De helft van de Nederlandse gronden heeft in de winter een grondwaterstand ondieper dan 40 cm en circa drie kwart ondieper dan 80 cm. In de zomer blijft in 30% van de gronden de grondwaterstand binnen 120 cm diepte.

Grondwatertrappen geven een beeld van het regime van de grondwaterstand gedurende een hydrologisch jaar (STOWA, 2010). Een grondwatertrap (Gt) is een typische combinatie van de gemiddelde hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) op een bepaalde locatie of in een bepaald gebied, zie Figuur 2.6⁴. De GHG en de GLG zijn winter- en zomergrondwaterstanden in een jaar met een gemiddelde neerslag en verdamping. Bij grondwatertrappen I tot en met IV is sprake van relatief ondiepe grondwaterstanden (zowel GHG tot 80 cm onder maaiveld en GLG tot 120 cm onder maaiveld). Deze grondwatertrappen komen vooral voor in laag gelegen gebieden in het westen en noorden van Nederland en in gebieden met grondwaterstroming uit hoger gelegen

⁴ <https://www.bro-productomgeving.nl/bpo/latest/modellen/model-grondwaterspiegeldiepte-wdm>

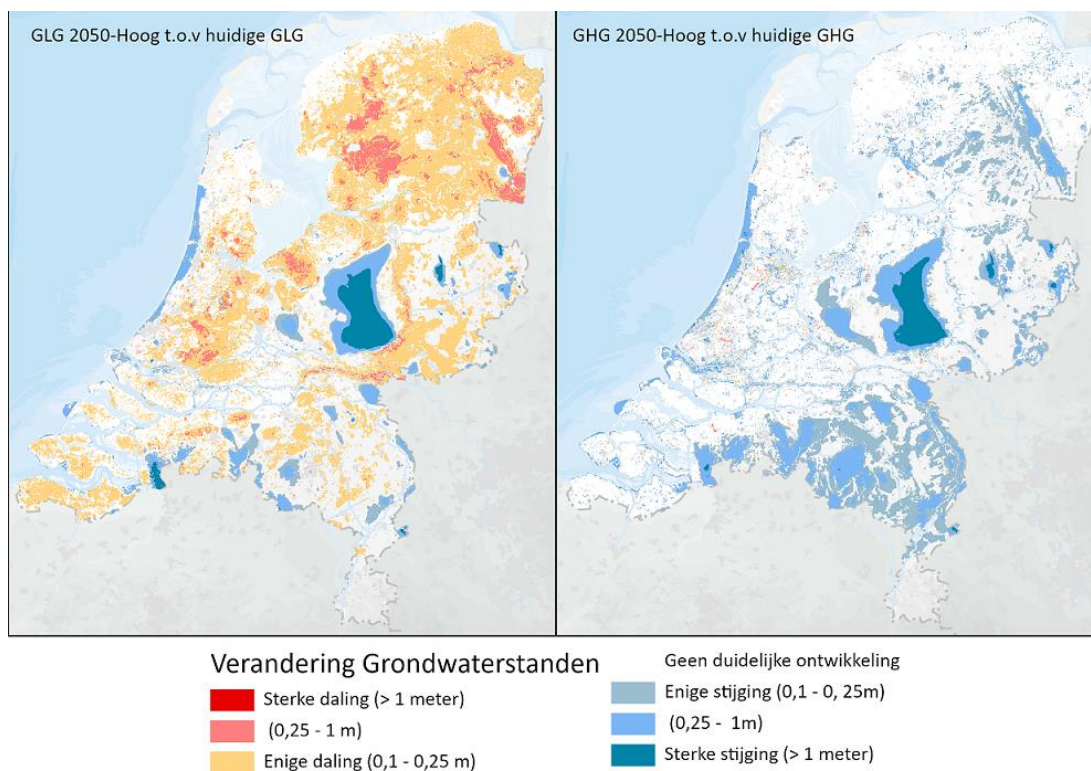
gebieden (kwel) of in en rond beekdalen. Grondwatertrappen V tot en met VIII wijzen op gebieden met diepere grondwaterstanden; dit zijn veelal de hoger gelegen gebieden waar wegzijging van grondwater optreedt (zoals de Veluwe en Zuid-Limburg) of gebieden met lage polderpeilen (zoals in Flevoland). (Figuur 2.6).



Figuur 2.6 Grondwatertrappenkaart van Nederland met de bijbehorende range van gemiddeld hoogste (GHG) en laagste (GLG) grondwaterstand (in centimeters onder maaiveld). Bron: BRO, 2022

Als gevolg van klimaatverandering en verandering in water- en landgebruik zullen grondwaterstanden in Nederland de komende decennia veranderen.

Figuur 2.7 toont de toekomstige gemiddelde zomer- en wintergrondwaterstand (GLG en GHG) in Nederland in het geval van het sterke klimaatverandering (KNMI scenario WH) en economische groei (STOOM scenario van Deltaprogramma Zoetwater).



Figuur 2.7 Verandering van de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG, zomergrondwaterstand) ten opzichte van de huidige situatie in het geval van het sterke klimaatverandering (KNMI scenario W_H) en economische groei (STOOM scenario van Deltaprogramma Zoetwater) (bron: Nationaal Water Model, 2019 via www.klimaat-effectatlas.nl).

2.3.4 Grondwaterkwaliteit

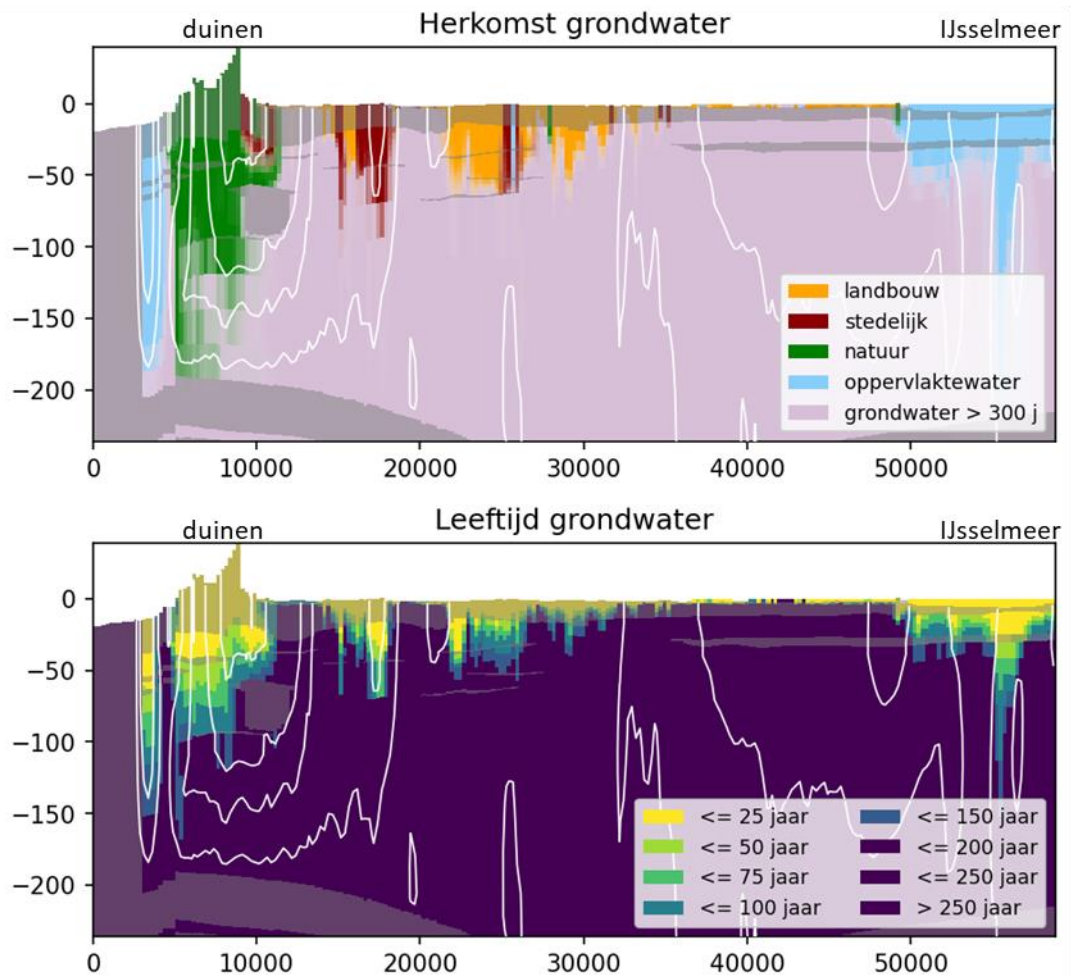
De natuurlijke kwaliteit van het grondwater wordt voor een groot deel bepaald door wat de bron is van het voedende water: regenwater, rivierwater of zeewater. Ook de samenstelling van de ondergrond waar het grondwater zich bevindt of doorheen is gestroomd, heeft een grote invloed op de natuurlijke grondwaterkwaliteit. Zo heeft grondwater in veengebieden een andere samenstelling dan grondwater in gebieden met een kalkrijke ondergrond (website grondwatertools.nl, GDN, 2020; Swartjes et al., 2022; Verweij et al., 2022a).

Menselijke activiteiten hebben daarnaast een grote invloed op de grondwaterkwaliteit. Het landgebruik in gebieden waar regenwater en oppervlaktewater infiltreert heeft een grote invloed op de samenstelling van grondwater; het gebruik van meststoffen en bestrijdingsmiddelen, en de productie van chemisch afval en stortplaatsen hebben de kwaliteit van het ondiepe grondwater in Nederland veranderd (website grondwatertools.nl, GDN, 2020; Swartjes et al., 2022; Verweij et al. 2022a).

De opbouw van de bodem en de drukverschillen van het water bepalen waar het grondwater naar toe stroomt. De samenstelling van de sedimenten bepaalt welke stoffen uit het grondwater neerslaan en welke elementen uit het sediment juist oplossen in het grondwater. Ook fysische processen zoals sorptie zijn van belang voor bijvoorbeeld de concentraties zware metalen, geneesmiddelen of gewasbeschermingsmiddelen in het grondwater. Stoffen kunnen ook afgebroken worden in het grondwater, afhankelijk van de stof en de chemische en microbiologische omstandigheden in de ondergrond (website grondwatertools.nl, GDN, 2020; Swartjes et al., 2022; Verweij et al. 2022a).

Een gedeelte van de stoffen die in het grondwater komen, verblijft langdurig in het grondwatersysteem, en er blijven stoffen bijkomen. Deze stoffen kunnen generaties lang tot op grote afstanden van de bron problemen veroorzaken. De voortschrijdende, sluimerende, beïnvloeding van de chemische kwaliteit van grondwater door menselijke activiteiten tot steeds grotere diepte wordt ‘vergrijzing van het grondwater’ genoemd (Hoekstra et al., 2019; Van Gaalen et al., 2020; Swartjes et al., 2022; Verweij et al. 2022a). Als gevolg van de traagheid van verontreiniging van grondwater, wordt dit soms (te) laat waargenomen.

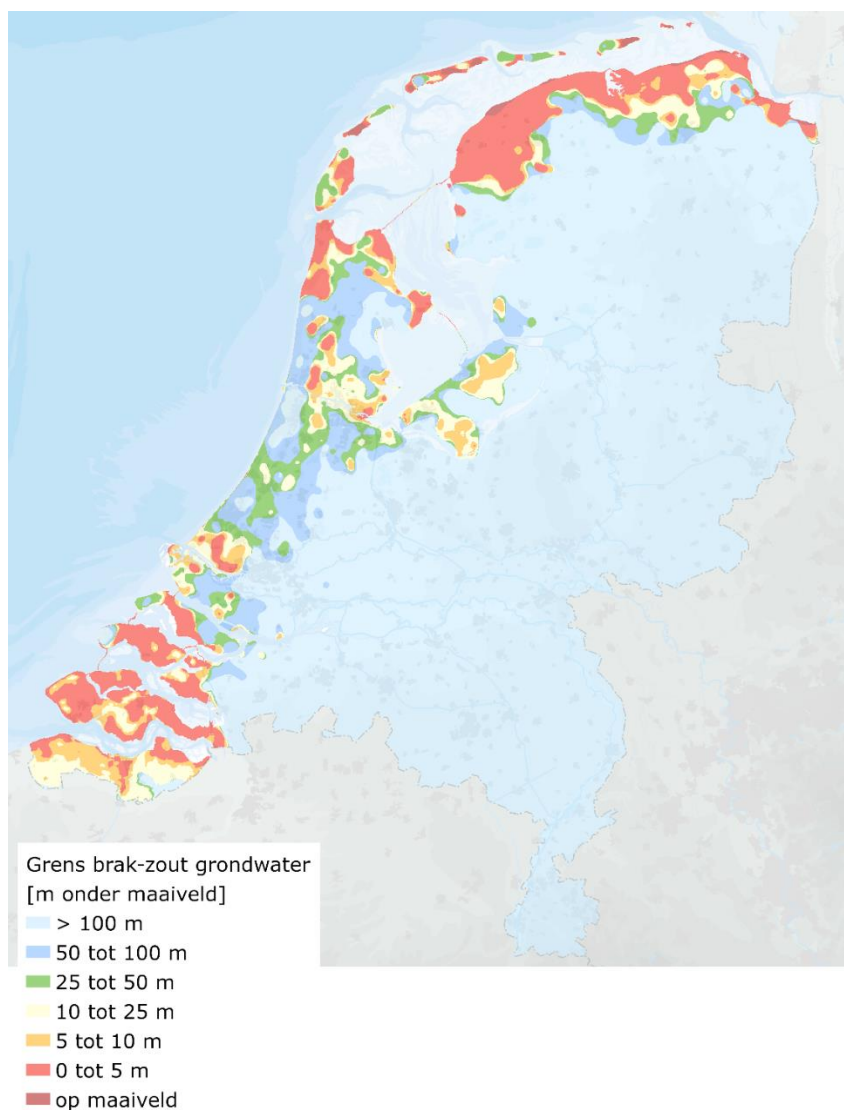
Figuur 2.8 geeft een voorbeeld van de herkomst en ouderdom van het grondwater in Noord-Holland. Zichtbaar is dat een groot deel van het grondwater meer dan 300 jaar oud is. Onder de duinen en het IJsselmeer is het grondwater in de bovenste 50 tot 100 meter minder oud. Ook in tussenliggende gebieden waar afsluitende kleilagen in de ondergrond ontbreken of dunner zijn, is het grondwater in de bovenste 50 meter relatief jong (<75 jaar). Vooral deze gebieden worden gekenmerkt door de aanwezigheid grondwater dat door verontreinigingen uit de landbouw en stedelijk gebied worden beïnvloed. Het oudere grondwater in Laag-Nederland kan van nature rijk aan nutriënten (ammonium en fosfaat) en brak of zout zijn. Het oudere grondwater vanuit Hoog-Nederland is zeer schoon en belangrijk voor drinkwaterwinning en voor grondwaterafhankelijke natuur.



Figuur 2.8 Herkomst (boven) en ouderdom (onder) van het grondwater in de ondergrond van Noord-Holland over het transect Schoorl – IJsselmeer, zoals berekend met het Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (www.nhi.nu). Bron: Deltares, in voorbereiding.

2.3.5 Verzilting

De beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater is van belang voor landbouw, industrie, drinkwater en natuur. In laag gelegen kustgebieden kwelt zout en brak grondwater op uit diepere, met zeewater gevulde zandlagen. Dit zoute grondwater is hoofdzakelijk afkomstig uit perioden in het Holocene waarin de zee aan invloed won en de kustlijn zich landinwaarts verplaatste (Post, 2004). Vanaf de 15^e eeuw drukt de mens een stempel op de zoet-zoutverdeling. Sinds de ontwatering van het veen en zeker sinds het ontstaan van de diepe droogmakerijen die tot 6 meter onder zeeniveau liggen stroomt het brak-zoute grondwater weer terug omhoog naar het oppervlak, met zoute kwel in de polders tot gevolg. Dit proces gaat zeer langzaam en met verloop van tijd bereikt steeds ouder, dieper en daardoor zouter grondwater het oppervlaktewater. Dit proces zal de komende eeuwen nog gewoon doorgaan en noemen we 'autonome verzilting'. Het zoet-brak-zout grensvlak (zie Figuur 2.9) komt in dit gebied onder de diepe polders dus steeds ietsjes ondieper te liggen (Deltares, in voorbereiding). Hoe groot deze aanvoer via het grondwater is, hangt af van de dikte en doorlatendheid van het erboven gelegen Holocene klei-veen dek en het verschil tussen de stijghoogte in de bovenste watervoerende laag en het oppervlaktewater-peil.



Figuur 2.9 Diepte van brak-zout grensvlak van het grondwater(1000 mg/l chloride) in meters onder maaiveld in het westen en noorden van Nederland (bron: Deltares, 2021). Voorkomen van brak en zout grondwater met Tertiaire herkomst in het oosten van Nederland in op deze kaart niet weergegeven.

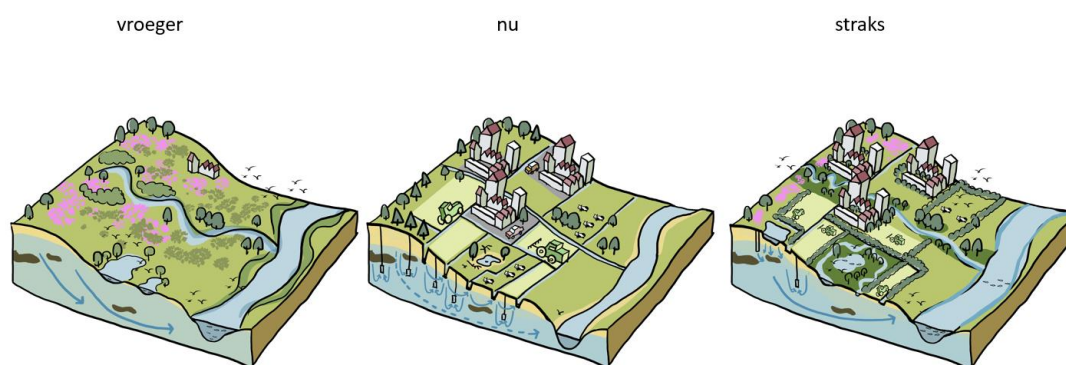
Sinds een aantal jaren weten we dat verzilting van de diepe polders vanuit het grondwater door wellen wordt gedomineerd (De Louw, 2013). Wellen zijn gaten in de deklaag waardoor met hoge snelheid grondwater uit het eerste watervoerend pakket omhoog stroomt. Ze ontstaan door opbarsting van de deklaag die optreedt wanneer de waterdruk onder de deklaag groter wordt dan het gewicht van deklaag. Hoe dit proces zich verhoudt tot autonome verzilting op grotere schaal is echter nog onbekend.

Het aantal wellen en de autonome verzilting kan in de toekomst toenemen als gevolg van onder andere bodemdaling en peilverlagingen waardoor de autonome verzilting alsnog kan toenemen (De Louw, 2013). Ook ligt het in de verwachting dat door de voorspelde klimaatverandering en toekomstige stijging van de zeespiegel, de zoute kwel en de zoutindringing vanuit de zee zal toenemen en de beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater zal afnemen. Het effect van zeespiegelstijging is echter ruimtelijk beperkt tot een strook langs de kust en de langs de kust (<10km) en langs de grote rivieren. In deze zones zullen grotere kwelfluxen in de diepere polders optreden die tot hogere zoutvrachten en mogelijk dunnere zoetwaterlenzen in duinen (Deltares, in voorbereiding).

3 Verdroging natuurgebieden (focus op Hoog Nederland)

Natuurgebieden in Hoog Nederland zijn verdroogd en verdrogen verder; noodzakelijke verhoging grondwaterpeil kan niet zonder aanpassen land- en watergebruik.

Natuur, landbouw en recreatie in het oosten en zuiden van Nederland, de hogere zandgronden, hebben veel schade ondervonden tijdens de droge jaren van 2018, 2019 en 2022. Achterliggende oorzaak van deze problemen, is de structurele verlaging van grondwaterstanden en afname van kwelstromen vanuit infiltratiegebieden hoger naar lager gelegen gebieden. Deze “verdroging” is een proces dat al meer dan 200 jaar gaande is met een flinke intensivering na de 2^e Wereldoorlog, en wordt veroorzaakt door grootschalige en ingrijpende veranderingen in landgebruik en toenemende grondwaterwinningen. Als geen maatregelen worden genomen om de grondwaterstanden te verhogen en kwelstromen te versterken, dan zal verdroging in een groot deel van de natuurgebieden verder toenemen als gevolg van klimaatverandering en toename van de watervraag.



Figuur 3.1 Veranderingen van het land- en watergebruik in Hoog Nederland door de tijd en het effect daarvan op het grondwater en natuur. Links: natuurlijke situatie (tot zo'n 200 jaar geleden); midden: huidige situatie (nu); rechts: mogelijke toekomstige situatie waarin met een aantal maatregelen grondwaterstanden te verhogen en kwelstromen te versterken. Het gaat daarbij om de volgende type maatregelen: minder ontwateren, minder onttrekken, infiltreren oppervlaktewater. Voor deze maatregelen is aanpassing van het landgebruik nodig. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

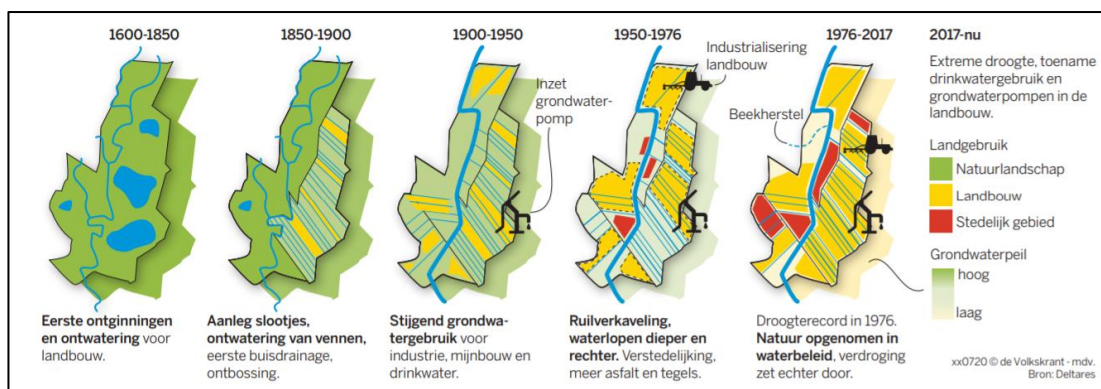
3.1 Structureel verlaagde grondwaterstand leidt tot natuurschade

3.1.1 Verlaging grondwaterstand door intensief land- en watergebruik

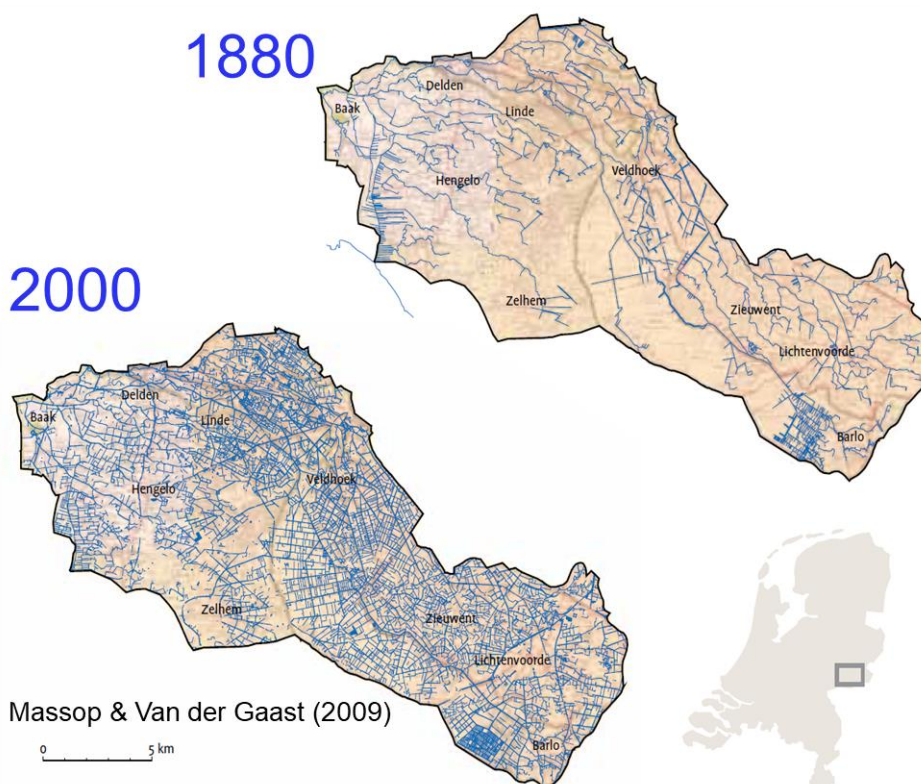
De vrij afwaterende zandgebieden in het zuiden, midden en oosten van Nederland bestonden tot zo'n 200 jaar geleden uit een afwisseling van bos en heidegebieden. In de lagere delen stonden de grondwaterstanden hoog. In natuurlijke laagtes, rond waterscheidingen, door aanwezigheid van slechtdoorlatende leemlagen en door afwezigheid van ontwatering bevonden zich door grondwater gevoede vennen en vond veenvorming plaats. Langzaam stromende, ondiepe beeksystemen werden gevoed door kwelwater dat infiltreerde in de hoger gelegen delen van het gebied (Figuur 3.1, links).

Om ze geschikt te maken voor landbouw zijn deze zandgebieden gedurende de afgelopen eeuwen ontgonnen en ontwaterd. Ook wordt sinds 1900 grondwater onttrokken ten behoeve van drinkwater, industrie en beregening van de landbouw. Sinds de jaren vijftig van de vorige

eeuw is het landgebruik steeds verder geïntensiveerd, de bodem verder nog intensiever ontwaterd en zijn de grondwateronttrekkingen voor drinkwater flink toegenomen. De aanplant van naaldbos en de teelt van hoogproductieve landbouwgewassen hebben geleid tot grotere verdamping, terwijl de verharding en ontwatering en de grotere grondwateronttrekkingen (drinkwater, landbouw en industrie) hebben geleid tot structurele verlaging van de grondwaterstanden, afname van de kwelstroom en afvoer van beken (Figuur 3.1, midden; Knotters, 2005; Hendriks et al., 2014; Hendriks et al., 2015; Eertwegh et al., 2021; Witte et al., 2019a; Witte et al., 2019b, De Louw et al., 2022). In Figuur 3.2 wordt deze ontwikkelingen door de tijd schematisch weergegeven. Figuur 3.3 geeft een voorbeeld van de verdichting van het ontwateringsnetwerk gedurende de 20^{ste} eeuw.



Figuur 3.2 Visualisatie van verdroging in de zandgebieden op basis van historisch onderzoek: zichtbaar is dat voortschrijdende verandering van het landgebruik, ontwatering sinds de 17^{de} eeuw heeft geleid tot een structurele daling van de grondwaterstanden (achtergrondkleur) (bron: Deltares & Volkskrant, 2020). Deze afbeelding kan worden ingezet in het project Integrale Grondwaterstudie Nederland



Figuur 3.3: Voorbeeld van veranderingen in ontwatering voor een deel van de achterhoek in Nederland. Op de figuur is boven de oppervlakkige ontwatering rond 1880 te zien en onder het veel dichtere ontwateringsnetwerk rond 2000. Bron: Massop en Van der Gaast, 2009.

3.1.2 Natuurgebieden verdrogen

Grondwaterafhankelijke natuur is gebaat bij hoge grondwaterstanden en vaak bij de aanwezigheid van kwel. Het gaat daarbij om natuurtypen als (veen)moeras, vochtige heide, hoog- en laagveenbos, beekbegeleitend bos en kruiden- en faunarijk grasland (KWR / FWE, 2021). In het kader van het project 'Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland' (Van den Eertwegh et al., 2021) is een kaart ontwikkeld van grondwaterafhankelijke natuurgebieden in Nederland. Een deel van deze grondwaterafhankelijke natuurgebieden is beschermd en heeft de Natura2000 status (EEA, 2022)⁵. Daarnaast zijn een aantal door grondwater gevoede beeklopen het oosten en zuiden van Nederland aangewezen als Kaderrichtlijn Water (KRW⁶) waterlichamen (STOWA, 2018; Hendriks et al., 2014). Figuur 3.4 toont de ligging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden (met en zonder Natura 2000 status) en KRW beeklopen in Hoog Nederland.

Een inventarisatie in 2000 heeft aangetoond dat een groot deel van de Nederlandse natuurgebieden te maken heeft met verdroging en daarmee samenhangende achteruitgang van biodiversiteit (IPO/RIZA, 2000)⁷. Het onderwerp "verdroging" heeft een lange voorgeschiedenis. Al sinds de jaren '80 van de vorige eeuw wordt onderzoek gedaan naar dalende grondwaterstanden en het effect hiervan op natuur (Witte et al., 2019a). In de derde Nota Waterhuishouding uit 1990 is opgenomen dat de provincies de Gewenste Grondwater Situatie (GGS) zouden vastleggen. Deze werd gezien als grondslag voor de aanpak van de verdroging. In de vierde Nota waterhuishouding uit 1998 is GGS verbreed tot Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR), dynamischer en met ook aandacht voor het oppervlaktewater en andere functies in het landelijk gebied (CIW, 2003). Ondanks de gestelde beleidsdoelen en het onderzoek is de verdroging van natuurgebieden over het algemeen niet verbeterd met als gevolg dat de doelen voor Natura 2000 en KRW niet worden behaald. Een gedetailleerde beschrijving van de voorgeschiedenis van het beleid en de aanpak op het gebied van verdroging is te vinden in Witte et al. (2019a).

3.1.3 Klimaatverandering versterkt verdroging

Klimaatverandering en sociaaleconomische veranderingen kunnen in de toekomst een verandering van de grondwaterstanden veroorzaken, als gevolg van een verandering in neerslag en verdamping. Ook zal de vraag naar grondwater voor drinkwater naar verwachting toenemen (zie paragraaf 7.1.1) en zal, bij gelijkblijvend landgebruik, de ook behoefte aan beregening sterk toenemen wanneer in de toekomst vaker droge zomers voorkomen (KNMI scenario W_H). In 2018 is bijvoorbeeld twee tot drie maal zoveel beregend als in een normaal jaar (Eertwegh et al., 2021). Toename aan beregening uit grondwater tijdens het groeiseizoen zorgt voor een extra verlaging van de grondwaterstanden.

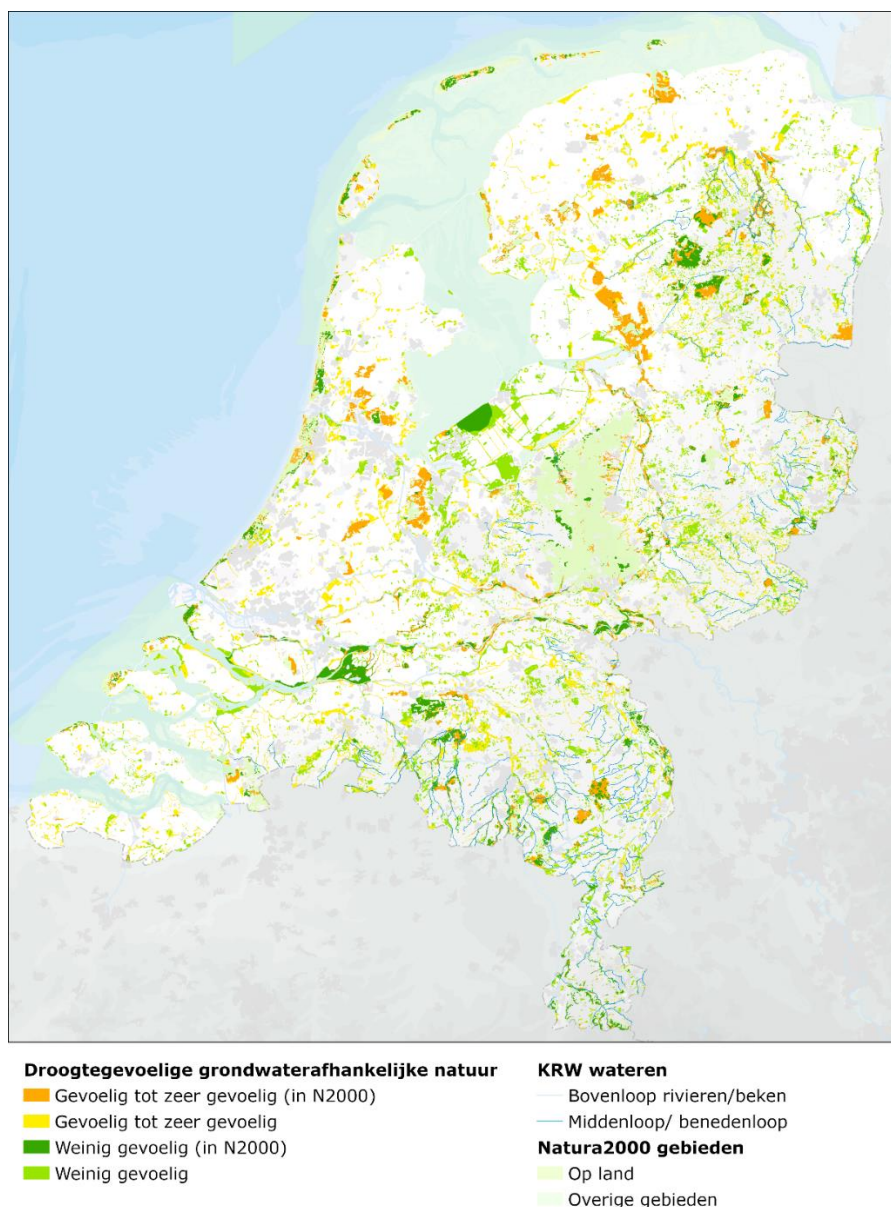
In het geval van het relatief sterke klimaatverandering (KNMI scenario W_H) en economische groei (STOOM scenario van Deltaprogramma Zoetwater), zal de Gemiddelde Laagste Grondwaterstand (GLG, zomergrondwaterstand) in grote delen van Nederland verder dalen (

⁵ Nederland kent 162 Natura 2000-gebieden. Dit Natura 2000-netwerk bestaat uit gebieden die zijn aangewezen onder de Vogelrichtlijn en onder de Habitatrichtlijn. Beide Europese richtlijnen zijn belangrijke instrumenten om de Europese biodiversiteit te waarborgen. Alle gebieden zijn geselecteerd op grond van het voorkomen van soorten en habitattypen die vanuit Europees oogpunt bescherming nodig hebben. Meer informatie: <https://www.natura2000.nl/gebieden> en <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-13>

⁶ Water Framework Directive: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ff6b28fe-b407-4164-8106-366d2bc02343>

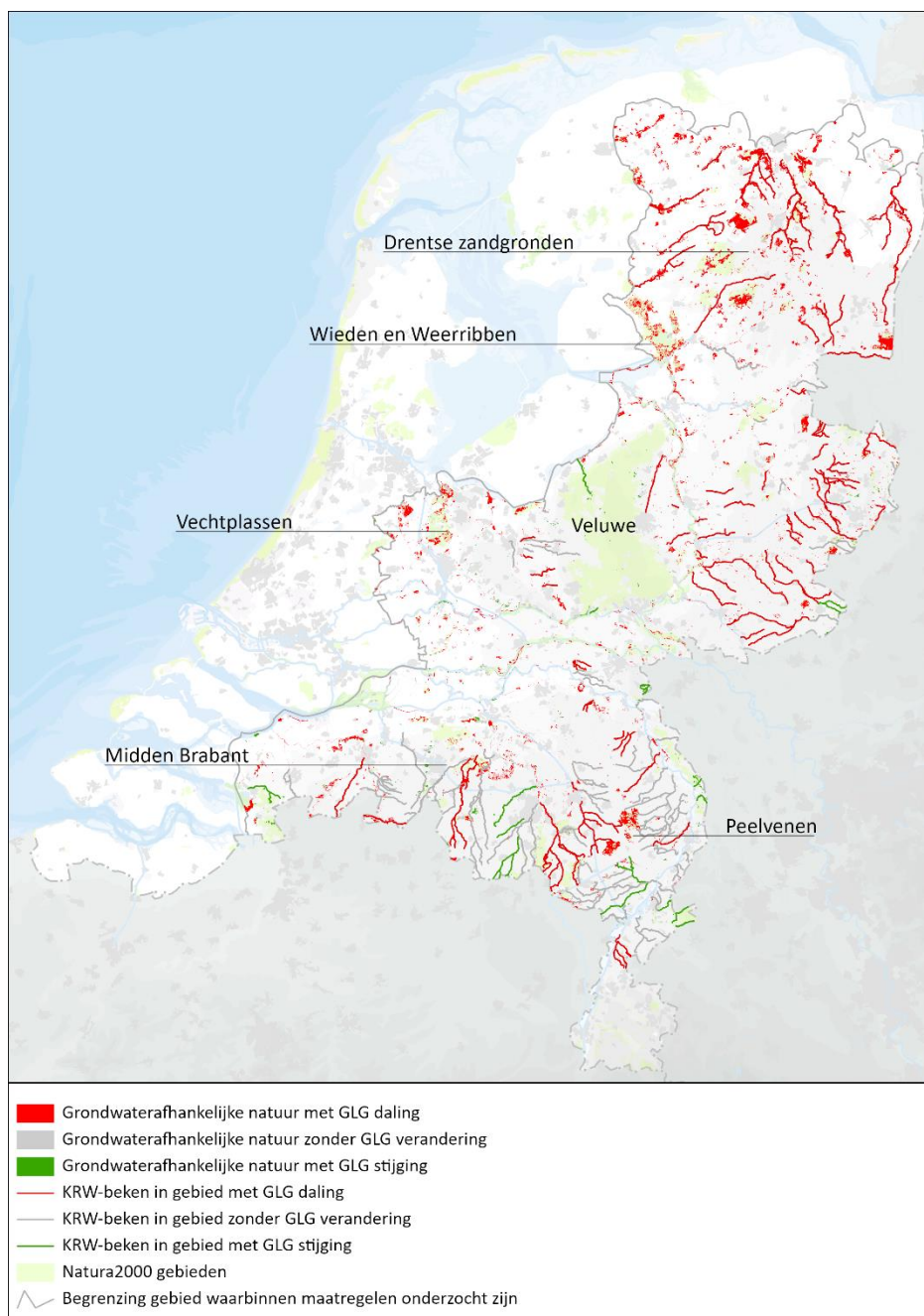
⁷ Meer recente informatie over de toestand van deze natuurgebieden i.r.t. de grondwaterstand en informatie over het "doelgat" (vereiste stijging van de grondwaterstand voor een herstel van biodiversiteit) is niet beschikbaar. De GIS-bestanden van de betreffende studie uit 2000 zijn ook niet meer beschikbaar.

Figuur 2.7; berekend met het Nationaal Water Model, 2019). In de hoog gelegen gebieden met diepe grondwaterstanden zoals de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug is een stijging van de zomergrondwaterstanden zichtbaar. Dit wordt veroorzaakt door de afwezigheid van waterlopen en sloten waardoor het gehele neerslagoverschot in de winter ten goede komt aan de aanvulling van het grondwater (en niet snel wordt afgevoerd). In de andere delen van Hoog Nederland zorgt het ontwateringstelsel van waterlopen, sloten en drainage ervoor dat het extra water dat er in de winter valt (en normaal zou zorgen voor hogere grondwaterstanden) relatief snel wordt afgevoerd en daarmee niet bijdraagt aan de stijging van het grondwater. Vervolgens valt er minder neerslag in de zomer en is de verdamping flink hoger waardoor er in de in het zomerhalfjaar alsnog een sterkere daling van de grondwaterstand optreedt dan in de huidige situatie. Onder invloed van klimaatverandering worden in een groot deel van Nederland de extremen in de grondwaterstanden (verschil tussen hoogste en laagste) groter, zie Figuur 2.7).



Figuur 3.4 Ligging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden (met en zonder Natura 2000 status) en KRW beeklopen in de zandgebieden van Nederland. Bronnen: KWR / FWE (2021), EEA (2022), STOWA (2018).

Door de ligging van de natuurgebieden te combineren met de berekeningen van de toekomstige veranderingen in het geval van klimaatverandering en economische veranderingen, zijn gebieden in beeld gebracht waar de zomergrondwaterstand in de toekomst mogelijk verder daalt (Figuur 3.5). Deze gebieden lopen groter risico op (verdere) verdroging en achteruitgang van natuur en biodiversiteit. Er is ook een enkel natuurgebied waar de zomergrondwaterstand als gevolg van klimaatverandering in de toekomst zou kunnen stijgen.



Figuur 3.5 Grondwaterafhankelijke natuurgebieden (terrestrisch en aquatisch) met kans op verlaging of verhoging van zomergrondwaterstanden in het geval van het sterke klimaatverandering (KNMI scenario W_H) en economische groei (STOOM scenario van Deltaprogramma Zoetwater) (bronnen: Nationaal Water Model, 2019 via www.klimaat-effectatlas.nl), KWR / FWE (2021), EEA (2022), STOWA (2018).

3.2 Verhogen grondwaterstanden om verdroging tegen te gaan

Om verdere verdroging van natuur tegen te gaan en om verdroogde natuurgebieden te herstellen is het belangrijk om de grondwaterstanden te verhogen en kwelstroming te versterken. Dit betekent dat meer grondwater moet worden vastgehouden in de ondergrond en minder grondwater moet worden onttrokken, wat leidt tot een stijging van grondwaterstanden en een toename van kwelstromen vanuit infiltratiegebieden naar lager gelegen gebieden (Figuur 3.1, rechts).

3.2.1 Effect vernattingsmaatregelen

Er zijn verschillende typen maatregelen om de grondwaterstanden in de zandgebieden te verhogen, kwelstroming te versterken en gebiedseigen afvoer te vergroten. De drie belangrijkste categorieën vernattingsmaatregelen zijn:

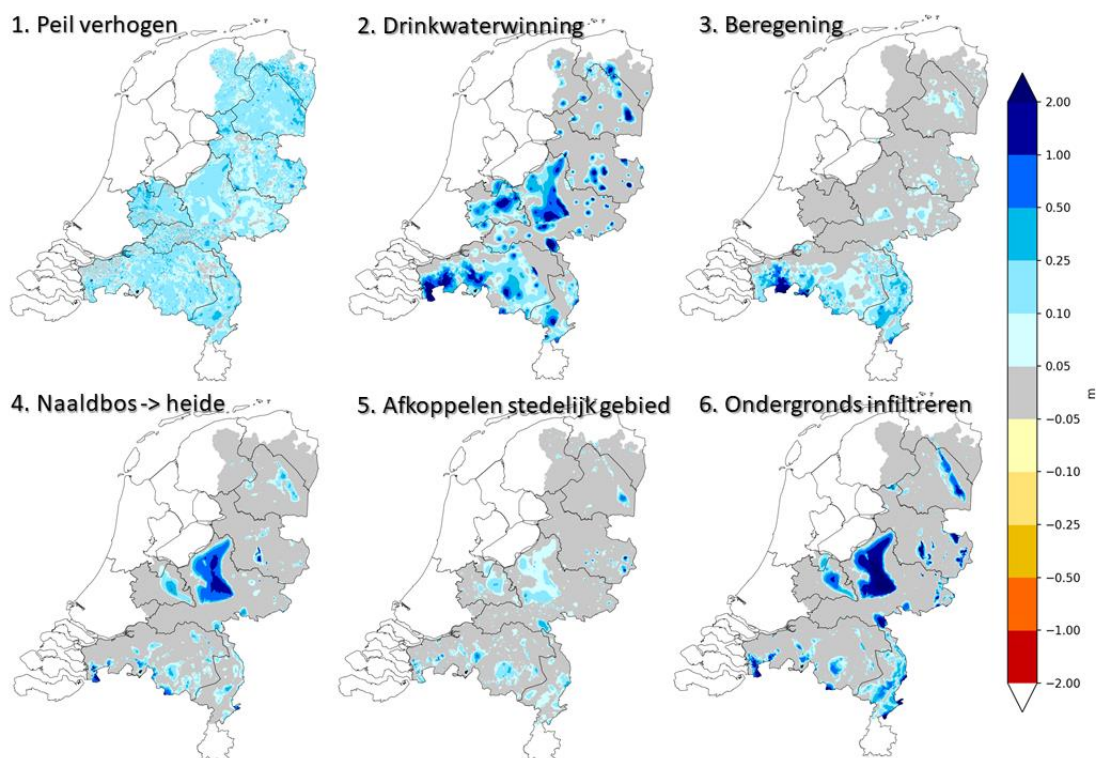
- Verwijderen of verhogen van ontwateringsmiddelen (waterlopen, sloten, greppel, drains) om grondwater minder snel af te voeren en wegzijging naar diepere lagen te versterken en zo meer gebiedseigen water vast te houden. Ook regenwaterafvoer afkoppelen van het riool in stedelijk gebied en het omvormen van naaldbos naar heide zorgen voor het vasthouden van meer gebiedseigen water;
- Minder grondwater onttrekken (ondiep én diep). Het beperken van het aantal of het debiet van de grondwateronttrekkingen voor drinkwater, landbouw en industrie. Het is ook mogelijk om onttrekkingen te compenseren door extra infiltratie tijdens de winter, winningen te verplaatsen naar minder kwetsbare gebieden of flexibel te maken, zodat er in droge perioden niet of netto minder wordt onttrokken in kwetsbare gebieden;
- Infiltreren van oppervlaktewater in gebieden met ruimte in de ondergrond (diepe grondwaterstanden).

Figuur 3.6 toont de resultaten van een gevoeligheidsanalyse van de effecten van vernattingsmaatregelen op de grondwaterstand met het Landelijke Hydrologisch Model (LHM)^{8,9}. In deze studie zijn vernattingsmaatregelen extreem en uniform voor het gehele zandgebied zijn doorgevoerd, ongeacht de vraag of dat technisch en maatschappelijk haalbaar is. Zo is het bijvoorbeeld onrealistisch om alle drinkwateronttrekkingen te stoppen. Het gaat dus nadrukkelijk om een verkenning van de gevoeligheid van het watersysteem voor verschillende typen maatregelen. De effecten van de berekeningen voor de oplossingsrichtingen zijn niet 1:1 met elkaar te vergelijken, omdat de mate van uitvoering, de locatie en de grootte van het gebied waar de maatregelen worden uitgevoerd van elkaar verschillen. De resultaten van de gevoeligheidsanalyse geven eerste indicatie van de effectiviteit van deze typen maatregelen op de grondwaterstanden in de Nederlandse zandgebieden tijdens een droge zomer (LG3¹⁰ in 2018; Eertwegh et al., 2021, De Louw et al., 2022). De effectiviteit van de maatregelen varieert ruimtelijk, zo zijn maatregelen om de ontwatering te verminderen nagenoeg heel Hoog Nederland effectief, terwijl het verminderen van grondwateronttrekkingen voornamelijk in gebieden rond de onttrekkingen een effect heeft. Deze effecten zijn hier wel relatief groot.

⁸ Berekeningen zijn uitgevoerd met het Landelijke Hydrologisch Model (LHM versie 3.4; www.nhi.nu) voor het project 'Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland' (Eertwegh et al., 2021). Bij het uitvoeren van deze berekeningen was nog relatief weinig informatie beschikbaar over de het aantal grondwateronttrekkingen voor berekening. Het is daarom mogelijk dat het aantal onttrekkingslocaties en onttrekkingsdebiet in deze studie en resultaten een onderschatting is.

⁹ Bij het uitvoeren van deze berekeningen was nog relatief weinig informatie beschikbaar over de het aantal grondwateronttrekkingen voor berekening. Het is daarom mogelijk dat het aantal onttrekkingslocaties en onttrekkingsdebiet in deze studie en resultaten een onderschatting is.

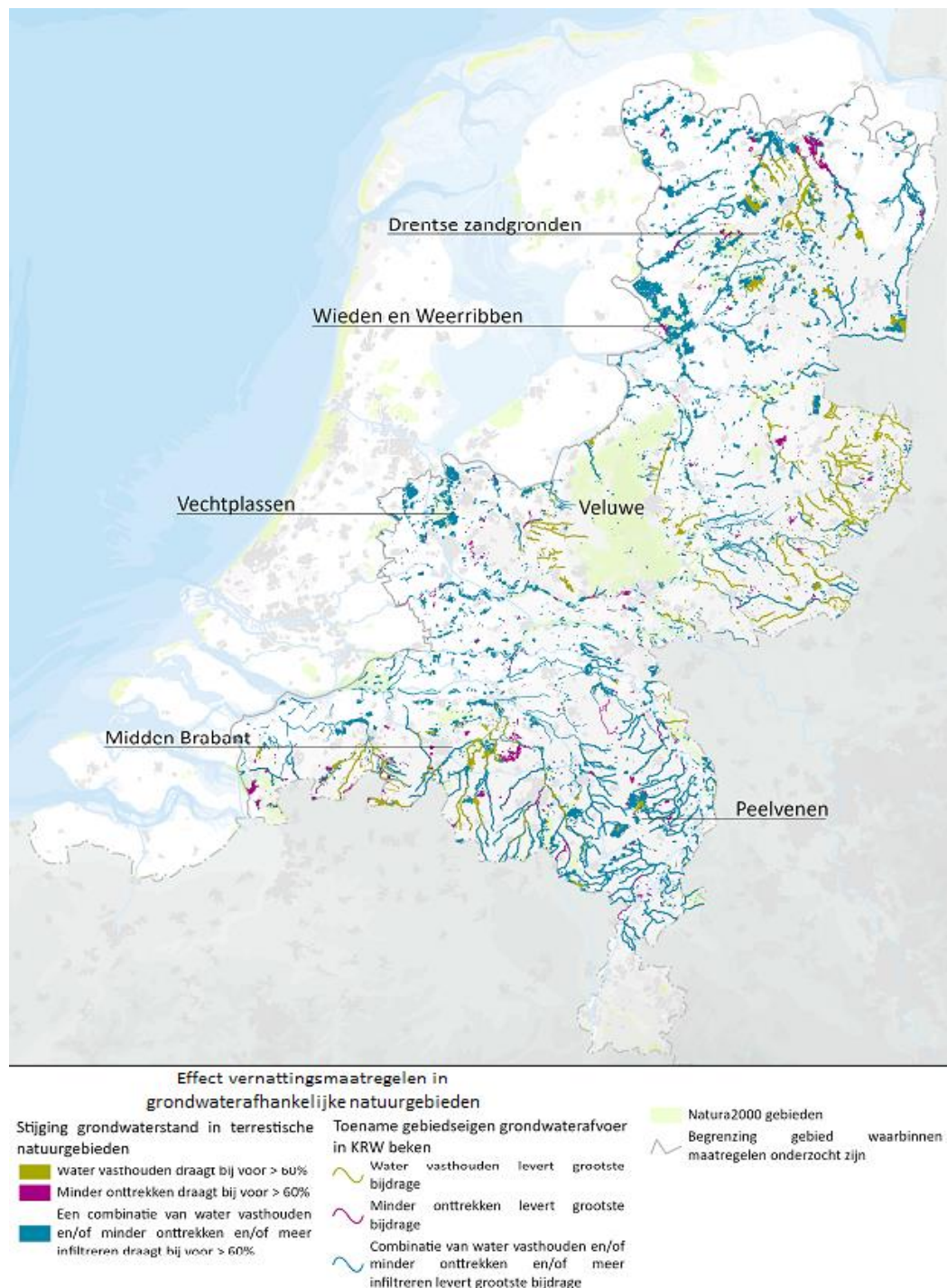
¹⁰ LG3 staat voor de laagste 3 waarnemingen in het hydrologisch zomerhalfjaar april tot en met september.



Figuur 3.6 Resultaten van gevoeligheidsanalyse op basis van het LHM: berekend effect van verschillende typen vernattingsmaatregelen op de zomergrondwaterstand in meters voor een droog jaar (LG3 in 2018) voor het Nederlandse zandgebied. De vernattingsmaatregelen zijn extreem en uniform voor het gehele zandgebied zijn doorgevoerd, ongeacht de vraag of dat technisch en maatschappelijk haalbaar is. Voor maatregel 1 is een permanente peilverhoging doorgevoerd van 30 cm in het primair, secundair en tertiair ontwateringssysteem; voor maatregel 2 is de drinkwaterwinning modelmatig 100% gereduceerd; voor maatregel 3 is de beregening uit grondwater voor 100% gereduceerd; voor maatregel 4 is alle naaldbos omgezet naar heide; voor maatregel 5 is het bebouwd gebied afgekoppeld met een extra infiltratie van 100 mm/ jaar; voor maatregel 6 wordt gedurende de winter 100 mm/jaar extra water geïnfilteerd voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m. Bron: Van den Eertwegh, 2021; De Louw et al., 2022).

Om inzichtelijk te maken waar welke maatregelen kunnen zorgen voor stijging van de grondwaterstand in verdroogde natuurgebieden zijn deze beelden gecombineerd met de ligging van droogtegevoelige, grondwaterafhankelijke natuurgebieden (Figuur 3.7). Op landelijke schaal is zichtbaar dat in veel gebieden meerdere maatregelen kunnen zorgen voor een verhoging van de grondwaterstand. Dit betekent niet dat meerdere maatregelen nodig zijn, maar dat er verschillende mogelijkheden zijn om grondwaterstandstijging in deze gebieden tot stand te brengen.

In grote delen van het land is op basis van deze analyse alleen het vasthouden van gebiedseigen water door verminderen van de ontwatering effectief. In deze gebieden wordt geen of slechts in beperkte mate grondwater onttrokken voor drinkwater, industrie of irrigatie en is de potentie van het ondergronds infiltreren van water als laag ingeschat. Voor enkele gebieden is zelfs berekend dat geen van de maatregelen effectief is. Een regionale of lokale analyse kan uitwijzen of en waar in deze gebieden de verschillende maatregelen wel effectief kunnen zijn.



Figuur 3.7 Effectiviteit van verschillende typen vernattingsmaatregelen op de zomergrondwaterstand in grondwaterafhankelijke natuurgebieden en gebiedseigen afvoer in KRW-beken tijdens een droge zomer (2018). De effectiviteit van vernattingsmaatregelen is gebaseerd op een gevoeligheidsanalyse op basis van het LHM, waarbij de maatregelen extreem en uniform voor het gehele zandgebied zijn doorgevoerd, ongeacht de vraag of dat technisch en maatschappelijk haalbaar is. 'Water vasthouden' betreft een combinatie van maatregelen: permanente peilverhoging doorgevoerd van 30 cm (in primair, secundair en tertiair ontwateringssysteem), alle naaldbos omgezet naar heide en het afkoppelen van het bebouwd gebied (extra infiltratie van 100 mm/jaar). NB. peilverhoging is niet meegenomen bij het bepalen van de toename van gebiedseigen in KRW beken. 'Minder onttrekken' betreft het stopzetten van onttrekkingen voor drinkwater en beregening. 'Meer infiltreren': extra infiltratie van 100 mm/jaar gedurende de winter voor gebieden met een gemiddelde wintergrondwaterstand (GHG) dieper dan 2,5m. Bronnen: Van den Eertwegh, 2021 (zie Figuur 3.6), KWR / FWE (2021), EEA (2022), STOWA (2018).

De effectiviteit van vernattingsmaatregelen is gebaseerd op een gevoeligheidsanalyse op basis van het LHM, waarbij de maatregelen extreem en uniform voor het gehele zandgebied zijn doorgevoerd, ongeacht de vraag of dat technisch en maatschappelijk haalbaar is.

- 'Water vasthouden' betreft een combinatie van maatregelen: permanente peilverhoging doorgevoerd van 30 cm (in primair, secundair en tertiair ontwateringssysteem), alle naaldbos omgezet naar heide en het afkoppelen van het bebouwd gebied (extra infiltratie van 100 mm/jaar). NB. peilverhoging is niet meegenomen bij het bepalen van de toename van gebiedseigen in KRW beken.
- 'Minder onttrekken' betreft het stopzetten van onttrekkingen voor drinkwater en beregening.
- 'Meer infiltreren': extra infiltratie van 100 mm/jaar gedurende de winter voor gebieden met een gemiddelde wintergrondwaterstand (GHG) dieper dan 2,5m.

Of de behaalde stijging van de grondwaterstand in grondwaterafhankelijke natuurgebieden voldoende is om verdroging van de gebieden volledig op te heffen kan uit de bestaande beschikbare informatie niet worden afgeleid. Ten eerste is het grondwatermodel te grof om nauwkeurige uitspraken hier over te doen en ten tweede is het niet bekend hoeveel grondwaterstandsverhoging per natuurgebied nodig is (het doelgat). Meer onderzoek is nodig om na te gaan welke grondwaterstandstijging in de verschillende grondwaterafhankelijke natuurgebieden nodig is voor natuurherstel en of vernattingsmaatregelen in en rond de gebieden effectief genoeg zijn om deze grondwaterstandstijging tot stand te brengen.

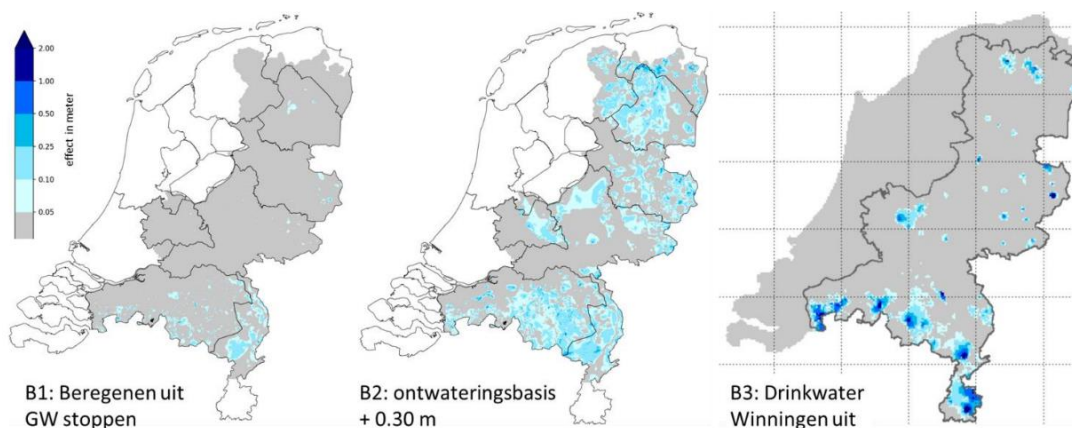
Indien uit regionale of lokale analyses blijkt dat de voor de natuur benodigde verhoging van de grondwaterstand en/of kwel ook met vernattingsmaatregelen in de toekomst niet behaald kan worden (mede als gevolg van klimaatverandering), is het wellicht relevant om te onderzoeken of andere natuurtypen beter passend zijn bij de omstandigheden in dit gebied.

3.2.2 Vernatten in bufferzones rondom natuurgebieden

Toepassen van maatregelen op het grondgebied van de natuurgebieden zelf zorgt meestal niet voor voldoende stijging van het grondwater om verdroging in de gebieden tegengaan. Maatregelen worden pas effectief als ze voor een gebied structureel, omvangrijk en integraal worden doorgevoerd. Het is echter in de praktijk niet haalbaar dit overal te doen. De sterke verwevenheid in het landschap van landbouw, natuur en drinkwaterbedrijven met veelal tegengestelde hydrologische eisen maakt het doorvoeren van grootschalige en structurele maatregelen extra moeilijk. Om toch te voldoen aan wettelijke verplichtingen richting Europa voor herstel van de Natura 2000-gebieden en KRW-lichamen kan worden overwogen om als eerste stap natte bufferzones of overgangsgebieden rond bestaande grondwaterafhankelijke natuur in te richten waarin flinke vernatting plaatsvindt (Figuur 3.1, rechts). In deze hydrologische bufferzones stijgt de grondwaterstand door extensivering van ontwatering en verbod op grondwateronttrekkingen waardoor de grondwaterstanden in de aangrenzende natuur stijgen, kwelstromen versterken en beekafvoeren toenemen.

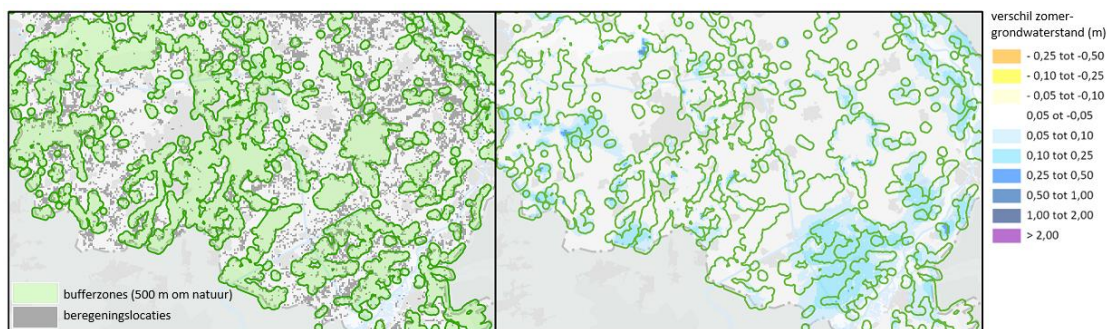
De maatregelen om grondwaterstanden te verhogen zoals beschreven in voorgaande paragraaf kunnen gericht rond verdroogde en kwetsbare natuurgebieden worden toegepast. Welke omvang van bufferzones nodig is en welke (combinatie van) maatregelen in verschillende delen van Hoog Nederland het meest effectief zijn is momenteel nog niet bekend. Binnen het project *'Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland'* (Eertwegh et al., 2021) is een gevoeligheidsanalyse op basis van eerste berekeningen gedaan met het LHM uitgevoerd om inzicht te krijgen in de potentiële effectiviteit van bufferzones rond natuurgebieden in droge zomers. Bij deze berekeningen is gekozen voor uniforme bufferzones met een omvang van 500 meter rond natuurgebieden (Figuur 3.8). Zichtbaar is dat het stopzetten van beregening in bufferzones voornamelijk in Noord-Brabant

en Limburg zorgt voor een stijging van de grondwaterstand (5 cm tot 25 cm stijging) en dat het verminderen ontwatering (door ophogen van de ontwateringsbasis) zorgt verspreid over Hoog Nederland in de meeste natuurgebieden voor een stijging van de grondwaterstand (5 cm tot lokaal meer dan 25 cm). Hierbij dient te worden opgemerkt dat deze niet alleen in de bufferzones maar ook in de natuurgebieden is doorgevoerd. Het stopzetten van drinkwaterwinningen kan lokaal zorgen voor een stijging van meer dan een meter in natuurgebieden.



Figuur 3.8 Resultaten van gevoeligheidsanalyse op basis van het LHM: berekend effect op de zomergrondwaterstanden in een droge zomer (LG3 in 2018) als gevolg van drie (links, midden, rechts) verschillende maatregelen in een bufferzone van 500 meter rondom droogtegevoelige, grondwaterafhankelijke natuurgebieden in het Nederlandse zandgebied (bron: Van den Eertwegh, 2021). In verband met de schaal zijn de bufferzones niet op deze kaarten aangegeven.

Figuur 3.9 toont een uitsnede voor een deel van Noord-Brabant en Limburg met in grijs de potentieel beregende gebieden en omlijning van natuurgebieden met 500 meter bufferzones (links) en het effect op de zomergrondwaterstanden in een droge zomer (LG3 in 2018) wanneer berekening binnen de bufferzones wordt gestopt (Eertwegh et al., 2021). Zichtbaar is dat (op basis van de berekeningen) deze maatregel voor weinig natuurgebieden effectief is. Rond deze natuurgebieden zijn dus grotere bufferzones nodig waar geen berekening wordt toegelaten of er zijn andere maatregelen nodig om de grondwaterstanden en kwel in de natuurgebieden te laten stijgen.



Figuur 3.9 Uitsnede voor een deel van Noord-Brabant en Limburg met in grijs de potentieel beregende gebieden en omlijning van natuurgebieden met 500 meter bufferzones (links) en het effect op de zomergrondwaterstanden in een droge zomer (LG3 in 2018) wanneer berekening binnen de bufferzones wordt gestopt. Een stijging van de zomergrondwaterstand (blauwe kleuren) is positief voor de grondwaterafhankelijke natuurgebieden.

3.2.3 Aanpassingen landgebruik nodig

Bufferzones met vernattingsmaatregelen kunnen veel ruimte innemen en hebben (binnen en buiten de bufferzones) een effect op de ondiepe grondwaterstand. In Figuur 3.9 is bijvoorbeeld zichtbaar dat het inrichten van bufferzones van 500 meter rondom droogtegevoelige, grondwaterafhankelijke natuurgebieden een groot deel van het totale grondgebied beslaat.

In de bufferzones stijgen de grondwaterstanden. Dit betekent dat in deze in deze gebieden minder droogteschade aan natuur en landbouw zal optreden, maar ook dat er meer natschade aan gewassen (landbouw) of grondwateroverlast (stedelijk gebied) zal optreden¹¹. Deze schade kan worden geaccepteerd of er kan worden nagedacht over aanpassing van het huidige landgebruik. Bijvoorbeeld door om te schakelen naar andere vormen van meer extensieve landbouw en gewassen geschikt voor nattere omstandigheden. Ook kan worden gedacht aan een combinatie van landbouw, natuur en/of recreatie), blauwe diensten en aanpassingen in het stedelijk gebied.

Momenteel lopen verschillende projecten, waaronder het project 'Klimaatadaptatie in de praktijk' (www.klimap.nl, afronding project gepland voor eind 2023), waarin onderzoek wordt gedaan naar de mogelijkheden van adaptatie van het landgebruik aan veranderende omstandigheden als gevolg van klimaatverandering en het uitgangspunt dat water en bodem sturend is bij ruimtelijke planvorming (functie volgt peil).

3.2.4 Combineren met verbetering grondwaterkwaliteit en landbouwtransitie

Bij het nemen van maatregelen om verdroging tegen te gaan kan synergie met andere thema's worden gezocht, zoals verbeteren van (grond)waterkwaliteit en de landbouwtransitie. Het is van groot belang om de invloed van de omgeving op natuurgebieden en andere gebiedsopgaven zoveel mogelijk mee te nemen bij het formuleren van hydrologische maatregelen. Voor gebieden die grenzen aan de natte natuurgebieden is dat evident. Naast het feit dat deze vaak sterk ontwaterde gebieden een verdrogende invloed hebben op het natuurgebied (a), zijn ze ook vaak een bron van stikstofdepositie (b) en toestroming van nutriëntenrijk grondwater (c). Voor deze drie belastingen (a, b, c) zijn maatregelen dicht bij het natuurgebied het meest effectief. Het is dan ook logisch en nodig voor het slagen van hydrologische herstelmaatregelen om alle drie tegelijk aan te pakken. De stikstofcrises en de landbouwtransitie bieden kansen om verdroging van grondwaterafhankelijke (Natura 2000) gebieden tegen te gaan. Door landgebruiksveranderingen toe te passen nabij verdroogde natuurgebieden (bufferzones), ontstaat een kans voor maatregelen die bijdragen aan verhoging van grondwaterstanden en versterken van kwelstromen. Het gaat dan om verminderen van ontwatering en beperken van grondwateronttrekkingen voor beregening.

3.3 Suggesties voor kennisverdieping

Om meer zicht te krijgen op de effectiviteit van vernattingsmaatregelen en de consequenties hiervan voor grondwaterkwaliteit en het landgebruik in de omgeving van natuurgebieden, zijn verschillende verdiepende studies relevant. Op een deel van de hieronder genoemde onderwerpen zijn inmiddels studies opgestart.

Op welke onderwerpen moet meer gegevens verzameld worden (nationale schaal?)

¹¹ Berekeningen met grondwatermodellen in combinatie met Waterwijzer Landbouw voor regionale case studies in Hoog Nederland, uitgevoerd tijdens het project "Klimaatadaptatie in de praktijk" (www.klimap.nl), laten zien dat vernattingsmaatregelen leiden tot een afname van de droogteschade en een toename van de natschade. Het netto resultaat van vernattingsmaatregelen op landbouwschade en/of -opbrengst verschilt tussen en binnen de gebieden.

- Vergroten van het inzicht in het 'doelgat' (verschil tussen gewenste grondwaterstand en actuele grondwaterstand) om verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden tegen te gaan op lokale, regionale en landelijke schaal. Met andere woorden: in welke mate moeten grondwaterstanden worden verhoogd en kwelstromen versterkt om verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden op te heffen of tenminste sterk te beperken (nu en in de toekomst). Binnenkort start een OBN project waarin Deltares met partners een methodiek uitwerkt en toetst voor een drietal grondwaterafhankelijke gebieden.
- Vergroten van het inzicht in en de beschikbaarheid van gegevens van de watervraag van de landbouwactiviteiten rond grondwaterafhankelijke natuurgebieden. Liggen er bijvoorbeeld gebieden met water intensieve landbouw nabij natuurgebieden die zorgen voor een relatief sterke verlaging van de grondwaterstand (bv. door veel grondwateronttrekking voor beregening)?

Op welke onderwerpen moet meer analyse gedaan worden, op nationale schaal?

- Vergroten van het inzicht in de omvang, maatregelpakketten en effectiviteit van bufferzones voor vernatting van grondwaterafhankelijke natuur. In het kader van het Deltaprogramma Zoetwater wordt momenteel een gevoeligheidsanalyse op dit onderwerp uitgevoerd.
- Vergroten van inzicht in implicaties van het inrichten van bufferzones voor vernatting op het landgebruik in en rond de bufferzones. De resultaten van lopende regionale projecten, zoals 'Klimaatadaptatie in de praktijk' (www.klimap.nl), kunnen hiervoor een startpunt zijn.
- Vergroten van inzicht in de kosten van het toepassen van vernattingsmaatregelen en/of het inrichten van bufferzones.
- Het effect van droogtemaatregelen op wateroverlast in de landbouw en overstromingsrisico's.
- Hoe kan op een effectieve manier invulling worden gegeven aan het concept van langer grondwater vasthouden vergroten zonder dat dit leid tot negatieve neveneffecten.

Op welke onderwerpen kunnen regionale cases meer inzicht bieden?

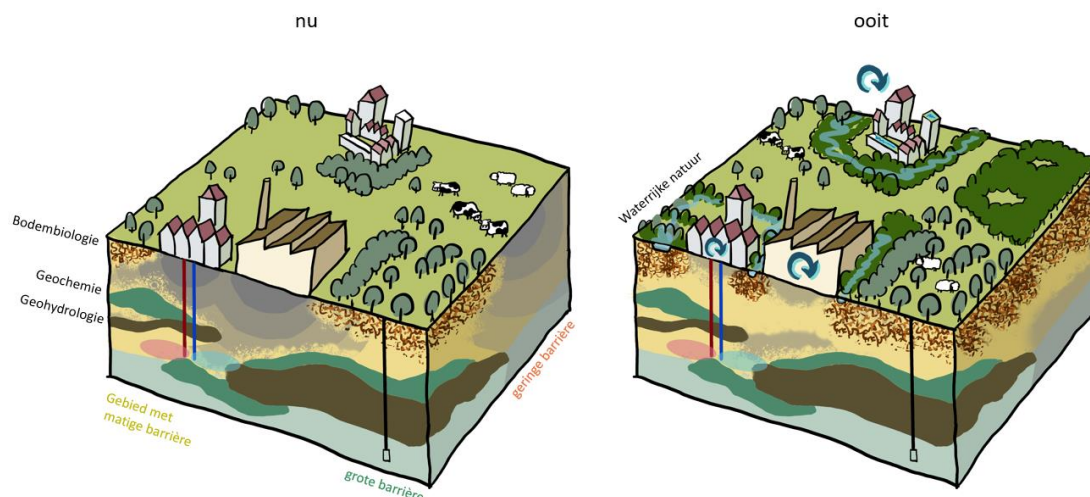
- Vergroten van het inzicht in effectiviteit en haalbaarheid van grootschalige infiltratie van water in de ondergrond, waaronder ook de impact op van dergelijke infiltratiesystemen op het bestaande waterbeheer en landgebruik.
- Vergroten van het inzicht in de risico's en meekoppelkansen van vernattingsmaatregelen (in bufferzones).
- Meer inzicht in risico's van grootschalige grondwaterinfiltratie op grondwaterkwaliteit.
- Afwegingskader waterkwaliteit bij infiltratie.
- Onderzoek naar potentie voor grondwaterafhankelijke natuur buiten bestaande natuurgebieden en mogelijkheden voor natuurontwikkeling op voormalige landbouwgrond^{12,13}.

¹² Boeren voor Natuur; Hoe werkt het en wat levert het op? [AlterraRapport2472.pdf \(wur.nl\)](https://www.alterra.nl/sites/default/files/2022-04/AlterraRapport2472.pdf)

¹³ [Ruilverkaveling Rouveen: ruimte voor landbouw én natuur \(binnenlandsbestuur.nl\)](https://www.ruilverkavelingrouveen.nl/)

4 Bescherming grondwaterkwaliteit

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door allereerst emissies te beperken en bronnen aan te pakken en daarnaast gebruik te maken van de natuurlijke bescherming in de ondergrond kunnen de risico's worden beperkt.



Figuur 4.1 De situatie met betrekking tot de kwaliteit van grondwater. Links zoals die nu is en rechts zoals het ooit kan worden als de grondwaterkwaliteit beter beschermd wordt, dan:

- worden stoffen circulair binnen de locaties met belastende activiteiten gehouden en worden gebruik en emissies van verontreinigende middelen beperkt;
- zijn er minder belastende activiteiten in de zones met een geringe barrière tegen verontreinigingen (biologische, geohydrologische, geochemische barrières);
- worden natuurlijke reinigende processen in het bodem- en watersysteem bevorderd zoals in waterrijke natuur;
- is er geen risico van lekken van verontreinigd water langs bodemenergiesystemen;
- worden diepere schone watervoorraden zoals voor drinkwaterwinning goed schoon gehouden;
- is verspreiding van stoffen met grondwaterstroming beperkt.
- is het grondwater een schone bron voor oppervlaktewater en natuur

Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

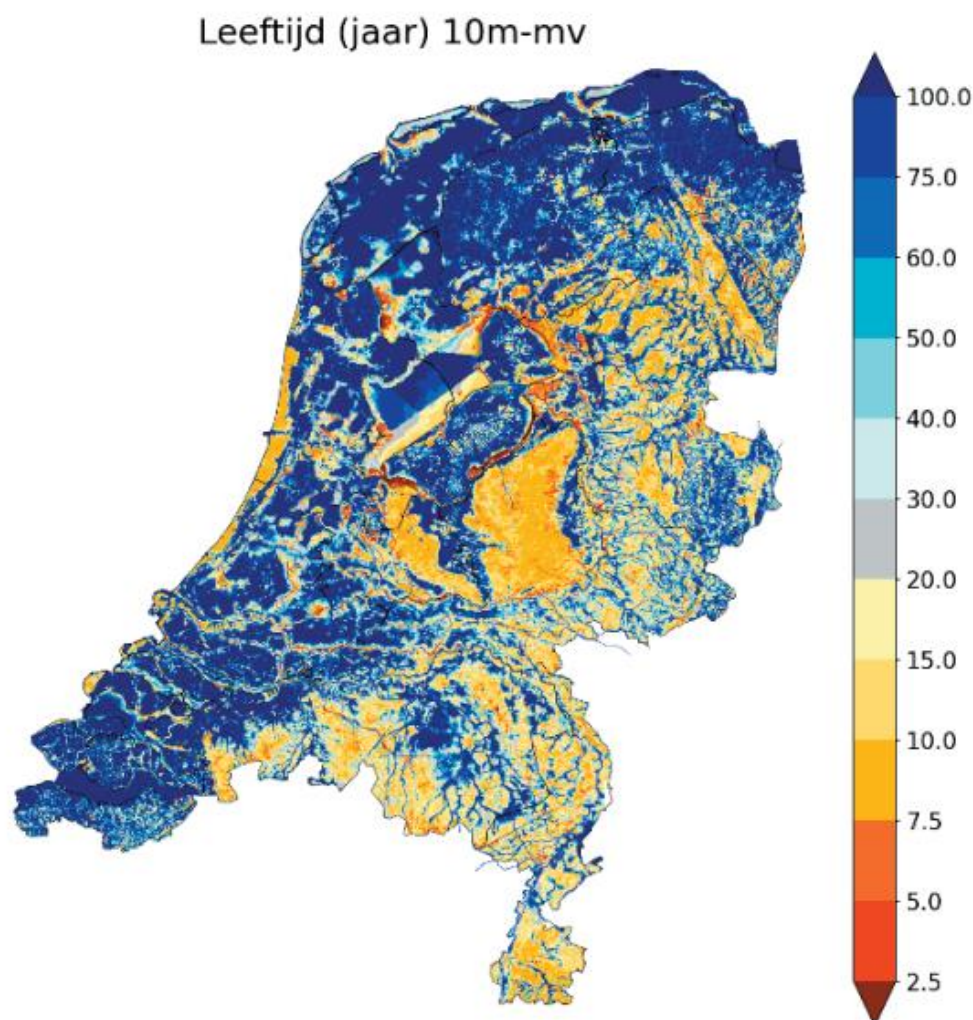
4.1 Voortgaande verslechtering grondwaterkwaliteit

4.1.1 Toenemende verontreiniging

De afgelopen decennia heeft voortdurende verontreiniging van het grondwater plaatsgevonden via oppervlaktewater, vanaf maaiveld en via de lucht, zoals met antropogene stoffen op puntlocaties uit industrie en rioolwaterzuiveringsinstallaties (hierna: rwzi's) en diffuse stoffen uit landbouw. Doordat grondwater langzaam stroomt, en verontreinigingen vastgelegd kunnen worden doordat bodemdeeltjes ze kunnen binden, verspreiden ze zich erg langzaam (onder andere Verweij et al. 2022a en 2022b).

Naast de aanwezigheid van zwaarder verontreinigde pluimen in het grondwater als gevolg van puntbronnen en langdurige diffuse verontreiniging vanaf maaiveld, is er ook sprake van zogenaamde *vergrijzing* van het grondwater: het front van grondwater dat door de mens licht verontreinigd is vanuit alle bronnen samen, verspreidt zich met de tijd steeds verder over het grondwatersysteem. Deze verontreinigingen verplaatsen zich met de grondwaterstromen

mee en dringen tot steeds grotere diepte door. Ouder water is, afgezien van opkwellend grondwater, dieper terug te vinden dan jonger water, en de snelheid waarmee het water (plus stoffen daarin) naar de diepte verplaatst varieert in Nederland. In Figuur 4.2 is te zien dat het grondwater op tien meter diepte relatief jong is in de hogere delen van Nederland en ouder in het westen. Momenteel worden waar de grondwaterkwaliteit gemonitord wordt door provincies en drinkwaterbedrijven, milieuvreemde stoffen, die door de mens gemaakt zijn, aangetroffen tot op dieptes van meer dan 82 meter (Verweij et al., 2022a). Daarbij moet opgemerkt worden dat er steeds meer gemeten wordt met steeds gevoeliger instrumenten.



Figuur 4.2 Berekende leeftijd van een waterdruppel die infiltreert naar het grondwater op 10 meter- onder mv. De grondwaterleeftijd is gesimuleerd met LHM (bron: Van der Grift et al., 2022). Deze figuur illustreert dat de snelheid waarmee water naar de diepte stroomt onder de grond varieert in Nederland.

4.1.2 Effecten op drinkwater, natuur, landbouw en recreatie

Bronnen en activiteiten waarbij verontreinigingen vrijkomen bevinden zich veelal aan maaiveld, zoals landbouw, industrie, verkeer. Via water en atmosferische depositie kunnen stoffen naar de bodem en het grondwater getransporteerd worden (Figuur 4.3). Ook in de grond kunnen stoffen vrijkomen, zoals bij de winning van aardwarmte, ASR (aquifer storage and recovery), het injecteren van afvalwater, en bij bodemenergiesystemen. Enerzijds kunnen stoffen vanaf maaiveld relatief snel afstromen over een perceel, via ondiep grondwater of via drainagewater naar het oppervlaktewater, maar een deel van de stoffen

komt dieper in het grondwater terecht. Eenmaal in het grondwater verspreiden stoffen zich met het stromende grondwater. Doordat grondwater langzaam maar gestaag stroomt, en verontreinigingen vastgelegd kunnen worden doordat ze zich kunnen binden aan bodemdeeltjes, verspreiden ze zich erg langzaam. Bepaalde stoffen, zoals nitraat, kunnen deels afbreken in de bodem en het grondwater. Slecht afbreekbare stoffen of afbraakproducten zullen decennia of zelfs eeuwen in het grondwater aanwezig zijn en zich onder invloed van grondwaterstroming verspreiden.

Wanneer dat grondwater oppervlaktewater of terrestrische ecosystemen voedt, of opgepompt wordt voor gebruik voor landbouw, industrie of drinkwaterproductie, kunnen de aanwezige stoffen effecten hebben op de gezondheid van mens en natuur. Verontreinigingen in het grondwater kunnen daardoor problemen opleveren voor de watervoorziening bij drinkwaterproductie, industrie en landbouw. En verontreiniging van het grondwater kan schade veroorzaken aan natuur in aquatische en terrestrische ecosystemen. Het grondwater voedt ook het oppervlaktewater doordat het opkwelt in beken en watergangen; en zo beïnvloedt het ook alle ecosysteemdiensten van het oppervlaktewater, zoals recreatie en biodiversiteit (Figuur 4.6). Zo kan eutrofiering versterkt worden als meststoffen via de bodem en het grondwater in het oppervlaktewater terecht komen.

4.1.3 Bekende verontreinigingen in het grondwater

Negash en Swartjes (2021) hebben de verontreiniging van het grondwater in Nederland met bestrijdingsmiddelen, nutriënten en historische verontreinigingen beschreven en geconstateerd dat er een breed scala van deze stoffen in het grondwater in Nederland wordt aangetroffen, op verschillende diepten (opkomende stoffen zijn niet beschouwd in het rapport van Negash en Swartjes, 2021). Hieronder is de samenvatting van de bevindingen uit dit rapport gegeven:

Bestrijdingsmiddelen

Op basis van toetsing volgens de Kaderrichtlijn water (KRW) is de toestand van de meeste grondwaterlichamen voor bestrijdingsmiddelen als 'goed' beoordeeld (dat wil zeggen: in minder dan 20% van de meetpunten binnen één grondwaterlichaam is een overschrijding van de grondwaterkwaliteitsnorm aangetoond). Toch worden bestrijdingsmiddelen en metabolieten van bestrijdingsmiddelen vaak in grondwater aangetroffen: in ruwwater, diep grondwater en zeker in ondiep grondwater. Het betreft vooral herbiciden, met name bentazon en MCPP (werkzame stoffen) en dimethylsulfamide (DMS) en 2,6dichloorbenzamide (BAM) (metabolieten). In tientallen grondwater-afhankelijke drinkwaterwinningen worden overschrijdingen van de normen voor bestrijdingsmiddelen geconstateerd in ruwwater (Negash en Swartjes, 2021).

Nutriënten

Nitraat wordt zeer frequent in het ondiepe Nederlandse grondwater in landbouwgebieden aangetroffen, ook in grondwaterbeschermingsgebieden. Met name op lössgronden en zandgronden wordt de norm in ondiep grondwater vaak overschreden, zeker als er sprake is van akkerbouw op zand. En agrarisch gebruik van kwetsbare en droge bodems leidde op veel locaties tot overschrijding van de nitraatnorm. De algemene trend laat een afname van de nitraatconcentraties in grondwater zien. Sinds 2017 stijgen de nitraatconcentraties in het bovenste grondwater, maar dit is vermoedelijk te relateren aan de heersende droogte (Negash en Swartjes, 2021), zie ook Figuur 4.4 over de nitraatconcentratie in het uitspoelende water onder landbouwbedrijven.

Fosfaat (totaal-fosfor) wordt veel minder vaak aangetroffen in het ondiepe grondwater en nog minder in het diepe grondwater. De hoogste concentraties in grondwater worden gemeten in de kustprovincies. In grondwaterbeschermingsgebieden wordt de drempelwaarde echter niet

overschreden. Voor de fosfaatconcentraties in grondwater worden meer neerwaartse trends dan stijgende trends aangetroffen (Negash en Swartjes, 2021).

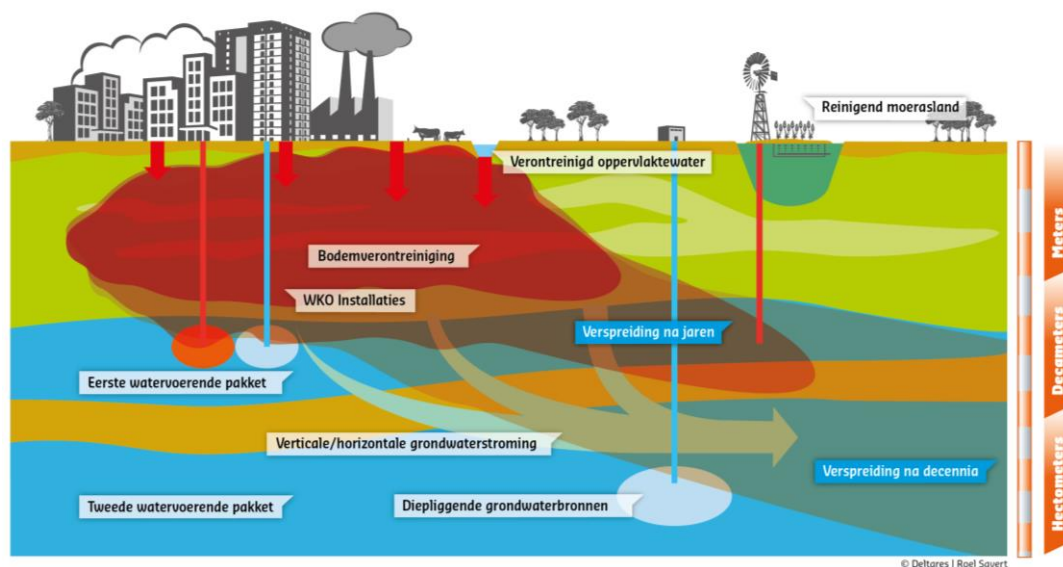
Historische verontreinigingen

In grondwaterbeschermingsgebieden wordt in ongeveer een kwart van de grondwaterafhankelijke drinkwaterwinningen een norm voor historische verontreinigingen (bijna) overschreden. Dat geldt zowel voor metalen/metalloïden als voor organische historische verontreinigingen. Veelvoorkomende organische stoffen in ruwwater zijn fenantreen en tolueen (Negash en Swartjes, 2021).

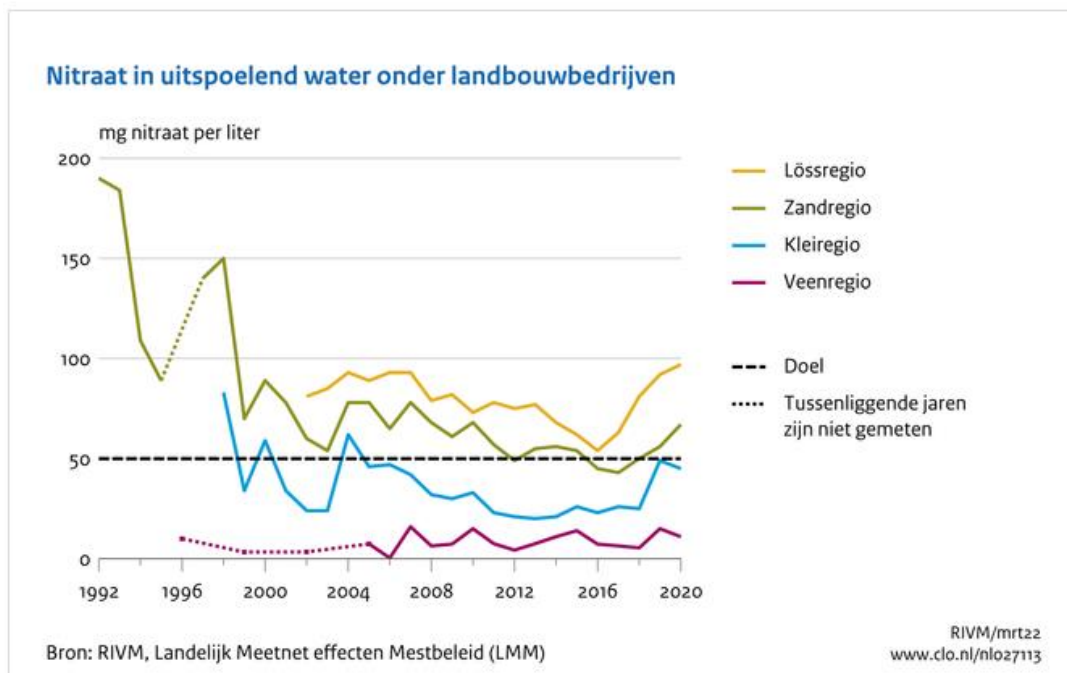
Onder de metalen/metalloïden worden arseen en cadmium het meest aangetroffen (met overschrijdingen van de drempelwaarde en drinkwaterkwaliteitsnormen in 5% tot 9% van de grondwatermonsters). Ze zijn tevens de enige metalen waarvoor stijgende trends gerapporteerd worden in grondwaterwinningen (Negash en Swartjes, 2021).

Trends van organische verontreiniging in het grondwater zijn onbekend. Een uitzondering geldt voor gechloreerde koolwaterstoffen, waarvoor voor sommige grondwaterlichamen sprake is van een dalende trend en voor andere grondwaterlichamen van een stijgende trend. De bijdrage van historische verontreiniging aan belasting van het grondwater zal waarschijnlijk afnemen. Wel resteren er grondwaterpluimen die weliswaar een 'ernstig geval van grondwaterverontreiniging' betreffen, maar niet de kwalificatie 'spoed' hebben, en grondwaterpluimen kleiner dan 100 m³ porieverzadigd bodemvolume (Negash en Swartjes, 2021).

Voor chloride en sulfaat worden incidenteel overschrijdingen in ruwwater – waaruit drinkwater wordt bereid – aangetroffen (Negash en Swartjes, 2021).



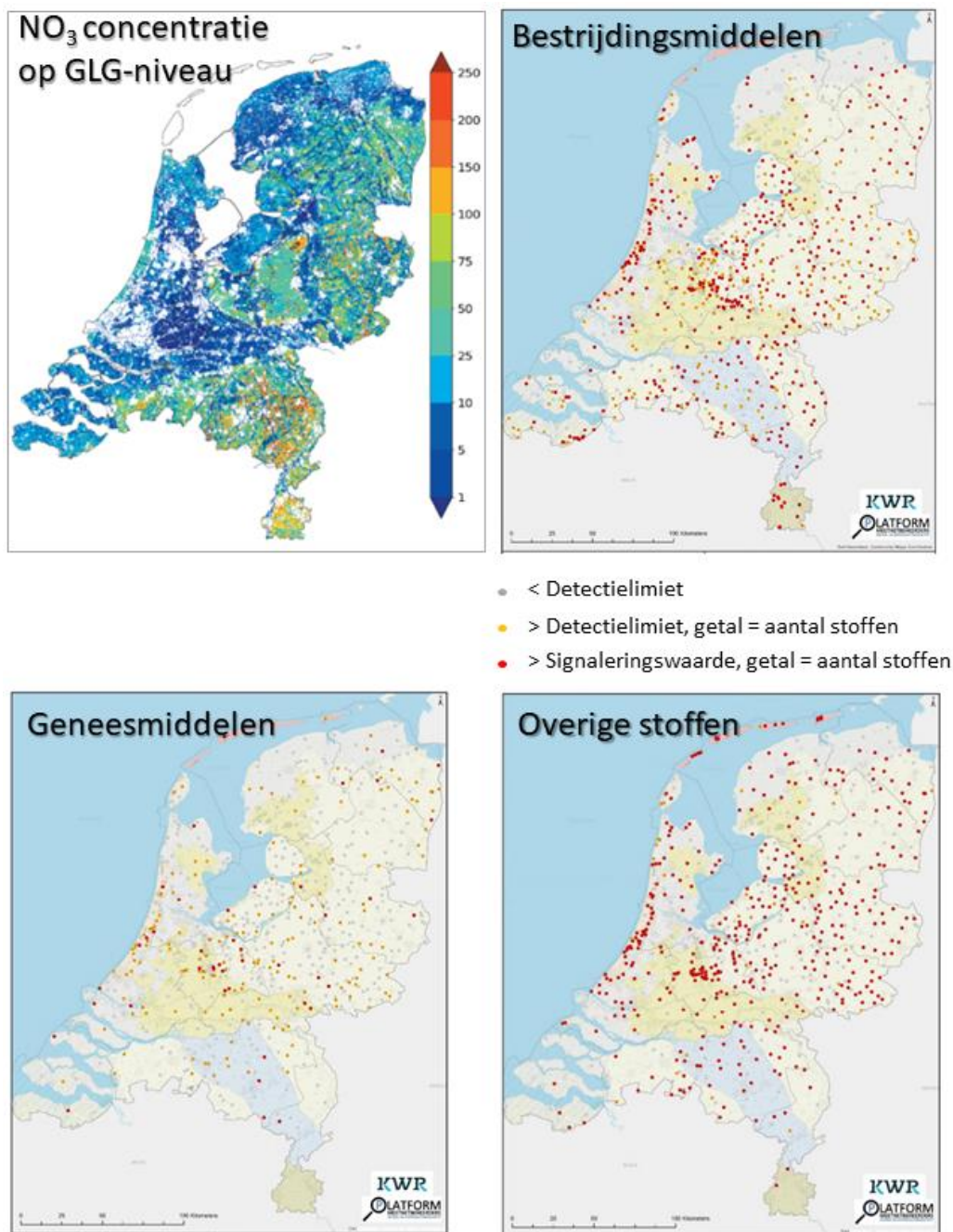
Figuur 4.3 Illustratie van de verontreiniging van grondwater door emissie van stoffen bij activiteiten op en onder de grond. Een schematisch overzicht van bronnen, paden en receptoren, dat inzicht geeft in aangrijpingspunten voor handelingsperspectieven. (Bron: Verweij et al., 2022a).



Figuur 4.4 Nitraatconcentratie (mg/l) in het water dat uitspoelt naar het grondwater onder landbouwbedrijven, en dat naar het grondwater infiltreert, 1992-2020. Bron Compendium voor de leefomgeving, maart 2022. Dit figuur toont de continue stroom van met nitraat verontreinigd landbouwwater dat infiltreert naar het grondwater sinds 1992. In alle regio's (ingedeeld naar grondsoort) zijn deze nitraatconcentraties gedaald vanaf het begin van de jaren '90, maar is als gevolg van de droogte sinds 2018 weer een toename waargenomen.

Figuur 4.5 toont op landelijke schaal de verontreiniging van bodem en grondwater door nitraat (links) en rechts daarvan bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen, en overige (industriële) stoffen. Zichtbaar is dat de nitraatconcentraties in het grondwater in grote delen van zuid, midden en oost Nederland (zandgronden) boven de EU waterkwaliteitsnorm¹⁴ van 50 mg/l liggen. In het gehele land komen concentraties van bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige stoffen voor boven de rapportagewaarde.

¹⁴ <https://www.rivm.nl/normen-voor-stikstof-in-grondwater-en-oppervlaktewater-onvoldoende-op-elkaar-afgesteld#:~:text=Normen%20voor%20nitraat%20en%20stikstof,3%20mg%20N%20per%20liter.>



Figuur 4.5 Verontreiniging van het ondiepe grondwater met nitraat (modelberekening op GLG niveau) in mg/l¹⁵ en data van provinciale meetnetten op ca 10 en 25 m diepte voor bestrijdingsmiddelen ^{16*}, geneesmiddelen ^{17*} en overige stoffen ^{18*})

¹⁵ Berekende NO₃-concentratie op GLG-niveau in mg/L, zoals door ANIMO berekend in het LWKM (Van der Bolt, 2020) voor de datum 1-1-2015. Witte vlekken betreffen hoofdzakelijk bebouwd gebied, waarvoor ANIMO geen berekeningen uitvoert. De concentraties zijn berekend op een vaste diepte (GLG) per rekeneenheid. Opgemerkt wordt dat dit anders is dan de nitraatconcentraties die in LMM-rapportages worden gepresenteerd, welke zijn gemeten in de eerste meter van het grondwater (Bron: Van der Grift e.a., 2022).

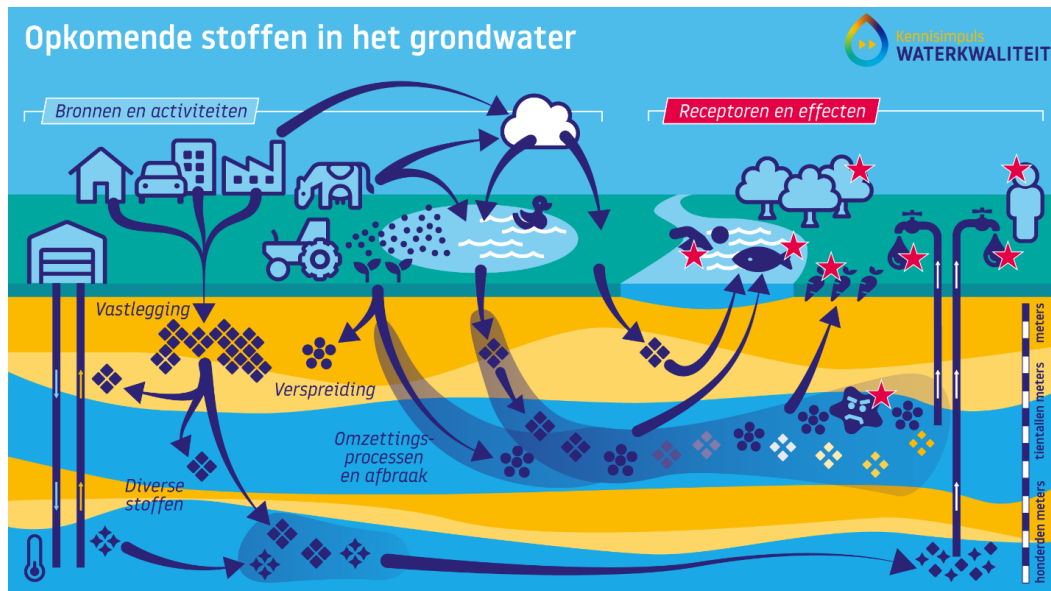
¹⁶ Totaalkaart van het aantal bestrijdingsmiddelen in grondwater dat de signaleringswaarde overschrijdt inclusief alle metabolieten

¹⁷ Totaalkaart voor geneesmiddelen in grondwater

¹⁸ Totaalkaart van het meetpakket overige verontreinigende stoffen (industriële stoffen inclusief top 5 EDTA, TCPP, PFOA, Fenantreen en Toluene)

4.1.4 Opkomende stoffen in het grondwater

Naast de reeds bekende verontreinigende stoffen, is er sprake van zogenaamde opkomende stoffen. Dit zijn stoffen waarvoor nog geen normen zijn afgeleid en waarvan nog niet of onvoldoende bekend is in hoeverre deze stoffen een bedreiging zijn voor het bodem- en watersysteem en mensen, dieren en planten. Hierdoor is het ook niet bekend welke maatregelen met betrekking tot deze stoffen eventueel nodig en mogelijk zijn. Ook deze stoffen verspreiden zich met het grondwater vanaf de bron, en kunnen op verschillende plaatsen effect hebben op receptoren (Figuur 4.6).



Figuur 4.6 Infographic opkomende stoffen in grondwater. Opkomende stoffen komen vanuit diverse bronnen het grondwater in, gaan via verschillende paden in de ondergrond en hebben op diverse receptoren effecten. NB de weergave van bronnen, paden en effecten is niet uitputtend. (bron: Passier et al., 2022: Deltafact opkomende stoffen in grondwater).

Figuur 4.6 laat bronnen, paden en effecten van opkomende stoffen met routes in het grondwater zien. Bronnen en activiteiten waarbij opkomende stoffen vrijkomen bevinden zich veelal aan maaiveld, zoals landbouw, industrie, verkeer. Via water en atmosferische depositie kunnen stoffen naar de bodem en het grondwater getransporteerd worden. Ook in de grond kunnen stoffen vrijkomen, zoals bij de winning van aardwarmte. Eenmaal in het grondwater verspreiden stoffen zich met het stromende grondwater. Doordat grondwater langzaam maar gestaag stroomt, en verontreinigingen vastgelegd kunnen worden doordat ze zich kunnen binden aan bodemdeeltjes, verspreiden ze zich erg langzaam. Slecht afbreekbare stoffen of afbraakproducten zullen decennia of zelfs eeuwen in het grondwater aanwezig zijn en zich onder invloed van grondwaterstroming verspreiden. Wanneer dat water oppervlaktewater of terrestrische ecosystemen voedt, of opgepompt wordt voor gebruik voor landbouw, industrie of drinkwaterproductie, kunnen de aanwezige stoffen effecten hebben op de gezondheid van mens en natuur.

De recente studie naar opkomende stoffen in het grondwater (Verweij et al., 2022a) beschouwd metingen van provinciale meetnetten en drinkwaterbedrijven die grondwater als bron gebruiken. Deze studie laat zien dat industriële stoffen, medicijnen en medicijnresten en perfluorverbindingen aangetroffen worden op alle diepte intervallen, waarbij het diepste interval dieper dan 82 meter is.

*Bron: van Loon et al. (2020). Kaarten zijn gebaseerd op de gecombineerde meetronden 2015-2016 en 2018-2019 in grondwatermeetnetten van de provincies, op ca 10 en 25 meter diepte. Merk op dat in de legenda "detectielimiet" staat vermeld, maar dat dit "rapportagegrens" moet zijn. Nota bene: de getallen zijn in deze weergave niet zichtbaar.

4.1.5 Slecht afbreekbaar, giftig en mobiel

Een deel van de antropogene verontreinigingen in het grondwater (waaronder Chloorkoolwaterstoffen en fluorchloorkoolwaterstoffen) is persistent, wat betekent dat ze niet of nauwelijks afbreekbaar door natuurlijke processen. Bij deze stoffen bestaat het risico van accumulatie en schadelijke effecten op lange termijn, en bij mobiele stoffen kan dit effect optreden ver verwijderd van de plaats van lozing of gebruik. Ook kunnen verontreinigingen of de afbraakproducten van verontreinigingen toxisch (giftig) zijn; dat betekent dat deze stoffen in meer of mindere mate schadelijk zijn voor mens, dier en plant. Bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen en industriële middelen kunnen persistent, mobiel en/of toxisch (PMT) zijn.

Slecht afbreekbare stoffen of afbraakproducten zullen decennia of zelfs eeuwen in het grondwater aanwezig zijn en zich onder invloed van grondwaterstroming verspreiden. Wanneer dat grondwater, het oppervlaktewater of terrestrische ecosystemen voedt, of opgepompt wordt voor gebruik voor landbouw, industrie of drinkwaterproductie, kunnen de aanwezige stoffen effecten hebben op de gezondheid van mens en natuur.

4.1.6 Stapeling van verontreinigingen

Als gevolg van de aanwezigheid van meerdere stoffen in het water en het samenkomen van stroombanen van grondwater, kunnen verontreinigingen zich opstapelen in het grondwater. Hierdoor ontstaan mengsels van meerdere schadelijke stoffen op één plaats. Voorbeelden hiervan zijn pesticiden, diergeneesmiddelen en meststoffen (nitraat en fosfaat) vanuit de landbouw en mengsels van verontreinigingen vanuit rioolwaterzuiveringen, lozingen en diffuse bronnen vanuit stedelijke of industriële gebieden (verschillende zware metalen, zoals koper, cadmium en lood). Het is voortsnog onduidelijk hoe schadelijk deze cocktails van chemicaliën zijn.

4.2 Risico's grondwaterverontreiniging in beeld brengen

4.2.1 Beperkingen chemische toestandsbeoordeling grondwater voor Kaderrichtlijn Water

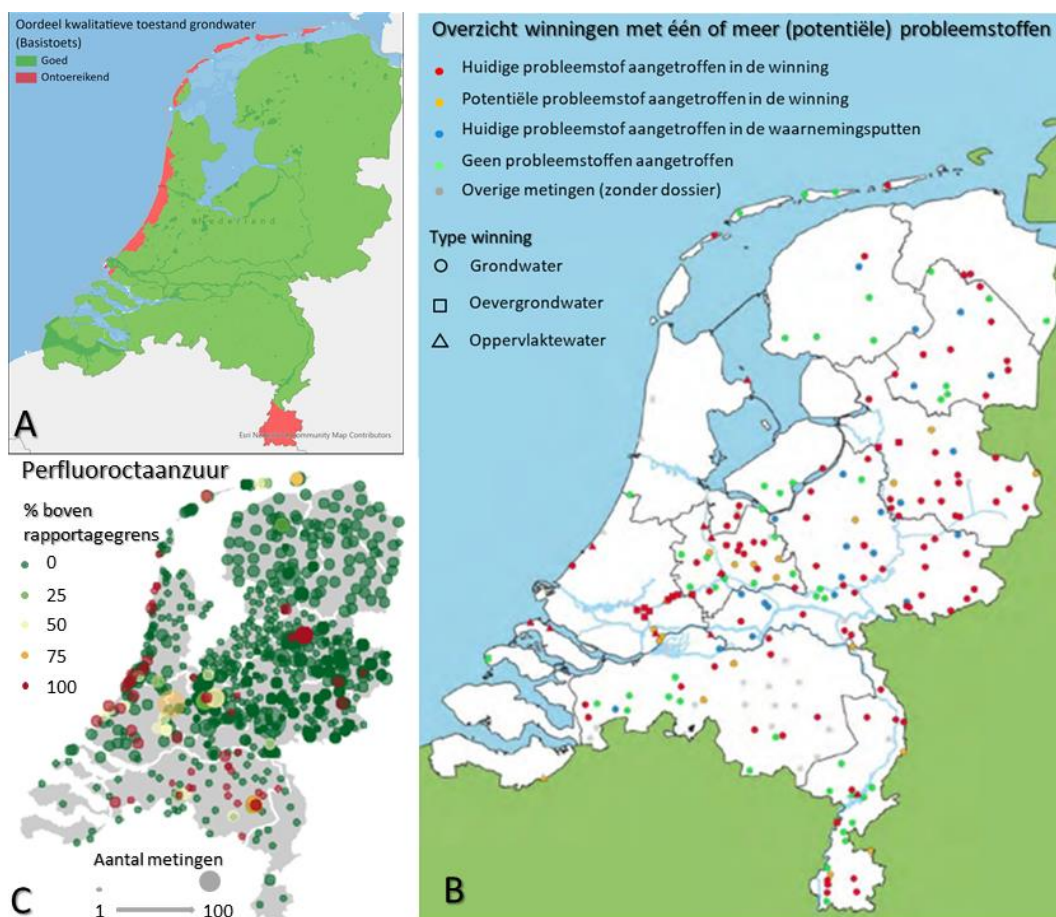
Om deze risico's in beeld te brengen zijn de EU lidstaten via de Kaderrichtlijn Water (KRW) verplicht om eens in de 6 jaar stroomgebiedbeheerplannen (SGBP-en) vast te stellen. In het SGBP worden de ontwikkelingen in de waterkwaliteit, evenals de resterende opgaven en bijbehorende maatregelen geschetst. Op het onderwerp grondwater wordt binnen deze SGBP-en de algemene chemische toestand van het grondwater op diepte van circa 10 en 25 meter met betrekking tot de KRW doelen gerapporteerd. Dit zijn uitsluitend de stoffen meegenomen met een Europees vastgestelde kwaliteitseis (nitraat en bestrijdingsmiddelen conform de Grondwaterrichtlijn (2006/118/EG)) of een nationaal opgestelde drempelwaarde (chloride, fosfor, nikkel, arseen, cadmium en lood). Er is een voorstel van de Europese Commissie voor uitbreiding van de lijst van stoffen voor de toestandsbepaling, met onder andere PFAS (EU, 2022).

Op basis van deze beperkte set aan stoffen en beperkte diepte-interval is het grondwater in veel grondwaterlichamen in Nederland als goed geclassificeerd in de algemene kwalitatieve toestandsbepaling (zie Figuur 4.7A). In deze aanpak zijn geen medicijnen, industriële organische verontreinigingen en opkomende stoffen meegenomen. Ook het bovenste grondwater (freatisch grondwater) en het diepere grondwater worden buiten beschouwing gelaten in de algemene kwalitatieve toestandsbepaling van de KRW. Overigens worden gegevens uit het bovenste grondwater vanuit het landelijk meetnet effecten mestbeleid (zie als voorbeeld Figuur 4.4) voor de beoordeling voor de EU Nitraatrichtlijn wel meegenomen, beoordelingen vanuit de nitraatrichtlijn zijn daardoor niet rechtstreeks vergelijkbaar met beoordelingen voor de KRW.

Wanneer gekeken wordt naar meerdere stoffen, zoals probleemstoffen en opkomende stoffen, en ook meerdere diepten meegenomen worden, wordt duidelijk dat er zich problemen in de grondwaterkwaliteit voordoen, zie Figuur 4.7B en Figuur 4.7C.

4.2.2 Beeld van probleemstoffen en opkomende stoffen in het grondwater

Informatie over verontreinigingen in het drinkwater geeft een ander beeld dan de algemene kwalitatieve toestandsbepaling van grondwaterlichamen. In grondwaterwinningen voor drinkwater worden op veel winlocaties probleemstoffen aangetroffen. Ongeveer 60% van het Nederlandse drinkwater wordt geproduceerd uit opgepompt grondwater. Bij meer dan de helft van de beschouwde gebiedsdossiers van grondwaterwinningen (82 van de 156) blijkt het opgepompte (ongezuiverde) grondwater in de periode 2012-2018 één of meerdere verontreinigingen te bevatten. Dit betrof stoffen gerelateerd aan nitraatverontreiniging (nitraat, nikkel en sulfaat), gewasbeschermingsmiddelen en afbraakproducten daarvan, stoffen gerelateerd aan oude bodemverontreinigingen (onder andere PAK's, benzeen en benzo(a)pyreen) en opkomende stoffen (Addendum Nationale analyse waterkwaliteit, Van Gaalen en Osté, 2020; Figuur 4.7B). Ook de recente studie naar opkomende en andere antropogene stoffen in het grondwater (Verweij et al., 2022a) in een samengestelde database van drinkwaterbedrijven en provincies, laat zien dat deze stoffen (voorbeeld PFOA in Figuur 4.7C) aanwezig zijn in het grondwater tot op grote diepte. Deze gegevens tonen aan dat stoffen die door de mens boven maaiveld worden gebruikt, in het grondwater terecht komen.



Figuur 4.7 A. KRW toestandsbepaling van grondwaterlichamen in Nederland. Groen is goede toestand van de grondwaterlichamen volgens de KRW toetsing, rood is ontoereikende toestand¹⁹; B. Overzicht van drinkwater winningen met een of meer (potentiële) probleemstoffen op basis van de meest recente beschikbare gebiedsdossiers ten tijde van de Nationale analyse waterkwaliteit. De grijs gekleurde winningen zijn niet beschouwd. Grondwaterwinningen zijn aangeduid met een rondje; oevergrondwaterwinningen met een vierkantje; oppervlaktewater met een driehoekje²⁰; C. Perfluorooctanoëenzaur (PFOA), een milieuvreemde industriële stof, in de provinciale meetnetten grondwater en in monitoringslocaties van de drinkwaterbedrijven die grondwater als grondstof gebruiken²¹.

4.3 Emissies beperken en grondwater zuiveren ondergronds

Om de grondwaterkwaliteit beter te beschermen en te verbeteren en om de risico's voor kwetsbare functies te beperken zijn bewustwording en een systeemgerichte aanpak in

¹⁹ Bron: Stroomgebiedsbeheerplannen Rijn, Maas, Schelde en Eems 2022 – 2027, maart 2022. Deze kaart geeft de algemene chemische toestand van het grondwater op diepte van ca 10 en 25 meter met betrekking tot de KRW doelen.

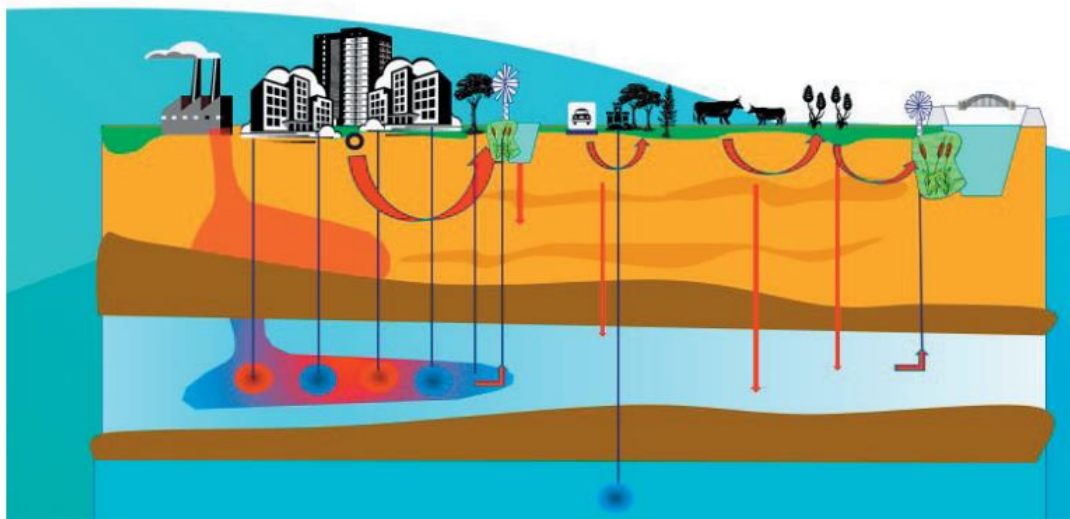
²⁰ Bron Addendum Nationale analyse waterkwaliteit (Van Gaalen en Osté, 2020) Kwaliteit Drinkwaterbronnen. Toestand grondwaterwinningen: Ongeveer 60% van het Nederlandse drinkwater wordt geproduceerd uit opgepompt grondwater.

²¹ Bron: Verweij et al, 2022a. 'aantal metingen' geeft de totale hoeveelheid metingen per locatie weer, en '% boven rapportagegrens' is het percentage van de metingen per meetpunt dat boven de rapportagegrens, hier geeft 0 de waarde 0 weer, en de daaropvolgende cijfers geven de bovengrens van de range weer, bijvoorbeeld in de serie 0; 25; 50, geeft '25' de range van 0 tot 25 weer, en geeft '50' de range van 25 tot 50 weer.

gebieden belangrijk. Maatregelen zijn nodig om de grondwaterkwaliteit te verbeteren en toekomstige bedreigingen van de grondwaterkwaliteit vóór te zijn (Verweij et al. 2022a en b).

Het beperken van emissies en aanpak van bronnen, om verontreiniging te voorkomen zijn de meest effectieve maatregelen. Deze maatregelen kunnen worden genomen via toelating van stoffen, en vergunningen, toezicht en handhaving van lozingen, opslag en gebruik van stoffen. Bij de toelating van stoffen moet rekening gehouden worden met de eigenschappen van de stoffen met betrekking tot persistentie, mobiliteit en toxiciteit (PMT).

Daarnaast kan grondwater gezuiverd worden door maatregelen te nemen langs het traject van de bron, via het pad naar de receptoren in de natuur, oppervlaktewater en winningen van grondwater (Figuur 4.8). Dit zuiveren kan door uitbreiding van zuiveringsinstallaties van grondwaterwinningen (drinkwater), maar dit staat op gespannen voet met de Kaderrichtlijn Water (KRW). Ook kan zuivering behouden en gestimuleerd worden door het beschermen en stimuleren van biologische en geochemische (zuiverende) processen in de boven- en ondergrond, zodat verontreinigd drainage- en oppervlaktewater dat het bovenste grondwater voedt schoner wordt. Bijvoorbeeld door het aanbrengen van natuurlijke zuiverende systemen voor verontreinigd drainage- en oppervlaktewater voordat het infiltreert naar het diepere grondwater. Kleinschalige maatregelen kunnen worden opgeschaald tot zuiverende stedelijke groenvoorzieningen en waterrijke natuurgebieden. Het water kan na zuivering weer worden geïnfiltrerd (Verweij et al., 2022a en b).



Figuur 4.8 Verontreinigingspaden van grondwater en opties voor ingrijpen op het pad van de verontreinigingen. Handelingsperspectieven kunnen zich richten op een aanpak bij de bron, ingrijpen in het pad en de receptor. Bron: Verweij et al., 2022a.

Veel locaties met puntbronnen van verontreinigingen in het verleden gesaneerd of aangepakt door middel van isoleren, beheren en controleren (IBC). Ook wordt binnen beleidskader van de gebiedsgericht grondwaterbeheer (Van der Gun, 2010) een zekere mate van vergijzing toegelaten, zoals bijvoorbeeld in Woerden. Vaak zijn verontreinigde volumes ingepakt met behulp van damwanden, wordt grondwater onttrokken en wordt gemonitord of geen verontreiniging ontsnapt. Dit gebeurt veelal dicht bij de verontreinigings-bron, maar saneringen op basis van een geohydrologische beheersing kunnen zich ook op de verontreinigingspluim richten. Omdat dergelijke maatregelen in principe eeuwigdurend zijn, en derhalve veel nazorg vereisen, verdienen andere oplossingen tegenwoordig de voorkeur. Nu de kennis ten aanzien van geochemische en biologische processen in de bodem in de afgelopen decennia sterk is toegenomen, kan deze worden aangewend om verontreinigingen te immobiliseren en af te breken. Zo kunnen redoxcondities worden aangepast om het

ontstaan van stabiele neerslagen te bevorderen en afbraak te stimuleren (Verweij et al., 2022a en b).

4.4 Benutten en behouden natuurlijke barrières

De kwaliteit van grondwater kan worden beschermd door een drietal van nature aanwezige “barrières” in de bodem en ondergrond: *fysieke (geohydrologische) barrières*, *biologische barrières* en *geochemische barrières* (Verweij et al., 2022a). In gebieden waar deze barrières aanwezig zijn is het grondwater van nature enigszins beschermd tegen verspreiding en effecten van verontreiniging. In de gebieden waar deze barrières niet of zeer beperkt aanwezig zijn, is het grondwater en de daaraan gerelateerde functies (drinkwater, natuur, landbouw, recreatie) relatief kwetsbaar voor verontreiniging.

Deze kennis over kwetsbaarheid van de ondergrond voor verontreiniging van grondwater kan worden ingezet bij inrichtingsplannen. Het gaat daarbij zowel om het zoeken naar geschikte locaties voor potentiële vervuulende activiteiten, als om geschikte gebieden voor functies die kwetsbaar zijn voor verontreinigingen (drinkwater, natuur, landbouw en recreatie). Rekening kan worden gehouden met waar het grondwater kwetsbaar is en waar het minder kwetsbaar is voor verontreiniging. In het tweede geval zijn voldoende barrières in de ondergrond aanwezig om verspreiding verontreinigingen tegen te gaan.

Aanbevolen wordt in milieubeleid, ruimtelijke ordening en waterbeheer te streven naar behoud van de hier genoemde barrières. Bij het beoordelen van activiteiten in en op de bodem en ondergrond is het goed om rekening te houden met de lokale en regionale aanwezige barrières die het grondwater beschermen tegen verspreiding van verontreiniging. Naast een effectieve bronaanpak is bescherming van de barrières van strategisch belang om de kwaliteit van het grondwater ook op de lange termijn te waarborgen, temeer omdat de barrières geen volledige bescherming bieden (Verweij et al., 2022b).

Hieronder worden deze barrières kort toegelicht en wordt inzicht gegeven over de ruimtelijke spreiding van de barrières over de Nederlandse ondergrond. Ook wordt aangegeven op welke manier de natuurlijke barrières een rol kunnen spelen bij inrichtingsplannen.

4.4.1 Fysieke (geohydrologische) barrières

Fysieke (geohydrologische) barrières (Verweij et al., 2022a) worden gevormd door afsluitende kleilagen in de ondergrond. Daarnaast spelen grondwaterstromingspatronen een rol, zoals wegzijging of kwel en horizontale stroming. In de Nederlandse ondergrond zijn op verschillende dieptes afsluitende kleilagen aanwezig. Deze kleilagen kunnen een verspreiding van verontreinigingen in de ondergrond van boven naar beneden beperken, maar zijn niet overal even dik en afsluitend. Ook liggen de afsluitende lagen in sommige delen van Nederland op grotere diepte. Als gevolg van deze natuurlijke variaties in de ondergrond is de fysieke barrière van de ondergrond in delen van Nederland minder effectief. Naast de verspreiding van stoffen vanaf maaiveld, veroorzaken activiteiten in de ondergrond die dieper dan beschermende lagen plaatsvinden, een risico op verontreiniging, zoals diepere bodemenergiesystemen en injectie van afvalwater.

De dikte en diepteligging van afsluitende kleilagen en de grondwaterstromingspatronen in de ondergrond bepalen tezamen hoe lang het duurt voordat grondwaterverontreinigingen zich dieper en verder in het systeem verspreiden vanaf maaiveld. Dit heeft tot gevolg het in bepaalde delen van het land veel langer duurt voordat het bovenste grondwater diep en ver in het grondwatersysteem stroomt. In delen van het land waar de aanwezigheid van afsluitende kleilagen beperkt is of waar deze lagen diep liggen, zoals in de duingebieden en in grote zandgebieden in het midden, oosten en zuiden van Nederland, stroomt het ondiepe grondwater in relatief korte tijd (5 tot 20 jaar) naar grotere diepte (Figuur 4.2). Eventuele

verontreinigingen kunnen zich in deze gebieden daardoor vrij snel verspreiden naar grote diepte. In het westen van Nederland is de situatie anders. Omdat afsluitende kleilagen hier veelal ondiep liggen en er in veel gebieden sprake is van een kwelsituatie (grondwater stroomt omhoog), is de stroming van grondwater naar grotere diepte beperkt. Als gevolg hiervan stromen verontreinigingen minder snel naar het diepe grondwater.

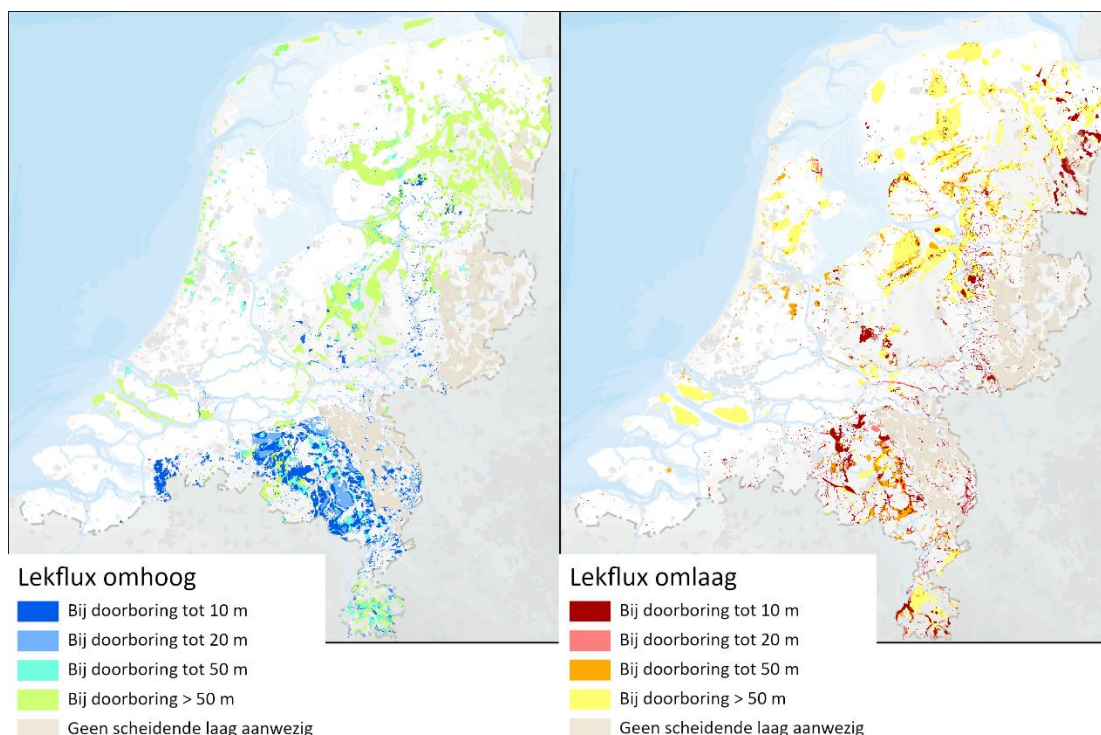
Terwijl verontreinigingen vanaf maaiveld in het westen van het land in het ondiepe grondwater blijven, is in gebieden waar grondwater snel naar grote diepte stroomt het diepere grondwater kwetsbaar voor verontreinigingen. Zuiveren van diep grondwater is lastig. Het voorkomen van verontreiniging van het diepere grondwater is dan ook essentieel voor het behoud van grondwatervoorraden van goede kwaliteit als bron voor drinkwater en productie van voedingsmiddelen en dranken. Naast deze risico's van verontreiniging van het diepe grondwater, bestaat op langere termijn (na meer dan 100 jaar) ook het risico op verontreiniging van het ondiepe grondwater en oppervlaktewater dat door deze diepe, regionale systemen gevoed wordt (Figuur 2.1).

Het is belangrijk dat bij het maken van ruimtelijke inrichtingsplannen rekening wordt gehouden met deze regionale kwetsbaarheden van de ondergrond. Dit kan door bij het plannen van (mogelijk) verontreinigende activiteiten rekening te houden met het water dat in de ondergrond infiltreert, en waar mogelijk infiltratie van verontreinigd water tegen te gaan. Op die manier kan verspreiding van stoffen naar grotere diepte worden beperkt en kan de verontreiniging van de grondwatervoorraden bestemd voor toekomstige generaties worden voorkomen.

Als gevolg van activiteiten in de ondergrond kan de natuurlijke barrière van afsluitende lagen in de ondergrond worden aangetast. Ten behoeve van het winnen van diep grondwater, de aanleg van bodemenergiesystemen of diepe funderingen worden afsluitende kleilagen doorboord. Wanneer dit onzorgvuldig gebeurt of wanneer deze doorboringen onzorgvuldig worden beheerd (tijdens of na gebruik), kan dit in delen van het land leiden tot lekkage van mogelijk verontreinigd grondwater naar een grondwaterlaag met een betere kwaliteit. Figuur 4.9 geeft inzicht in de delen van Nederland waar de afsluitende werking van de kleilagen zodanig is dat er grondwater doorheen kan lekken. In deze gebieden is de kans op lekkage en verdere verspreiding van verontreinigingen bij doorboring van een afsluitende kleilaag relatief groot. De scheidende lagen zijn vooral kwetsbaar als ze relatief dun zijn en er stijghoogteverschillen bestaan tussen de watervoerende pakketten die gescheiden worden door de kleilaag (in bijlage E is dit verbeeld). In gebieden waar de scheidende lagen relatief dik zijn (enkele meters of meer) is het risico meestal gering. Vooral in het westen en noorden van het land (laag Nederland) zijn de scheidende lagen veelal dik en bieden daardoor relatief veel bescherming. In het oosten van het land zijn deels geen scheidende lagen in de ondergrond aanwezig. In deze gebieden komt een verontreiniging dus geen fysieke barrière tegen.

In Laag Nederland bestaat daarnaast lokaal ook het risico op opbarsting. Op verschillende locaties kan daardoor bij het boren een kwelstroom naar de oppervlakte ontstaan. Ook hier moet lokaal rekening mee gehouden worden.

Bij inrichtingsplannen en de aanleg van bodemenergiesystemen of diepe grondwaterwinningen kan ervoor gekozen worden om deze kwetsbare zones in de ondergrond te vermijden, of om eventuele noodzakelijke doorboringen zeer zorgvuldig uit te voeren en te beheren (ook na gebruik).

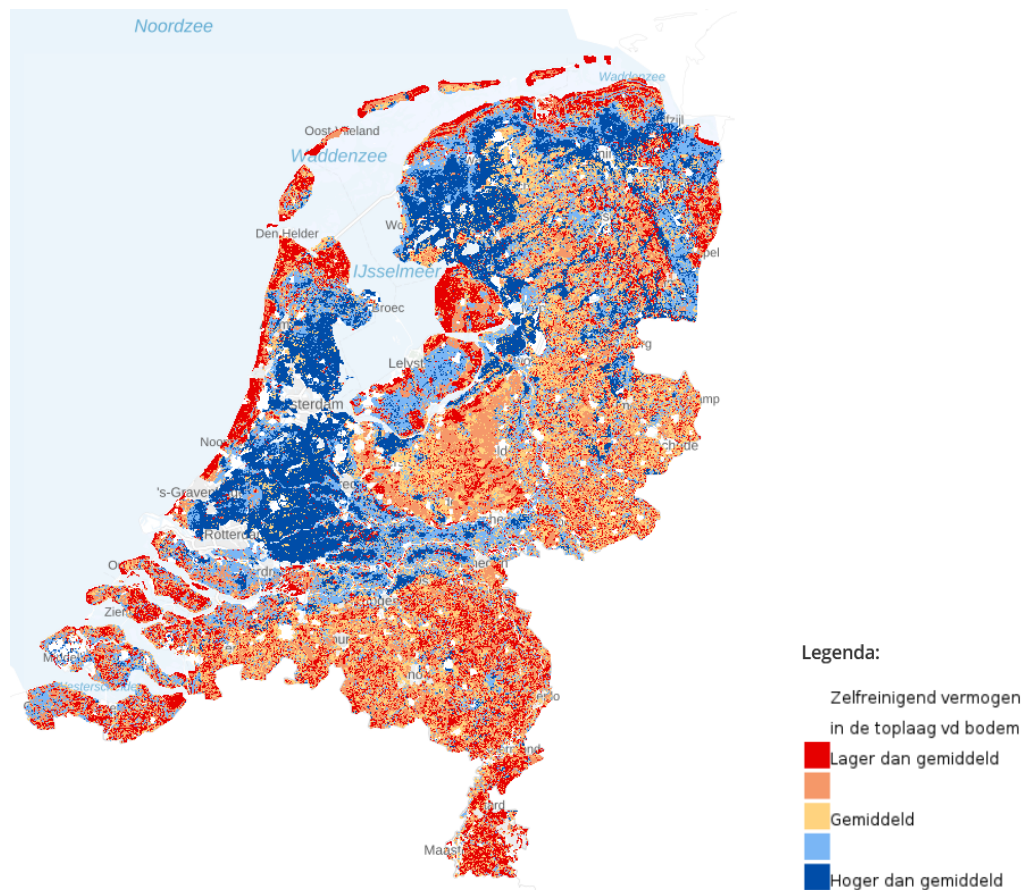


Figuur 4.9 Potentiele lekfluxen omhoog (links) en omlaag (rechts) bij doorboring van scheidende kleilagen op verschillende dieptes. Kans op het ontstaan van een lekflux groter dan $0,01 \text{ m}^3/\text{dag}$ als de doorlatendheid van de opvulling van het boorgat $[m/d]$ 1 zou zijn (op basis van Van Vliet et al., 2022). In Bijlage E wordt in meer detail toegelicht hoe deze kaart tot stand is gekomen.

4.4.2 Biologische barrières

Biologische barrières (Verweij et al., 2022a) worden gevormd door afbraak van verontreinigingen door micro-organismen in de toplaag van de ondergrond, de bodem. Dit is het vermogen van de bodem en het microbiologisch bodemleven daarin om verontreinigende stoffen af te breken in de toplaag van de ondergrond. Dit zelfreinigend vermogen van de ondergrond varieert tussen hoger dan gemiddeld (minder kwetsbaar, meer reiniging) en lager dan gemiddeld (meer kwetsbaar, minder reiniging). Een inschatting van het zelfreinigend vermogen door microbiële activiteit op landelijke schaal (Figuur 4.10) is gebaseerd op informatie uit landsdekkende data van bodemeigenschappen (Verweij et al., 2022a).

Door rekening te houden met de werking van de bodem en de kwetsbaarheid van de ondergrond bij ruimtelijke plannen, kunnen emissies naar het grondwater beperkt worden. Daarbij kan de aanwezige zuiverende werking beschermd worden, en kunnen de biologische (zuiverende) processen gestimuleerd worden om verontreinigd drainage- en oppervlaktewater te zuiveren bovenin de ondergrond.

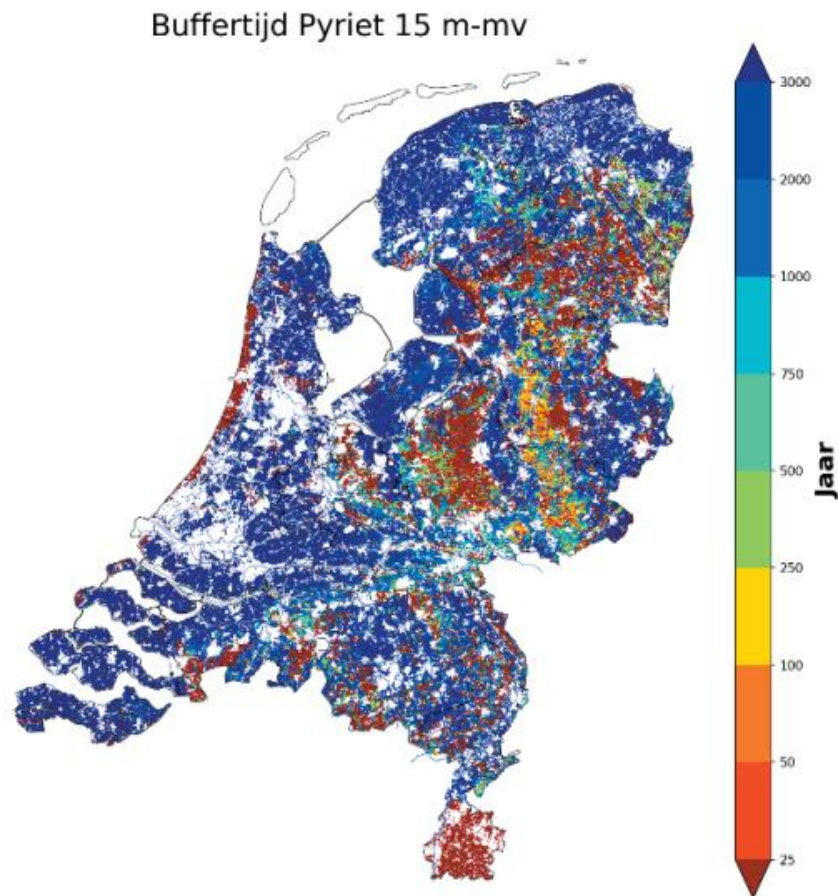


Figuur 4.10 Kaart van de bodembioologische bescherming, het (verwachte) zelfreinigend vermogen in de toplaag van de bodem (bron: Verweij et al., 2022a en Atlas Natuurlijk Kapitaal). In blauwe gebieden is het zelfreinigend vermogen hoger dan gemiddeld (minder kwetsbaar, meer reiniging); in rode gebieden is het zelfreinigend vermogen lager dan gemiddeld (meer kwetsbaar, minder reiniging).

4.4.3 Geochemische barrières

Geochemische barrières (Verweij et al., 2022a; Van der Grift et al., 2022) worden gevormd door binding, omzetting of afbraak van verontreinigingen door reactieve bestanddelen in de ondergrond. Voorbeelden van geochemische barrières zijn sedimentair organisch materiaal, kalk (carbonaat), ijzersulfides (pyriet) kleimineralen, reactieve silicaten en aluminiumhydroxide. Een voorbeeld hiervan is de buffering van nitraat door een natuurlijke geochemische barrière van pyriet in de ondergrond. In sommige delen van Nederland is van nature veel pyriet in de ondergrond aanwezig. Door het optreden van een geochemische reactie tussen nitraatverontreinigingen in het grondwater met pyriet, neemt de nitraatverontreiniging af. In gebieden waar (nog) pyriet in de bodem aanwezig is, zijn bodem en grondwater enigszins beschermd tegen de nitraatverontreinigingen. Tijdens de geochemische reactie neemt ook de hoeveelheid pyriet af, waardoor de beschermende werking van pyriet in de loop der jaren afneemt. Deze indicatieve buffertijd van pyriet bij nitraatverontreiniging varieert tussen in Nederland van gebied tot gebied van minder dan 25 jaar tot meer dan 3000 jaar (Figuur 4.11).

Door rekening te houden met de nitraatbuffering van de ondergrond, kunnen belastende activiteiten aan maaiveld anders worden gesitueerd, zodat het grondwater in de ondergrond gezuiverd wordt en diepere receptoren, zoals winningen van water in de ondergrond beter beschermd. En zodat er geen belasting is als de pyrietbuffer vrijwel op is, en ook de bufferende werking beschermd wordt. Ook met de andere vormen van geochemische buffering kan op deze manier rekening gehouden worden.

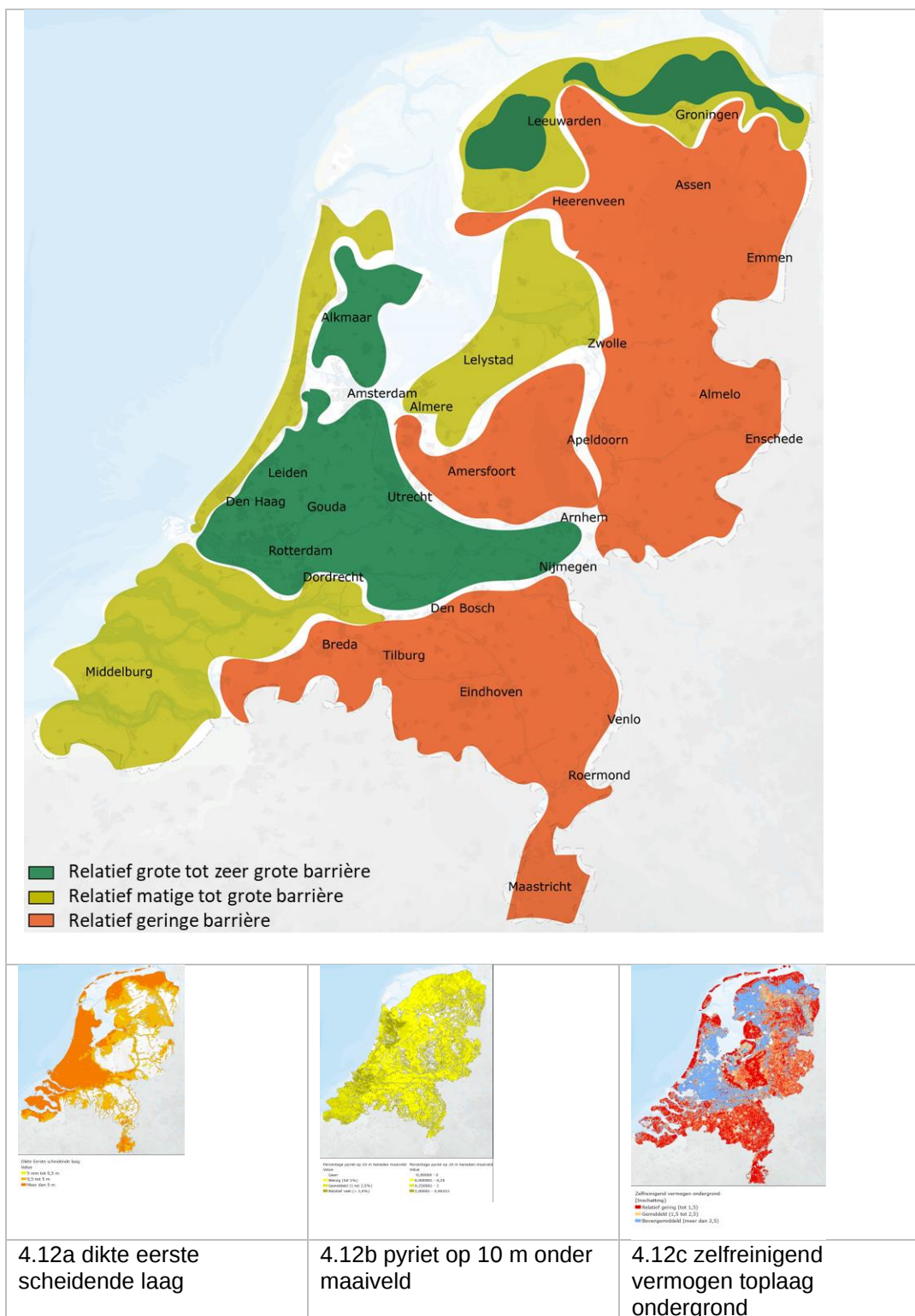


Figuur 4.11 Geochemische beschermingskaart voor nitraatbuffering op basis van geschatte voorraden pyriet en nitraatvrucht. De kaart geeft de indicatieve buffertijd die potentieel aanwezig is doordat pyriet kan reageren met nitraat (jaren) op 15 m diepte²².

4.5 Landelijk globaal beeld van de kwetsbaarheid van de Nederlandse ondergrond voor verontreiniging

In Figuur 4.12 is een globaal beeld geschetst van de natuurlijke barrière tegen verontreiniging van het grondwater. Voor dit beeld is een combinatie gemaakt van de dikte van de eerste scheidende laag (Figuur 4.12a; als maat van de fysieke (geohydrologische) barrière), het pyrietgehalte op 10 meter onder maaiveld (Figuur 4.12b; als maat voor de geochemische barrière) en het zelfreinigend vermogen in de toplaag van de bodem (Figuur 4.12c; als maat voor de biologische barrière). Hierin wordt duidelijk dat de ondergrond relatief kwetsbaar is voor verontreiniging van het grondwater in het zuiden en oosten van Nederland. In deze gebieden is extra voorzichtigheid geboden om te voorkomen dat stoffen in het grondwater terecht komen. Dit zijn ook gebieden met grote zoetwatervoorraden in het grondwater, die waardevol zijn voor drinkwaterwinning, landbouw en natuur.

²² Deze kaarten zijn te maken op verschillende dieptes. De buffertijden nemen toe met de diepte. Witte vlakken corresponderen met cellen waar geen sprake is van infiltratie, maar van kwel. (Bron: Verweij et al., 2022a).



Figuur 4.12 Globaal beeld van de natuurlijke barrière tegen verontreiniging van het grondwater, op basis van dikte eerste scheidende laag (4.12a; Bron data: Geotop), pyrietgehalte op 10 m-mv (4.12b; Bron data kennisimpuls project grondwater) en zelfreinigend vermogen in de toplaag van de bodem (4.12c; Bron data: kaart in Atlas natuurlijk kapitaal). In Bijlage E wordt in meer detail toegelicht hoe deze kaart tot stand is gekomen.

4.6 Verhogen grondwaterstanden en grootschalige infiltratie: risico's en kansen grondwaterkwaliteit

Een concreet aandachtspunt vanuit de plannen voor grootschalige infiltratie en verhoging van de grondwaterstand, is de impact die deze maatregelen kunnen hebben op de grondwaterkwaliteit. Grootschalige infiltraties voor het aanleggen van waterreserves en grondwaterstand verhoging om verdroging van natuur tegen te gaan kunnen leiden tot verslechtering van de grondwaterkwaliteit, maar kunnen ook worden ingezet om grondwaterkwaliteit te verbeteren.

Het is van belang om na te gaan wat er gebeurt met de kwaliteit van grondwater bij het infiltreren van water van verschillende typen en kwaliteiten (zoals regenwater, oppervlaktewater, effluent). Vermenging van schoon grondwater met verontreinigd infiltratiewater is ongewenst en kan grondwater voor langere tijd en ook op grotere diepte verontreinigen. Ook kunnen door het mengen van water met verschillende samenstelling hydrogeochemische reacties optreden. Deze kunnen ongewenst zijn en zorgen voor een verslechtering van de grondwaterkwaliteit. Om deze ongewenste effecten te voorkomen, heeft het de voorkeur om bij (grootschalige) infiltratie en vernattingsmaatregelen “gebiedseigen water” in te zetten of kan er een voorzuivering plaatsvinden, maar ook dan kunnen er door verschillen van het geïnfilterde water en de ontvangende aquifer effecten op de grondwaterkwaliteit optreden.

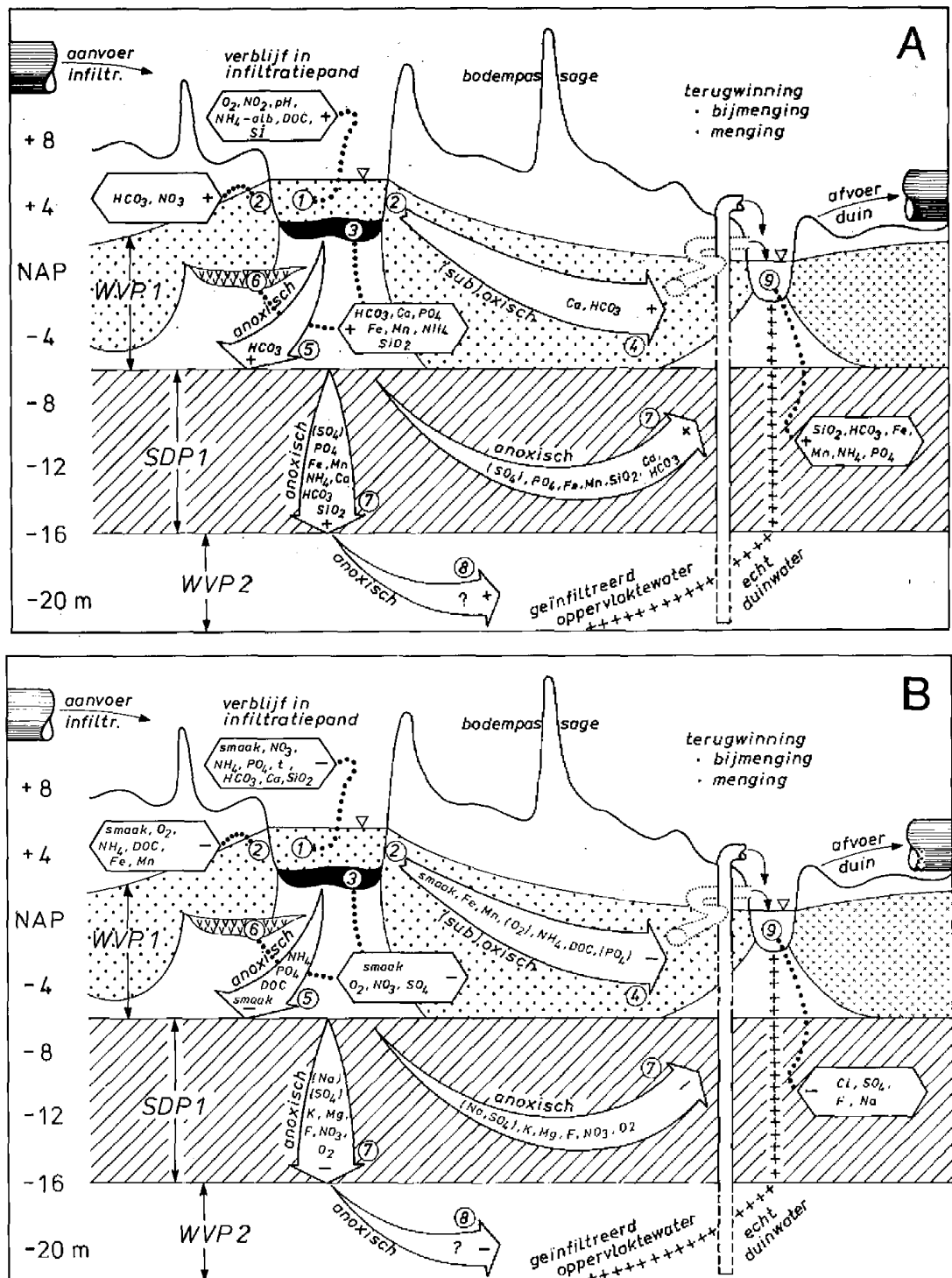
Afkoppeling van regenwater en vervolgens infiltratie kan een goede kwaliteit grondwater opleveren, maar ook hierbij kunnen er verontreinigingen in het afgekoppelde regenwater aanwezig zijn, en kan infiltratie effecten op de grondwaterkwaliteit opleveren.

Het is van belang bij infiltratie van water na te gaan wat de samenstelling is van het water dat wordt geïnfilterd; via welke route het wordt het geïnfilterd en welk effect -zuiverend of juist niet- de route heeft; welke samenstelling het water heeft dat al in de ondergrond zit; wat is de samenstelling van de ondergrond is; en wat de effecten zijn op de grondwaterkwaliteit na infiltratie. En er moet nagegaan worden wat er beschermd moet worden, welke receptoren (zoals onttrekkingen en natuurgebieden), en hoe de intrinsieke toestand van het grondwater beschermd moet worden. Tevens moet vastgesteld worden waaraan getoetst moet worden, dat wil zeggen wat de huidige regels zijn waaraan voldaan moeten worden, en op welk punt de kwaliteit (weer) moet voldoen ('point of compliance'). Dit kan zijn op een bepaalde diepte of dit punt kan anders gedefinieerd worden. Op het moment loopt de Nederlandse implementatie van de verordening van de EU inzake minimumeisen voor hergebruik van water (EU, 2020).

Een voorbeeld hierbij is de grootschalige infiltratie van rivierwater in de duinen. Figuur 4.13 geeft schematische weergave van positieve en negatieve kwaliteitsveranderingen die hierbij kunnen optreden. In de duinen wordt gewerkt met infiltratiepanden die gevoed worden met voorgezuiverd oppervlaktewater dat vandaaruit infiltreert. Tijdens infiltratie verandert het geïnfilterde water van samenstelling, door de hydrogeochemische reacties die optreden tussen infiltrerend water en de bodem. Welke reacties optreden en wat de uiteindelijke samenstelling wordt van het geïnfilterde water is afhankelijk van de kwaliteit van het oppervlaktewater zelf (bijvoorbeeld nutriëntconcentraties, ionensamenstelling, zuurgraad) en de (mineraal)samenstelling van de ondergrond (bijvoorbeeld aanwezigheid kalk, pyriet, organische stof), zie de Deltafact over kunstmatige infiltratie (Van Dooren et al., 2022).

Grootschalige infiltratie en opslag van water in de ondergrond, ingegeven door de waterbehoefte, kan ook gebruikt worden om het grondwater schoner te maken. Maar er kunnen ook averechtse effecten optreden als het infiltrerende water verontreinigd is. Ook kunnen chemische reacties in de ondergrond ongewenste effecten hebben. Hierbij kunnen

natuurlijke processen als verzilting en verzoeting gevolgen hebben voor het vrijkomen van stoffen (bijvoorbeeld metalen) als gevolg van de chemische verschillen tussen het infiltrerende water en het oorspronkelijke water en de samenstelling van het watervoerende pakket.



Figuur 4.13 Overzicht van optredende hydrochemische veranderingen bij kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater in de duinen (Stuyfzand, 1986).

4.7 Systeemgericht beheer en beleid voor grondwaterkwaliteit

Door de kennis van grondwaterkwaliteit en inzichten in het grondwatersysteem te gebruiken bij water- en bodembeheer en ruimtelijke ordening, kan het grondwater schoner worden en verontreiniging voorkomen worden. Kennis van grondwaterkwaliteit meenemen aan de basis van gebiedsontwikkeling, waarbij gekeken wordt naar drie ruimtelijke dimensies, en naar ontwikkeling in de tijd, biedt kansen om een betere grondwaterkwaliteit voor huidige en toekomstige functies te creëren. Door aan de voorkant van het beleid de kansen en kwetsbaarheden in het systeem mee te nemen kan men anticiperen en oplossingen zoeken en is er minder risico dat de activiteiten vastlopen, zoals bijvoorbeeld bij het tekort aan schoon water voor drinkwaterwinning, en het vastlopen in lange vergunningstrajecten bij het realiseren van nieuwe drinkwaterwinningen.

Zo kan de kwaliteit van grondwater verbeterd worden door grootschalige ingrepen te combineren met maatregelen om verontreinigingen te verwijderen, bijvoorbeeld bodemverontreinigingen aanpakken op woningbouwlocaties of grondwater zuiveren tijdens het pompen van water vanuit een bouwput. Bufferzones en infiltratiegebieden in natuurgebieden kunnen zo worden ingericht dat het water ook gezuiverd wordt voordat het de ondergrond in stroomt, door ecologische processen in bodems in waterrijke natuur, of actieve zuiveringsfilters. Hiermee kan bescherming van grondwaterkwaliteit gekoppeld worden aan natuur en drinkwaterwinning.

De landbouwtransitie is ook een kans om grondwaterkwaliteit te verbeteren. Door vermindering van de hoeveelheid meststoffen en door belastende activiteiten met meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen en diergeneesmiddelen te plaatsen op plekken waar de ondergrond minder kwetsbaar is voor verontreiniging, te zorgen dat verontreinigd water niet de ondergrond in kan stromen vanaf landbouwlocaties, en waar nodig zuiverende maatregelen te nemen. Naast relevantie voor het beleid rond verdroging en de stikstofopgave (zie vorige thema), heeft dit ook relevantie voor de nitraatrichtlijn en de derogatie voor Nederland voor mestuitgifte.

Door te monitoren en indicatoren te gebruiken van de verspreiding van stoffen en stoffen op te sporen die in ondiep grondwater zitten of in oppervlaktewater dat infiltreert, maar ook door registratie van toegepaste stoffen met emissies, weet men tijdig ("early warning") dat ingegrepen moet worden om (verdere) verontreiniging van het grondwater tegen te gaan en om receptoren zoals natuur en drinkwaterwinning te beschermen.

4.8 Suggesties voor kennisverdieping

Op welke onderwerpen moeten meer gegevens verzameld worden?

- Er is behoefte aan informatie voor early warning van mogelijk schadelijke stoffen die vanuit het bovenste grondwater en het oppervlaktewater in het grondwater terecht kunnen komen, zodat ingegrepen kan worden en verspreiding naar het grondwater beperkt kan worden. Hierbij is behoefte om lopend onderzoek te versnellen en uit te breiden.
- Gaten in de meetgegevens. Deels doordat gegevenssets niet makkelijk te verkrijgen zijn, deels omdat er minder gemeten wordt in bepaalde gebieden, op basis van de huidige doelen van de meetnetten, zitten er gaten in de datasets. Zo zitten er bijvoorbeeld relatief weinig meetputten in stedelijk gebied.
- Door het bijeen brengen van verschillende bestaande gegevenssets en modellen kan meer inzicht gekregen worden in de problematiek van de verschillende stoffen en stofgroepen in grondwater en een beeld gevormd worden van de toestand, trends, en mogelijke cumulatieve effecten in de tijd en ruimte.

Op welke onderwerpen moet meer analyse gedaan worden, op nationale schaal?

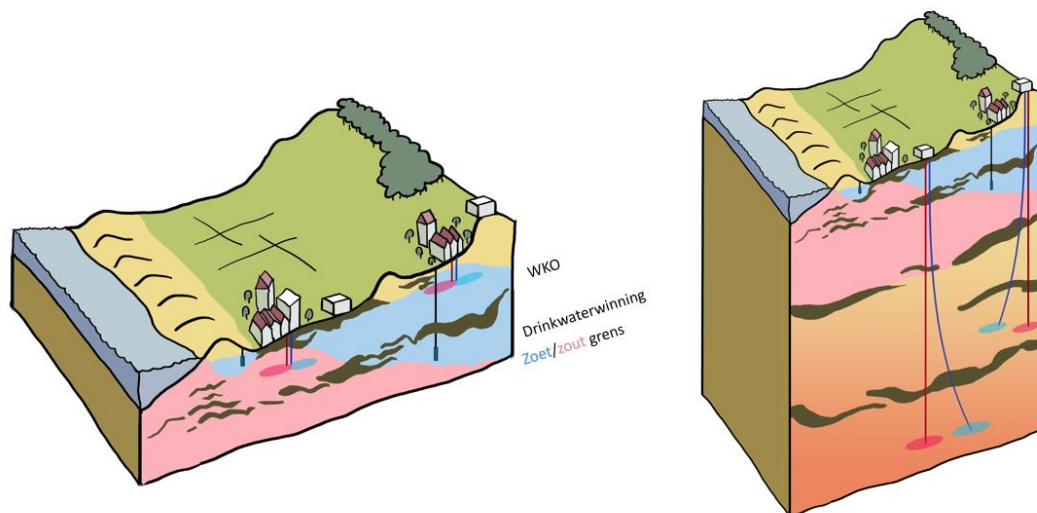
- Meer inzicht krijgen in de impact van grootschalig infiltreren van water op de grondwaterkwaliteit, om averechtse effecten te voorkomen en de grondwaterkwaliteit te verbeteren waar mogelijk. En daarbij invullen van kennisleemtes op het gebied van de kwaliteitseffecten van infiltratie.
- Meer inzicht krijgen in de impact van vernatting (verhogen van de grondwaterstand) op de grondwaterkwaliteit (met name fosfaat), om averechtse effecten te voorkomen en de grondwaterkwaliteit te verbeteren waar mogelijk. En daarbij invullen van kennisleemtes op het gebied van de kwaliteitseffecten van vernatting.
- Meer inzicht krijgen in de vergrijzing van grondwater, mede door een set van verschillende indicatoren, voor verschillende beschermdoelen (zoals drinkwaterwinning, aquatische ecologie en grondwater afhankelijke ecosystemen), zodat duidelijk is voor welke stoffen, waar en wanneer prioriteiten gesteld moeten worden. Er is behoefte aan een 'vlekkenkaarten' van de toestand van het grondwater in Nederland.
- Meer inzicht van de invloed van bodemverontreinigingslocaties, verontreinigde gebieden en locaties in en rond steden met verontreinigingen in bodem en grondwater op de vergrijzing van het grondwater.

Op welke onderwerpen kunnen regionale cases meer inzicht bieden?

- Meer inzicht in mogelijke maatregelen voor de zuivering van het grondwater in het bodem- en watersysteem, en de kosteneffectiviteit van deze maatregelen. Zoals biologische afbraak (al dan niet gestimuleerd) in verontreinigingspluimen en diffuse verontreiniging; aanpak bij de bron; nazuiveren; interceptieputten. Hierbij kan verbinding gezocht worden bij kennis en projecten over afbouw van nazorg bij saneringslocaties.
- Meer inzicht in de kwetsbaarheid van de ondergrond voor verontreiniging van het grondwater op bepaalde locaties en in regio's.
- Inzicht in hoe 3D kennis van de ondergrond en grondwater meegenomen kan worden in gebiedsontwikkeling om de grondwaterkwaliteit te verbeteren.

5 Energietransitie en grondwater

Gebruik van grondwater voor thermische energie heeft potentie, maar energie activiteiten mogen de grondwaterkwaliteit niet schaden



Figuur 5.1 Visualisatie van bodemenergiesystemen waarbij grondwater als bron voor thermische energie wordt gebruikt en geothermie. Links: 3-D beeld van WKO systemen in de diepte in laag en hoog Nederland gecombineerd met ondiepe drinkwaterwinningen vanuit de duinen (westen) en vanuit de diepere grondwatersystemen (oosten). Rechts: 3-D beeld van een geothermiesysteem op grote diepte tot ca. 1 a 2 km, gecombineerd met drinkwaterwinningen tot ca. 200m diepte. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

5.1 Typen bodemenergiesystemen en geothermie

Op hoofdlijnen kunnen we twee typen bodemenergiesystemen onderscheiden: open warmte-koude-opslag systeem (hierna open WKO systemen), gesloten warmte-koude-opslag systeem (hierna gesloten WKO systemen). Daarnaast zijn van belang: geothermie, en aquathermie (incl. WKO systemen als batterij). Hieronder worden deze typen systemen en hun relatie met het grondwater kort toegelicht (zie ook Deltafact Bodemenergiesystemen, Schout et al. 2022 en Deltafact Geothermie, Cirkel et al. 2022, voor technische toelichting, risico's, handelingsperspectieven en kennishiaten). Figuur 5.1 geeft de systemen en hun ligging in de ondergrond schematisch weer.

Open WKO systemen (ook wel genoemd OBES Open BodemEnergieSysteem): maakt gebruik van grondwater om thermische energie (warmte of koude) van de ondergrond naar het gebouw te transporteren, en andersom. De diepte van de bronnen varieert meestal tussen enkele tientallen meters tot maximaal circa 200 meter. In de winter wordt warm grondwater omhoog gepompt uit de warme bron. De warmte wordt gebruikt om het gebouw te helpen verwarmen. Het afgekoelde grondwater wordt in een andere, koude bron weer terug in de bodem gepompt. In de zomer draait de stromingsrichting om: grondwater uit de koude bron wordt gebruikt om het gebouw te koelen, het warmt op en wordt gebruikt om de warme bron op te laden. Er is dus geen netto onttrekking van grondwater en tussen het grondwater en het gebouwssysteem is een warmtewisselaar geplaatst waarmee het grondwater- en gebouwscircuit zijn gescheiden (Deltafacts Bodemenergiesystemen, STOWA 2022). Alleen tijdens het spuien is er een kleine netto onttrekking. Als de stroming wordt

omgekeerd wordt het eerste water vaak afgevangen en geloosd omdat er deeltjes inzitten die de andere put kunnen verstopen.

Gesloten WKO systemen (ook wel genoemd GBES Gesloten BodemEnergieSysteem):

Bij een gesloten bodemenergiesysteem wordt een circulatiemedium rondgepompt door een gesloten leidingsysteem dat in de bodem is geïnstalleerd, in de regel tot maximaal zo'n 200 m diepte. Is het circulatiemedium kouder dan de omringende bodem dan neemt de vloeistof warmte op, is het medium warmer dan koelt deze juist in de bodem af. Op deze manier kan er in de winter warmte uit de bodem worden onttrokken en in de zomer worden opgeslagen (Deltafacts Bodemenergiesystemen, STOWA 2022).

Aquathermie: warmte die in de zomer via een warmtewisselaar onttrokken wordt aan het oppervlaktewater. De warmte wordt opgeslagen in de warme bron van een warmtekoude-opslagsysteem (WKO).

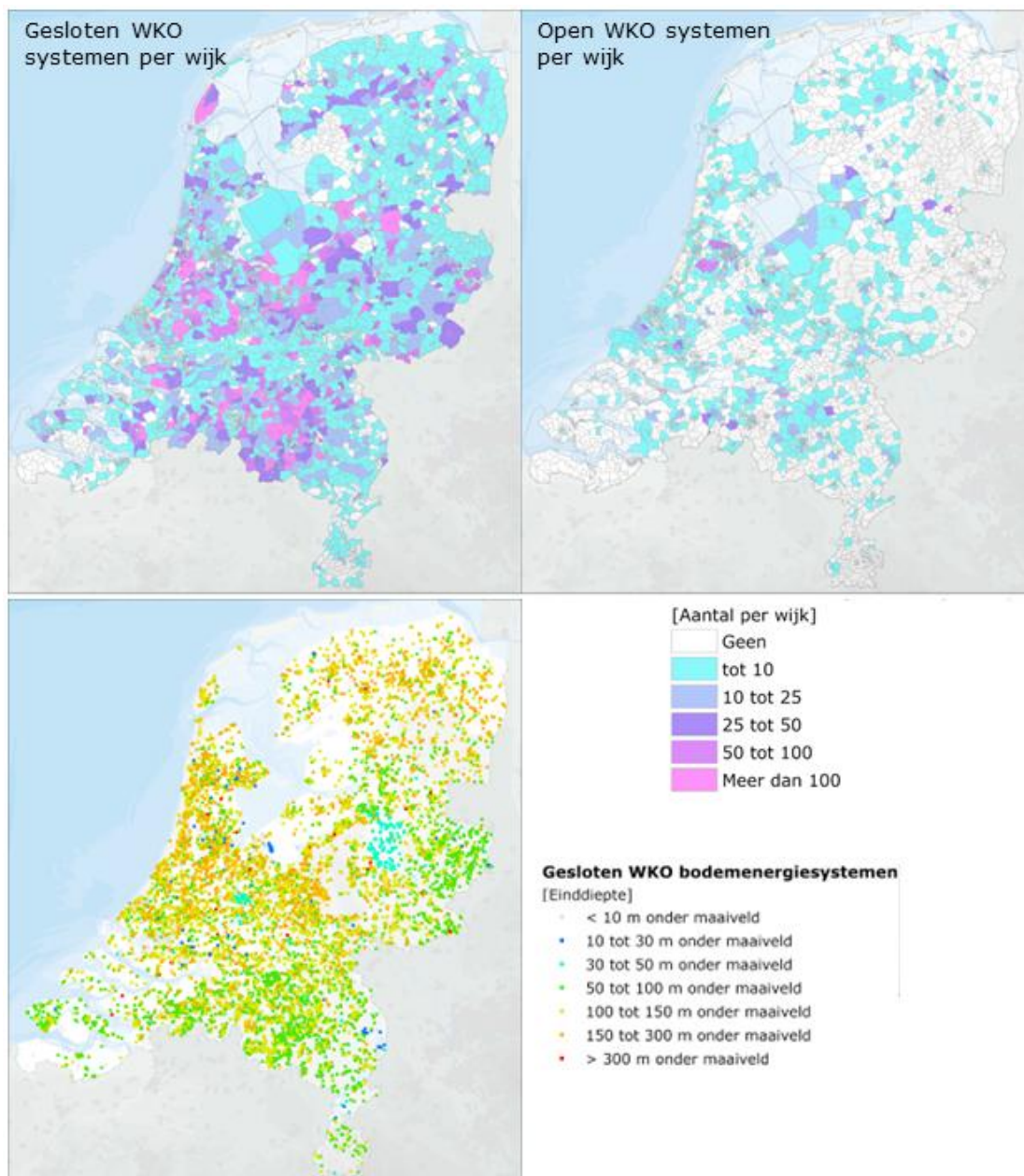
Geothermie: winning van aardwarmte uit de diepere ondergrond vanaf 500 meter diepte. Diep in de ondergrond bevindt zich warm water in (poreuze) zand- en gesteentelagen. Geothermie ofwel aardwarmte, wordt gewonnen uit heet water in deze lagen. In Nederland wordt aardwarmte doorgaans gewonnen op een diepte van tussen de 2 á 3 km, waarbij het water een temperatuur heeft van 70 – 90 °C. De grens van 500 meter diepte is van belang, omdat daaronder de Mijnbouwwet van kracht is voor aardwarmte. Bij gebruikmaking van bodemwarmte tot 500 meter diepte is meestal sprake van opslag en onttrekking van warmte of koude (ondiepe bodemenergiesystemen, zowel open Warmte/Koude opslag, WKO, als gesloten bodemenergiesystemen), de diepte van deze systemen beperkt zich in de regel tot ongeveer 200 meter (Deltafact geothermie, STOWA 2022).

5.2 Aantal bodemenergiesystemen in Nederland

De afgelopen decennia is het aantal warmte-koude-opslag systemen (hierna: WKO systemen) op verschillende dieptes in het bodem/grondwater systeem in Nederland sterk toegenomen ten behoeve van de warmtetransitie (ingegeven door stijgende kosten), vooral in en rond stedelijk gebied. In meerdere gebieden zijn er meer dan 100 WKO systemen per wijk (Figuur 5.2). Een deel hiervan bestaat uit gesloten WKO systemen. Vooral in het midden, zuiden en oosten van Nederland komen relatief veel gesloten WKO systemen voor (Figuur 5.2, linksboven). Open WKO systemen komen minder voor (Figuur 5.2 rechtsboven), omdat open systemen veel worden toegepast in nieuwbouwwijken.

Het aantal geothermie en aquathermie systemen is momenteel nog beperkt (volgens Deltafact geothermie zijn er nu 28 geothermie projecten en 80 aquathermie systemen, in september 2022), maar er wordt wel onderzoek gedaan naar de potentie van de Nederlandse ondergrond voor deze systemen. Er zijn verschillende zones in Nederland waar de technische potentie groot is. Deze liggen voornamelijk in Noord-Holland, Friesland en Groningen en in Zuid-Holland, Noord-Brabant en het noorden van Limburg.

Gezien de ontwikkelingen en ambities op het gebied van energietransitie zal het aantal WKO systemen en geothermie, aquathermie systemen de komende jaren en decennia verder toenemen (bijvoorbeeld Deltafact geothermie: 200 PetaJoule in 2050).



Figuur 5.2 Bestaande bodemenergiesystemen systemen per wijk gecombineerd. Linksboven: totaal aantal gesloten WKO systemen per wijk; rechtsboven: aantal open WKO systemen per wijk; linksonder: diepte gesloten WKO systemen. Bron: <https://wkotool.nl/>

5.3 Mogelijke effecten op grondwaterkwaliteit

Bij drinkwaterbedrijven, waterbeheerders en andere overheden is veel zorg over verspreiding van verontreinigd of zout grondwater als gevolg van bodemenergiesystemen, bijvoorbeeld wanneer WKO systemen dichtbij drinkwaterwinningen, verontreinigingen of zout grondwater liggen. De lokale stroming van het grondwater kan veranderen door aanwezigheid van WKO's, wat effect kan hebben op de stromingsrichting van bijvoorbeeld verontreinigingen. Ook kan mogelijke lekkage bij het doorboren van afsluitende kleilagen in de ondergrond zorgen voor verspreiding van bestaande verontreinigingen en of zout water. Bij de bodemenergiesystemen en geothermie worden hulpstoffen gebruikt zoals bijvoorbeeld koelvloeistof bij gesloten WKO systemen en bij geothermie o.a. hulpstoffen ter voorkoming van corrosie. Deze hulpstoffen kunnen bij lekkage in het grondwater terecht komen.

Deze risico's zijn ook benoemd in Deltafact bodemenergiesystemen (STOWA). In deze studie worden lokale risico's van opwarming door WKO's op de grondwaterkwaliteit niet meegenomen.

5.3.1 Interferentie met verontreiniging

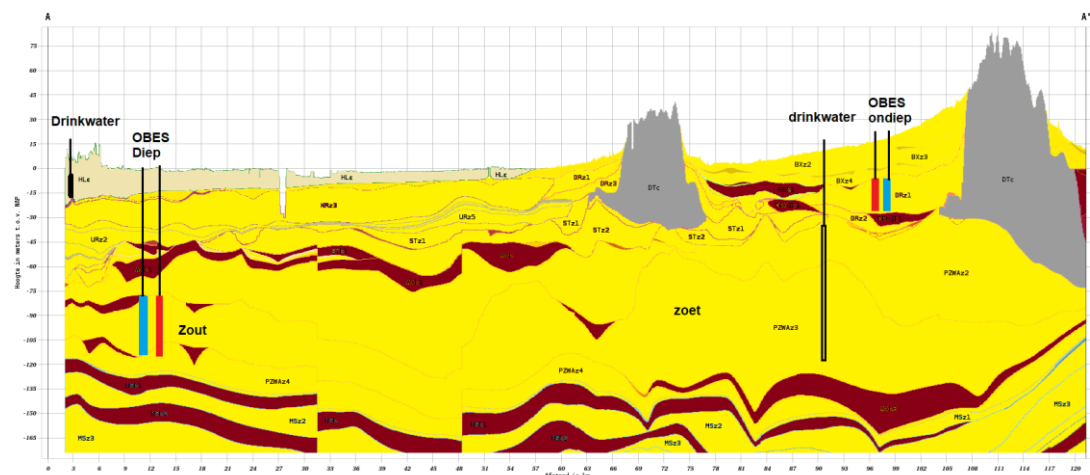
Bij WKO systemen bij grondwaterverontreinigingen zijn de volgende risico's:

- Verspreiding van pluimen door extra grondwaterstroming en het overpompen tussen verschillende WKO-bronnen.
- Extra oplossen van verontreiniging bij bronzones met puur product.
- Uitdamping bij vluchtige verontreiniging doordat bij een onttrekkingsbron de grondwaterstand daalt. Dit risico is er alleen als de verontreiniging in de onverzadigde zone terecht komt of er al is.

In principe is bodemenergie niet toegestaan bij verontreinigd grondwater, maar door middel van het beleidskader gebiedsgericht grondwaterbeheer kan daarvoor een uitzondering worden gemaakt. Een voorbeeld hiervan is de gebiedsgericht aanpak in de stad Utrecht.

5.3.2 Doorboring afsluitende lagen

Bij het aanleggen van bodemenergiesystemen of geothermie worden afsluitende kleilagen in de ondergrond doorboord. Deze kleilagen vormen een afscheiding tussen diepere en ondiepere grondwatervoorraden. Een belangrijke functie hiervan is dat dieper gelegen grondwatervoorraden met een goede kwaliteit worden beschermd tegen toestroom van verontreinigingen vanuit ondiepere grondwaterlagen (Figuur 5.3). Ook werken deze kleilagen vertragend op het proces van verzilting van ondiep grondwater vanuit de diepere ondergrond.



Figuur 5.3 West-oost doorsnede door de ondergrond van Nederland met daarin schematisch de ligging van WKO systemen en drinkwaterwinningen en scheidende lagen in de ondergrond.

Bij onzorgvuldig afdichten van doorboringen in kleilagen is het mogelijk dat ondiepe bodem- of grondwaterverontreinigingen zich naar diepere grondwaterlagen verspreiden. In Hoofdstuk 4 worden diverse types verontreinigingen benoemd, die mogelijk een bedreiging vormen voor de grondwaterkwaliteit. In het geval dat één van deze verontreinigingen via doorboringen naar een diepere laag verplaatst en zich op deze diepte een drinkwaterwinning bevindt, kan dit zorgen voor een verslechtering van de kwaliteit van het drinkwater. Ook de waterkwaliteit van grondwatervoorraden die voor toekomstige drinkwaterwinning zijn aangemerkt, zoals aanvullende strategische drinkwatervoorraden (ASV's; paragraaf 7.3.2), kan verslechteren als gevolg van onzorgvuldige afdichting van doorboorde afsluitende kleilagen.

Anderzijds is het mogelijk dat zout grondwater uit de diepere ondergrond (zie paragraaf 2.3.5, hier is de zoet-zout grens in het grondwater in de diepte te zien) zich naar het ondiepe

grondwater verspreid. Ook dit kan zorgen voor een verslechtering van de kwaliteit van het drinkwater. Daarnaast kan verzilting van het ondiepe grondwater leiden tot verzilting van het oppervlaktewater met negatieve effecten op landbouw en natuur tot gevolg.

Bij het aanleggen van veelal gesloten bodemenergie systemen in poldergebied is het mogelijk dat er door de aanleg in zeer diepe polders, gecombineerd met kweldruk, na afronding van het aanleggen van het systeem lekkage ontstaat. Grondwater stroomt dan uit het eerste watervoerend pakket langs de boorgatwand richting het maaiveld. Afdichten is moeilijk en het kan verzilting veroorzaken. Het is belangrijk om in deze situaties extra aandacht te besteden aan de wijze van afdichting (zie ook handelingsperspectieven in Deltafact bodemenergiesystemen, 2022 STOWA).

5.3.3 Lekkage van hulpstoffen

Bij gesloten WKO systemen wordt vaak gebruik gemaakt van koelvloeistof (glycol of zouten). Bij lekkage kunnen deze stoffen in het grondwater in het pakket waar de lekkage plaats vindt terecht komen met als gevolg verslechtering van de grondwaterkwaliteit. Bij geothermie wordt o.a. gebruik gemaakt van hulpstoffen ter voorkoming van corrosie. Deze stoffen kunnen na lekkage in het grondwatersysteem terecht komen. Hierbij geldt ook dat deze stoffen in eerste instantie terecht komen in hetzelfde pakket waar de lekkage plaats vindt.

5.4 Bodemenergie en grondwaterwinningen

5.4.1 Grondwaterwinning voor drinkwater

Bodemenergie wordt niet toegestaan in grondwaterbeschermingsgebieden rond drinkwaterstations. Bij grondwaterwinningen op grotere diepte geldt lokaal een maximale toegestane boordiepte.

Voor toekomstige drinkwaterwinningen geldt dat deze mogelijk wel worden gepland in gebieden waar bodemenergie wordt toegepast en waar dit mogelijk een risico geeft. De directe impact van bodemenergie op de kwaliteit van een drinkwaterwinning lijkt overigens beperkt. De risico's zitten vooral in de indirecte, mogelijke gevolgen van het aanleggen en gebruiken van bodemenergiesystemen, zoals het doorboren en niet adequaat afdichten van kleilagen, het verspreiden van verontreinigingen of het lekken van additieven bij gesloten bodemenergiesystemen en geothermie (zie 5.3).

Andersom geldt wel dat de bescherming van drinkwaterwinningen het gebruik van bodemenergie sterk kan beperken. Vaak is de opgelegde beperking voor bodemenergie gezien de uitgangspunten van beleid fysisch volledig terecht, maar in sommige gevallen zouden sommige vormen van bodemenergie wel zonder risico kunnen worden toegepast. Verbetering van de technieken en toezicht en handhaving kan daarbij helpen. Een voorbeeld is de boringvrije zone in Zuidelijk Flevoland, waarbij door de lage polderpeilen een opwaartse stroming heerst. Boven het diepe drinkwaterpakket liggen meerdere niet-continue kleilagen waardoor bij het bepalen van de maximale boordiepte vaak een zeer ondiepe kleilaag is gekozen. Bij gesloten bodemenergiesystemen tot net boven het drinkwaterpakket zouden mogelijke lekkages de drinkwaterwinning nooit bereiken door de opwaartse stroming.

Voor de strategische grondwatervoorraden geldt dezelfde opmerking als bij drinkwater, met uitzondering dat de bescherming in sommige delen van Nederland nog niet in beleid is vastgelegd.

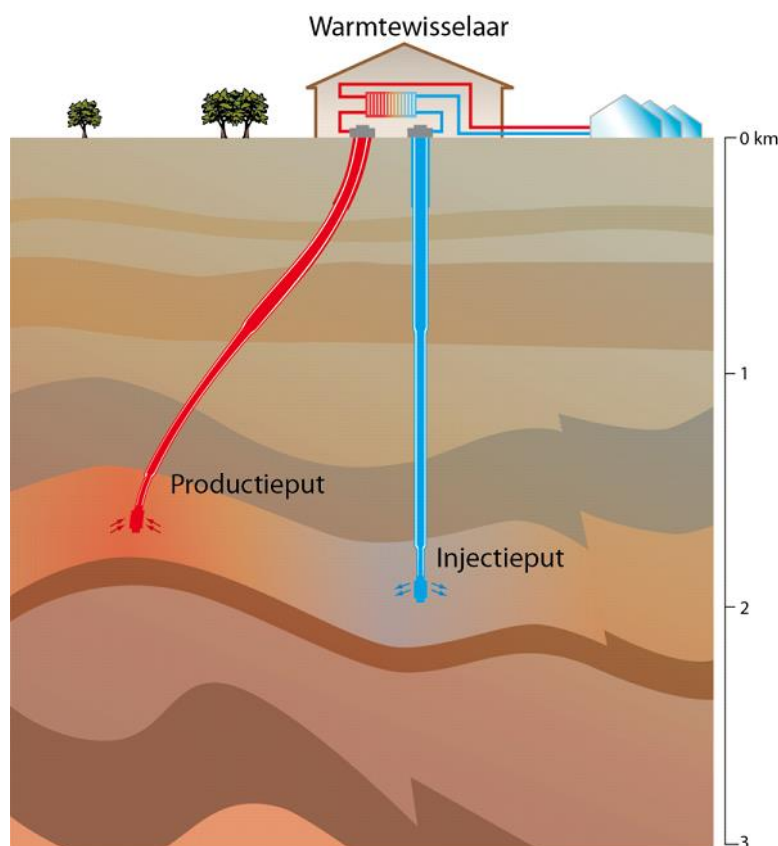
Wat betreft de ruimtelijke verdeling van WKO's in Nederland, kan worden geconstateerd dat in het westelijke deel van Nederland de meeste WKO systemen relatief diep onder scheidende kleilagen in de ondergrond liggen vanwege provinciale regelgeving waarbij het

niet is toegestaan om het 1^e watervoerend pakket te gebruiken. Het 1^e watervoerend pakket voldoet technisch gezien ook voor het gebruik van WKO's. De provinciale wetgeving is opgesteld om de volgende zaken te voorkomen:

1. menging van zoet, brak en zout grondwater,
2. interactie met andere functies waardoor grondwater bestemd voor drinkwater kan worden verontreinigd.

In het oosten van Nederland liggen WKO systemen juist relatief ondiep vanwege de geohydrologische situatie waarbij watervoerende pakketten relatief ondieper liggen en boven scheidende kleilagen in de ondergrond. Figuur 5.3 laat zien dat deze respectievelijk diepe (westen) en ondiepe (oosten) ligging zorgt voor een beperkte directe interferentie met drinkwateronttrekkingen: in het westen wordt drinkwater veelal ondiep gewonnen in het duinengebied terwijl in het oosten het drinkwater meestal wordt onttrokken uit relatief diepe pakketten.

In Figuur 5.4 is te zien hoe de diepte van geothermie zich verhoudt tot de diepte van bestaande drinkwaterwinningen. Drinkwaterwinningen gaan tot ongeveer een diepte van 300 meter. Geothermie vindt plaats op een diepte tussen de 1 en 2 km.



Figuur 5.4 Doorsnede door de ondergrond met een geothermie systeem: tot ca. 2 km diepte, waarbij productieput en injectieput ca. 1 a 2 km horizontale afstand van elkaar hebben.

5.4.2 Industrie

Voor industrieel gebruik van grondwater is de bescherming veel minder dan bij drinkwaterwinningen. De mogelijke risico's van het gebruik van bodemenergie hangt sterk af van het doel van het gebruik van het water. Voor koelwater zullen de risico's bijvoorbeeld minder groot zijn dan voor de productie van frisdranken of bier.

Voor het deel van Nederland met ondiepe open bodemenergie geldt dat de industriële waterwinningen met hoge kwaliteitseisen bij voorkeur in diepere pakketten plaatsvindt en de interactie beperkt is. Voor het deel van Nederland met diepe open bodemenergie zal door het zoute grondwater de industriële winning van grondwater vaak ondiep plaatsvinden en is de interactie ook beperkt.

Voor gesloten bodemenergiesystemen geldt dat deze wel deels in hetzelfde pakket als de industriële winning worden toegepast.

5.4.3 Landbouw

Open en gesloten bodemenergie systemen bevinden zich in stedelijk gebied en hebben niet een dermate grote reikwijdte dat dit invloed heeft op de landbouw. Geothermie voor bijvoorbeeld glastuinbouw bevindt zich wel in de nabijheid van landbouw, maar onttrekt op zodanig grote diepte, dat dit geen invloed heeft op de landbouw. Daarnaast is het opnieuw van belang dat bij doorboring voor geothermie van de afsluitende lagen de juiste maatregelen (zie Deltafact geothermie, STOWA, 2022) worden genomen, zodat er geen lekkage kan ontstaan, wat invloed zou kunnen hebben op de landbouw. Voor landbouw zal vermoedelijk het risico van bovengrondse lekkage van formatiewater het grootste zijn (zie Deltafact geothermie, STOWA, 2022)

5.5 Bodemenergie en stedelijk gebied

Met name open bodemenergiesystemen kunnen ook van invloed zijn op bebouwing en infrastructuur in stedelijk gebied, het gaat dan om effecten op houten funderingen, risico op opbarsting en interferentie met grondwaterbemalingen.

Door wijzigingen in de grondwaterstand kunnen houten paalfunderingen gedeeltelijk droogvallen met kans op paalrot. Ook kan bij funderingen op staal een groter verhang van de grondwaterstand een probleem geven.

Bij een stijghoogteverhoging door een open bodemenergiesysteem zou de bodem kunnen opbarsten of ondergrondse kelders omhoog gedrukt worden. Bij het ontwerp van open bodemenergiesystemen wordt hier wel rekening mee gehouden.

Bij een bemaling voor een infrastructureel werk worden soms grote hoeveelheden warm water onttrokken. Indien deze vlakbij bodemenergiesystemen liggen kan de warme en/of koude bel worden weggetrokken en is deze niet meer beschikbaar om te benutten. In Utrecht is hier bij de aanleg van de Catharijnesingel al een keer een knelpunt over geweest: de bemaling van de Catharijnesingel verstoorde het WKO systeem van het politiebureau Paardenveld.

5.6 Huidige regelgeving bodemenergie

5.6.1 Geothermie

Aangezien geothermie in de diepe ondergrond plaats vindt, is de mijnbouwwet hier leidend met als bevoegd gezag het ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Op 11 oktober 2022 heeft de Eerste Kamer een wijziging van de Mijnbouwwet voor geothermie aangenomen. Deze wetswijziging biedt een passende regelgeving voor geothermie. In het tweede kwartaal van 2023 gaat deze wetswijziging in.

Voor het opsporen en de winning van aardwarmte (geothermie) is een vergunning en ingestemd winningsplan nodig die goedgekeurd worden door het ministerie van EZK. Er dient een geologisch vooronderzoek plaats te vinden, waarbij is vast gelegd waar dit onderzoek

minimaal aan moet voldoen. Na aanvraag en goedkeuring van het vooronderzoek, vindt een gedetailleerd geologisch onderzoek plaats (zie TNO rapport Specificaties geologisch onderzoek voor geothermieprojecten, 2017).

Bij de aanleg van de boorlocatie voor geothermie worden diverse maatregelen genomen (zie GNL factsheet Boren naar Aardwarmte en Deltafact geothermie, STOWA, 2022). Maatregelen worden genomen om lekkage te voorkomen tijdens de aanleg, zowel aan het oppervlakte als in de bodem. Er wordt een zogenaamde conductor tot ca. 250 m diep geplaatst, waarbinnen de put wordt geplaatst. Door het zo diep mogelijk plaatsen van de conductor worden de ondiep zoete of brakke grondwaterlagen fysiek gescheiden van de productie- en injectieput. Daarbovenop heeft de geothermiesector kortgeleden een industriestandaard Duurzaam Putontwerp opgesteld, waaraan alle leden van Geothermie Nederland gehouden zijn. In essentie schrijft deze industriestandaard voor dat de reguliere diepe geothermieputten, die ontworpen zijn na 1 januari 2021, een dubbele barrière bevatten in het bovenste deel van de put. Door deze aanpassing van het putontwerp kan daar continue gemonitord worden óf er problemen zijn met de ondergrondse verbuizing. Hierdoor wordt het risico op lekkage naar zoete of brakke grondwaterlagen tijdens de productie weg genomen.

5.6.2 Open bodemenergiesystemen

Voor open bodemenergiesystemen is in de meeste gevallen een watervergunning nodig voor de onttrekking van grondwater. De provincie verleent de watervergunning voor de onttrekking op basis van de Waterwet. Voor het verkrijgen van een vergunning worden de potentiële milieu-hygiënische en hydraulische gevolgen van het open systeem onderzocht en waar mogelijk beperkt of voorkomen.

Met de komst van het Wijzigingsbesluit bodemenergiesystemen worden er via instructieregels voorschriften aan de vergunning verbonden die onder meer toezien op de retourtemperatuur en energiebalans. De vergunning vervult daarmee een belangrijke rol in de borging van de kwaliteit van bodem en grondwater.

Voor ontwerp, realisatie en beheer van het ondergrondse deel van installaties voor bodemenergie zijn richtlijnen en protocollen vastgelegd (zie website BRL SIKB 11000 Ondergronds deel Installaties bodemenergie, <https://www.sikb.nl/bodembeheer/richtlijnen/brl-sikb-11000>). Het doel van deze richtlijnen en protocollen wordt als volgt geformuleerd: *Dit protocol is ontwikkeld om het doelmatig en zorgvuldig gebruik van de ondergrond door bodemenergiesystemen te bevorderen. Bij toepassing van bodemenergie wordt de ondergrond gebruikt voor een energiezuinige techniek. Elke ingreep in de bodem is in principe een verstoring. De overheid stelt vanuit het oogpunt van bodembescherming de eis, dat de ingreep in de bodem minimaal en nuttig is. Het opvolgen van de eisen in dit protocol leidt tot bodemenergiesystemen die robuust en betrouwbaar zijn, daadwerkelijk energiebesparing opleveren en duurzaam gebruik maken van de ondergrond.*

Een onderdeel van het protocol is vooronderzoek de volgende aspecten worden verzameld:

1. Lokale situatie: o.a. aanwezigheid bodemverontreiniging op de locatie
2. Omgeving: o.a. onttrekkingen, open en gesloten bodemenergiesystemen in de omgeving, bodemverontreiniging in de omgeving, zettingsgevoelige objecten, grondwaterafhankelijke natuur, nabijheid waterkerende constructies.
3. Geohydrologische situatie: bodemopbouw (karakterisering en schematisering van de ondergrond), freatische grondwaterstanden en stijghoogten in de watervoerende lagen, grondwaterstroming en -richting in de watervoerende lagen, oppervlaktewatersysteem (voor zover relevant), waterkwaliteit (zoet/zout, redox, gasgehalte) en bodemtemperatuur (in relatie tot de diepte)

Daarnaast wordt er ingegaan op detailinformatie betreffende het aanvullen van het boorgat, ter voorkoming van lekkage.

5.6.3 Gesloten bodemenergiesystemen

Installatie of wijziging van gesloten bodemenergiesystemen moet altijd gemeld worden bij bevoegd gezag. Afhankelijk van de grootte en de locatie is naast de melding ook een omgevingsvergunning beperkte milieutoets nodig (bij een vermogen meer dan 70 kW en binnen een interferentiegebied).

Ook voor een gesloten bodemenergiesysteem zijn richtlijnen en protocollen vastgelegd in hetzelfde document als voor open bodemenergiesystemen. In het vooronderzoek worden dezelfde gegevens verzameld, met uitzondering van waterkwaliteitsgegevens bij de geohydrologische situatie.

5.6.4 Toepassing en handhaving in de praktijk

Het bestaande beleid en regelgeving ten aanzien van de ondergrondse energiesystemen is op bepaalde punten onvolledig en/of niet passend bij de werkelijke situatie. Zo wordt informatie over de diepte van de verschillende bodemenergie toepassingen (vaak) niet meegenomen en zijn er onduidelijkheden over de aanwezigheid van grondwaterverontreinigingen. Daarnaast zijn open WKO systemen vaak over gedimensioneerd en wordt een grotere claim op de ondergrond gelegd dan na realisatie noodzakelijk blijkt te zijn. In de praktijk blijkt dat bij de afdichting van kleilagen na doorboringen voor gesloten WKO systemen regelmatig geen rekening wordt gehouden met de lokale situatie en daardoor niet correct wordt uitgevoerd met lekkage als gevolg.

Het is voor beleidsmakers veelal onduidelijk hoe de toenemende vraag om gebruik van het bodem en grondwater systeem voor de warmtetransitie past bij de bescherming van het grondwater voor o.a. drinkwatergebruik en bescherming van de grondwaterkwaliteit en andere toekomstige functies in het bodem en grondwater systeem. Als gevolg hiervan kunnen risico's van bodemenergiesystemen worden overschat ten aanzien van de grondwaterkwaliteit en ontstaat er een tegenstelling in belangen tussen de energiesector enerzijds en drinkwaterbedrijven, water- en natuurbeheerders en industriële winningen anderzijds.

Er is behoefte aan inzicht over wat wel mogelijk is om bodemenergie optimaal uit te voeren, zonder risico's te nemen die mogelijk in de toekomst de bescherming van het bodem- en grondwaterkwaliteit zullen aantasten.

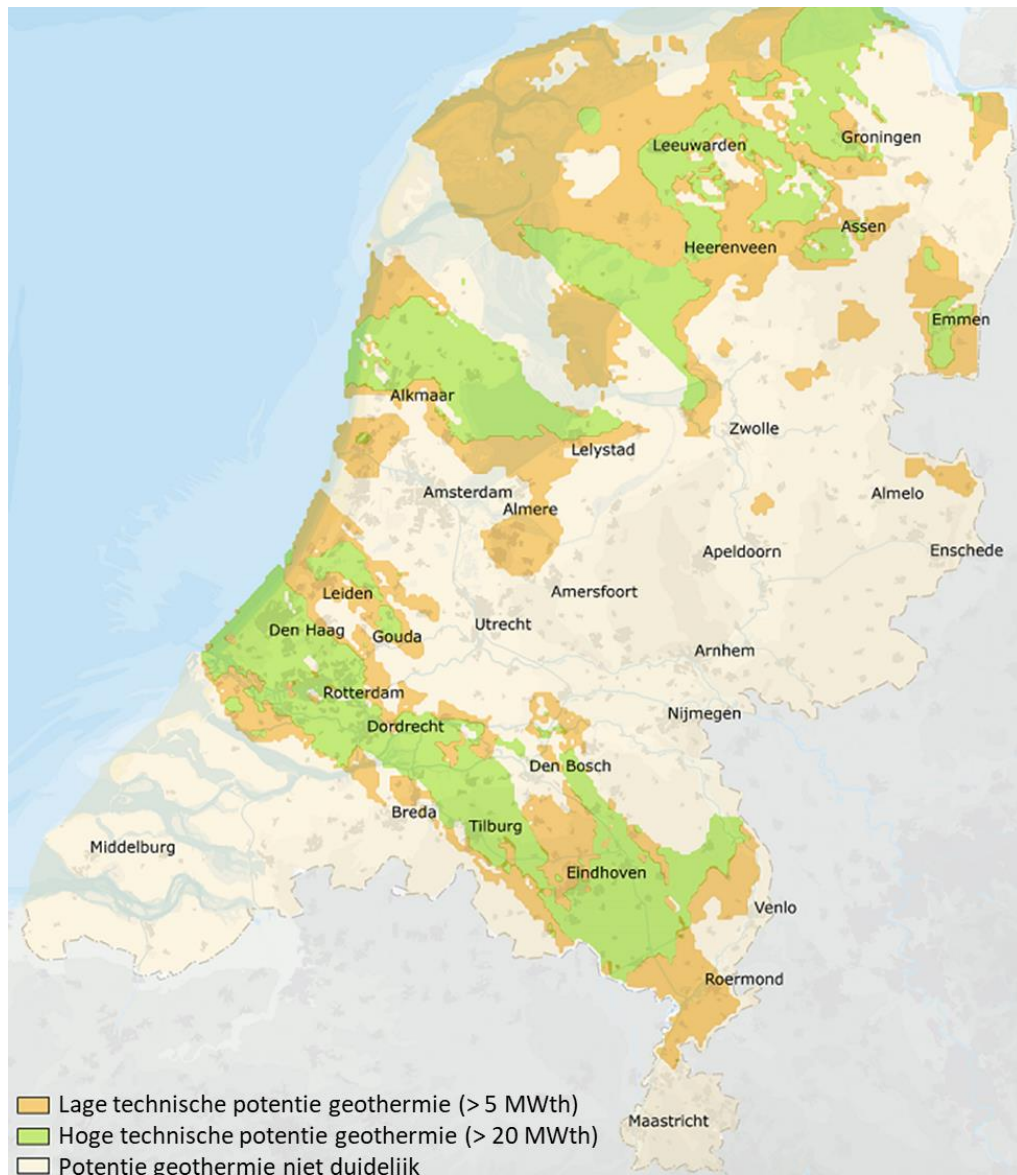
Het is van belang om inzicht te krijgen in hoeverre doorboringen lekkage kunnen veroorzaken en onder welke omstandigheden dit een risico vormt voor de grondwaterkwaliteit.

Het beschermingsbeleid drinkwaterwinningen kan in sommige gebieden ontoereikend zijn terwijl het in andere gebieden mogelijk te belemmerend is: er wordt in sommige gevallen een te restrictief beleid gevoerd. Door goed inzicht in het grondwatersysteem o.a. rond drinkwatervoorzieningen kan de potentie voor bodemenergie mogelijk beter worden benut.

Voor de woonopgave voor de toekomst is het van belang om rekening te houden met WKO potentie zodat energie neutrale woonwijken kunnen worden gebouwd.

Geothermie is zeer interessant voor de glastuinbouw in het westen van Nederland, waar de discussie met drinkwaterbedrijven minder speelt omdat het merendeel van het drinkwater hier niet uit het grondwater wordt gewonnen. Daarnaast heeft de glastuinbouw een grote netto warmte vraag en veel minder een koude vraag. In Figuur 5.5 wordt de technische potentiekaart geothermie weergegeven. Voor een deel van Nederland is deze potentie bekend. TNO werkt aan verdere uitbreiding van deze kaart.

Het gaat bij deze aandachtspunten vaak om specifieke, lokale situaties. Deze komen inmiddels echter in veel gebieden in Nederland voor en dit zal nog verder toe gaan nemen door de vraag naar opschaling van energiesystemen in het bodem en grondwater systeem.

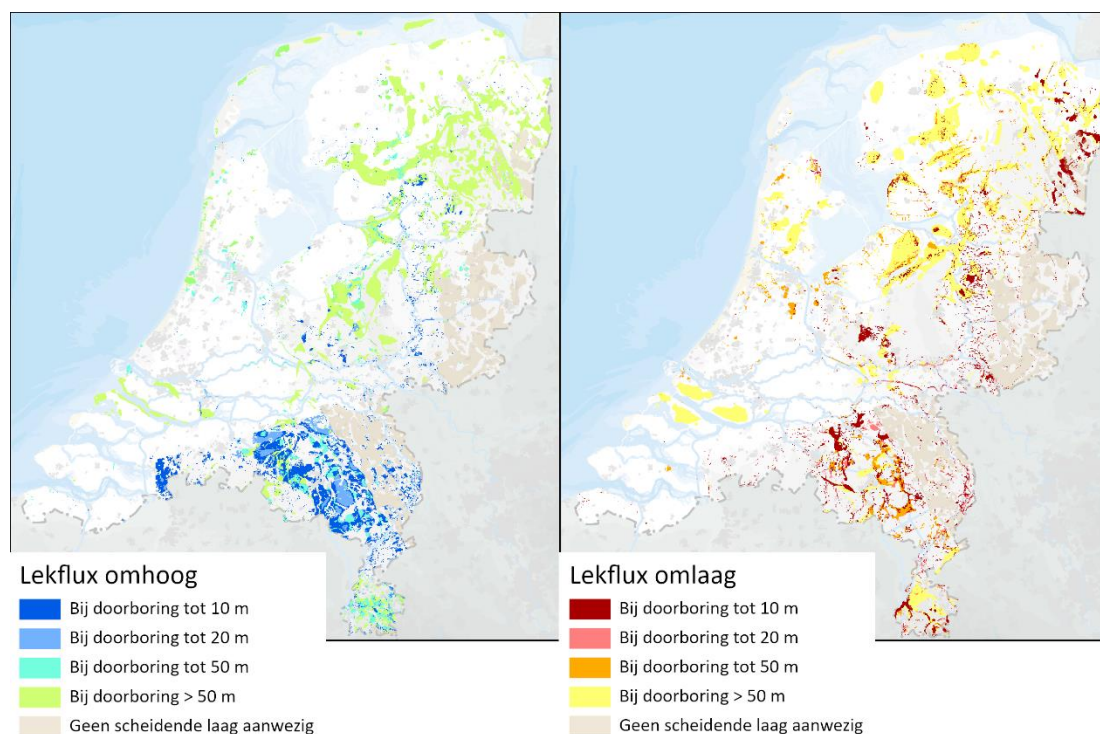


Figuur 5.5: Technische potentie geothermie) Bron: TNO via ThermoGIS (www.thermogis.nl, versie oktober 2022) Gebieden met potentie geothermie niet duidelijk betekent de gebieden waar nog geen onderzoek is gedaan naar potentie geothermie.

5.7 Inzicht in risico's voor drinkwaterwinning als gevolg van doorboringen

Door kwetsbaarheid van het bodem en grondwater systeem voor doorboringen inzichtelijk te maken, is het mogelijk in beeld te krijgen in welke gebieden en op welke diepte ruimte is voor ondergrondse energiesystemen zonder dat daar risico's voor drinkwatersysteem en grondwaterkwaliteit ontstaan. Zoals in paragraaf 6.6 aangegeven, zijn er uitgebreide richtlijnen, protocollen, wetgeving (geothermie) om het bodem en grondwatersysteem te beschermen. Beleid kan echter soms te restrictief zijn in sommige gevallen en niet beredeneerd vanuit de kwetsbare gebieden.

Figuur 5.6 toont gebieden waar het grondwater kwetsbaar is voor verspreiding van verontreiniging als gevolg van doorboring van scheidende lagen. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen gebieden waar lekkage van ondiep grondwater naar lager gelegen grondwaterlagen kan optreden (Figuur 5.6, links) en gebieden waar lekkage van dieper grondwater naar hoger gelegen grondwaterlagen kan optreden (Figuur 5.6, rechts). Zichtbaar is dat in met name in oost Brabant risico is op een lekflux omhoog of omlaag. Aan de noordzijde van de Veluwe is risico op een lekflux omlaag, terwijl op sommige plaatsen op de Veluwe risico is op een lekflux naar boven. Noord Nederland laat her en der risico op lekflux omhoog en omlaag zien. Advies is om deze kaarten als leidraad te gebruiken om extra aandacht te geven aan handhaving van richtlijnen en protocollen zoals beschreven in paragraaf 5.4.



Figuur 5.6: Potentiele lekfluxen omhoog (links) en omlaag (rechts) bij doorboring van scheidende kleilagen op verschillende dieptes (Risico op ontstaan van een lekflux groter dan $0,01 \text{ m}^3/\text{dag}$ als de doorlatendheid van de opvulling van het boorgat $[m/d]$ 1 zou zijn). Bron: bewerking van kaarten uit Van Vliet et al. 2022. In Bijlage E wordt in meer detail toegelicht hoe deze kaart tot stand is gekomen.

5.8 Knelpunten

In het Oosten en Zuidoosten van Nederland bevinden zich vaak nog drinkwaterwinningen in stedelijk gebied, waarbij grondwater uit relatief diepe pakketten wordt onttrokken. Dit vormt een knelpunt voor aanleg van bodemenergiesystemen in deze steden, terwijl er een groeiende behoefte aan bodemenergiesystemen bestaat juist in stedelijk gebied. Deze bodemenergiesystemen worden in de ondiepe pakketten aangelegd. Omdat de drinkwaterwinning en het bodemenergie systeem zich niet in hetzelfde pakket bevinden en er zich afsluitende kleilagen tussen bevinden, zit het risico alleen in de mogelijk niet goed afgesloten doorboringen van kleilagen. Advies is om de lekfluxkaarten (Figuur 5.6) als leidraad te gebruiken om extra aandacht te geven aan handhaving van richtlijnen en protocollen zoals beschreven in paragraaf 5.6. Daarnaast is gebleken dat een stakeholderproces waarbij de barrières die verschillende stakeholder partijen zien, kan helpen om deze barrières te overbruggen en oplossingen te vinden. In module 2 waarbij

wordt ingezoomd op een casus met een knelpunt zal met advocacy models een dergelijk proces worden begeleid.

Hetzelfde geldt voor geothermiesystemen: er is een groeiende vraag in stedelijk gebied om geothermie toe te passen voor de warmtetransitie in stedelijk gebied. In Oost en Zuidoost Nederland, maar ook in het duinengebied in West Nederland, waar water wordt opgeslagen door drinkwaterbedrijven, leidt dit tot zorgen in de drinkwatersector. Hierbij zou tevens een stakeholderproces inzicht kunnen geven in de wederzijdse belangen en mogelijke oplossingen. Of er ook daadwerkelijk potentie is voor geothermie in Oost Nederland is nog niet bekend. Zie Figuur 5.5, hier zijn de grijze vlakken de gebieden waar nog niet is onderzocht of er potentie is voor geothermie. Thermogis krijgt op regelmatige basis een update. In het noorden van Noord Holland, delen van Friesland, Zuid-Holland en delen van Noord Brabant is wel bekend dat hier potentie is voor geothermie. In deze gebieden kan een regionale of lokale analyse gedaan worden waarbij de potentie gecombineerd wordt met de behoefte en/of wens vanuit de regio. Aanbevolen wordt om op het moment dat de (technische) potentiekaart van Nederland compleet is, deze kaart te combineren met de behoefte aan geothermie in stedelijk gebied en tuinbouw.

Een ander knelpunt is de keuze om in bepaalde regio's een boringvrije zone toe te passen ter bescherming van de grondwaterkwaliteit t.b.v. drinkwaterwinningen, zoals bijvoorbeeld in Zuid Flevoland en Brabant, waardoor er geen mogelijkheid is om bodemenergie of geothermie toe te passen. In sommige gevallen zouden vormen van bodemenergie wel zonder risico kunnen worden toegepast, zoals bijvoorbeeld in Zuid Flevoland waar een opwaartse stroming bestaat, of in gebieden waar de lekflux heel klein is (zie Figuur 5.6) . Verbetering van de technieken en toezicht en handhaving kan daarbij helpen.

In het algemeen is er een zorg over de afdichting na doorboring van kleilagen, met name bij installatie van gesloten bodemenergie systemen. Dit knelpunt is niet locatie specifiek, maar speelt in heel Nederland. KWR en Deltares hebben vorig jaar een studie uitgevoerd naar betrouwbaar aanvullen van boorgaten voor gesloten bodemenergiesystemen (Van der Schans et al. 2022). In het rapport van deze studie worden aanbevelingen gedaan gericht op het verlagen van de kans op lekkage, waaronder aanbevelingen ter verbetering van de afdichting qua boortechniek en aanvulmateriaal, maar ook op het gebied van kwaliteitsbewaking .

Een aantal overige mogelijke knelpunten zijn:

1. Aanwezigheid van verontreinigingen in het pakket waar men bodemenergie wil toepassen; als dat niet in een gebiedsgerichte aanpak is geregeld is de aanwezigheid van een verontreiniging een knelpunt voor bodemenergie als ze in hetzelfde pakket zitten. Dit geldt voor al het stedelijk gebied in Nederland waar zich verontreinigingen bevinden. De uitzondering is West Nederland, waar uit voorzorg een verbod is op bodemenergie in het eerste pakket (waar de verontreinigingen zich bevinden). Aanbeveling hierbij is om een landsdekkend beeld van verontreinigingen te ontwikkelen (zie ook het eerste punt van de suggesties voor kennisverdieping).
2. Toekomstige tijdelijke bemalingen bij infrastructuur- en bouwprojecten; deze kunnen beperkt worden door warme en koude bellen van bodemenergie of in ieder geval een privaatrechtelijk conflict veroorzaken. Hier geldt ook dat dit geldt voor al het stedelijk gebied in Nederland, met de uitzondering West Nederland vanwege het verbod op bodemenergie in het eerste pakket.
3. Mogelijkheden voor ondergrondse opslag van bijvoorbeeld radioactief afval, . De aanwezigheid van een geothermieput kan een gevolg hebben voor potentie opslaglocaties. Dit knelpunt is op dit moment nog niet specifiek aan een bepaalde

locatie/regio gekoppeld. De potentiële zoekgebieden voor opslag van radioactief afval liggen binnen de onderzoeksprojecten verspreid over het land.

5.9 Suggesties voor kennisverdieping

Op welke onderwerpen moet meer data verzameld worden?

- Bodem en grondwater verontreinigingen om meer inzicht te krijgen hoe de risicokaart doorboringen kan worden gecombineerd met verontreinigingsgegevens. Als de risicokaart aan geeft dat er aanleiding is voor een mogelijk risico dat er neerwaartse lekkage optreedt, is het relevant om te weten of er verontreinigingen met deze neerwaartse lekkage mee komen. Hierbij is het ook zeer relevant om deze data actueel en toegankelijk te houden. Er zijn plannen voor een landsdekkend beeld van verontreinigingen vast te leggen in BRO fase 2.
- Overzicht van WKO' potentiekaart: waar is er behoefte aan WKO?
- Geothermie potentiekaart landsdekkend en gedifferentieerd in de diepte (is nu alleen voor delen van Nederland beschikbaar).
- Informatie over lekkages die in het verleden hebben plaats gevonden bij WKO's en geothermie
- Hoe vaak treedt er in de praktijk kortsluiting op tussen watervoerende pakketten?

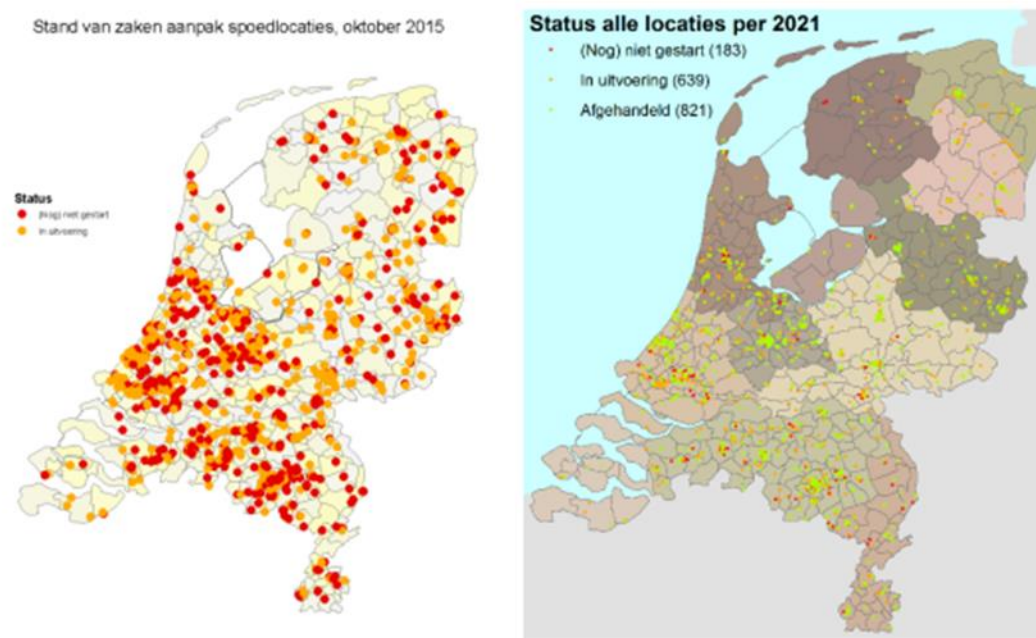
Op welke onderwerpen moet meer analyse gedaan worden, op nationale schaal?

- Hoe kunnen WKO's ingezet worden voor stimulering van biologische afbraak: onder welke omstandigheden is dit effectief, waar biedt dit kansen? Er is al veel bekend over dit onderwerp, maar om verder onderzoek te doen zijn er pilots nodig en is het van belang om inzicht te hebben of dit een behoefte is vanuit WKO eigenaars. Op dit moment loopt dit met name stuk op organisatorische belemmeringen omdat de eigenaar van het WKO systeem en de eigenaar van de verontreiniging verschillende partijen met verschillende belangen zijn.
- Optimalisatie van opschaling van WKO's. Veel gehoord probleem is, dat in het verleden geen regie is geweest op WKO's waardoor de verdeling niet optimaal is. Hier wordt onderzoek aan gedaan, zoals bijvoorbeeld in gemeente Rotterdam.
- Meer inzicht in potentieel lekgedrag vanuit geothermieputten naar watervoerende pakketten: op dit onderwerp worden nu studies uitgevoerd op regionale schaal.

Op welke onderwerpen kunnen regionale cases meer inzicht bieden?

- Wat is het effect van een lekkage op een bepaalde diepte bij WKO of geothermie? Wat is het verspreidingseffect: ook dit onderwerp wordt opgepakt in lopende studies.
- Hoe kunnen stakeholders in een beginfase beter betrokken worden zodat er meer begrip ontstaat bij alle partijen hoe de ruimtelijke belangen van grondwater en bodemenergie zich tot elkaar verhouden. Een voorbeeld is een geothermie doublet tegen het drinkwaterwingebied van Heemskerk aan. Bij het winningsplan zijn HHNK en PWN betrokken en werd het voor hen al snel duidelijk dat er tot de eerste 100m een conductor en casing wordt geplaatst en dat de drinkwaterwinning veel ondieper plaats vindt.
- Bij bemalingen bestaat er ook een risico op interferentie met WKO's in de nabijheid met een conflictsituatie als gevolg. Hierbij spelen vragen zoals hoe vaak deze situatie voorkomt, wat is acceptabel en wanneer is compensatie gepast.
- Inzicht in meekoppelkansen bodemenergie en verbeteren waterkwaliteit. Wanneer ondergrondse energiesystemen interfereren met vervuild grondwater, kan dit risico's opleveren zoals verspreiden of verergeren van de vervuiling. De redoxcondities die van belang zijn voor biologische afbraak, kunnen zodanig veranderen dat de condities voor afbraak verbeteren of juist verslechteren. Er zijn ook onderzoeken waarbij in het

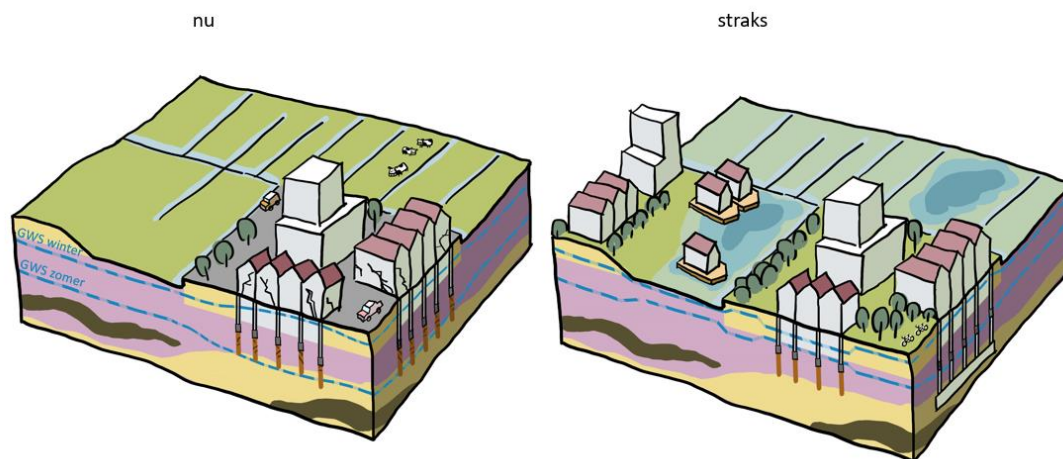
beleidskader gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt gezocht naar het gebruiken van ondergrondse energiesysteem om juist zuivering in de ondergrond te versnellen, bijvoorbeeld door het toevoegen van de juiste bacteriën om biologische afbraak van verontreinigingen te stimuleren. Dit behoeft zorgvuldige afweging en in de praktijk wordt dit nog nauwelijks toegepast (SKB, 2012) [Meer-Met-Bodemenergie.pdf \(soilpedia.nl\)](#). In Nederland zijn talloze kleinere en grotere locaties met bodemverontreinigingen, de locaties met onaanvaardbare risico's worden aangepakt (zie Figuur 5.7). Daarnaast zijn er ook locaties met minder risico, waarop gelet moet worden bij plannen en aanleg van ondergrondse systemen.



Figuur 5.7 Voortgang aanpak spoedlocaties 2015-2021 (Bron. [voortgang-aanpak-bodemverontreiniging-met-onaanvaardbare-risico2021_definitief_versie-3-0_schoon.pdf](#))

6 Stedelijke gebied en grondwater (focus op Laag Nederland)

Rekening houden met grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied.



Figuur 6.1 Situatie van het stedelijk gebied en de omgeving in Laag Nederland in de huidige situatie (links) en in een mogelijke toekomstige situatie waarbij in bestaand en nieuw stedelijk gebied rekening is gehouden met veranderingen van grondwaterstanden:

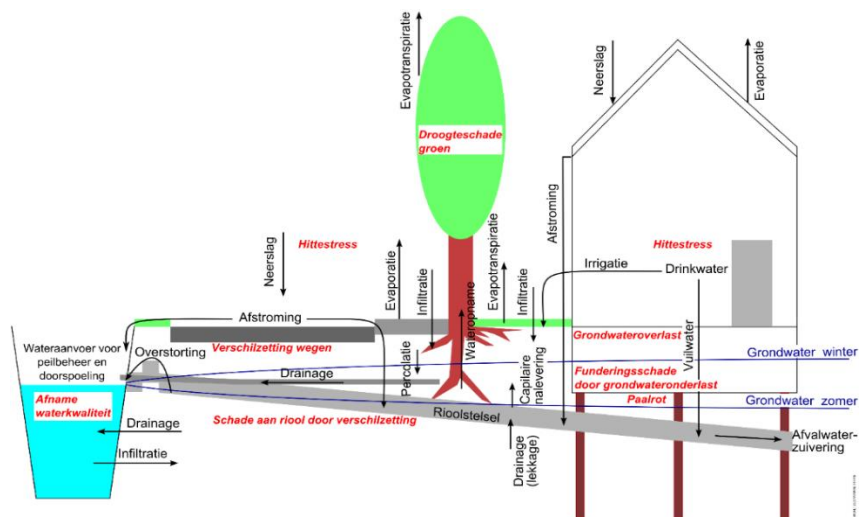
- nieuwe bebouwing in minder kwetsbare gebieden;
- nieuwe bebouwing aanpassen op vernatting en grondwaterdynamiek;
- bestaande bebouwing aanpassen aan grondwaterdynamiek (oa. andere fundering);
- actief grondwaterbeheer bij bebouwing die niet (op korte termijn) kan worden aangepast.

Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A

6.1 Stedelijk gebied kwetsbaar voor veranderingen grondwater

In het stedelijk gebied van Nederland (vooral Laag Nederland) is sprake van verschillende complicaties die verband houden met grondwater. Bebouwde gebieden kenmerken zich door een bouwwijze en wijze van bouwrijp maken die is afgestemd op een voor bebouwing geoptimaliseerd water- en ondergrondsysteem. Uitgaande van continuïteit van die stabiele, optimale situatie, wordt er 'op het scherpst van de snede' opgehoogd en gebouwd (zie Figuur 6.1 en Figuur 6.2).

Een gevolg hiervan is dat overlast en schades ontstaan wanneer die optimale situatie verdwijnt doordat grondwaterstanden structureel dalen of stijgen of de fluctuaties van het grondwater toenemen (groter verschil tussen hoge en lage grondwaterstanden) als gevolg van klimaatverandering (Figuur 6.3). Het niet bestand zijn tegen veranderende grondwaterstanden kenmerkt de stadsdelen die risico's lopen door klimaatverandering (afwisseling van grondwateroverlast en -onderlast). Daarbij komt de toename van de verstedelijkingsdruk en daarmee de drukte/verrommeling van de ondergrond. Dit leidt tot grotere heterogeniteit van de grondwaterregimes in bebouwde gebieden, en daarmee ook tot toename van grondwater gerelateerde risico's: In de volgende paragrafen worden de belangrijkste risico's (bodemdaling, grondwateroverlast, verschildzetting, paalrot) verder toegelicht.



Figuur 6.2 Dwarsdoorsnede van straat in Laag Nederland met daarin grondwater gerelateerde overlast/schade (rode letters) en stedelijke waterbalansfactoren die daarin een rol spelen (zwarte letters).



Inschating dynamiek grondwaterstanden
[Op basis van scenario 2050 Hoog]

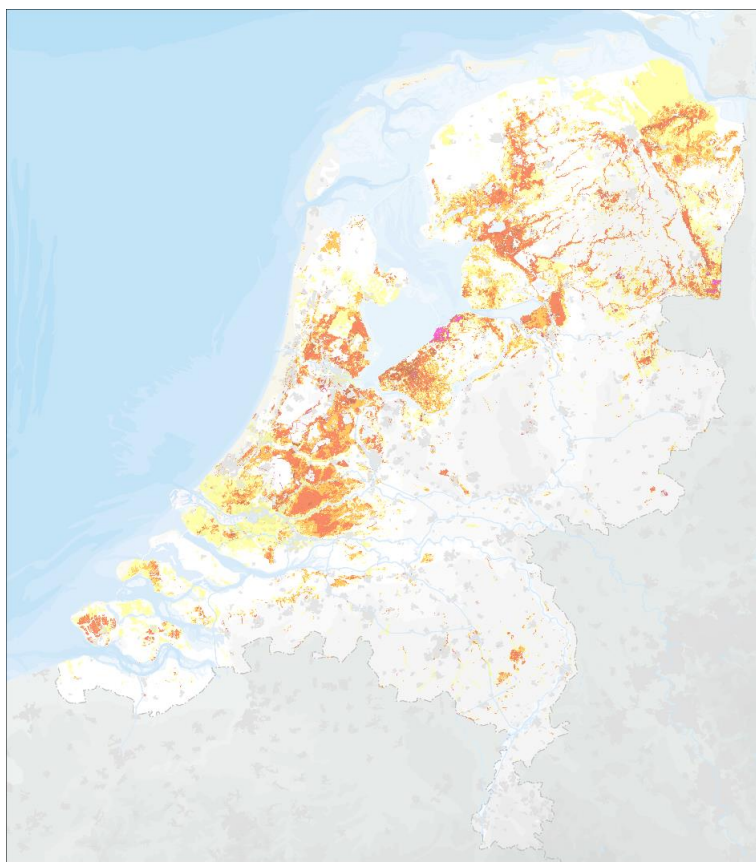
- Sterke verandering (> 100 cm)
- (25 - 100 cm)
- Lichte verandering (10 - 25 cm)
- Nauwelijks verandering

Figuur 6.3 Verandering grondwaterdynamiek in 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H scenario) en peilindexatie. De grondwaterdynamiek is het verschil tussen gemiddeld hoogste (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) en is berekend met het Landelijk Hydrologisch Model (bron: Deltares, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl).

6.1.1 Bodemdaling en CO₂ uitstoot in veenweidegebied

Op veel plekken in Nederland daalt de bodem. In laagveengebied (ca 85% van alle veengronden) daalt de bodem als gevolg van zetting, inklinking en veenoxidatie. Inklinking en veenoxidatie worden vooral veroorzaakt door ontwatering en hierdoor verlaagde grondwaterstanden in het veen. Oxidatie van veengrond leidt tot uitstoot van broeikasgassen (Schrier-Uijl et al., 2014). CO₂ emissies uit Nederlandse veengebieden vormen 2 tot ruim 4% van de totale broeikasgasuitstoot in Nederland (Hendriks, 2009).

Als gevolg van klimaatverandering zullen grondwaterstanden in de zomer waarschijnlijk dalen (zie paragraaf 2.3). Het doorgaan met het verlagen van polderpeilen om het dalende maaiveld te volgen (de zgn. peilindexatie) zal vervolgens leiden tot verdere bodemdaling en CO₂ uitstoot. In stand houden van die cyclus leidt de komende decennia tot het voortschrijden van de bodemdaling in het veenweidegebied. Figuur 6.4 toont de verwachte bodemdaling tussen nu en 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H scenario), peilindexatie en gas- en zoutwinning.



Bodemdaling tussen nu en 2050

Value

- Verwaarloosbaar
- Beperkt (3 tot 10 cm)
- Matig (10 tot 20 cm)
- Vrij sterk (20 tot 40 cm)
- Sterk (40 tot 60 cm)
- Zeer sterk (> 60 cm)

Figuur 6.4 Bodemdaling tussen nu en 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H scenario), peilindexatie en gas- en zoutwinning. Aan deze kaart liggen berekeningen ten grondslag van het Landelijke Hydrologisch Model en het bodemdalingsmodel Atlantis (bron: Deltares WEnR & TNO, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl). NB. de productiewijze van de bodemdalingscijfers voor Flevoland wijkt af van andere delen in Nederland, waardoor de onzekerheid van de berekende bodemdaling tot 2050 hier hoger is dan in andere gebieden.

Bodemdaling leidt - zeker als die ongelijkmatig optreedt - tot extra beheerkosten van infrastructuur, rioleringen en openbare ruimte, maar ook tot schade aan funderingen. De kosten kunnen tot 2050 oplopen tot 2 miljard (PBL, 2016). Bodemdaling leidt ook tot verdroging van hoger gelegen natuurgebieden en tot een verslechtering van de waterkwaliteit. Tot slot neemt met name in de diepe polders waarin het veen verdwijnt en de bodem daalt, op termijn het risico op verzilting en overstromingen toe.

6.1.2 Vernatting veenweidegebied

Om CO₂-uitstoot en bodemdaling in veenweidegebieden tegen te gaan, zijn gebieden aangewezen waar geleidelijk aan vernatting zal worden toegepast door middel van een verhoging van het oppervlaktewaterpeil naar 20 tot 40 cm onder maaiveld (zie kamerbrief 'Water en Bodem sturend', 25 november 2022). Deze maatregel zal waarschijnlijk leiden tot een stijging van de grondwaterstand in nabijgelegen stedelijk gebied. Figuur 6.5 toont een overzicht van deze gebieden en de ligging ten opzichte van stedelijke kernen. Tijdens droge zomers zal de maatregel een mitigerend effect hebben op bodemdaling en schade als gevolg van verschilzettingen. Het verhogen van de oppervlaktewaterpeilen kan anderzijds wel leiden tot een toename van de grondwateroverlast tijdens winterperioden.



Figuur 6.5 Overzicht van gebieden waar mogelijk peilverhoging zal worden toegepast. Bron: Studie "Water en bodem sturend" / Deltares, 2022.

6.1.3 Grondwateroverlast

Grondwateroverlast ontstaat wanneer gebruiksfuncties worden aangetast door hoge grondwaterstanden. Naar schatting zijn er in Nederland circa 150.000 woningen gevoelig voor grondwateroverlast (bron: KPMG-Grontmij, 2001). Bij grondwateroverlast gaat het om

hoge luchtvochtigheid in huis en schimmelvorming door natte kruipruimtes of optrekkend vocht in muren, doorslaand vocht in kelders, drassige tuinen en langdurig natte groenstroken in de wijk, schade aan stedelijk groen en schade aan panden als gevolg van wijziging in de opwaartse waterdruk onder de fundering.

In de KNMI'14 klimaatscenario's neemt de neerslag in de winter toe, terwijl de verdamping ongeveer gelijk blijft. Een gevolg daarvan is dat de aanvulling van het grondwater toeneemt, waardoor de grondwaterstand in de winterperiode (gekenmerkt door de GHG) stijgt, kwel (uittredend grondwater) toeneemt en daarmee de kans op overlast groter wordt. Ook bodemdaling vergroot de kans op grondwateroverlast.



Verwachte toename grondwateroverlast

[Onder klimaatscenario 2050 Hoog]

- Zeer kleine kans toename
- Kleine kans toename
- Matige kans toename
- Grote kans toename
- Zeer grote kans

Figuur 6.6: Verwachte toename van mogelijke grondwateroverlast voor stedelijke functies (gebouwen, infrastructuur, tuinen en groenvoorziening) tussen nu en 2050 onder KNMI'14 W_H klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie. De kaart toont waar, in welke mate de kans op grondwateroverlast toeneemt. De kaart zegt niets over het optreden van overlast in de huidige situatie. (Bron: Deltares via Klimateffectatlas, www.klimateffectatlas.nl).

Figuur 6.6 toont op welke plaatsen en in welke mate de kans op grondwateroverlast toeneemt tussen nu en 2050 (onder KNMI'14 W_H klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie). Het risico is met name groot voor stedelijke functies, zoals gebouwen, infrastructuur, tuinen en groenvoorziening. In gebieden met een relatief hoge gemiddelde

wintergrondwaterstand ($\text{GHG} < 1.1$ meter), wordt voor het stedelijk gebied bij een stijging van meer dan 0,1 meter en voor het landelijk gebied bij stijging van meer dan 0,2 meter uitgegaan van een (zeer) grote kans op toename van grondwateroverlast. De kaart zegt alleen iets over de verandering tot 2050 en niets over het optreden van overlast in de huidige situatie.

De GHG neemt tussen nu en 2050 het meeste toe op de hoge zandgronden en hoge delen van Limburg. Daar is de kans op overlast echter klein doordat het grondwater hier diep onder het maaiveld ligt. Anderzijds hebben veel huizen daar kelders, waardoor toch ernstige overlast kan ontstaan. De verantwoordelijkheid daarvoor ligt overigens volledig bij de woningeigenaar. Aan de randen van hoge zandgronden en duinen en in beekdalen neemt de kans op overlast wel toe door de stijging van de GHG: het grondwater zit hier ondiep en er treedt in toenemende mate kwel op. Ook neemt de kans op overlast flink toe op plaatsen waar bodemdaling optreedt en het peil van nabij gelegen oppervlaktewater relatief hoog blijft.

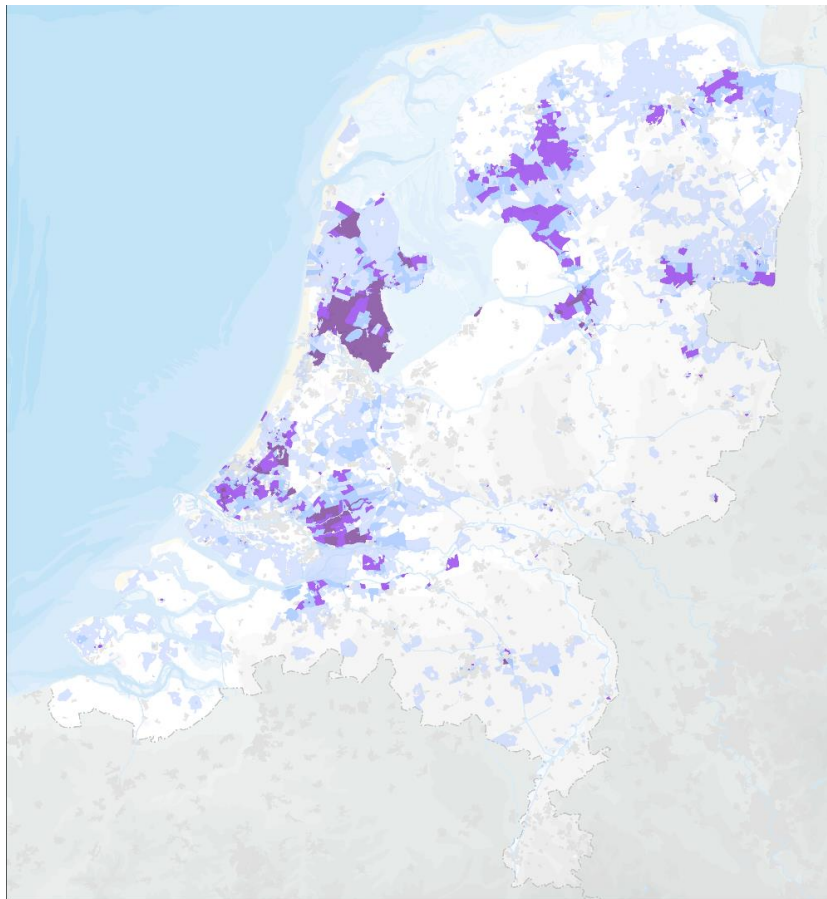
6.1.4 Schade door verschilzettingen en paalrot

Veel panden van voor 1975 zijn gebouwd op een houten paalfundering of op een ondiepe fundering, ook wel een fundering 'op staal' genoemd. Beide soorten fundering kunnen kwetsbaar zijn als er veen of klei in de ondergrond voorkomt (zgn. slappe bodems). Klimaatverandering leidt waarschijnlijk tot lagere grondwaterstanden in de zomer (GLG). Dit vergroot de kans op schade door verschilzetting en paalrot, vooral door paalrot bij houten funderingen en scheefzakken door verschilzetting bij ondiepe funderingen op slappe bodems.

De impact van schade aan funderingen kan heel ingrijpend zijn. Soms gaat het alleen om kleine scheuren in muren, of klemmende deuren en ramen, met beperkte herstelkosten. Maar het kan ook nodig zijn om de fundering te herstellen, wat veel geld kost. Klimaatverandering zal de schade aan funderingen verergeren. Als we rekening houden met klimaatverandering, kunnen de kosten van funderingsschade oplopen tot een bedrag tussen € 8 en 54 miljard voor heel Nederland (bron: klimaateffectatlas, 2021).

In veel steden met bodemdaling en huizen op palen worden hoge kosten gemaakt om het maaiveld en de straten, stoepen en opritten op dezelfde hoogte te houden als de huizen door ze om de 20-30 jaar op te hogen. Dit brengt zeer hoge beheerkosten met zich mee, zowel voor de gemeenten (openbaar terrein) als voor de particuliere grondeigenaren. Een bijkomend probleem is dat de achtertuinen dan vaak niet worden opgehoogd, waardoor die op termijn verdrassen en onbruikbaar worden.

Figuur 6.7 toont het *risico op verschilzetting* van panden 'op staal' door bodemdaling tot 2050 bij klimaatverandering (KNMI W_H scenario) en peilindexatie. De risicokaart is opgebouwd uit twee onderliggende kaarten: percentage funderingen op staal en kwetsbaarheid (die wordt bepaald door de snelheid van bodemdaling, gevoeligheid ondergrond voor verschilzetting en gevoeligheid van het pand voor verschilzetting). Een hoge score kan meerdere oorzaken hebben. Het kan betekenen dat er relatief veel panden op staal zijn gefundeerd in een buurt met een laag tot gemiddeld verwacht schadeniveau. Maar het kan ook betekenen dat er een laag percentage panden met een fundering op staal is, maar wel met een hoge verwachte schade in 2050 als gevolg van een hoge kwetsbaarheid. Tot slot kan ook de combinatie van deze factoren zorgen voor een hoge score (bron: Deltares, 2021 via www.klimaateffectatlas.nl).



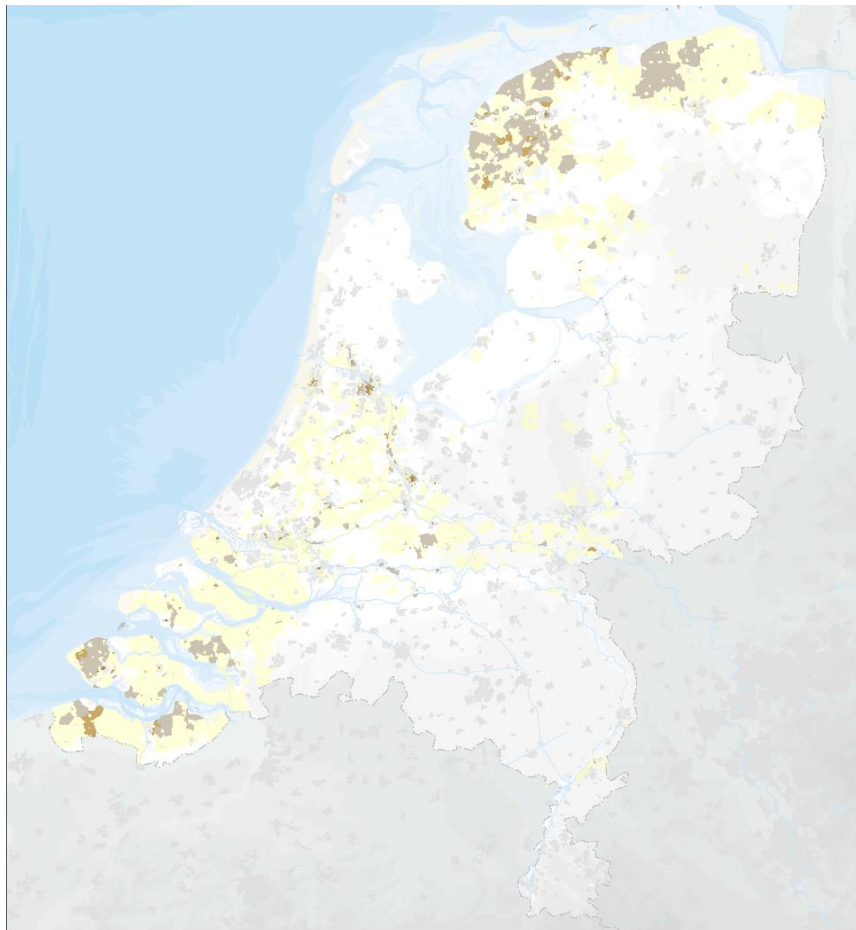
Risico op verschilzetting

[Onder scenario 2050 Hoog]



Figuur 6.7 Risico verschilzetting in 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H scenario) en peilindexatie. Bron: Deltares, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl.

Toekomstige lagere grondwaterstanden in het stedelijk gebied kunnen ook het *risico op paalrot* doen toenemen. Figuur 6.8 toont het risico op paalrot op buurtniveau. De risicokaart paalrot is opgebouwd uit twee onderliggende kaarten: Percentage houten palen en kwetsbaarheid. Een hoge risicoscore kan meerdere oorzaken hebben. Het kan betekenen dat er relatief veel panden op houten palen zijn in een buurt met een laag tot gemiddeld verwacht schadeniveau in 2050. Maar het kan ook betekenen dat het percentage panden op houten palen laag is, maar dat die panden wel een hoge gemiddelde schade hebben: een hoge gemiddelde schade krijgt een zwaardere weging mee bij de bepaling van het risico, omdat herstelkosten ook disproportioneel toenemen. Tot slot kan ook de combinatie van deze factoren zorgen voor een hoge score (Klimaat-effectatlas, 2021).



Risico op paalrot

[Onder scenario 2050 Hoog]

- Zeer laag
- Laag
- Matig
- Hoog
- Zeer hoog

Figuur 6.8 Risicokaart op paalrot in 2050 als gevolg van klimaatverandering (KNMI W_H scenario) en peilindexatie. De kaart geeft een indicatie van het risico op paalrot op buurniveau Bron: Deltares, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl

Naast deze berekende risico's, is er de afgelopen jaren ook uit andere delen van Nederland meldingen op veel locaties funderingsschade gemeld als gevolg van vershilzettingen en uitdrogen van de klei en/of leemlaag als gevolg van de droge zomers van 2018, 2020 en 2022. Figuur 6.9 geeft een overzicht van gemeentes waar tijdens en na de (droge) zomers van 2018 en 2020 schademeldingen werden gedaan bij het KCF (Kenniscentrum Funderingsschade). Gemeentes waar voor 2018 schademeldingen werden gedaan, zijn in deze kaart niet opgenomen. De kaart geeft daarmee een indicatie van de gebieden waar ook in de toekomst bij droogte schade te verwachten is. Binnen de verschillende gemeentes komen de schadegevallen natuurlijk slechts op een beperkt aantal locaties voor. Waar dat het geval is, wordt dit waarschijnlijk veroorzaakt door een combinatie van lage grondwaterstanden en bodemsamenstelling.



Gemeentes met funderingsschade door droogte

Melding na zomer 2018 en 2020

- Enkele schademeldingen
- Meerdere schademeldingen

Figuur 6.9 Overzicht van gemeentes waar voor het eerst funderingsschade is gemeld in 2018 en/of 2020.

Bron: Kenniscentrum Funderingsschade via www.fundarmaps.com

6.1.5 Risico's drukte stedelijke ondergrond

Ook nieuwe ontwikkelingen in of rond het stedelijk gebied dragen bij aan een sterkere fluctuaties van het freatische (ondiepe) grondwater en zorgen daardoor voor een toename van grondwater-gerelateerde risico's. Het gaat daarbij om ontwikkelingen aan het oppervlak en in de ondergrond.

Ontwikkelingen aan het oppervlak

- Toenemende verharding van het oppervlak leidt tot minder infiltratie met verlaging grondwaterstanden als gevolg. Ontharding en afkoppelen regenwaterafvoer van het riool heeft het tegenovergestelde resultaat;
- Gecreëerde hoogteverschillen aan maaiveld zorgen voor variaties in stijghoogtes in het freatische pakket. Zo kan het ophogen van een straat met een zandpakket zorgen voor het ontstaan van grondwateroverlast in nabijgelegen souterrains;
- Vergroening van stedelijk gebied kan leiden tot meer verdamping met verlaging van grondwaterstanden als gevolg;

Ontwikkelingen in de ondergrond

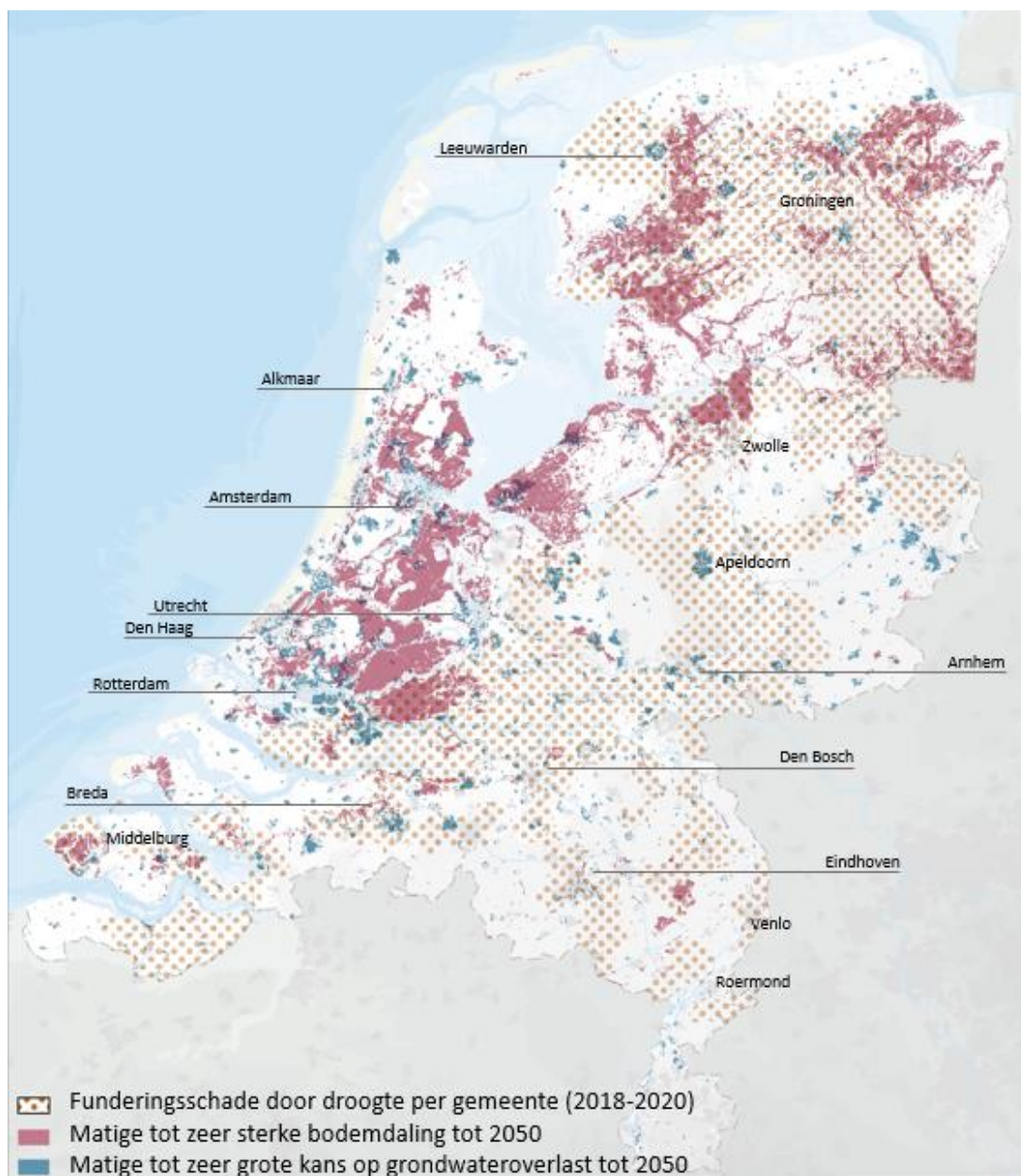
- Constructies in ondergrond (tunnels, parkeergarages, funderingen) blokkeren ondiepe grondwaterstroming en zorgen voor opstuwing en dalen in het freatisch grondwaterpeil. Op korte afstand kunnen grondwaterstanden hierdoor sterk variëren;
- Aanleg van regenwaterinfiltratie voorzieningen kan, bij ontbreken van aandacht voor gevoeligheid van omliggend gebied en landgebruik, leiden tot ongewenste veranderingen in het grondwaterregime;
- Ondiepe bodemenergiesystemen zorgen voor een verandering in grondwaterstroming, kortsluitingen (bij doorboren van ondoorlatende lagen in de bodem) en veranderingen in grondwatertemperatuur en risico's verspreiden verontreinigingen (vergrijzing van het grondwater) en effecten op bodemleven;
- Grootschalige aanleg warmtenetten leidt tot tijdelijke, grootschalige verlaging grondwaterstanden ten behoeve van de aanleg;
- Doorboringen van afsluitende veen- en kleilagen kunnen leiden tot verspreiden van verontreinigd en/of verzilt grondwater.

6.2 Verlaag kwetsbaarheid voor grondwaterveranderingen

De bebouwde omgeving wordt minder kwetsbaar door ervoor te zorgen dat deze bestand wordt en blijft tegen een veranderend grondwaterregime. Dit is een vorm van 'functie volgt peil' (water en bodem-sturend). En beperk de verstoring van de ondergrond zoveel mogelijk om ongewenste neveneffecten hiervan op het grondwater en daarvan afhankelijke functies, te voorkomen.

6.2.1 Vermijd gebieden met bestaande of toekomstige risico's

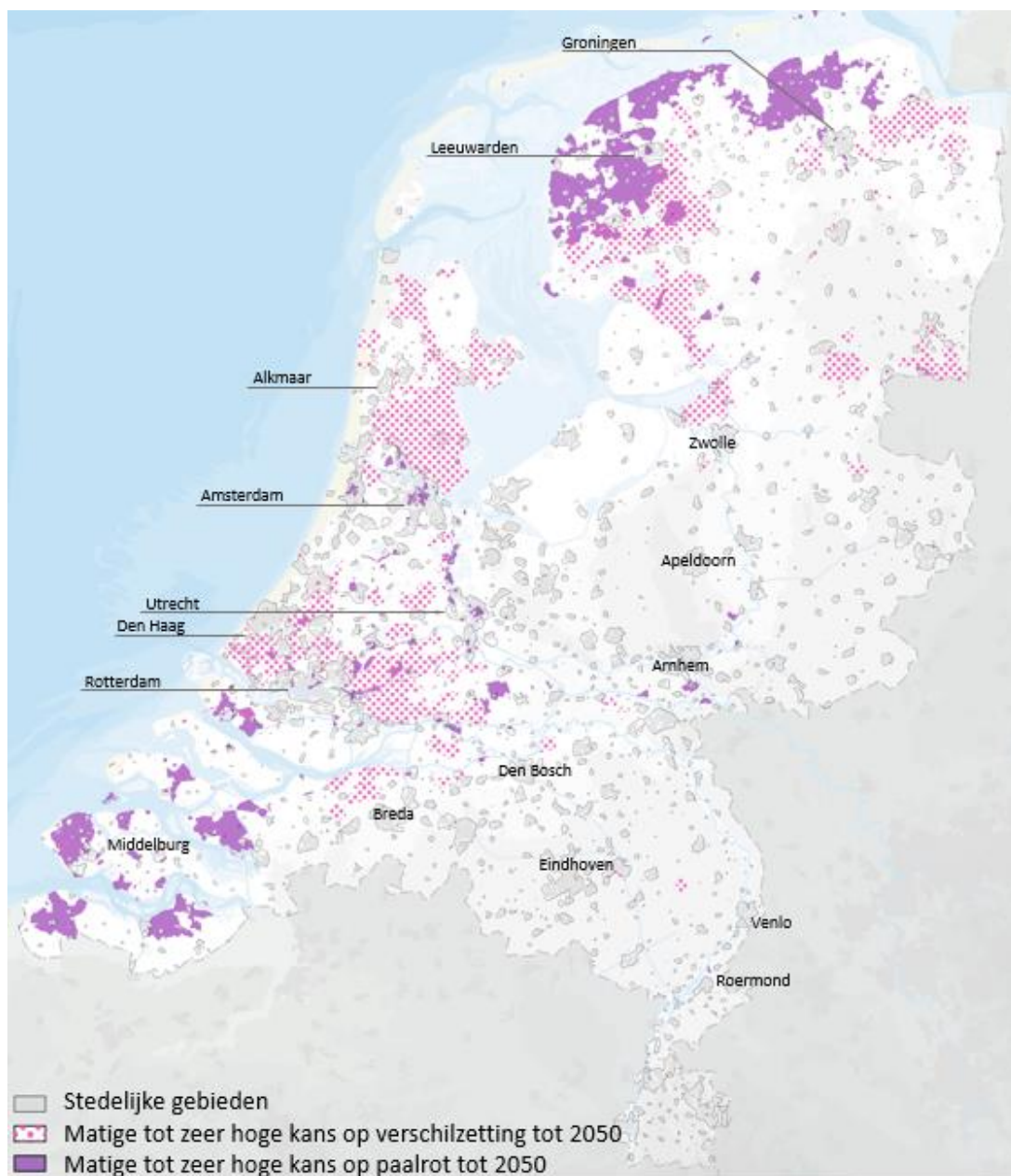
Gecombineerde informatie over toekomstige risico's in het stedelijk gebied vanuit het grondwatersysteem is relevant bij het maken van keuzes voor nieuwe locaties van bijvoorbeeld woningbouw en het uitwerken van bouwplannen (levenscyclusbenadering). Bij het maken van keuzes en wat betreft toekomstige locaties voor woningbouw of infrastructuur, kunnen gebieden met bestaande of toekomstige risico's als gevolg van bodemdaling of een toename van grondwateroverlast beter worden vermeden (zie Figuur 6.1 en Figuur 6.10). Deze gebieden met slappe bodems en/of opkwellend grondwater zijn mogelijk wel geschikt voor andere vormen van landgebruik zoals natuurontwikkeling, extensieve landbouw en/of recreatie. Wordt dan toch besloten om in deze gebieden te bouwen dan is aangepast (waterrobuust) bouwen van woningen, gebouwen en infrastructuur een voorwaarde voor een duurzame woon- en werkomgeving.



Figuur 6.10 Overzicht van gebieden met bodemdaling en grondwateroverlast voor stedelijke functies tussen nu en 2050 onder KNMI'14 WH klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie. Bron: Deltares, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl. NB. de productiewijze van de bodemdalingscijfers voor Flevoland wijkt af van andere delen in Nederland, waardoor de onzekerheid van de berekende bodemdaling tot hier relatief groot is.

6.2.2 Verminderen gevoeligheid bebouwing en infrastructuur

Nieuwbouw- of herontwikkeling mag de klimaatadaptatie-opgave niet vergroten. Bestaand stedelijk gebied waarvan bekend is dat er een risico is op verschilzetting en paalrot (zie Figuur 6.1 en Figuur 6.11) kan bij herontwikkeling bijvoorbeeld anders worden ingericht, zodat nieuwe en bestaande bebouwing en infrastructuur beter bestand is tegen deze effecten van fluctuerende en dalende grondwaterstanden.



Figuur 6.11 Overzicht van gebieden met een risico op verschilzetting en paalrot 2050 onder KNMI'14 W_H klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie. Bron: Deltares, 2021 via www.klimaat-effectatlas.nl.

Ook de gevolgen van een ontwikkeling voor omliggende gebieden, die afhankelijk zijn van hetzelfde water- en bodemsysteem, moet beschouwd worden. De inspanning (de investering) die nodig is om een woningbouwlocatie waterrobuust en klimaatbestendig te maken en in de toekomst te houden, wordt zo medebepalend voor de locatiekeuze.

Kosten die het gevolg zijn van een geringere geschiktheid van een locatie voor woningbouw – inclusief toekomstige kosten van het functioneel en klimaatbestendig houden van bebouwing en infrastructuur – worden niet afgewenteld op de toekomst, niet op de omgeving en niet van het private op het publieke domein. In aanvulling op een kritische locatiekeuze wordt dit bereikt door bouwwijzen te eisen die zijn afgestemd op lokale water- en bodemkarakteristieken. Nieuwe stedelijke gebieden kunnen altijd zo worden ingericht dat ze een positief effect hebben op de omgeving, dus ook op het grondwater. Dit is mogelijk omdat we bij nieuwbouw alle factoren zo nodig kunnen bijsturen, ook wat betreft het grondwater.

Het is raadzaam om binnen de nieuwe bouwlocaties lastige plekken (slap, nat, kwel) te mijden en hier groen, waterpartijen, plas/dras zones of piekwaterberging aan te leggen. Een andere mogelijkheid is om in deze zones aangepast te bouwen, afgestemd op de nattere omstandigheden of omstandigheden waarin de fluctuaties van de grondwaterstanden groter zijn.

6.2.3 Gerichte aanpassingen en actief grondwaterbeheer

Indien het niet mogelijk is om de gevoeligheid van bebouwing en infrastructuur in voldoende mate te verkleinen om overlast en schades te voorkomen, kan worden onderzocht of het op een locatie mogelijk is het grondwaterregime te beheersen en daarmee de blootstelling van assets aan extreme situaties te beperken (zie Figuur 6.1).

Beheersmogelijkheden bestaan voornamelijk uit peilbeheer van aangrenzend oppervlaktewater, infiltratie- en drainage voorzieningen. Voorbeelden daarvan zijn Infiltratie-transport riolen voor regenwater, en actief grondwaterpeilbeheer systemen. Daarnaast kan gelet worden op vergroten of beperken van regenwaterinfiltratie en verdamping (bijv. door bomen).

Beheersing van de grondwaterstand is soms kostbaar en niet overal mogelijk. De bodemtextuur moet geschikt zijn, er moet te infiltreren water beschikbaar zijn en er moet ruimte zijn (in de ondergrond) om de noodzakelijke leidingen in te graven.

6.3 Suggesties voor kennisverdieping

Het schaalniveau van stedelijke grondwateropgaven zit op dat van een gebouw, straat en wijk, maar soms ook op de schaal van een groot grondwatersysteem (zoals in stedelijke gebieden aan de randen van de Veluwe, waar overlast door kwel optreedt dat als neerslag op de Veluwe is gevallen).

Op welke onderwerpen moet meer data verzameld worden?

- Gevoeligheid van constructies voor veranderende grondwaterstanden. Waar staan gevoelige objecten en bij welke mate van grondwatervariatie ondervinden deze schade?
- Effectiviteit en financieel rendement van maatregelen om grondwaterpeil te beheersen
- Verontreinigde gebieden / locaties in en rond stedelijk gebied, in relatie tot bodem-energiesystemen, hemelwaterinfiltratie en kwetsbaarheid van scheidende lagen in de ondergrond.
- Informatie over locatie van assets (w.o. huizen, buizeninfra, wegen) die meer/minder gevoelig zijn voor grondwaterstandsveranderingen.
- Stedelijke bodem, ondiepe ondergrond en grondwaterstanden. Met deze informatie kan worden bepaald wat de blootstelling is aan grondwaterstandsveranderingen en welke (on)mogelijkheden er zijn om grondwaterstanden te beheersen.
- Bodemvochtgehalten. Dit is bepalend voor kennis over interactie tussen grondwater en onverzadigde zone. Kennis hierover is bruikbaar bij vergroeningsopgave van de stad, die bij voorkeur niet leidt tot een (grote) toename van de watervraag. Binnen de NKWK onderzoekslijn 'Klimaatbestendige stad'²³ is hier ook aandacht voor.

Op welke onderwerpen moet meer analyse gedaan worden, op nationale schaal?

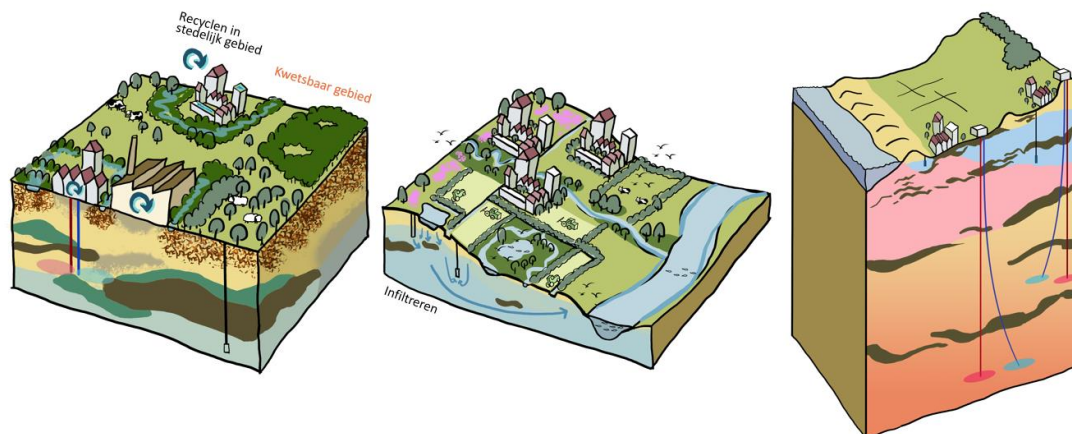
- Inzicht in de impact van (toenemende) interne verzilting op doorspoelbehoefte stedelijke gebieden in Laag Nederland.
- Natuurlijke barrières in de ondergrond van stedelijke gebieden. Welke steden zijn gelegen op een kwetsbare gebieden? Voor welke stedelijke gebieden geldt dat de ondergrond enige bescherming biedt tegen verspreiden van verontreiniging?
- Impact van extreme droogte op grondwaterstanden en de waterbehoefte van de gebouwde omgeving.
- Impact van droogte op daling van grondwaterstanden en de zetting, bodemdaling en inklinking bij verschillende soorten stedelijke ondergrond.

Op welke onderwerpen kunnen lokale/regionale cases meer inzicht bieden?

- Geïntegreerde 3-D modellen van bovenste 30 meter van de ondergrond (bodem en grondwater), inclusief constructies, aanwezige verontreinigingen, en ondergrondse infra kunnen inzicht bieden in de werking en mogelijke oplossingen.
- Vergroten van inzicht op de effecten van doorboring van afsluitende veen- en kleilagen onder stedelijke gebied.
- Vergroten van inzicht in de effecten van de aanleg van grootschalige warmtenetten op de grondwaterstand in het stedelijk gebied.
- Vergroten van inzicht van de effecten van peilverhoging in het veenweidegebieden op grondwaterstanden in nabijgelegen stedelijke gebieden.
- Impact van infiltratie(adaptatie)maatregelen en van lekkende drinkwater en afvalwaterleidingen op de aanvulling van het grondwater onder de gebouwde omgeving.

²³ <https://klimaatadaptatienederland.nl/overheden/nkww-kbs/>

Om voldoende zoete grondwatervoorraad te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd.



Figuur 7.1 Visualisatie van verschillende aandachtspunten en oplossingen om grondwatervoorraden te borgen. Links: beperken van hoogwaardig gebruik door recycleren van water voor laagwaardige toepassing en maatregelen op het gebied van grondwaterkwaliteit om de grondwatervoorraden te beschermen. Midden: mogelijke maatregelen en aanpassingen ten behoeve van water vasthouden in bodem en ondergrond en ondergrondse infiltraties van water dragen bij aan het vergroten van de zoetwatervoorraden. Rechts: weergave van geothermiesysteem op grote diepte tot ca. 1 a 2 km en drinkwaterwinningen tot ca. 200m diepte. Een uitvergroete versie van deze blokdiagrammen is te vinden in Bijlage A.

Als gevolg van een stijgende vraag naar drinkwater, is de winning van grondwater voor drinkwaterbereiding in de afgelopen 70 jaar sterk gestegen; de stijging van de drinkwatervraag zal de komende decennia, naar verwachting, doorzetten. Ook in de landbouwsector is het grondwatergebruik gestegen, vooral sinds de droge zomer van 2018 wordt veel meer grondwater onttrokken voor irrigatie van de landbouw. In de industrie is de laatste jaren een afname zichtbaar van het grondwatergebruik, na een sterke toename gedurende de vorige eeuw. Ook natuur heeft een watervraag. Daarbij gaat het vooral om voldoende hoge grondwaterstanden, kwelstromen en basisafvoer vanuit het grondwater in beken.

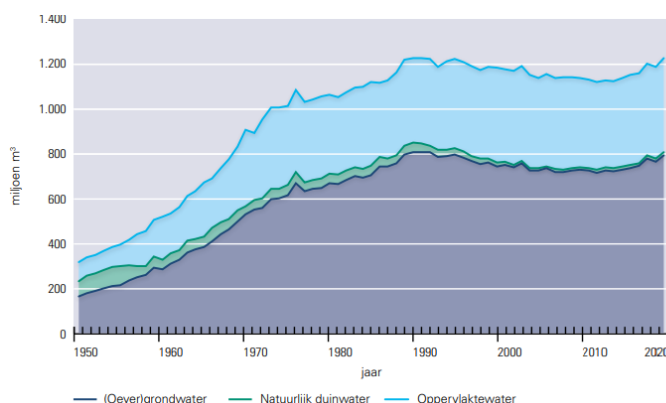
Tegelijkertijd staan grondwatervoorraden onder druk als gevolg van verontreiniging en bodemenergie en is, als gevolg van klimaatverandering, de beschikbaarheid van zoet grond- en oppervlaktewater in toekomstige zomers waarschijnlijk lager. De vraag is of er in de toekomst voldoende grondwater beschikbaar is voor drinkwater, landbouw en industrie, zonder dat dit leidt tot verdere verdroging van natuurgebieden.

7.1 Toename zoetwatervraag

7.1.1 Drinkwater

Ongeveer 60% van het Nederlandse drinkwater wordt gewonnen uit grondwater (Figuur 7.2). Tussen 1950 en 1990 is de hoeveelheid onttrokken drinkwater sterk gestegen (VEWIN, 2022). Ook de afgelopen jaren nam de drinkwaterwinning toe, mede als gevolg van de droge zomers in 2018, 2019, 2020 en 2022.

De watervraag voor drinkwater zal in de toekomst flink toenemen door de groei van de bevolking. De VEWIN schat dat de komende 20 jaar (richtjaar 2040) de drinkwatervraag toeneemt met ca. 6%, met een bovengrens van 23 tot 27% (VEWIN, 2022). Hierbij is geen rekening gehouden met een lager huishoudelijk en industrieel gebruik door allerlei maatregelen en campagnes. In de Deltascenario's zijn ook prognoses gemaakt voor de toename van grondwateronttrekkingen. Zo wordt voor het Deltascenario Stoom voor 2050 35% toename van de drinkwateronttrekking gesteld, 15% toename van de grondwateronttrekking voor industrie en 55% toename voor beregenen uit grondwater. Voor het Deltascenario Rust gaat men uit van een 10% afname van de drinkwateronttrekkingen en 40% afname voor industrie.

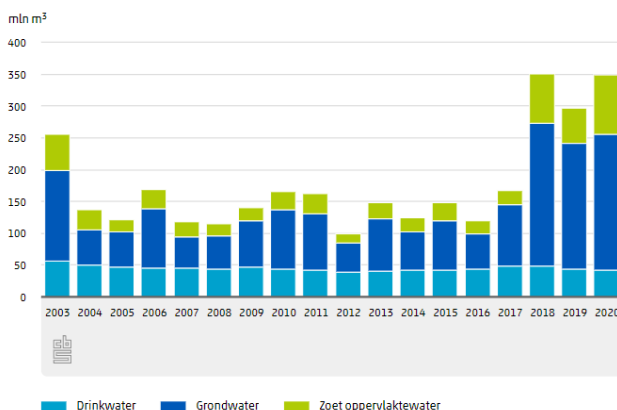


Figuur 7.2 Ontwikkeling van drinkwaterwinning sinds 1950, waarbij onderscheid is gemaakt tussen winning uit (oever)grondwater, natuurlijk duinwater en oppervlaktewater. bron VEWIN 2022.

7.1.2

Landbouw

In de landbouw is het watergebruik sterk afhankelijk van neerslag en verdamping. Wanneer het neerslagoverschot tijdens het groeiseizoen laag is, worden landbouwgewassen beregend om schade te voorkomen. Door het neerslagtekort in de recente droge jaren moesten akkers en graslanden meer geïrrigeerd worden (Figuur 7.3). Daarvoor wordt vooral grondwater gebruikt. In 2018 was de totale irrigatie van de landbouw bijna een factor drie (ruim 260 procent) hoger dan het gemiddelde van de jaren 2003 t/m 2017. Binnen de veehouderij is het watergebruik het sterkste toegenomen (bron: CBS, 2022²⁴).

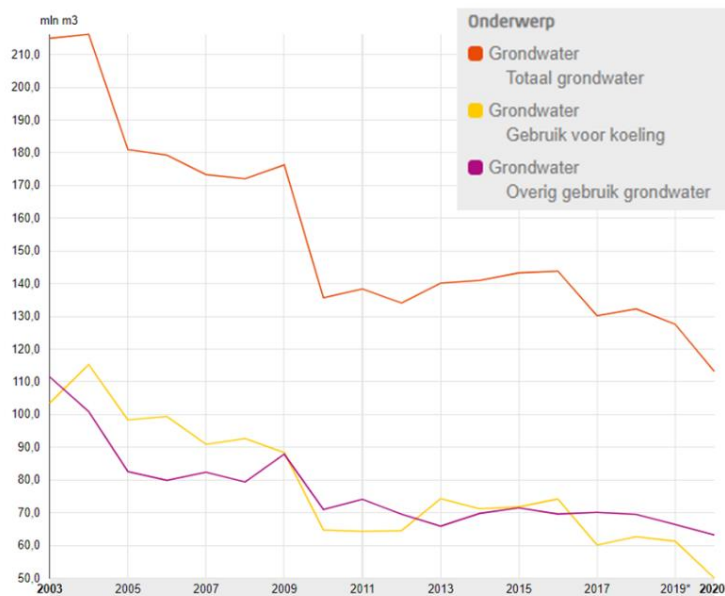


Figuur 7.3 Watergebruik landbouwsector van 2003 tot en met 2020. Onderscheid wordt gemaakt tussen het gebruik van drinkwater, grondwater en oppervlaktewater. Bron: CBS (Statline), 2022.

²⁴ <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2022/12/huishoudens-gebruikten-in-2020-meer-water-bedrijven-minder>

7.1.3 Industrie

In de industriële sector is er de laatste jaren al fors ingezet op waterbesparing en op het hergebruik van water, waardoor het totaal aan grondwateronttrekkingen in die sector de afgelopen jaren is gedaald (Figuur 7.4).



Figuur 7.4 Grondwatergebruik industriële sector van 2003 tot en met 2020. Onderscheid wordt gemaakt tussen grondwatergebruik voor koeling en overig grondwatergebruik. Bron: CBS (Statline), 2022.

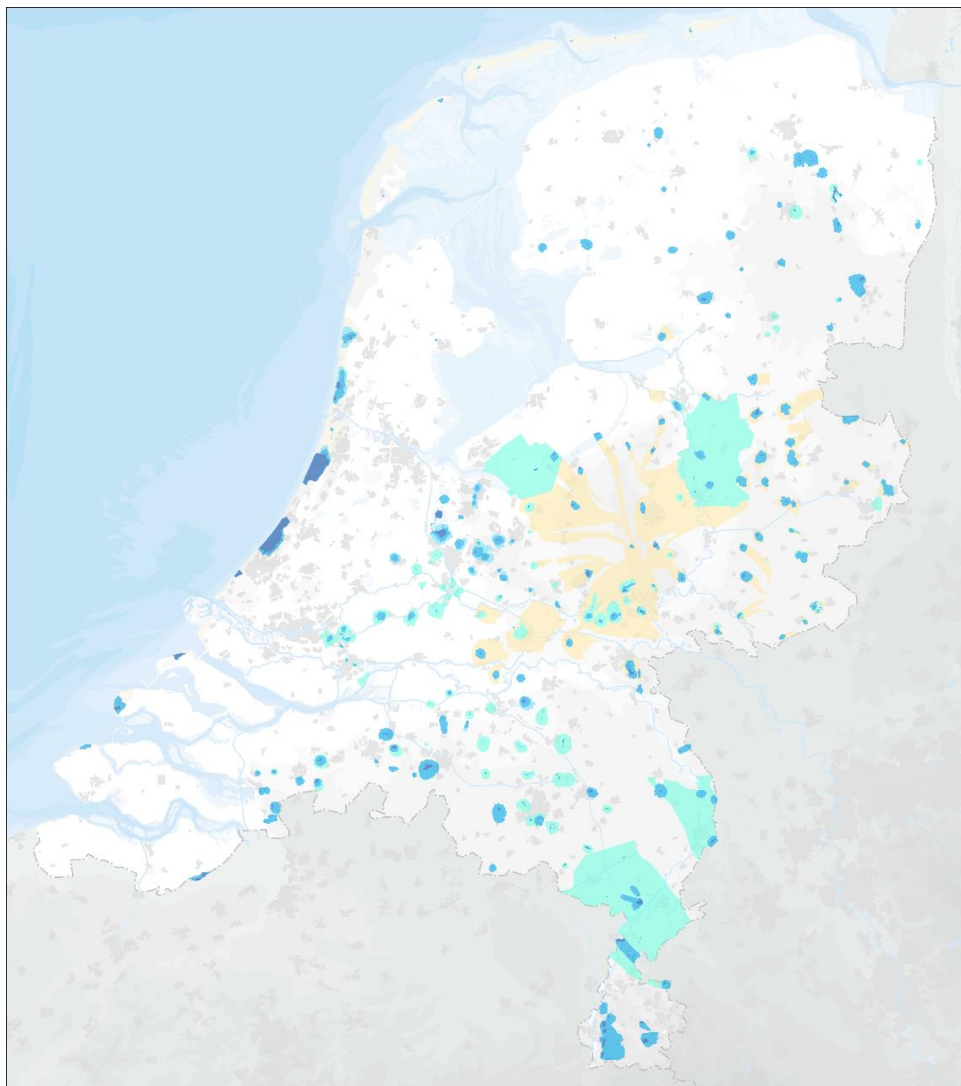
7.2 Bescherming grondwaterkwaliteit

Nederland kent regels voor de bescherming van grondwatervoorraden in de omgeving van drinkwaterwinningen en natuur. Een voorbeeld is de Nitraatrichtlijn (EU, 1998), welke tot doel heeft om zowel de drinkwaterbronnen te beschermen (EU, 1998) als om eutrofiëring (d.w.z. toevoer van te veel voedingsstoffen) van het watermilieu te voorkomen (bron CLO²⁵).

Figuur 7.5 geeft een overzicht van de huidige drinkwaterwinningen uit grondwater (waterwingebieden) en de ligging van gebieden met regelgeving om de bescherming van de grondwaterkwaliteit te waarborgen (RIVM, 2022):

- Grondwaterbeschermingsgebieden: zones rond het wingebied waarbinnen regels gelden die de kwaliteit van het gewonnen water beschermen;
- 100-jaarszones: zones veelal rond het grondwaterbeschermingsgebied, waarbinnen eveneens regels gelden om de kwaliteit van het water te beschermen;
- boringsvrije zones: zones waarbinnen beperkingen gelden voor het boren in de bodem. Deze beperkingen worden opgelegd om de kwaliteit van het water te waarborgen;
- Intrekgebieden: gebieden waar het water dat gewonnen wordt in trekt. Ook hier gelden beperkingen ten aanzien van het gebruik van de onder- en bovengrond om de kwaliteit van het water te waarborgen.

²⁵ <https://www.clo.nl/indicatoren/nl0274-nitraat-in-ondiep-grondwater-onder-landbouwgrond-in-zandgebieden#:~:text=De%20Nitraatrichtlijn%20heeft%20tot%20doel,met%20nutri%C3%ABnten%20vanuit%20de%20landbouw.>



Grondwaterbeschermingszones

-  Waterwingebied
-  Grondwaterbeschermingsgebied
-  100jaarszone
-  Boringsvrijzone
-  Intrekgebied

Figuur 7.5 Overzicht van bestaande drinkwaterwinningen uit het grondwater (waterwingebieden) en omliggende grondwaterbeschermingsgebieden, boringsvrije zones en intrekgebieden. Bron: RIVM, 2022.

Ondanks deze regels om de kwaliteit van het drinkwater te beschermen, zijn in een groot deel van de drinkwaterwinningen (potentiele) verontreinigingen aangetroffen (Figuur 7.6; Van Driezum et al., 2020). Daarnaast is verzilting van drinkwaterwinningen een probleem in gebieden waar zout grondwater relatief ondiep voorkomt ten opzichte van de drinkwaterwinning, zoals in de kustgebieden en delen van Oost-Nederland (Twente). Meer informatie over dit onderwerp is te vinden in Hoofdstuk 4 over “Bescherming Grondwaterkwaliteit” en paragraaf 2.3.5 over “Verzilting”.



Figuur 7.6 Overzicht van drinkwater winningen met een of meer (potentiele) probleemstoffen op basis van de meest recente beschikbare gebiedsdossiers ten tijde van de Nationale analyse waterkwaliteit (Van Gaalen en Osté, 2020). De grijs gekleurde winningen zijn niet beschouwd. Grondwaterwinningen zijn aangeduid met een rondje; oevergrondwaterwinningen met een vierkantje; oppervlaktewater met een driehoekje. Bron: Addendum Nationale analyse waterkwaliteit (Van Gaalen en Osté, 2020).

7.3 Borgen zoetwatervoorraad in de ondergrond

Om voldoende zoete grondwatervoorraad te borgen moet zuinig omgegaan worden met de voorraad. Het is daarbij raadzaam om het gebruik van grondwater voor laagwaardige toepassing te beperken, grondwatervoorraden aan te vullen en bestaande en nieuwe voorraden te beschermen. Ook kan met een meer flexibele aanpak van grondwaterwinning rekening worden gehouden met kwetsbare gebieden of perioden.

7.3.1 Grondwater alleen voor hoogwaardig gebruik

In Nederland wordt relatief veel schoon grondwater gebruikt voor laagwaardige toepassingen, zoals huishoudelijk gebruik, wassen en doorspoelen toilet, landbouw beregening en als koel- of productiewater in de industriële sector. Door toe te werken naar een situatie waarin grondwater alleen voor hoogwaardig gebruik wordt ingezet, kan de onttrekking van grondwater sterk worden teruggedrongen.

Het terugdringen van grondwateronttrekkingen levert een belangrijke bijdrage aan een robuuster grondwatersysteem dat bestand is tegen perioden met weinig neerslag. Ook draagt het bij aan het tegengaan van verdroging in natuurgebieden (Adviescommissie Droogte Noord-Brabant, 2022). De studie 'Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland' (Eertwegh et al., 2021) heeft bijvoorbeeld laten zien dat ruim 30% van de hoeveelheid onttrokken grondwater voor drinkwater in de onderzochte Nederlandse zandgebieden binnen een straal van 500 meter van een nat natuurgebied of in het natuurgebied zelf wordt onttrokken. Grondwateronttrekkingen hier beperken, kan zorgen voor een grote stijging van de grondwaterstanden in de natuurgebieden (Eertwegh et al., 2021).

Voor de provincie Noord-Brabant is recent in grote lijnen in beeld gebracht in welke mate grondwateronttrekkingen moeten worden beperkt om verdroging tegen te gaan en het watersysteem robuust te maken voor de toekomst (Adviescommissie Droogte Noord-Brabant, 2022). Onderscheid is gemaakt tussen beperkingen voor landbouw, drinkwater en industrie:

- De landbouw in Noord-Brabant staat, afhankelijk van de droogtesituatie, voor een besparingsopgave van 20 tot 40 miljoen m³ (reductie van circa 40%, met name in aanhoudend droge periodes) uit grondwater. Dit is een reductie van circa 40% ten opzichte van de autonome groei.
- Geschat wordt dat voor de drinkwaterproductie tegen 2040 jaarlijks 55 tot mogelijk zelfs 95 miljoen m³ minder kan worden onttrokken uit grondwater dan nu het geval is, wat neerkomt op een jaarlijkse afname van 20 tot 35% ten opzichte van de huidige onttrekkingshoeveelheden. Deze afname kan worden gerealiseerd door in te zetten op besparing en hergebruik door onder meer consumenten (zo'n 30 miljoen m³) en door het ontwikkelen van alternatieve bronnen voor drinkwaterwinning.
- In de industriële sector is er de laatste jaren al fors ingezet op waterbesparing en op het hergebruik van water, waardoor het totaal aan grondwateronttrekkingen in die sector de afgelopen jaren gedaald. Desondanks kan ook hier nog een extra inspanning worden geleverd, door middel van besparingen en hergebruik.

Om laagwaardig gebruik van schoon grondwater te beperken is het belangrijk dat technische innovaties op het gebied van scheiden hoog/laagwaardig watergebruik, gebruik regenwater, recycling etc. worden gestimuleerd. Daarnaast is bewustwording van de waarde van grondwater met goede kwaliteit belangrijk. Ook kan worden gedacht aan het aanscherpen van de regelgeving of (gestaffelde) beprijzing van het gebruik van kraanwater van drinkwaterkwaliteit.

7.3.2 Reserveer voor de toekomst

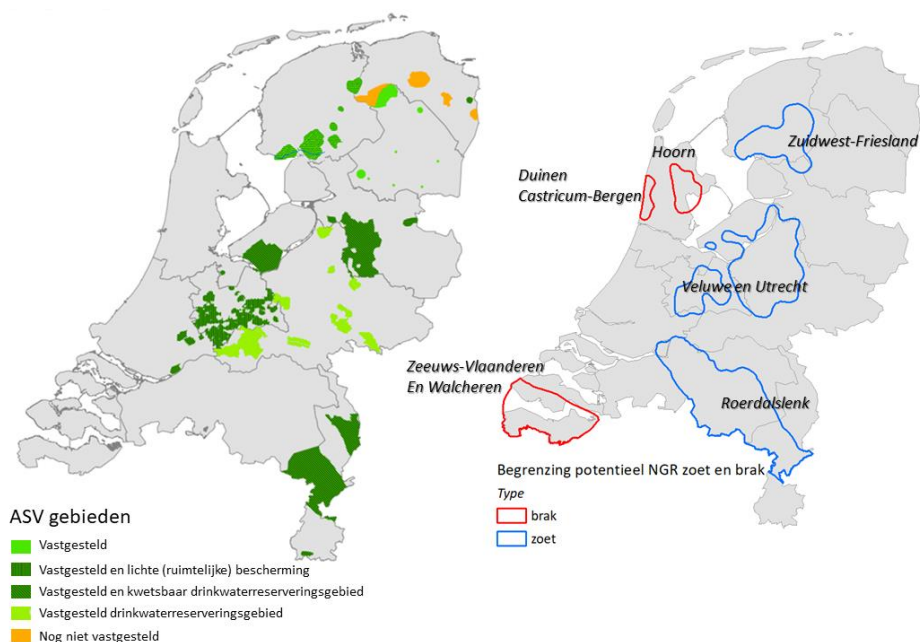
Om grondwatervoorraden zeker te stellen voor de toekomst, worden in Nederland Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden en Nationale Grondwaterreserves aangewezen.

Aanvullende Strategische Voorraden

Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden (ASV's) zijn bedoeld voor het opvangen van grotere tekorten en calamiteiten op de middellange termijn (een periode van 10 tot 25 jaar). De provincies hebben met het Rijk afspraken gemaakt over de wijze waarop zij de

komende 2 tot 3 jaar Aanvullende Strategische Voorraden gaan aanwijzen en beschermen, waarbij ze rekening houden met de potenties voor mijnbouwactiviteiten. De provincies (met uitzondering van Groningen en Noord-Brabant) hebben de afgelopen jaren ASV's aangewezen (Figuur 7.7). De gebieden variëren in omvang.

In Noord-Holland betreft het relatief kleine gebieden bij Hoorn en in de Horstermeerpolder, in Drenthe gaat het om kleinere gebieden rondom bestaande winningen en ook in Zuid-Holland zijn de gebieden wat beperkter van omvang. Aan de andere kant is in de provincie Utrecht een relatief groot deel van de provincie aangewezen als strategische grondwaterreserve en zijn ook Gelderland grotere gebieden aangewezen als ASV. Flevoland heeft één relatief grote ASV in Zuidelijk Flevoland. De provincie Limburg heeft met de Venloschol en Roerdalslenk twee grote ASV-gebieden en winplaats De Dommel in Zuid Limburg als kleinere ASV. De verkenning van potentiële ASV-gebieden voor Noord-Brabant richt zich nu op kleine gebieden langs de Maas. Groningen werkt met zoekgebieden voor de ASV, waarvan één ligt op de grens met Drenthe, en waar in november 2023 twee gebieden aan worden toegevoegd. Friesland heeft vijf ASV-zoekgebieden aangewezen, waarbij is gekeken naar de risico's van verzilting en invloed op de grondwaterstanden, en waarbij grotere stedelijke gebieden zijn ontzien om de energietransitie middels bodemenergie hier niet in de weg te staan (HaskoningDHV, 2022).



Figuur 7.7 Overzicht van Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden (links; bron: HaskoningDHV, 2022) en de voorlopige contouren van de ligging van de Nationale Grondwaterreserves (rechts; bron: STRONG, 2018).

Nationale Grondwaterreserves

Nationale Grondwaterreserves (NGR's) zijn diep gelegen, oude en schone grondwater-vorraden, die meer dan 50 jaar goed bewaard zijn gebleven. Deze voorraden zijn waardevol als natuurlijk kapitaal en kunnen worden ingezet voor de drinkwatervoorziening als allerlei onzekerheden in de verre toekomst daartoe aanleiding geven. Het Rijk heeft de globale begrenzing van Nationale Grondwaterreserves opgenomen in de Structuurvisie Ondergrond (Figuur 7.7; STRONG, 2018). Mijnbouwactiviteiten binnen de begrenzing van deze grondwaterreserves zijn in principe mogelijk onder de strenge voorwaarden die ook elders in Nederland gelden. Om bij eventuele problemen bij boringen effecten op grondwaterlichamen te kunnen beoordelen heeft Staatstoezicht op de Mijnen een geohydrologisch toetsingsprotocol ontwikkeld. Momenteel loopt er een onderzoek van Deltares en TNO

waarin wordt gewerkt aan een verdere uitwerking van deze NGR's, waaronder een 3-D kartering en beleidsontwikkeling.

7.3.3 Verbeteren bescherming van grondwaterkwaliteit

Om de grondwaterkwaliteit beter te beschermen en te verbeteren en om de risico's voor kwetsbare functies te beperken zijn bewustwording en een systeemgerichte aanpak in gebieden belangrijk. Maatregelen zijn nodig om de grondwaterkwaliteit te verbeteren en toekomstige bedreigingen van de grondwaterkwaliteit vóór te zijn (Verweij et al. 2022a en b).

Het beperken van emissies bij bronnen en het voorkomen van verontreiniging zijn de meest effectieve maatregelen, die kunnen worden genomen via toelating van stoffen, en vergunningen en handhaving van lozingen, opslag en gebruik van stoffen.

Daarnaast kan grondwater gezuiverd worden door maatregelen te nemen langs het traject van de bron, via het pad naar de receptoren in de natuur, oppervlaktewater en winningen van grondwater (Figuur 4.8). Dit zuiveren kan door uitbreiding van zuiveringsinstallaties van grondwaterwinningen (drinkwater), maar dit staat op gespannen voet met de Kaderrichtlijn Water (KRW). Ook kan gezuiverd worden door het beschermen en stimuleren van biologische (zuiverende) processen in de boven- en ondergrond en voor verontreinigd drainage- en oppervlaktewater. Bijvoorbeeld door het aanbrengen van natuurlijke zuiverende systemen voor verontreinigd drainage- en oppervlaktewater voordat het infiltreert naar het diepere grondwater. Kleinschalige maatregelen kunnen worden opgeschaald tot zuiverende stedelijke groenvoorzieningen en waterrijke natuurgebieden. Het water kan na zuivering weer worden geïnfiltreerd (Verweij et al., 2022a en b).

De kwaliteit van grondwater kan worden beschermd door een drietal van nature aanwezige "barrières" in de bodem en ondergrond: fysieke (geohydrologische) barrières, biologische barrières en geochemische barrières (Verweij et al., 2022a). In gebieden waar deze barrières aanwezig zijn is het grondwater van nature enigszins beschermd tegen verspreiding en effecten van verontreiniging. In de gebieden waar deze barrières niet of zeer beperkt aanwezig zijn, zijn het grondwater en de daaraan gerelateerde functies (drinkwater, natuur, landbouw, recreatie) relatief kwetsbaar voor verontreiniging.

7.3.4 Aanvullen zoetwatervoorraden in de ondergrond

Naast het duurzaam beheren van bestaande zoetwatervoorraden in de ondergrond, zijn er ook kansen voor het versterken van de zoete grondwatervoorraden. Ondergronds infiltreren in zandgebieden van Hoog Nederland, gebieden met potentie voor ASR in Laag Nederland (Zuurbier et al., 2013; Deltares, 2021) en daarnaast gebruik maken van brakwaterwinning (KWR, 2021; Deltares, 2021).

Figuur 7.8 geeft een overzicht van de ligging van deze gebieden, zoals bepaald met berekeningen met het LHM (www.nhi.nu) aangevuld met data-analyse (Eertwegh et al., 2021; Deltares, 2021). Dergelijke toekomstige voorraden kunnen worden ingezet als bron voor drinkwater, maar kunnen ook ten goede komen aan andere functies die afhankelijk zijn van zoet (grond)water. Dit vraagt wel om een specifieke inrichting en afwegingskaders voor kwaliteitseffecten (KWR, 2022). Meer informatie hierover is te vinden in het STOWA Deltafact *'Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit'* en de juridische handleiding van STOWA *'Technisch-juridische handreiking risicobeoordeling 'ondergrondse waterberging' | STOWA'* (Van Dooren et al., 2022).

Bij het aanvullen van zoetwatervoorraden in de ondergrond moet rekening worden gehouden met de grondwaterkwaliteit. Het risico bestaat dat de kwaliteit van het grondwater verslechtert door het infiltreren van verontreinigd water of door vermenging van watertypen met

verschillende kwaliteit. Anderzijds kan het infiltreren van water ook worden ingezet om de grondwaterkwaliteit te verbeteren. Meer hierover staat in paragraaf 4.6 in het hoofdstuk over 'Bescherming grondwaterkwaliteit'.

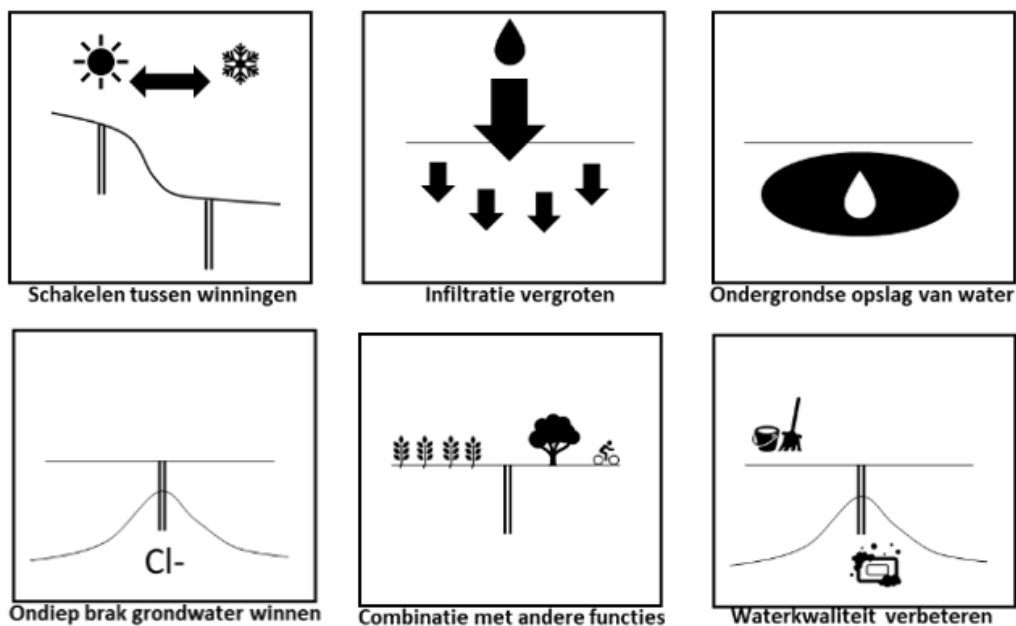


Figuur 7.8 Overzicht van gebieden met potentie voor zoetwaterberging in de ondergrond: ondergronds infiltreren in zandgebieden van Hoog Nederland, gebieden met potentie voor ASR in Laag Nederland en brakwaterwinning. Bronnen: Eertwegh et al. (2021), Deltares (2021).

7.3.5 Maak zoetwaterbronnen flexibel

Door drinkwaterbronnen meer flexibel te maken (in ruimte en tijd, combinaties met oppervlaktewater) kunnen fluctuaties in vraag en aanbod te worden opvangen en kunnen negatieve effecten zoals de verlaging van grondwaterstanden in kwetsbare gebieden tijdens zomerperioden worden voorkomen.

Nieuwe manieren van het winnen van drinkwater worden ontworpen om winningen in de toekomst flexibeler te maken, zodat ze schokken vanuit de omgeving kunnen opvangen en geen schokken veroorzaken op de omgeving op het gebied van kwaliteit en kwantiteit (Maring et al., 2022). Figuur 7.9 laat (deel)oplossingen zien voor het flexibeler maken van winningen van drinkwater uit grondwater, waaraan wordt gewerkt in een studie voor Vitens.



Figuur 7.9 (Deel)oplossingen die ingezet kunnen worden om drinkwaterwinningen uit grondwater flexibeler te maken. Bron: Maring et al., 2022.

7.4 Suggesties voor kennisverdieping

Op welke onderwerpen moet meer data verzameld worden?

Er bestaat nog geen compleet beeld van alle grondwateronttrekkingen in Nederland. Hierdoor is het tot nu toe niet goed mogelijk om het effect van grondwateronttrekkingen goed in beeld te krijgen. Ook is het opstellen van een voorkeursvolgorde met onttrekkingsplafond tijdens droge perioden niet mogelijk zonder een compleet inzicht in alle grondwateronttrekkingen. In dit kader is het van belang om meer gegevens te verzamelen over locaties, debieten en filterdiepten van grondwateronttrekkingen voor verschillende doeleinden (drinkwater, landbouw en industrie).

Op welke onderwerpen moet meer analyse gedaan worden, op nationale schaal?

In dit hoofdstuk zijn verschillende deeloplossingen beschreven om grondwatervoorraden te borgen voor de toekomst. Een volgende stap kan zijn om op landelijke en/of regionale schaal (kwantitatief) in beeld te brengen hoeveel de verschillende deeloplossingen bijdragen aan een totale oplossing. Hierbij dient ook de beschikbaarheid van zoet oppervlaktewater, en de toekomstige verandering hierin, meegenomen te worden.

Op welke onderwerpen kunnen lokale/regionale cases meer inzicht bieden?

- Vergroten van het inzicht in de (on)mogelijkheden van het flexibel maken van grondwaterwinningen op lokale, regionale en landelijke schaalniveaus.
- Vergroten van het inzicht in lokale en regionale samenwerking op het gebied van waterberging in de ondergrond. Hierbij spelen technische, economische en governance aspecten een rol.
- Vergroten van kennis over operationele systemen om de zoetwatervraag en beschikbare bronnen (grondwater, oppervlaktewater en hernieuwbaar water) op elkaar af te stemmen, rekening houdend met (tijdelijk) kwetsbare delen van het gebied.

8 Synergie van aandachtspunten en oplossingen

Bescherming en herstel van grondwatervoorraden vergen aanpassing van het water- en landgebruik. Rekening houden met grotere fluctuaties van het grondwater en combineren van maatregelen op het gebied van kwantiteit en kwaliteit zijn daarbij de sleutel. De landbouw- en energietransitie en stedelijke innovaties bieden hiervoor kansen.

De verschillende opgaven en oplossingsrichtingen op het gebied van grondwater kunnen in samenhang worden gevisualiseerd. Hiermee ontstaan eerste inzichten voor integrale oplossingen om het grondwatersysteem van Nederland te herstellen en robuust te maken voor toekomstige veranderingen.

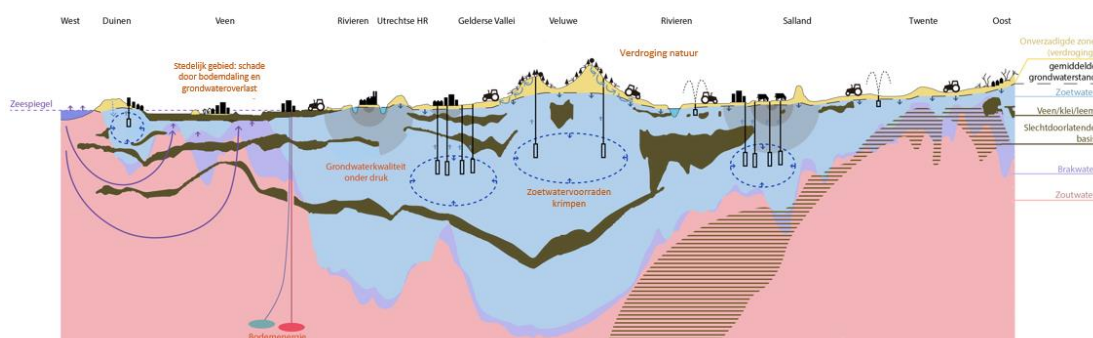
In de eerste paragraaf van dit hoofdstuk zijn één beeld samengebracht op landelijke schaal de opgaven en oplossingsrichtingen en wordt een overzicht gegeven van de synergie tussen de verschillende grondwaterthema's. Vervolgens is deze integrale aanpak verder uitgewerkt aan de hand van twee gebieden: Veluwe en IJsselvallei (Hoog Nederland) en het Groene Hart (Laag Nederland).

De regionale uitwerking van de twee gebieden heeft als doel om een methode te illustreren waarbij kaartbeelden en gegevens vanuit de integrale grondwaterstudie op landelijke schaal worden ingezet om een eerste inzicht te krijgen in de opgaven, oplossingsrichtingen en meekoppelkansen in een bepaalde regio. Een dergelijke analyse bevat veel onzekerheden als gevolg van de grofmazigheid van de informatie, maar kan dienen als eerste stap richting een meer gedetailleerde regionale analyse van de opgaven, oplossingsrichtingen en meekoppelkansen in een gebied. Zo kan deze integrale grondwaterstudie input leveren voor regionale uitwerkingen, zoals in de regionale gebiedsprogramma's van het NPLG.

8.1 Landelijk beeld en synergie van grondwaterthema's

8.1.1 Landelijk beeld van opgaven

De opgaven en aandachtspunten op het gebied van grondwater zoals beschreven in de voorgaande hoofdstukken, spelen in grote delen van Nederland. Figuur 8.1 toont een schematisch west-oost dwarsprofiel van Nederland met daarin een conceptuele weergave van 'verdroging natuur', 'grondwaterkwaliteit onder druk', 'schade in bebouwde omgeving', 'toename bodemenergie' en 'afname van zoetwatervoorraden'.

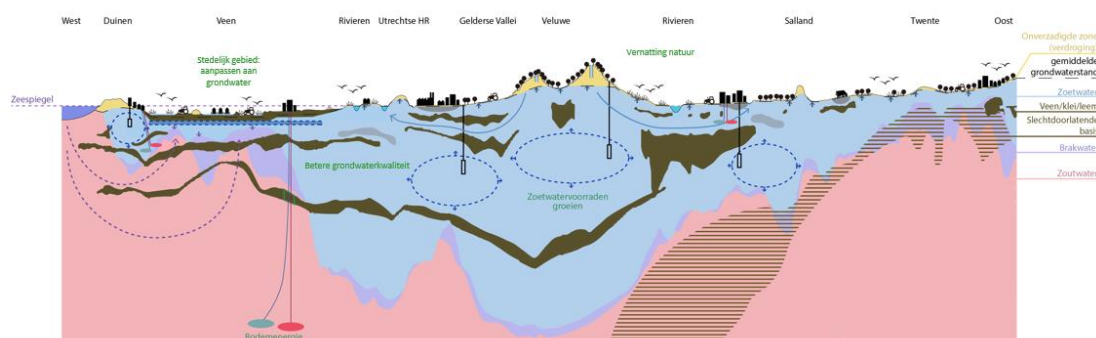


Figuur 8.1 Dwarsprofiel van de ondergrond en het grondwater van Nederland (west-oost) met daarin een conceptuele weergave van de aandachtspunten (boven). Een uitvergroete versie van deze figuur is te vinden in Bijlage A.

Verdroging van natuur als gevolg van de daling van grondwaterstanden speelt vooral in Hoog Nederland, terwijl schade in de bebouwde omgeving voor gebieden met slappe bodems in Laag Nederland een probleem vormt. De grondwaterkwaliteit staat in grote delen van Nederland onder druk. In Hoog Nederland ontstaan risico's omdat verontreinigde grondwater zich relatief gemakkelijk diep en over grote gebieden kan verspreiden en daarmee verschillende grondwaterafhankelijke functies kan aantasten (drinkwater, natuur). In Laag Nederland verspreiden verontreinigingen in het ondiepe grondwater zich minder snel, maar zorgt toenemende verzilting van het ondiepe grondwater (als gevolg van ontwatering polders en zeespiegelstijging) voor een afname van de zoetwaterbeschikbaarheid. De toename van de vraag naar bodemenergie – en daarmee samenhangende risico's – speelt in heel Nederland, al zijn sommige delen van Nederland meer geschikt voor geothermie in de diepere ondergrond. In gebieden waar drinkwater wordt gewonnen uit het grondwater (Hoog Nederland en duinengebied in West Nederland) zijn de risico's van bodemenergie relatief groot. De beschikbaarheid van zoetwatervoorraden vanuit het grondwater voor de verschillende functies staat, als gevolg van deze opgaven en toenemende vraag naar drinkwater, in grote delen van Nederland onder druk.

8.1.2 Landelijk beeld van oplossingsrichtingen

Figuur 8.2 toont een schematisch west-oost dwarsprofiel van Nederland met daarin een conceptuele weergave oplossingsrichtingen op het gebied van 'verdroging natuur', 'grondwaterkwaliteit onder druk', 'schade in bebouwde omgeving', 'toename bodemenergie' en 'afname van zoetwatervoorraden'.



Figuur 8.2 Dwarsprofiel van de ondergrond en het grondwater van Nederland (west-oost) met daarin een conceptuele weergave van oplossingsrichtingen op het gebied van grondwater. Een uitvergroete versie van deze dwarsprofielen is te vinden in Bijlage A.

Zowel in Hoog als Laag Nederland stijging grondwaterstand nodig

Zowel in Hoog Nederland als in Laag Nederland is een stijging van de grondwaterstand nodig door het toepassen van vernattingsmaatregelen (verminderen ontwatering, verhogen oppervlaktewaterpeilen, verminderen grondwateronttrekkingen). In Hoog Nederland is dit met name van belang om de verdroging van grondwaterafhankelijke natuurgebieden en droogval van beken tegen te gaan. In Laag Nederland gaat het om het beperken van bodemdaling en verzilting en daarmee samenhangende schade aan bebouwde omgeving, landbouw en natuur. Daarnaast zal in de bebouwde omgeving, vooral in Laag Nederland, rekening moeten worden gehouden met een veranderend grondwaterregiem als gevolg van klimaatverandering en toenemende drukte in de ondergrond (oa door toename van bodemenergiesystemen). Hiervoor is het belangrijk dat bij het maken van keuzes voor bouwlocaties, gebieden die kwetsbaar zijn voor bodemdaling en grondwateroverlast zoveel worden vermeden en dat bij (her)nieuwbouw rekening wordt gehouden met de effecten van veranderende grondwaterstanden.

Grondwatervoorraden zeker stellen en aanvullen

Om grondwatervoorraden zeker te stellen voor de toekomst, worden in Nederland Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden en Nationale Grondwaterreserves aangewezen. Ook het aanvullen van zoetwatervoorraden in de ondergrond biedt mogelijkheden voor versterken van de zoetwatervoorraden. Dit kan enerzijds door bovengenoemde vernattingsmaatregelen, maar kan ook door het toepassen van (semi-) kunstmatige infiltratie van water in de ondergrond. Hiervoor zijn zowel mogelijkheden in Hoog Nederland in gebieden met diepe grondwaterstanden (oa. Veluwe, Utrechtse Heuvelrug, Sallandse Heuvelrug, Hondsrug en delen van Noord-Brabant en Limburg), als in de zoute ondergrond van Laag Nederland.

Natuurlijke barrières benutten en grondwaterkwaliteit verbeteren in samenhang met andere opgaven

Om de grondwaterkwaliteit te verbeteren– en verdere verslechtering te voorkomen is ten eerste het beperken van verontreinigingen van belang. De ondergrond biedt ook mogelijkheden voor bescherming tegen de verspreiding van verontreiniging door de aanwezigheid van natuurlijke barrières. Echter, deze lagen zijn niet overal aanwezig. Vooral in Hoog Nederland biedt de ondergrond weinig bescherming tegen de verspreiding van verontreinigingen. In deze gebieden, waar zich ook de meeste grondwaterwinningen voor drinkwater bevinden, is het daarom extra belangrijk om de verdere verontreiniging tegen te gaan. Dit betekent ook dat doorboring van de aanwezige, maar relatief dunne scheidende lagen, voor de toepassing van bodemenergie in potentie grotere risico's met zich mee brengt. Goede 3-D kennis van de ondergrond kan helpen om de potentie van grondwater voor thermische energie te benutten, en tegelijk de risico's voor verspreiding van verontreiniging te beperken.

Zowel in het stedelijke als landelijke gebied kan de kwaliteit van grondwater verbeterd worden door grootschalige ingrepen te combineren met maatregelen om verontreinigingen te verwijderen, bijvoorbeeld bodemverontreinigingen aanpakken op woningbouwlocaties of grondwater zuiveren tijdens het pompen van water vanuit een bouwput. Bufferzones en infiltratiegebieden in natuurgebieden kunnen zo worden ingericht dat het water ook gezuiverd wordt voordat het de ondergrond in stroomt, door ecologische processen in bodems in waterrijke natuur, of actieve zuiveringsfilters. Hiermee kan bescherming van grondwaterkwaliteit gekoppeld worden aan natuur en drinkwaterwinning.

De landbouwtransitie is ook een kans om verdroging tegen te gaan en grondwaterkwaliteit te verbeteren. Bij het veranderen van landbouwactiviteiten kan gekeken worden naar mogelijkheden om vernatting toe te passen en zuiverende maatregelen te nemen, en om ervoor te zorgen dat verontreinigd water niet de ondergrond in kan stromen vanaf landbouwlocaties. Er kan gekozen worden voor landgebruik met teelten die minder belastend zijn en vermindering van de hoeveelheid uitgereden mest, om de waterkwaliteit te verbeteren. Ook kan rekening worden gehouden met de kwetsbaarheid van de ondergrond voor verontreiniging (door aanwezigheid van natuurlijke barrières) bij het kiezen van locaties voor verontreinigende activiteiten (zoals de landbouw als bron van meststoffen, gewasbeschermingsmiddelen, diergeneesmiddelen). Naast relevantie voor het beleid rond verdroging en de stikstofopgave, heeft dit ook relevantie voor de nitraatrichtlijn en de derogatie voor Nederland voor mestuitgifte.

8.1.3 Synergie grondwaterthema's

Door de oplossingsrichtingen van de thema's beschreven in deze integrale grondwaterstudie te combineren is synergie te behalen (meekoppelkansen). Tabel 8.1 geeft hiervan een overzicht. In de verschillende hoofdstukken per thema in de regionale uitwerking op

hoofdpijnen van twee gebieden (Veluwe en Groene Hart, paragraaf 8.2 en paragraaf 8.3), wordt deze synergie tussen grondwaterthema's in meer detail beschreven.

Tabel 8.1 Samenvatting van de synergie tussen de grondwaterthema's op het gebied van oplossingsrichtingen en aandachtspunten.

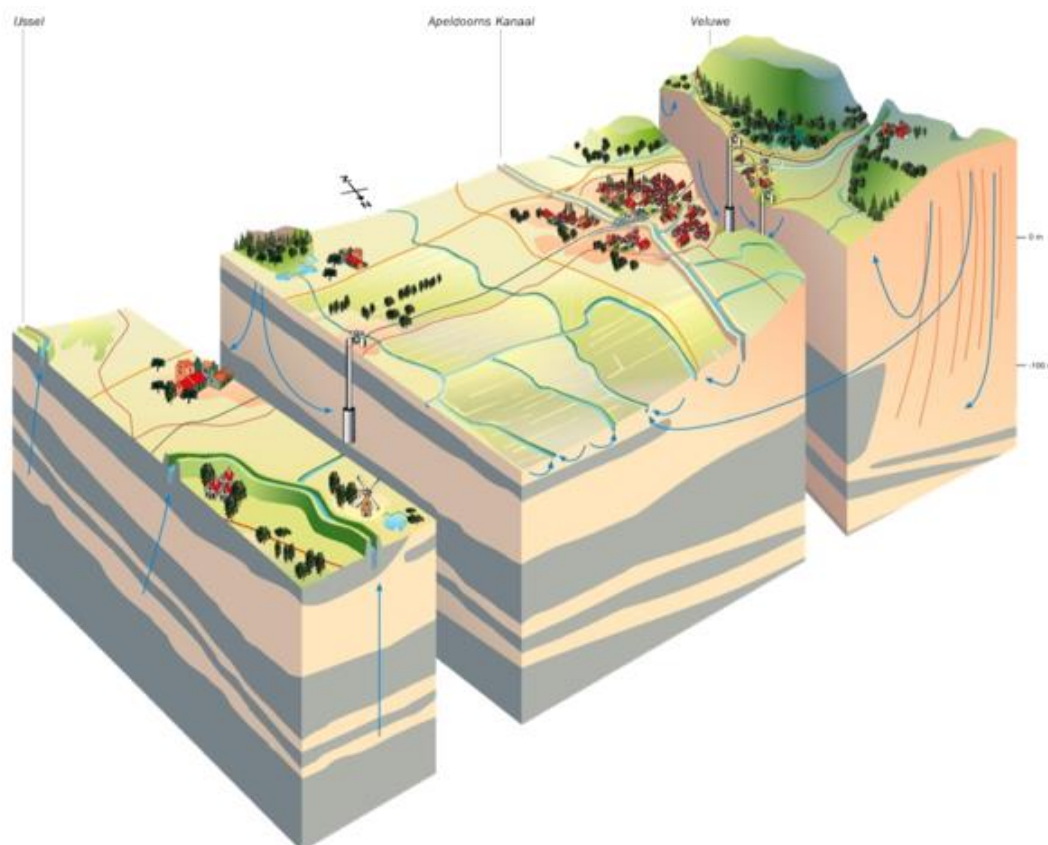
	Verdroging Natuur	Bescherming Grondwaterkwaliteit	Energietransitie en Grondwater	Stedelijk gebied en Grondwater
Zoetwater- voorziening	Hou rekening met grondwaterafhankelijke natuur als "gebruiker" van grondwater (verhogen grondwaterstanden, versterken kwelfluxen en beek-afvoeren), bijvoorbeeld bij het ontwikkelen van een onttrekkingsplafond en voorkeursvolgorde (Hoog Nld).	Bescherm grondwaterkwaliteit in intrekgebieden van (toekomstige) drinkwaterbronnen door stoppen/beperken en saneren van grondwaterverontreinigingen, door gebruik te maken van natuurlijke barrières in de ondergrond en door gerichte monitoring. Voorkom ongewenste effecten op de grondwaterkwaliteit bij (grootschalige) infiltratie van water in de ondergrond en benut kansen waar infiltratie kan bijdragen aan verbetering van de grondwaterkwaliteit.	Voorkom verontreiniging van grondwater in beschermingsgebieden van drinkwaterwinningen door bodem-energiesystemen (zie ook: "Bescherming grondwaterkwaliteit - Energietransitie en grondwater"). Drinkwaterwinningen in stedelijk gebied in oost en zuidoost Nld en (toekomstige) boringsvrije zones zorgen voor beperking van bodemenergie.	Beperk risico's op verontreiniging van grondwater in beschermingsgebieden van drinkwaterwinningen. Zorg voor duurzame beschikbaarheid van grondwater voor drinkwater bij nieuw stedelijk gebied (Hoog Nld).
Stedelijk gebied en Grondwater	Hou in (toekomstig) stedelijk gebied nabij natuur rekening met stijging grondwaterstanden door vernattingsmaatregelen. Hoog Nld: op flanken en in beekdalen; Laag Nld: nabij veenweide dat wordt vernat.	Combineer het saneren van grondwaterverontreiniging in het stedelijk gebied met (her)ontwikkeling en ondergrondse (bouw)activiteiten, zoals aanleg van WKO's of warmtenetten. Accepteer een zekere mate van verontreiniging in het stedelijk gebied, maar monitor het grondwater en beheers de risico's op verspreiding.	Hou bij de aanleg van WKO systemen rekening met een verandering van grondwaterstanden (bv. meer fluctuaties) in (nieuw) stedelijk gebied. Voorkom of beperk verspreiding van verontreinigingen in het stedelijk gebied door aanleg van open WKO systemen en/of doorboring van scheidende lagen.	
Energietransitie en Grondwater	Weinig tot geen bodemenergie in of nabij natuurgebieden.	Voorkom of beperk lekkage van verontreinigd of zout grondwater bij doorboring van scheidende lagen door kennis over ondergrond en grondwaterstroming. Voorkom of beperk of verminder verspreiding van verontreinigingen door WKO systemen door kennis over de bodem- en grondwaterkwaliteit en monitoring.		
Bescherming Grondwater- kwaliteit	Combineer vernattingsmaatregelen met verbetering grondwaterkwaliteit in bufferzones rond grondwaterafhankelijke natuur (Hoog Nld). Voorkom averechtste effecten op de grondwaterkwaliteit bij vernatting.			

8.2 Veluwe en IJsselvallei: strategisch belang voor drinkwater en natuur

8.2.1 Grondwatervoorraad van strategisch belang

Figuur 8.3 toont een doorsnede van de Veluwe, Veluweflank en IJsselvallei met daarin een schematische weergave van de opbouw van de ondergrond, het huidige land- en watergebruik en de grondwaterstroming. Onder de Veluwe ligt de grootste zoete grondwatervoorraad van Nederland (paragraaf 2.3, paragraaf 8.1). Dit grondwater is nu al een belangrijke bron voor drinkwater en worden waarschijnlijk aangewezen als een van de Nationale Grondwaterreserves (paragraaf 7.3.2). Het belang van deze reserve zal in de

toekomst groter worden omdat de beschikbaarheid van oppervlaktewater in zomerperioden waarschijnlijk afneemt als gevolg van klimaatverandering. Het omringende gebied (Veluweflank en IJsselvallei) ontvangt – vooral in de natuurlijke situatie - veel schoon kwelwater vanuit de Veluwe, waardoor de potentie voor natuurontwikkeling en een hoge biodiversiteit hier (vanuit het watersysteem gezien) groot is. Echter, dit kan alleen worden gerealiseerd door netto minder grondwater te onttrekken en/of de grondwateraanvulling te vergroten door kunstmatige infiltratie of het vervangen van naaldbomen door bijv. loofbos of heide. Het is voor Nederland dan ook van strategisch belang om het grondwater onder de Veluwe goed te beheren.



Figuur 8.3 Schematische doorsnede (oost-west) van de Veluwe, Veluweflank en IJsselvallei (gezien vanuit het noorden) met daarin grondwaterwinningen zijn weergegeven. Ook landgebruik, ontwatering en grondwateronttrekking zijn afgebeeld. Het effect hiervan op de grondwaterstroming is weergegeven met de blauwe pijlen. Bron: Deltares/TNO, 2009.

8.2.2 Verdroging en verontreiniging

Als gevolg van de huidige begroeiing van de Veluwe (vooral naaldbos) en grondwaterwinningen zijn de grondwaterstanden op de Veluwe op de Veluwe verlaagd. In de omringende gebieden (Veluweflank en IJsselvallei) zorgt dit ook voor veel lagere grondwaterstanden, afgenomen en verdwenen kwelstromen en droogval van beken. Het huidige landgebruik op de Veluweflank en in de IJsselvallei (intensieve landbouw en stedelijk gebied) en de intensieve ontwatering versterken dit probleem: een groot deel van het kwelwater van de Veluwe wordt afgevoerd richting de rivier de IJssel. Ondanks de goede potentie liggen er op de Veluweflanken en in de IJsselvallei slechts een beperkt aantal kleine (verdroogde) natuurgebieden (Hoofdstuk 3; Figuur 8.4, linksboven).

Naast het optreden van daling van de grondwaterstanden zorgen landbouwactiviteiten en het stedelijke gebied op en rond de Veluwe voor verontreiniging van het grondwater (paragraaf

4.1; figuur 8.4, Midden-boven). Doordat natuurlijke barrières in de ondergrond in dit gebied ontbreken kunnen deze verontreinigingen zich gemakkelijk verspreiden naar het diepere grondwater waar het een risico vormt voor drinkwaterwinningen (paragraaf 4.4; Figuur 8.4, rechtsboven). Via kwelstromen kan op termijn ook het ondiepe grondwater en oppervlaktewater in omringende gebieden worden aangetast.

Onder de Veluwe bevindt zich een relatief grote hoeveelheid schoon grondwater. Het is een belangrijke bron van zoetwater voor de toekomstige generaties (paragraaf 7.3.2). De geohydrologie van de Veluwe maken het gebied echter kwetsbaar voor verontreiniging van het grondwater. Grondwater infiltreert relatief snel in de zandige ondergrond en stoffen worden mee naar de diepte getransporteerd. Er zijn geen ondiepe ondoorlatende lagen om het grondwater te beschermen tegen verontreiniging en zuiverende werking van de geochemie en biologie zijn beperkt (paragraaf 4.4; Figuur 8.4, midden-onder).

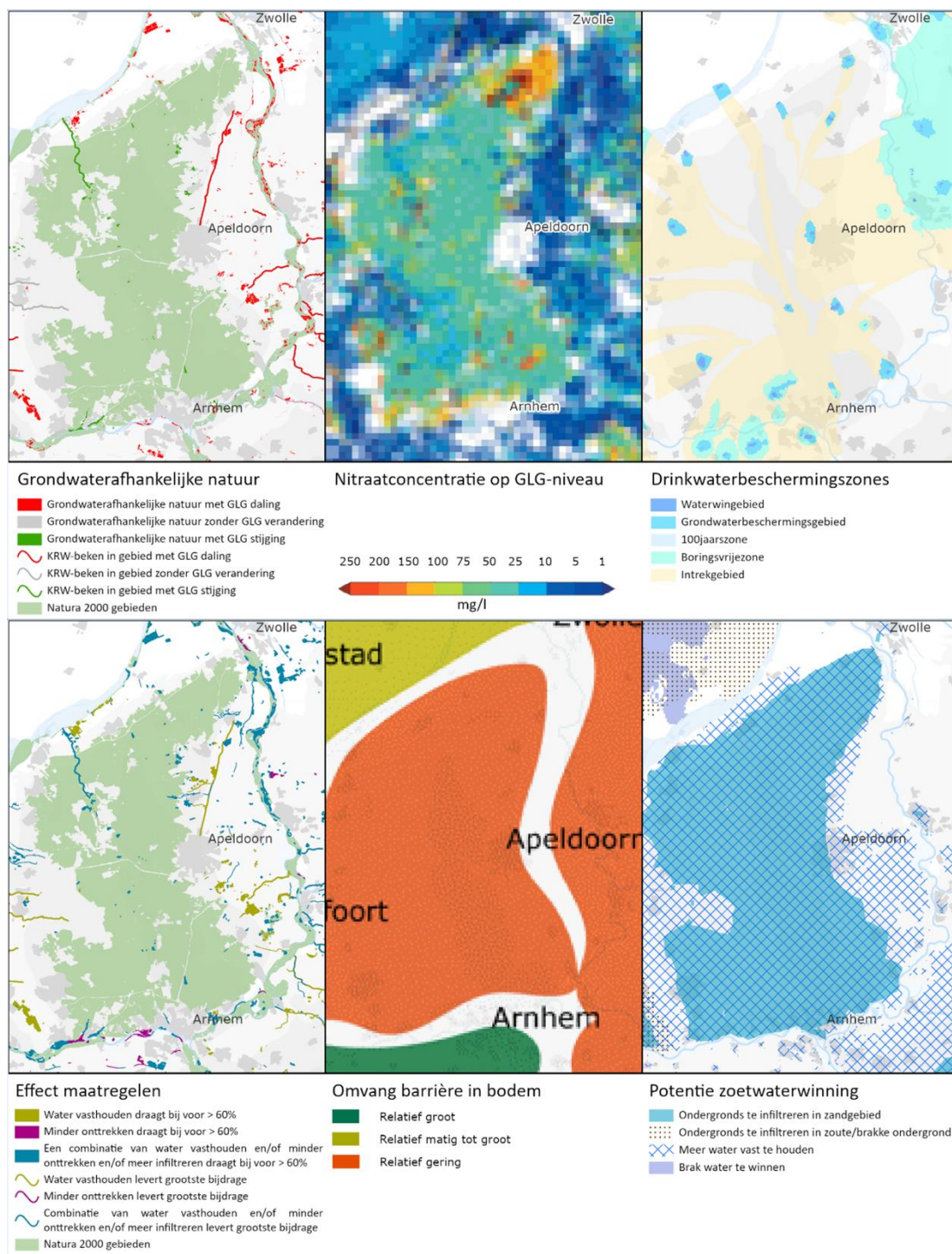
8.2.3 Versterken potentie van het gebied

Onder het KNMI'14 W_H klimaatscenario wordt verwacht dat, als een gevolg van de toenemende neerslag op jaarbasis, de grondwateraanvulling toeneemt. De grondwaterstanden op de Veluwe zowel in de zomer en winter zullen stijgen en de kwelflux naar het omringende gebied neemt toe (paragraaf 2.3.3). Het verhogen van grondwaterstanden en versterken van kwelstromen door de huidige naaldbossen te vervangen door heide en/of loofbos, het verminderen van onttrekkingen en het verminderen van ontwatering en verhard oppervlak zorgen voor een stijging van grondwaterstanden en kwelstromen in natuurgebieden (paragraaf 3.2.1; Figuur 8.4, linksonder). Ook dragen deze maatregelen bij aan het versterken van de aanvulling van het diepere grondwater. Daarnaast is op de Veluwe, als gevolg van de dikke onverzadigde zone (diepe grondwaterstanden), relatief veel ruimte om ondergronds water te infiltreren (paragraaf 3.2; Figuur 8.4, rechtsonder). Ook dit zal leiden tot een stijging van grondwaterstanden en toename van de kwelflux in het omringende gebied met mogelijk wateroverlast in stedelijke omgeving (paragraaf 6.2.1).

Deze veranderingen als gevolg van klimaatverandering en aanpassingen in het land- en watergebruik versterken de potentie van de Veluwe als (toekomstige) bron van drinkwater en als motor van natuurontwikkeling en biodiversiteit.

8.2.4 Beschermen waterkwaliteit cruciaal

Het is van groot belang dat de goede kwaliteit van het Veluwewater behouden blijft. Gezien de kwetsbaarheid van de ondergrond in dit gebied, moet verdere verontreiniging van het grondwater door landbouwactiviteiten of vanuit industrie en het stedelijk gebied worden voorkomen of zoveel mogelijk worden beperkt. Dit is ook het doel van de gebiedsdossiers om de bronnen van drinkwater te beschermen. Goede kwaliteit kan behouden blijven door emissies te voorkomen (beleid en regelgeving) en door incidentele puntverontreinigingen snel op te sporen en zo dicht mogelijk bij de bron te zuiveren. Dit laatste vergt gerichte, (semi) real-time monitoring van de kwaliteit van het grondwater.



Figuur 8.4 Ruimtelijke beelden van aandachtspunten (links) en oplossingen (rechts) in het gebied van de Veluwe en IJsselvallei:

- *Linksboven: grondwaterafhankelijke natuur waar verandering grondwaterstanden optreedt in 2050 (uitsnede Figuur 3.5)*
- *Linksonder: Effectiviteit van vlakdekkende vernattingsmaatregelen op grondstanden in natuurgebieden (uitsnede Figuur 3.7)*
- *Midden-boven: Verontreiniging van het ondiepe grondwater met nitraat (uitsnede Figuur 4.5, linksboven)*
- *Midden-onder: omvang natuurlijke barrières in de ondergrond (uitsnede Figuur 4.12)*
- *Rechtsboven: bestaande drinkwaterwinningen uit het grondwater (waterwingebieden) en omliggende beschermingsgebieden (uitsnede Figuur 7.4)*
- *Rechtsonder: potentie voor waterberging in de ondergrond (Figuur 7.7)*

Ook wanneer maatregelen worden genomen om de grondwaterstanden te verhogen en kwelstromen te versterken en bij het toepassen van ondergronds infiltreren van water is het van belang de effecten op de grondwaterkwaliteit mee te nemen tijdens het voorbereiden van de plannen. Als niet zorgvuldig uitgevoerd kunnen deze maatregelen leiden tot verontreiniging van het grondwater (paragraaf 4.6).

Ook bij het aanleggen en beheren van bodemenergiesystemen is het belangrijk om zorgvuldig om te gaan met mogelijke risico's van de waterkwaliteit. Naast het zorgvuldig afdichten van boorgaten in afsluitende kleilagen, is het in kaart brengen van aanwezige verontreinigingen en (semi) real-time monitoring van de grondwaterkwaliteit bij de bodemenergiesystemen van belang om eventuele verontreinigingen snel te detecteren en maatregelen te nemen.

8.2.5 Aanpassingen landelijk en stedelijk gebied nodig

Het versterken van de potentie van Veluwe en IJsselvallei is niet mogelijk met maatregelen die enkel gericht zijn op het waterbeheer. Verhogen van grondwaterstanden, versterken kwelstroming en tegengaan van verontreiniging vragen om veranderingen in het landgebruik. Stijging van grondwaterstanden en toename van kwelflux in de lager delen van het gebied en op de Veluweflanken zal aanpassing van het stedelijk gebied vergen om grondwateroverlast te beperken (paragraaf 6.2). Daarnaast zal landbouw, naast een vermindering van de droogteschade, waarschijnlijk vooral te maken krijgen met den toename van natschade. Door de huidige intensieve landbouw in gebieden waar vernatting wordt toegepast om te vormen naar meer extensieve vormen van landbouw en combinaties met natuur en/of recreatie kan dit negatieve effect wellicht worden opgevangen. Het is daarbij wel van belang dat passende en haalbare verdienmodellen worden ontwikkeld.

Groene hart: vernatting, infiltratie en bodemenergie bieden kansen

Het Groene Hart is een binnen de Nederlandse Randstad gelegen, relatief dunbevolkt veenweidegebied. Rond het Groene Hart liggen Rotterdam, Den Haag, Zoetermeer, Leiden, Haarlem, Amsterdam en Utrecht. Binnen het Groene Hart ligt een aantal kleinere plaatsen, maar ook enkele middelgrote steden (met 50.000 tot 100.000 inwoners) als Alphen aan den Rijn, Gouda en Woerden. Het gebied is in 2004 aangewezen als Nationaal Landschap.

8.3.1 Bodemdaling en verzilting zorgen voor schade

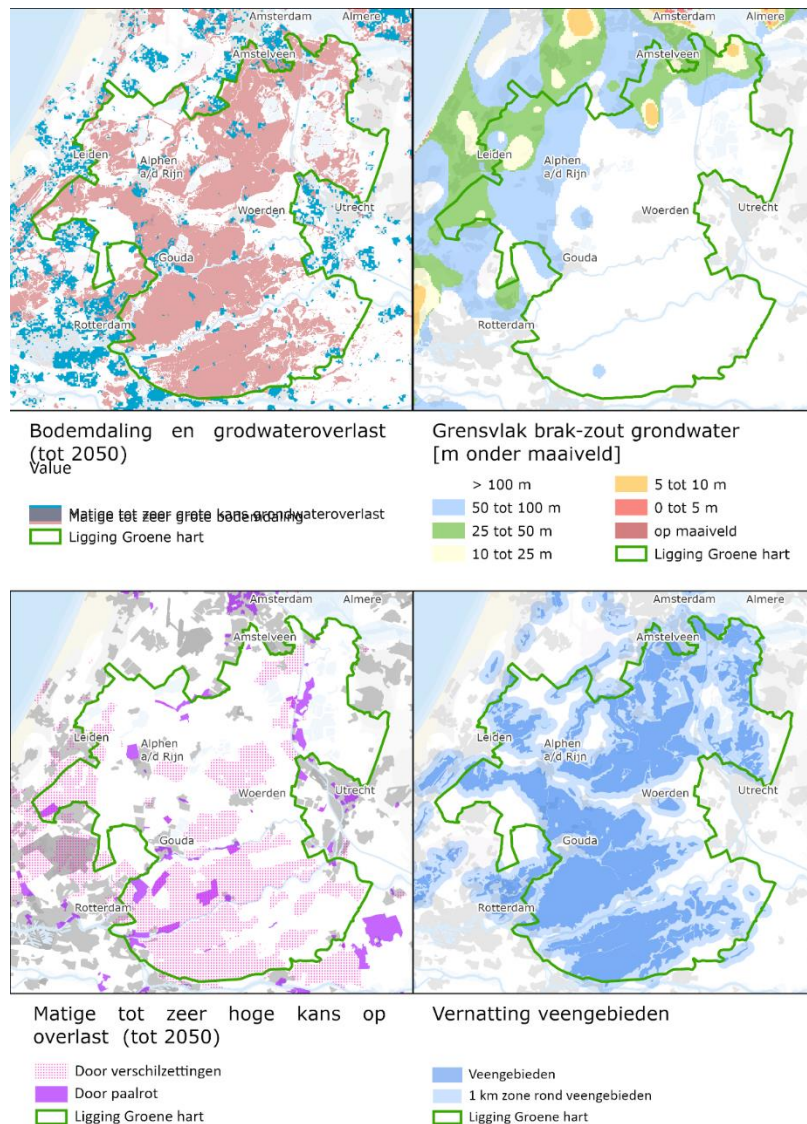
Grote delen van de ondergrond van het Groene Hart bestaan uit veen- en kleilagen. Deze slappe bodems zijn gevoelig voor verandering van grondwaterstanden. De afgelopen eeuwen is sterke bodemdaling en CO₂ emissie opgetreden als gevolg van ontwatering om het veen geschikt te maken voor landbouw en bebouwing. Als wordt vastgehouden aan het huidige landgebruik en waterbeheer zullen, mede als gevolg van klimaatverandering (vaker optreden van droge en natte perioden), de CO₂ emissies toenemen en zal de komende decennia nog 20 tot 60 cm extra bodemdaling optreden (Figuur 8.5, linksboven). Het gevolg hiervan is schade aan gebouwen en infrastructuur door verschilzetting en grondwateroverlast (Figuur 8.5, linksonder). Een bekend voorbeeld hiervan zijn de grote hoogteverschillen in Gouda, waar tuinen en straten inmiddels decimeters lager liggen dan de gefundeerde gebouwen. Daarnaast zorgt het proces van autonome verzilting' in combinatie met een dunner wordende veenlaag voor een toename van verzilting van het ondiepe grondwater in het westelijk deel van het Groene Hart (Figuur 8.6, rechtsboven). Dit is nadelig voor landbouw en natuur in het gebied en tast mogelijk betonnen funderingen aan.

8.3.2 Vernatting combineren met verbetering en behoud grondwaterkwaliteit

Om bodemdaling en CO₂-uitstoot in veenweidegebieden tegen te gaan en om tegendruk te bieden aan verzilting, zal in grote delen van het Groene Hart vernatting worden toegepast door middel van een verhoging van het oppervlaktewaterpeil naar 20 tot 40 cm onder maaiveld (zie kamerbrief 'Water en Bodem sturend', 25 november 2022). Deze maatregel

kan mogelijk ook leiden tot een stijging van de grondwaterstand in nabijgelegen stedelijk gebied (Figuur 8.5, rechtsonder).

Het vernatten van het gebied en de daarmee samenhangende veranderingen in het landgebruik (landbouwtransitie), bieden ook een kans voor het beperken van verontreiniging vanuit landbouw. Hiermee kunnen de kwaliteit van grond en oppervlaktewater verbeterd worden. Het is wel belangrijk dat vernatting zorgvuldig gebeurt, zodat dit niet leidt tot ongewenste effecten voor de grondwaterkwaliteit. Schoon water is een voorwaarde, maar ook de samenstelling los van verontreinigingen is belangrijk de zuurgraad, zuurstofgehalte, of zoutgehalte, kunnen ongewenste effecten veroorzaken in de bodem en grondwaterkwaliteit aantasten.



Figuur 8.5 Ruimtelijke beelden van aandachtspunten (links) en oplossingen (rechts) in het Groene Hart:

- Linksboven: Overzicht van gebieden met bodemdaling en grondwateroverlast voor stedelijke functies in 2050 onder KNMI'14 WH klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie (uitsnede Figuur 6.10).
- Rechtsboven: Diepte van brak-zout grensvlak van het grondwater (1000 mg/l chloride) in meters onder maaiveld in het westen en noorden van Nederland (uitsnede Figuur 2.9)
- Linksonder: Overzicht van gebieden met een risico op verschilzetting en paalrot 2050 onder KNMI'14 WH klimaatscenario voor 2050 met peilindexatie (uitsnede Figuur 6.11)
- Rechtsonder: Overzicht van gebieden waar mogelijk peilverhoging zal worden toegepast. (uitsnede Figuur 6.5).

8.3.3 Toekomstbestendig stedelijk gebied

Verandering van de grondregiem is in het Groene Hart onvermijdelijk. Het is dan ook raadzaam om nieuwe locaties voor woningbouw of infrastructuur niet te plannen in gebieden met slappe bodems die erg gevoelig zijn hiervoor. Wordt dan toch besloten om in risicogebieden te bouwen dan is aangepast (waterrobuust) bouwen van woningen, gebouwen en infrastructuur een voorwaarde voor een duurzame woon- en werkomgeving. Dit kan worden bereikt door bouwwijzen of materialen te eisen die zijn afgestemd op lokale water- en bodemkarakteristieken. Ook is het raadzaam om binnen de nieuwe bouwlocaties lastige plekken (slap, nat, kwel) te mijden en hier groen, waterpartijen, plas/dras zones of piekwaterberging aan te leggen. Een andere mogelijkheid is om in deze zones aangepast te bouwen, afgestemd op een veranderend grondwaterregiem met een toename in fluctuatie van de grondwaterstand, hogere grondwaterstanden in de winter en lagere grondwaterstanden in de zomer. Gebieden met slappe bodems en/of opkwellend grondwater zijn mogelijk wel geschikt voor andere vormen van landgebruik zoals natuurontwikkeling, extensieve landbouw en/of recreatie.

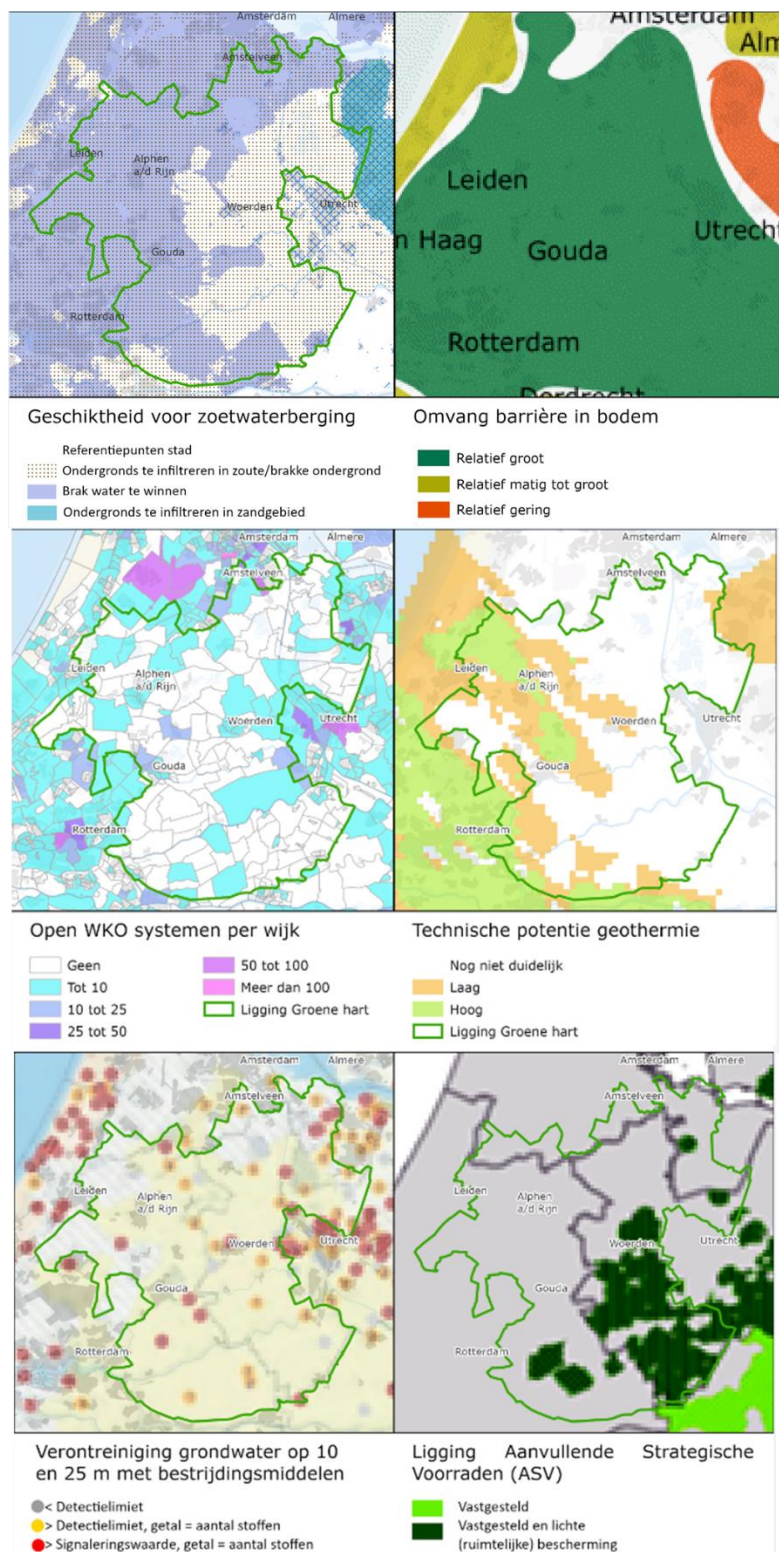
Indien het niet mogelijk is om de gevoeligheid van bebouwing en infrastructuur in voldoende mate te verkleinen om overlast en schades te voorkomen, kan worden onderzocht of het op een locatie mogelijk is het grondwaterregiem (tijdelijk) te beheersen. Voorbeelden daarvan zijn Infiltratie-transport riolen voor regenwater, en actief grondwaterpeilbeheer systemen. Daarnaast kan gelet worden op vergroten of beperken van regenwaterinfiltratie en verdamping (bijv. door bomen). Beheersing van de grondwaterstand is soms kostbaar en niet overal mogelijk. De bodemtextuur moet geschikt zijn, er moet te infiltreren water beschikbaar zijn en er moet ruimte zijn (in de ondergrond) om de noodzakelijke leidingen in te graven.

8.3.4 Kansen voor bodemenergie en zoetwateropslag in de ondergrond

Het Groene Hart biedt potentie voor het infiltreren van zoetwater in de ondergrond en voor het winnen van brakwater (Figuur 8.6, linksboven). Dit biedt mogelijkheden voor het aanleggen van lokale zoetwatervoorraden en zorgt ervoor dat verzilting van het ondiepe grondwater wordt teruggedrongen.

Het gebied biedt ook kansen voor bodemenergie. De afgelopen decennia zijn veel WKO systemen aangelegd in en rond het stedelijk gebied van het Groene Hart (Figuur 8.6, links-midden). Ook is in delen van het gebied de potentie voor geothermie relatief hoog (Figuur 8.6, rechts-midden). In het Groene Hart zijn relatief dikke scheidende kleilagen aanwezig. Dit beperkt het risico op lekkage van verontreinigd of verzilt grondwater vanuit diepe watervoerende pakketten (Figuur 8.6, rechtsboven).

Open bodemenergiesystemen kunnen zorgen voor verspreiding van lokale verontreinigingen (Figuur 8.6, linksonder) en bij gesloten bodemenergiesystemen kan lekkage van koelvloeistoffen optreden (paragraaf 5.3). Om het risico op verontreiniging van geïnfilteerd zoetwater te voorkomen, is het daarom van belang dat voldoende afstand (3-D: lateraal en/of verticaal) wordt bewaard tussen bodem energiesystemen en gebieden met (toekomstige) zoetwater-opslag of brakwaterwinning. Ook zal rekening gehouden moeten worden met de aangewezen Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden in het gebied (Figuur 8.6, rechtsonder).



Figuur 8.6 Ruimtelijke beelden van aandachtspunten (links) en oplossingen (rechts) in het Groene Hart:

- Linksboven: Totaal aantal WKO systemen per wijk (uitsnede Figuur 5.2)
- Rechtsboven: Technische potentie geothermie (uitsnede Figuur 5.5)
- Links-midden: Verontreiniging van het ondiepe grondwater met op ca 10 en 25 m diepte voor bestrijdingsmiddelen (uitsnede Figuur 4.5)
- Rechts-midden: Overzicht van Aanvullende Strategische (grondwater) Voorraden (uitsnede Figuur 7.7)
- Linksonder: potentie voor waterberging in de ondergrond (uitsnede Figuur 7.7)
- Rechtsonder: omvang natuurlijke barrières in de ondergrond (uitsnede Figuur 4.12)

9 Referenties

Adviescommissie Droogte Noord-Brabant (2022) Zonder water, geen later; Naar een omslag in het (grond)waterbeheer in Noord-Brabant.

Cirkel G., Dijkstra J., Van Vliet M., Jansen S., Deltafact Mogelijke lange-termijn effecten van grootschalige geothermie op grondwaterkwaliteit. Kennisimpuls Waterkwaliteit.

De Louw, P.G.B., Vandenbohede, A., Werner, A.D., Oude Essink, G.H.P. (2013). Natural saltwater upconing by preferential groundwater discharge through boils, Journal of Hydrology 490, 74-87.

De Louw, P.G.B., Witte, J. P., van den Eertwegh, G. A. P. H., Bartholomeus, R. P., Pouwels, J., & Hunink, J. (2022a). Beter bestand tegen droogte: oplossingsrichtingen voor een hydrologisch goed functionerend grondwatersysteem in de zandgebieden van Nederland. Stromingen: vakblad voor hydrologen, 28(1), 3-21.

De Louw, P. G., Witte, J. P., van den Eertwegh, G. A. P. H. , Pouwels, J. (2022b). Effecten van beregening uit grondwater op het watersysteem tijdens de droogte van 2018. H2O-Online / 3 maart 2022.

Deltares rapport 11205261-003-BGS-0001 (2020) Actualisatie zout in het NHI - Toolbox NHI zoet-zout modellering en landelijk model. Delsman, J., Oude Essink, G., Huizer, S., Bootsma, H., Mulder, T., Zitman, P., Romero Verastegui, B., & Janssen, G.

Deltares rapport 11204487-001-BGS-0005 (2021) COASTAR Nationaal. Regionale en nationale opschaling COASTAR toepassingen. Liduin Bos – Burgering, Simon Buijs, Ilja America, Jeroen Klooster, Perry de Louw, Joost Delsman, Sija Stofberg, Klaasjan Raat, Rosalie Franssen, Jolijn Posma.

Deltares (2021) Op Waterbasis Grenzen aan de maakbaarheid van ons water- en bodemsysteem. Essay & handreiking voor dialoog.

Deltares rapport 11207846-002-BGS-0004, in voorbereiding. 3D-kartering van zoet en brak grondwater van natuurlijke kwaliteit. Deelrapportage 1 van project 3D-kartering Nationale Grondwater Reserves. Buma, J., Delsman, J., Davids – Op den Kelder, T., Janssen, G.

Didde, René (2021) Nederland Droogteland. Lias B.V. ISBN 9789088031205

EU (2020). Verordening (EU) 2020/741 van het Europees Parlement en de Raad van 25 mei 2020 inzake minimeisen voor hergebruik van water.
<https://data.europa.eu/eli/reg/2020/741/oj>

EU (2022). https://environment.ec.europa.eu/publications/proposal-amending-water-directives_en

Eertwegh, G. van den, P. de Louw, P. , F. Witte, M. van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. van Deijl, J. van Dam, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. de Wit (2021) Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland
(https://droogteportaal.nl/rapporten/Droogte_zandgronden_fase_3.pdf)

Gaast, J.W.J. van der, H.Th.L. Massop en H.R.J. Vroon, 2009. Actuele grondwaterstandsituatie in natuurgebieden; Een Pilotstudie. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-rapport 94. 134 blz.; 48 fig.; 10 tab.; 120 ref.; 4 bijl.

Geothermie NL, GNL Factsheet Boren naar aardwarmte, <https://geothermie.nl/wp-content/uploads/GNL-Factsheet-Boren-naar-aardwarmte.pdf>

GDN Geologische Dienst Nederland, TNO. (2020) www.grondwatertools.nl
[Grondwaterkwaliteit | Grondwatertools](#)

Griffioen, J., Notenboom, J., Schraa, G., Stuurman, R.J. & Van Wirdum, G. (2002). Systeemgericht grondwaterbeheer. Beschrijving van het functioneren van grondwatersystemen en de werking voor grondwaterafhankelijke ecosystemen. NITG-TNO.

HaskoningDHV (2022) Actualisatie Aanvullende Strategische Voorraden 2023. kenmerk memo: BI8328-RHD-ZZ-XX-NT-Z-0001, datum: 28 oktober 2022

Hendriks, D. M. D. (2009). Integrated observations of greenhouse gas budgets at the ecosystem level: changing environment and management practices in peat meadows. [PhD-Thesis - Research and graduation internal, Vrije Universiteit Amsterdam]. Vrije Universiteit.

Hendriks, D.M.D., Kuijper M.J.M., and van Ek, R. (2014) Groundwater impact on environmental flow needs of streams in sandy catchments in The Netherlands, Hydrological Sciences Journal 59 (3-4) 1–16

Hendriks, D.M.D., Mens, M., Kramer, N., Borren, W., Diermanse, F. (2015) CHANGING E-FLOWS RESULTING FROM LAND USE CHANGE AND ALTERED GROUNDWATER CONDITIONS IN THE REGGE CATCHMENT, THE NETHERLANDS. Extended Abstract. REFORM International Conference on River and Stream Restoration “Novel Approaches to Assess and Rehabilitate Modified Rivers”

IPO/RIZA (2000). Inventarisatie van verdroogde gebieden 2000. Inter provinciaal Overleg/Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling, IPO publicatie nr 145, Den Haag.

Knotters, M. en P. Jansen (2005) Honderd jaar verdroging in kaart; In Stromingen; vol 11; 19-32

KWR, 2021. COASTAR. Hydrogeologische referentiesituatie en voorlopig ontwerp puttenveld brakwaterpilot Scheveningen (Dunea) KWR 2021.02

KWR, 2022. Juridisch kader aanvulling watersysteem met industrieel restwater. KWR 2022.102 | Oktober 2022

Post, V.E.A., (2004). Groundwater Salinization Processes in the Coastal Area of The Netherlands due to Transgressions during the Holocene. PhD thesis, Free University Amsterdam, 138pp.

Referentie: KPMG/Grontmij (2001) Grondwateroverlast in het stedelijk gebied Een bestuurlijk-juridische en technische analyse als basis voor een structurele aanpak van een al jaren spelend vraagstuk.

Loon, A.H. van, Pronk, T.E., Raterman, B.W., Ros, S.E.M (2020) Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies (KWR 2020.067 | Mei 2020)

Maring, L., van den Meiracker, R., Jansen, S., Kloosterman, R., Niesten, M., Passier, H., Postma, M., Terwisscha van Scheltinga, R., de Vries, S, Welkers, J. (2022) Flexibele drinkwaterwinningen – Ontwerp Oplossingsconcepten / (deel)oplossingen. (Deltares rapport [11205767_000_0003.pdf \(deltares.nl\)](#))

Negash A., Swartjes, F.A. (2021) Chemische stoffen in het grondwater: status vergrijzing in Nederland. [STOWA-KIWK 2021-58 Vergrijzing grondwater.pdf](#)

Passier, H., van den Meiracker, R., Ouwerkerk, K., van Vliet, M., van Loon, A., van Driezum, I, Hartmann, J., Swartjes, F., 2022 Deltafact – Opkomende stoffen in grondwater. Kennisimpuls Waterkwaliteit. [Opkomende Stoffen def v2 13052022-converted.pdf \(stowa.nl\)](#)

PBL Planbureau voor de Leefomgeving (2016) Dalende bodems, stijgende kosten. Mogelijke maatregelen tegen veenbodemdaling in het landelijk en stedelijk gebied. PBL-publicatienummer: 1064

RWS (2022) Voortgang aanpak bodemverontreiniging met onaanvaardbare risico's 2021 . [voortgang-aanpak-bodemverontreiniging-met-onaanvaardbare-risico2021_definitief_versie-3-0_schoon.pdf](#)

Schout, G., Bloemendal, M., 2022 Deltafact Effect van bodemenergiesystemen op de grondwaterkwaliteit. Kennisimpuls Waterkwaliteit.

Schrier-Uijl, A.P., P.S. Kroon, D.M.D. Hendriks, A. Hensen, J. Van Huissteden, F. Berendse, and E.M. Veenendaal (2014) Agricultural peatlands: towards a greenhouse gas sink – a synthesis of a Dutch landscape study ,Biogeosciences 11 4559-4576

SKB (2012) Meer Met Bodemenergie Cahier. toegepast (SKB, 2012) [Meer-Met-Bodemenergie.pdf \(soilpedia.nl\)](#).

Stuurman, R.J. en J. Griffioen (2003) Systeemgericht grondwaterbeheer. Drie praktijkgevallen van problemen in grondwaterbeheer. TNO-NITG, rapport TCB R18(2003) Opgesteld in opdracht van de Technische commissie bodembescherming.

STOWA, 2010. Grondwaterregime op basis van karteerbare kenmerken. Gaast, J. W. J. van der, H. R. J. Vroon, H. Th. L. Massop. STOWA rapportnummer 2010-41, ISBN 978.90.5773.501.1

STOWA (2018) Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027, rapport 2018-49

STOWA, Deltafact Kennisimpuls Waterkwaliteit. Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op derondwaterkwaliteit. <https://www.stowa.nl/deltafacts/waterkwaliteit/kennisimpuls-waterkwaliteit/effecten-van-kunstmatige-infiltratie-van>

STRONG (2018) Structuurvisie Ondergrond. Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat en Ministerie van Economische Zaken en Klimaat

- Stuyfzand, P. J. (1986) Macroparameters bij duininfiltratie. Mededeling nr. 82 van het KIWA. [Mededeling-082-Macroparameters-bij-Duininfiltratie.pdf \(kwrwater.nl\)](#)
- Swartjes, F.A., Hoekstra, N., Verweij, W., Dijkstra, J.J., van Vliet, M.E., van Loon, A., Schipper, P., van den Brink C. (2022) Deltafact – Vergrijzing van het grondwater. Kennisimpuls Waterkwaliteit. [Vergrijzing van grondwater v3 juni 2022.pdf \(stowa.nl\)](#)
- Van den Eertwegh, G., P. de Louw, P., F. Witte, M. van Huijgevoort, R. Bartholomeus, D. van Deijl, J. van Dam, J. Hunink, I. America, J. Pouwels, P. Hoefsloot en J. de Wit. 2021. Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (https://droogteportaal.nl/rapporten/Droogte_zandgronden_fase_3.pdf)
- Van der Grift, B., Hocking, A., van Vliet, M., Dijkstra, J., Janssen, G., 2022. Geochemisch buffervermogen van de ondergrond – Beschikbare data, 3D modellen en trendanalyse. Kennisimpuls Waterkwaliteit. KIKW 2022-27. [STOWA-KIKW 2022-27 geochemisch buffervermogen ondergrond - beschikbare data en trends.pdf](#)
- Van der Gun, J.H.J., 2010. Handreiking Gebiedsgericht grondwaterbeheer. VROM.
- Van der Schans, M.L., Brokx, L.P., Pauw, P.S., 2022. Betrouwbaar aanvullen boorgaten voor gesloten bodemenergiesystemen. KWR rapport KWR 2022.058.
- Van Dooren, T., Raat, K., Stofberg, S., Van der Grift, B., Marsman, A., 2022. Deltafact – Effecten van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater op de grondwaterkwaliteit. Kennisimpuls Waterkwaliteit. [Kunstmatige infiltratie v2, mei 2022-converted.pdf \(stowa.nl\)](#)
- Van Gaalen, F., Osté, L en Van Boekel, E., 2020. Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit, PBL Planbureau voor de Leefomgeving Den Haag, PBL-publicatienummer: 4002
- Van Gaalen, F. en Osté, L. 2020. Addendum bij het eindrapport van de Nationale analyse waterkwaliteit. Onderdeel van de Delta-aanpak Waterkwaliteit, PBL Planbureau voor de Leefomgeving Den Haag, PBL-publicatienummer: 4195
- Van Loon, A.H., Pronk, T.E., Raterman, B.W., Ros, S.E.M (2020) Grondwaterkwaliteit Nederland 2020. Anorganische parameters, bestrijdingsmiddelen, farmaceutica en overige verontreinigende stoffen in de grondwatermeetnetten van de provincies. KWR rapport.
- Van Vliet, M., Huizer, S., Marsman, A., Van der Schans, M., Zaadnoordijk, W.J., 2022. Kortsluiting bij doorboringen – Eindrapport van het KWIK-project grondwater. KIKW 2022-28.
- Verweij, W., Passier, H., Hoekstra, N., van den Meiracker, R., Ouwerkerk, K., van Loon, A., Swartjes, F., Hartmann, J., van Vliet, M., Dijkstra, J., Bloem, J, Schipper, P., 2022a. Vergrijzing van grondwater: handelingsperspectieven voor de voortschrijdende aantasting van grondwaterkwaliteit door menselijke invloeden – Eindrapport van het KIKW-project grondwater. Kennisimpuls Waterkwaliteit. KIKW 2022-23. [STOWA-KIKW 2022-23 eindrapport grondwater.pdf](#)
- Verweij, W., Passier, H., J., Bloem, J, Schipper, Dijkstra, J., van Vliet, M, van Loon, A., Swartjes, F., 2022b. Drie natuurlijke barrières beschermen het grondwater. H₂O-Online / 9 november 2022

VEWIN, 2022. Prognoses drinkwatergebruik in Nederland t/m 2040
https://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Vewin-Rapport_2022_Prognoses_drinkwatergebruik_NL.pdf

Witte, J.P.M., R. van Ek, J. Runhaar en G.A.P.H. van den Eertwegh (2019a) Verdroging van de Nederlandse natuur: bijna een halve eeuw goed onderzoek en falende politiek; In Stromingen; vol 25; 1-14.

Witte, F., B. Voortman, K. Nijhuis, M. van Huijgevoort, S. Rijpkema en T. Spek (2019b) Het water van de Veluwe in historisch perspectief. In Stromingen; vol 33; 91-108

Zuurbier, K.G., M. Bakker, W.J. Zaadnoordijk, P.J. Stuyfzand (2013) Identification of potential sites for aquifer storage and recovery (ASR) in coastal areas using ASR performance estimation methods. Hydrogeology Journal volume 21, pages1373–1383

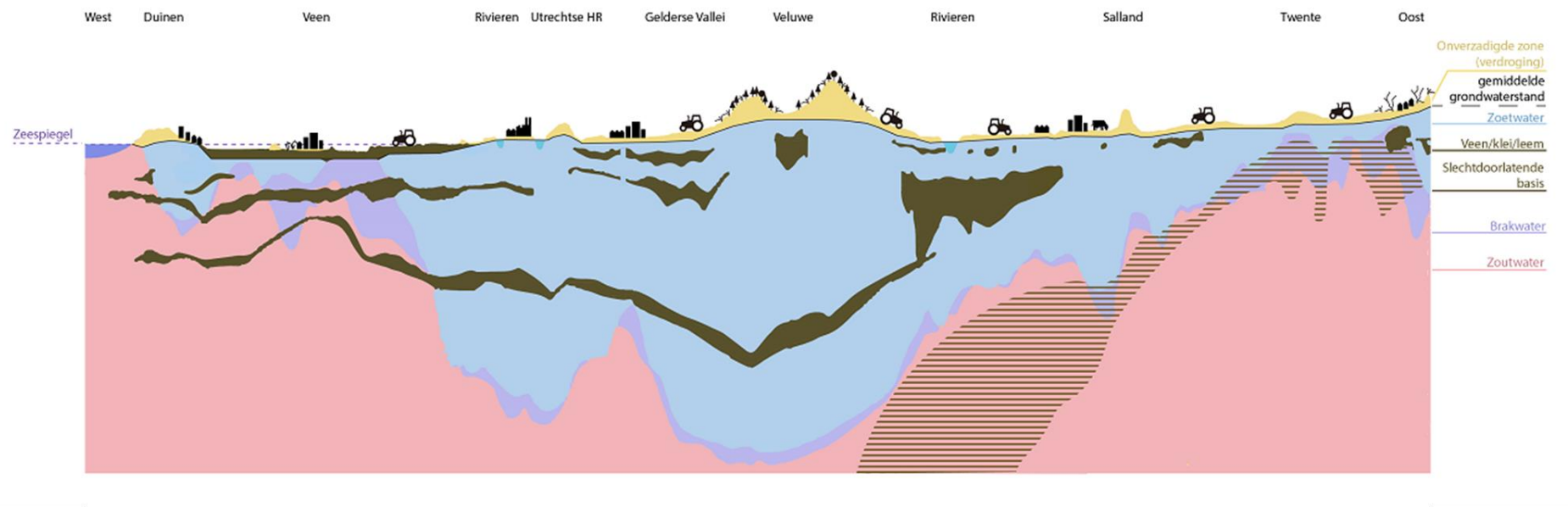
Integrale Grondwaterstudie Nederland

module 1: landelijke analyse

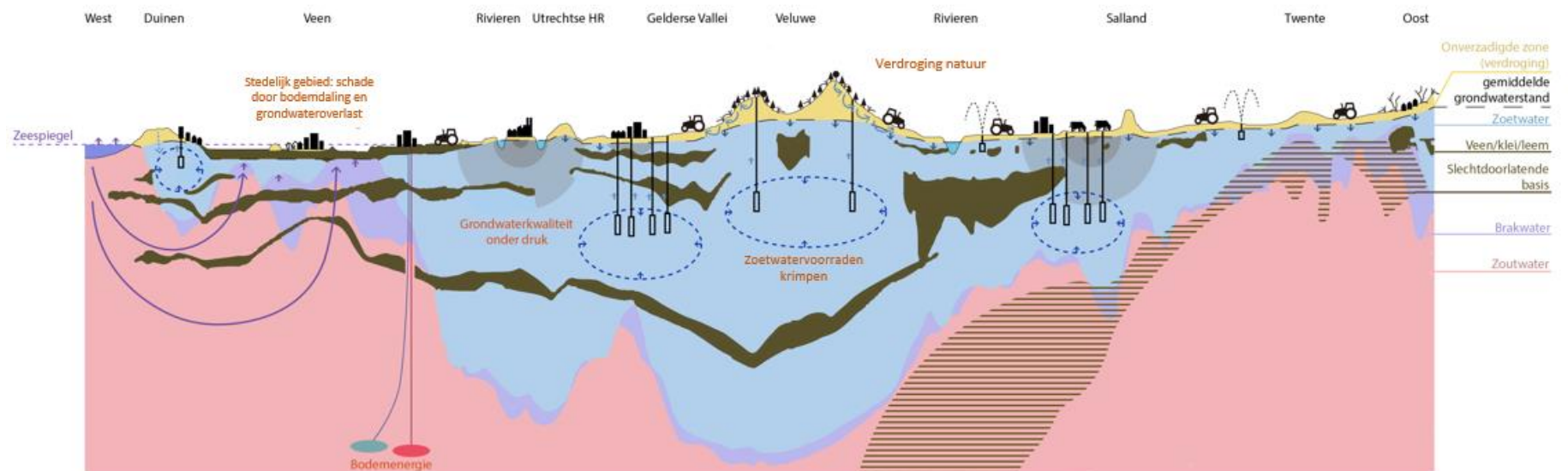
Bijlage A - dwarsprofielen en blokdiagrammen

De visualisaties en kaartbeelden in deze bijlage zijn tot stand gekomen in samenwerking met landschapsarchitecten van Wageningen Environmental Research, afdeling Applied Spatial Research.

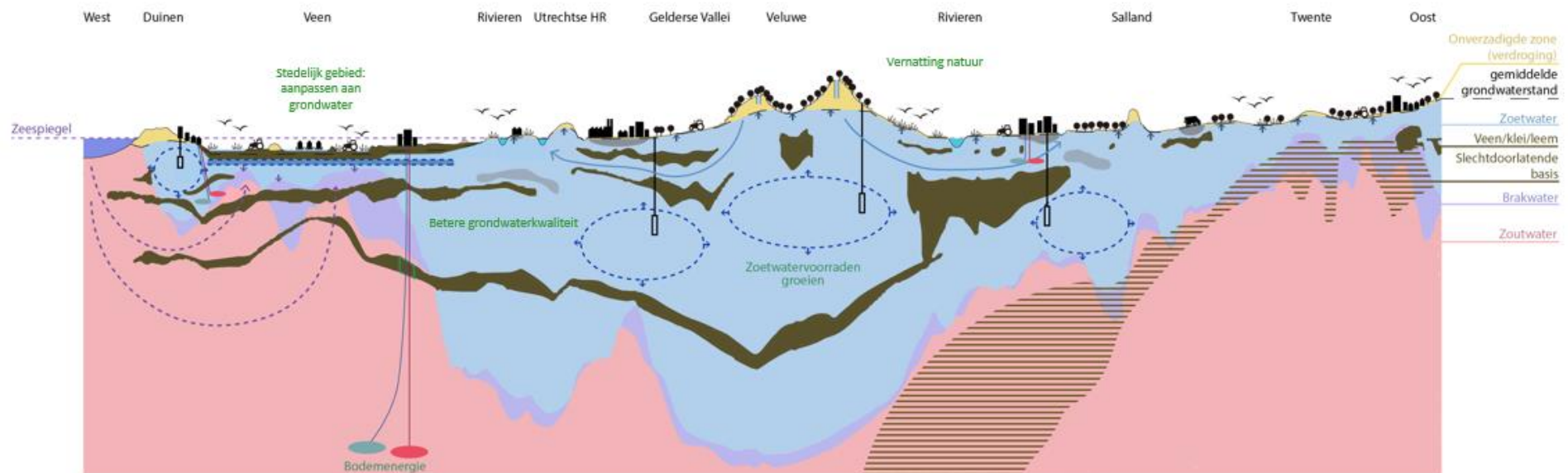
Dwarsprofiel van Nederland



Dwarsprofiel Nederland: aandachtspunten conceptueel

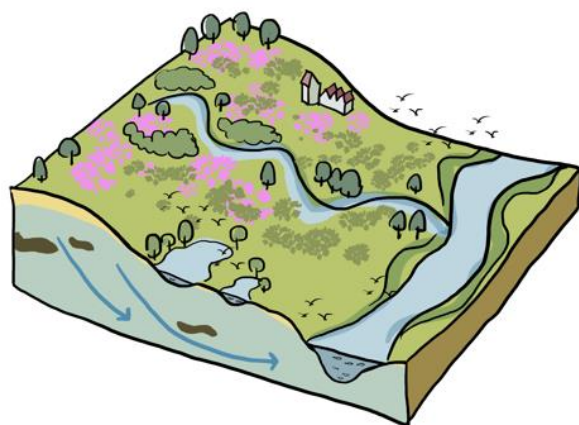


Dwarsprofiel Nederland: oplossingsrichtingen conceptueel

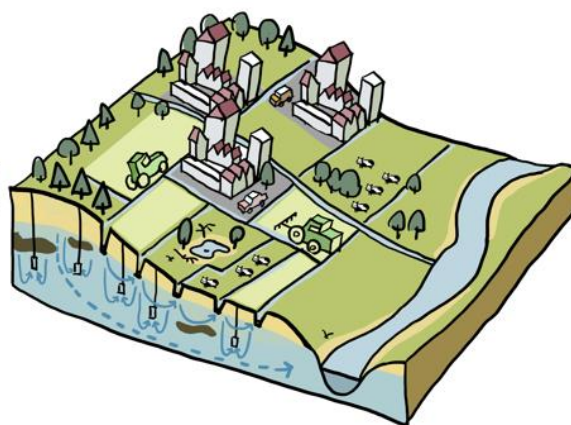


Thema Verdroging Natuur (Hoog Nederland)

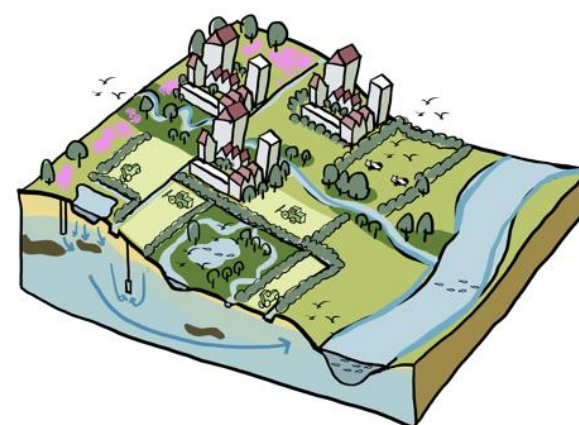
vroeger



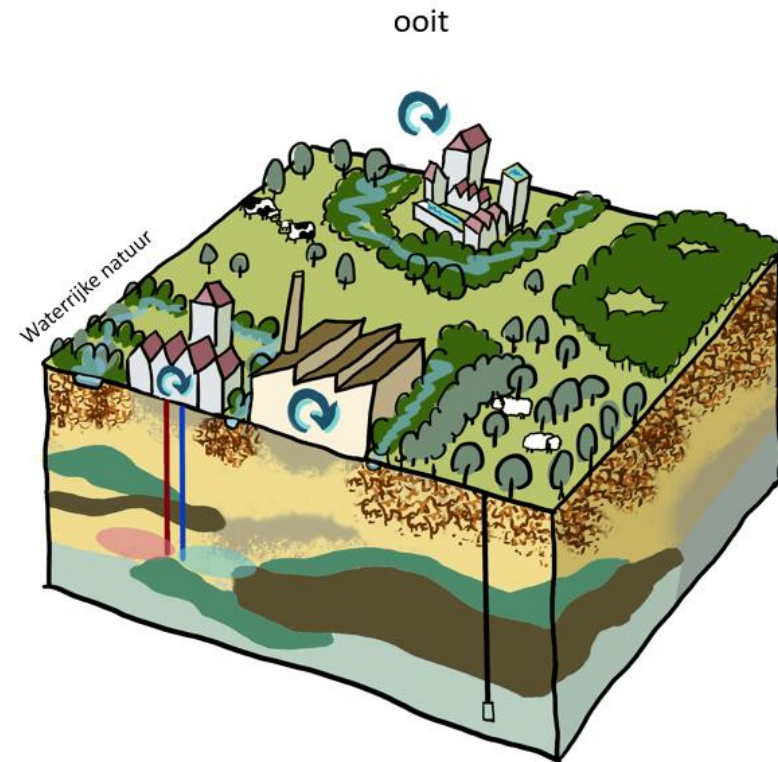
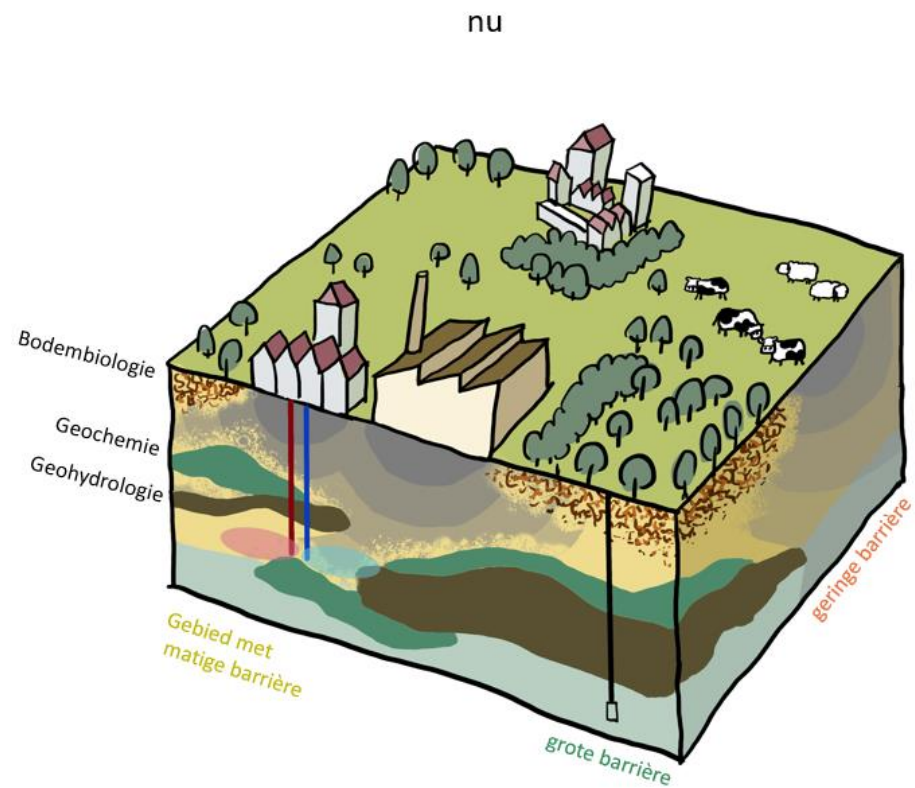
nu



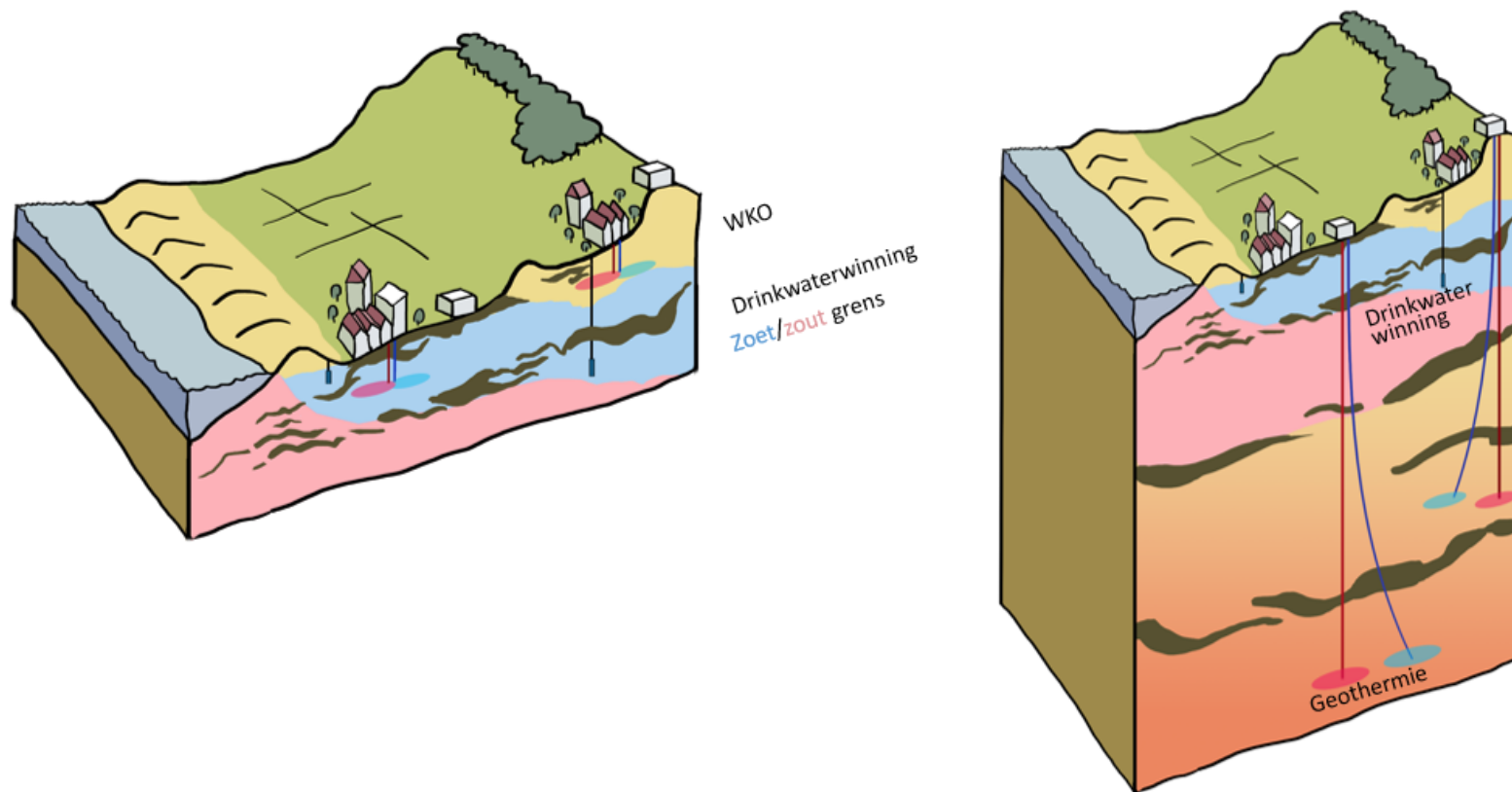
straks



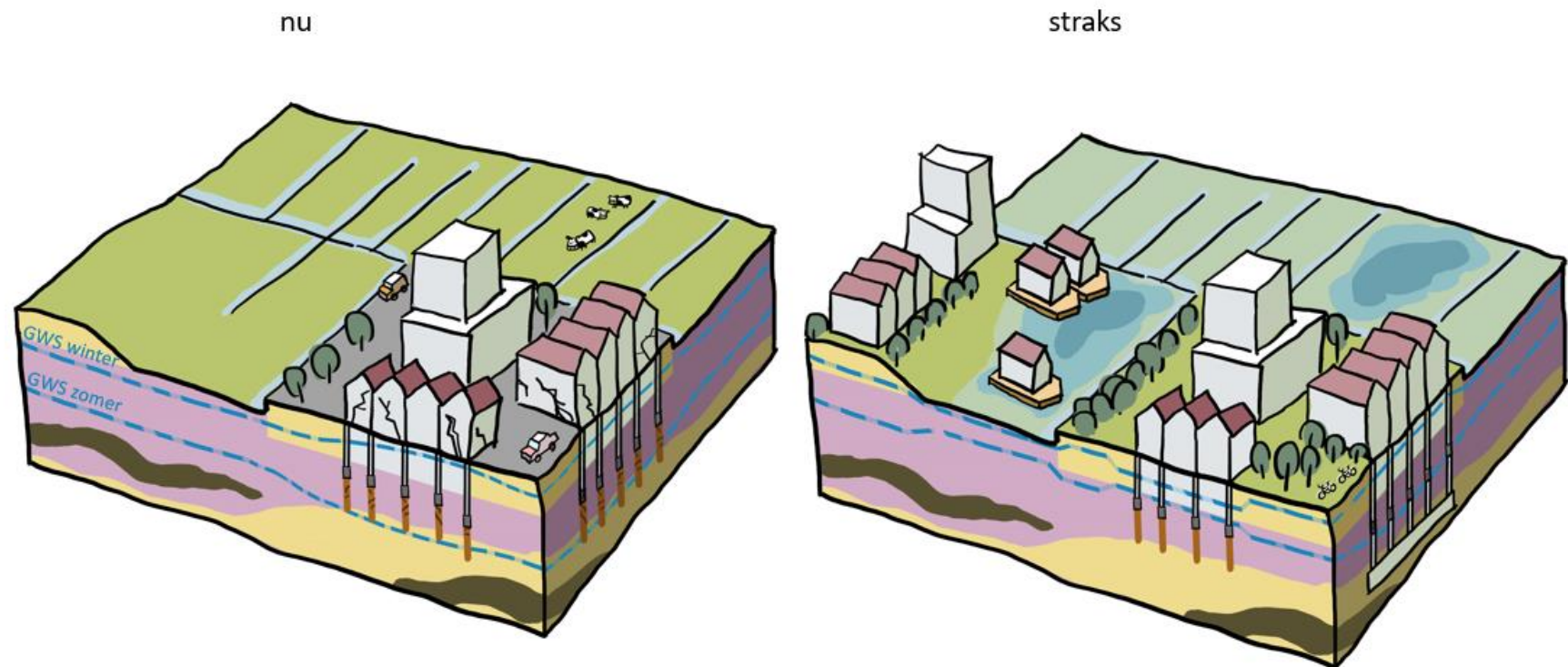
Thema Bescherming grondwaterkwaliteit



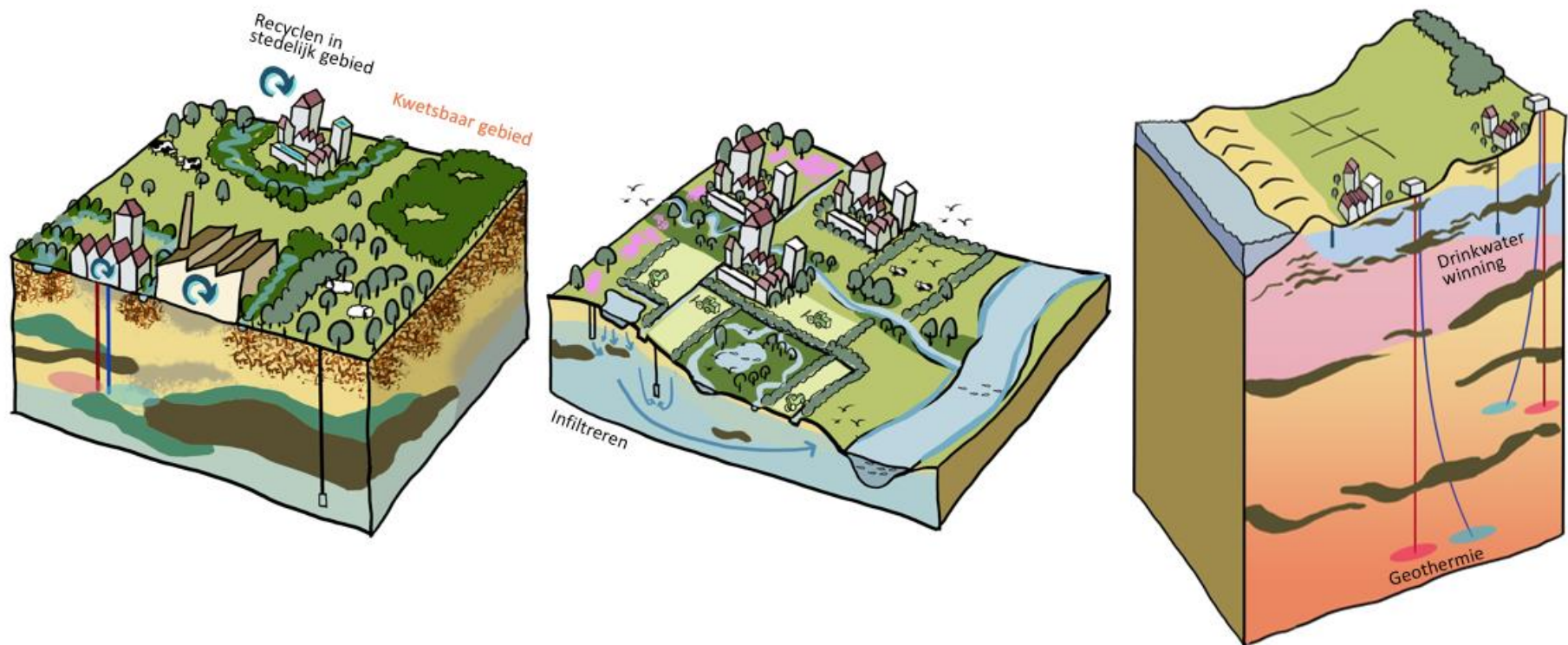
Thema Energietransitie en grondwater



Thema Stedelijk gebied en grondwater (focus Laag Nederland)



Thema Zoetwatervoorziening en grondwater



Integrale Grondwaterstudie Nederland

module 1: landelijke analyse

Bijlage B – verslag eerste workshop klankbordgroep

Datum en locatie: 19 oktober 2022, Deltares Utrecht

Aanwezig: Hilde Passier (Deltares), Annemieke Marsman (Deltares), Dimmie Hendriks (Deltares), Naomi Lamers (Deltares), Judith van Zijl (IenW), Ron Nap (TNO), Jeanette van Eck (HNK), Rob Eijnsink (Vewin), Meinte de Hoog (I&W), Nicole Hardon (I&W), Thuy Do (gemeente Rotterdam), Dolf Kern (Deltacommissaris), Sandra Hogenbirk (IPO), Paul Kruijswijk, Herman Mondeel, Jentse Hoekstra (I&W), Charlotte de Kruijk (I&W), Jan Maurits van Linge (WUR), Michael van Buuren (WUR)

Afgemeld: Matthijs ten Harkel (provincie Noord-Brabant, Giacomo Galli (IenW), Pieter Vlierhuis (IenW), Siep Groen (LNV), Peter Rood (adviseur), Henk van den Berg (VNG)

Agenda workshop

09:00u – 09:25u: Inloop, welkom, kennismaken

09:25u – 09:40u: Toelichting IGSN project

09:40u – 11:15u: Werksessie in groepjes (met landschapsarchitecten – ontwerpende setting)

11:15u – 11:45u: Rondvraag en afsluiting

12:00u: Lunch

12:00u – 13:00u: Optioneel: lunchmeeting 'Energietransitie en grondwater' (start module 2)

Welkom, voorstellen en kennismaken

- Dimmie Hendriks heet alle aanwezigen welkom bij de klankbordgroep workshop van de Integrale Grondwaterstudie Nederland (hierna: IGSN). Er volgt een korte voorstelronde.
- De doelen van de workshop worden benoemd:
 1. Update projectactiviteiten tot nu toe
 2. Concreet maken van relatie tussen grondwater, landgebruik en beleidsvorming: aandachtspunten, risico's, oplossingsrichtingen en (meekoppel)kansen
 3. Basis leggen voor visualisaties en kaartbeelden

Toelichting IGSN project

- Dimmie geeft een toelichting op de doelen en aanpak van het project. Drie hoofdactiviteiten worden toegelicht: *Beelden toestand van grondwater in Nederland*, *Inzicht in urgentie vanuit overzicht* en *Herstel van het grondwatersysteem*. (zie ook Bijlage A: PPT IGSN – klankbordgroep 19 oktober)
- Er zijn vijf thema's binnen het project; droogte en verdroging natuur, drinkwatervoorziening, bescherming grondwaterkwaliteit, energietransitie en grondwater en laag Nederland: stedelijk gebied en landelijk gebied. Binnen deze thema's worden kaartbeelden en visuals over aandachtspunten en meekoppelkansen ontwikkelt.
- Binnen het thema Verdroging wordt er gekeken naar veranderend landgebruik en winningen. De kaartbeelden die hierbij van toepassing zijn de lagere grondwaterstanden, verdroogde gebieden (2000), GWS droge zomer (2020), toekomstige veranderingen grondwaterstanden (DPZW scenario STOOM 2050) en effectiviteit van verschillende vernattingsmaatregelen.

- Binnen het thema drinkwatervoorziening wordt de druk op drinkwater met kaartbeelden weergegeven. De kaartbeelden van toepassing zijn: geohydrologische setting, verschil grondwaterstand met langjarig gemiddelde, verdroging natuur, ondergronds infiltreren, verzilting van bronnen, verontreiniging van bronnen en grondwaterbeschermingszones.
- Bij het thema bescherming grondwaterkwaliteit wordt gekeken naar de waarde van goede grondwaterkwaliteit. Binnen dit thema's worden twee trends onderscheiden"
 - Een van de trends hierbinnen is vergrijzing van grondwater, daarnaast is er ook toename van ziekteverwekkende micro-organismen.
 - De tweede trend is verontreiniging van oppervlaktewater.
- Het thema energietransitie en grondwater is een trend sterke toename van benutting van grondwater voor energielevering en opslag. Hierbij is het de vraag of het interfereert en risico's vormt met andere functies. Hiervan zijn kaartbeelden in ontwikkeling, onder andere van de kans op lekkage fluxen bij doorboring van scheidende lagen.
- Het thema Stedelijk gebied (focus Laag-Nederland) geeft de trend van de opstapeling van effecten weer als gevolg van toenemende grondwaterdynamiek, bodemdaling en verzilting.

Werkssessie in groepjes (met landschapsarchitecten – ontwerpende setting)

Tijdens dit onderdeel van de workshop is door de klankbordgroep in 3 groepen gebrainstormd over de canvassen die zijn aangeleverd door de landschapsarchitecten van de WUR. De klankbordgroep heeft aanvullingen gedaan op de canvassen met thematiek en aandachtspunten, oplossingsrichtingen, meekoppelkansen en de vraag wat er nodig is voor beleidsvorming.

Droogte en verdroging natuur

Een eerste suggestie is een kaartbeeld wat uitlegt waarom in sommige gebieden de grondwaterstanden hoger worden en ook het GLG. Daarnaast is er een suggestie voor een kaartbeeld van extremen binnen een jaar en de problemen die het geeft. Daarnaast is opgemerkt dat verdroging niet alleen in de natuur maar ook in andere delen van Nederland plaatsvindt. Hoe het in hoog en laag Nederland tot uiting komt is ook weer verschillend en zou toegelicht moeten worden. Openstaande vragen rondom dit thema zijn:

- Wat is het effect van droogte op verschillende functies? en
- Welke maatregelen zouden genomen kunnen worden
- Kan de natuur zelf functies vervullen in de watervoorziening van een gebied?

[illegible]

THEMATIEK EN AANDACHTSPUNTEN

- # Deltares

- Concept dat grondwater traag stroomt en diep en ver gaat, en dat dat door Nederland heen varieert. (ruimte en tijd, 4D beeld) wordt besproken. Het is belangrijk om inzicht te hebben in de bronnen, paden en effecten van stoffen in het grondwater, in relatie tot de waarde van grondwater: visualisatie en begrip helpt bij bewust handelen.
- Er is in KRW rapportages geen groot probleem te zien voor grondwaterkwaliteit, maar als je alle gegevens “bij elkaar op telt”, is er weldegelijk een probleem. Wat is het cumulatieve effect van de verontreinigingen, en druk je dit op een goede manier uit in kaartbeelden?
- In beeld brengen:
 - Waar mist informatie, metingen, early warning, indicatoren.
 - Het probleem goed schetsen, alleen aangeven wat relevant is.
 - Trendlijnen van verschillende stoffen(groepen) weergeven
 - Beeld van waar in Nederland de meest kwetsbare gebieden zijn.
 - Overzicht activiteiten die de grondwaterkwaliteit belasten. Bv welke eventueel verontreinigende stoffen gebruikt bij OBES en geothermie; doorboringen; emissies maaiveld. Meenemen hoe belastend iets is in ruimtelijke ordening

OPLOSSINGSRICHTINGEN

- Early warning om vroeg verontreinigingen op te sporen (in ondiep grondwater, in oppervlaktewater dat infiltreert)
- Idee gebiedsgerichte norm voor grondwater zodat dit ook aansluit op de oppervlaktewaternormen (waar het grondwater de bron voor is).
- Gebruik maken van informatie over de natuurlijke bescherming van de ondergrond tegen verontreiniging en de kwetsbaarheid daarvan (bufferende werking zoals door pyriet; slecht doorlatende lagen:
 - Rekening mee houden bij belastende activiteiten
 - Is een kans om water te zuiveren, en schoon te houden

AANDACHTSPUNT – MEEKOPPELKANS?

- Grootschalige infiltratie en opslag van water in de ondergrond, ingegeven door de waterbehoefte, kan ook gebruikt worden om het grondwater schoner te maken. Maar: er kunnen ook averechtse effecten optreden als het infiltrerende water verontreinigd is en ook kunnen chemische reacties in de ondergrond ongewenste effecten hebben. Hierbij kunnen natuurlijke processen als verzilting en verzoeting gevolgen hebben voor het vrijkomen van stoffen (bijvoorbeeld metalen) als gevolg van de chemische verschillen tussen het infiltrerende water en het oorspronkelijke water en de samenstelling van het watervoerende pakket. Zoals bij Zoetwaterbellen in zout en brak water en grootschalige grondwaterstandsverhoging zoals bij idee ‘Nationale gieter Veluwe’. Hierbij is belangrijk: welk water wordt geïnfilteerd (samenstelling); via welke route wordt het geïnfilteerd en welk effect (zuiverend?) heeft die route; welk water zit al in de ondergrond; wat is de samenstelling van de ondergrond
- Vergelijk ook de infiltratie van rivierwater in de duinen voor drinkwaterproductie. Dit wordt vorgezuiverd.
- Afkoppeling van regenwater en vervolgens infiltratie kan een goede kwaliteit grondwater opleveren, let ook wel op verontreinigingen erin (zoals in stedelijk gebied en bij wegen)
- Water zuiveren in bufferzones en infiltratiegebieden in natuurgebieden, koppelen bescherming grondwaterkwaliteit aan natuur en drinkwaterwinning (let op er zijn diverse typen bufferzones, met verschillende overheden die hierover gaan)
- De landbouwtransitie is ook een kans voor grondwaterkwaliteitsverbetering, belastende activiteiten op plaatsen die niet kwetsbaar zijn, of zorgen voor extra bescherming.
- Op grote woningbouwlocaties ook gelijk bodemverontreinigingen en grondwaterverontreinigingen aanpakken (bv bij grondverzet, of grondwater opgepompt wordt)

Ondergrond 3D (4D) in beeld, begrip van systeem beschikbaar te maken en dat meenemen aan de basis van gebiedsontwikkeling, voordat ingegrepen/uitgevoerd wordt. Door aan de voorkant van het beleid het systeem en de kansen en kwetsbaarheden mee te nemen kun je anticiperen en oplossingen zoeken en loop je niet vast (3D/4D ruimtelijke ordening)

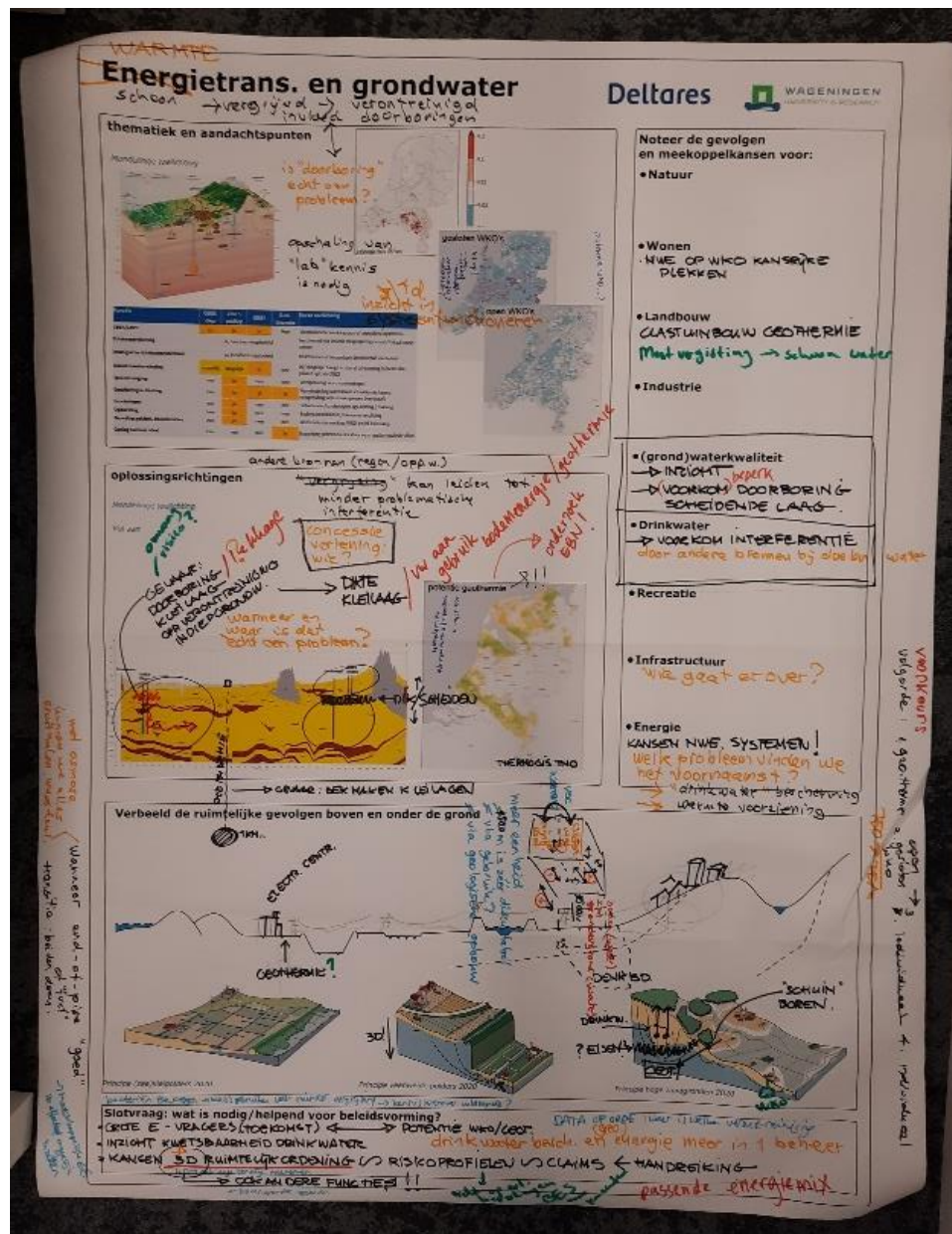
Voorbeeld: zoals in tekort aan schoon water voor drinkwaterwinning en lange vergunningstrajecten om meer te willen winnen op andere plaatsen)



Het canvas van de energietransitie en grondwater laat kansen zien bij 3D/4D kaartbeelden van bodemenergie en andere ondergrondse functies. Hierin zou ruimtelijke ordening, risicoprofielen, claims een handreiking kunnen vormen voor het beleid. Daarnaast zou een kwetsbaarheidskaart van drinkwater ook van toegevoegde waarde zijn. De kaart met de risico's van doorboringen en risico's van het verspreiden van verontreinigen mag ook niet

ontbreken aan kaartbeelden. Drinkwater en bodembeheer zou meer in 1 beheer moeten zijn en ruimtelijk zouden de grote energieverbruikers gekoppeld moeten worden aan de potentiekaarten geothermie en bodemenergie.

Na afloop van deze klankbordgroep workshop was er een startoverleg voor module 2 (Energietransitie en Grondwater). Hier is verder gesproken over dit onderwerp en de selectie en uitwerking van 2 verdiepende cases.

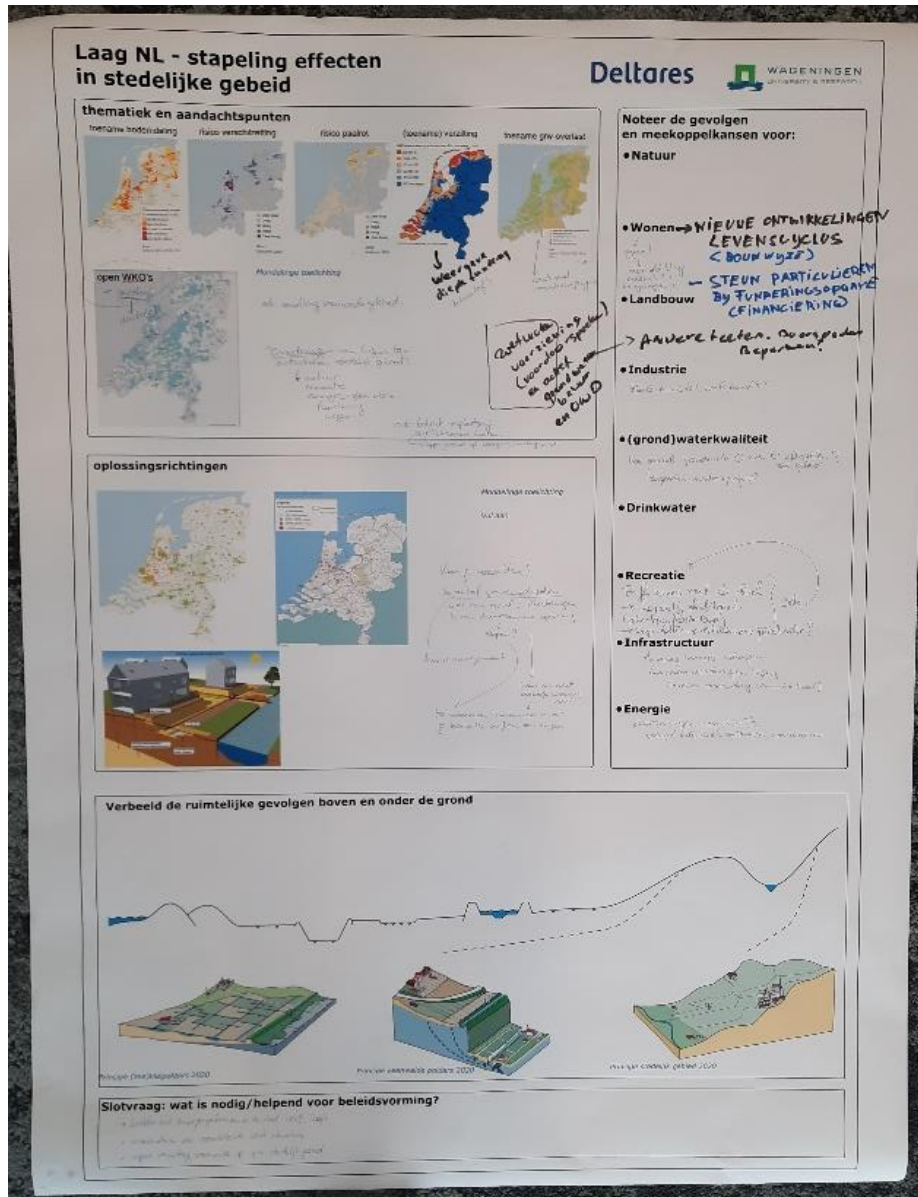


Stedelijk gebied Laag Nederland: bodemdaling, verzilting en grondwateroverlast

- Voor het stedelijk gebied was het hoofdthema de opstapeling van verschillende problemen. Deze overlays worden interessant bevonden maar bevatten veel detail informatie. Hoe kunnen we dit verduidelijken door de informatie verder te integreren en/of focus op de effecten (verschilzetting, paalrot, grondwateroverlast).
- Visualisaties van verschillende type situaties geeft waarschijnlijk meer inzicht over dit thema. Een suggestie is om een kaart te maken waarbij vernatting in het veenweide

gebied het effect op het stedelijk gebied weergeeft. Als laatste wordt benoemd dat de risico doorboringen kaart uit thema 2 ook interessant kan zijn in dit thema met de verspreiding van verontreinigingen als gevolg hiervan.

- In het stedelijk gebied wordt veel geld besteedt aan gebiedsgericht grondwaterbeheer. In sommige wijken blijkt dit niet afdoende. Ga je hier verder in investeren of is (op de lange termijn) een andere aanpak nodig?
- Maak onderscheid tussen verschillende typen oplossingen: keuzes locaties nieuwe woningbouw/infra, toekomstbestendig bouwen met ook op toename grondwaterdynamiek, gebiedsgericht grondwaterbeheer.



Drinkwatervoorziening

THEMATIEK EN AANDACHTSPUNTEN

Het concept omvat de drinkwatervoorziening die onder druk staat door onder andere verzilting van de bronnen, verontreiniging, de toename van de vraag en dat er minder beschikbaarheid is in de zomer. De drinkwatervoorziening is hierdoor verweven binnen de andere thema's binnen de Integrale Grondwaterstudie Nederland. Wat zou helpen is een 3D

visualisatie van de situatie zodat het conflict in beeld komt. Dit kan helpen in de versnelling van besluitvorming rondom de (drink)watervoorziening.

De vragen die tijdens de workshop naar boven kwamen rondom de thematiek voor drinkwatervoorziening zijn:

- Gaat het alleen over drinkwatervoorziening of watervoorziening in het algemeen?
- Wat is diep grondwater en wanneer je doorbreek je diepe afsluitende lagen?
- Waar kunnen we water optimaal vasthouden?

OPLOSSINGSRICHTINGEN

Binnen de oplossingsrichtingen zijn er verschillende ideeën opgedaan. Er zou bijvoorbeeld gekeken kunnen worden naar het gedrag of gebruik van de mens zelf. Of, met andere woorden, bewustwording van het gebruik. Verder zou oppervlakte water als bron kunnen dienen als er geen beschikbaarheid is van de grondwaterbron. Daarnaast zou het vasthouden van water ook een oplossing kunnen bieden. Er zou gekeken kunnen worden naar hoe de opslag bij bijvoorbeeld de Utrechtse Heuvelrug blijft na infiltratie van water.

MEEKOPPELKANSEN

De meekoppelkansen voor de (drink)watervoorziening met andere grondwater-vragende functies zijn in de workshop verdeeld in meekoppelkansen en mogelijk conflicterende effecten (zie onderstaande tabel).

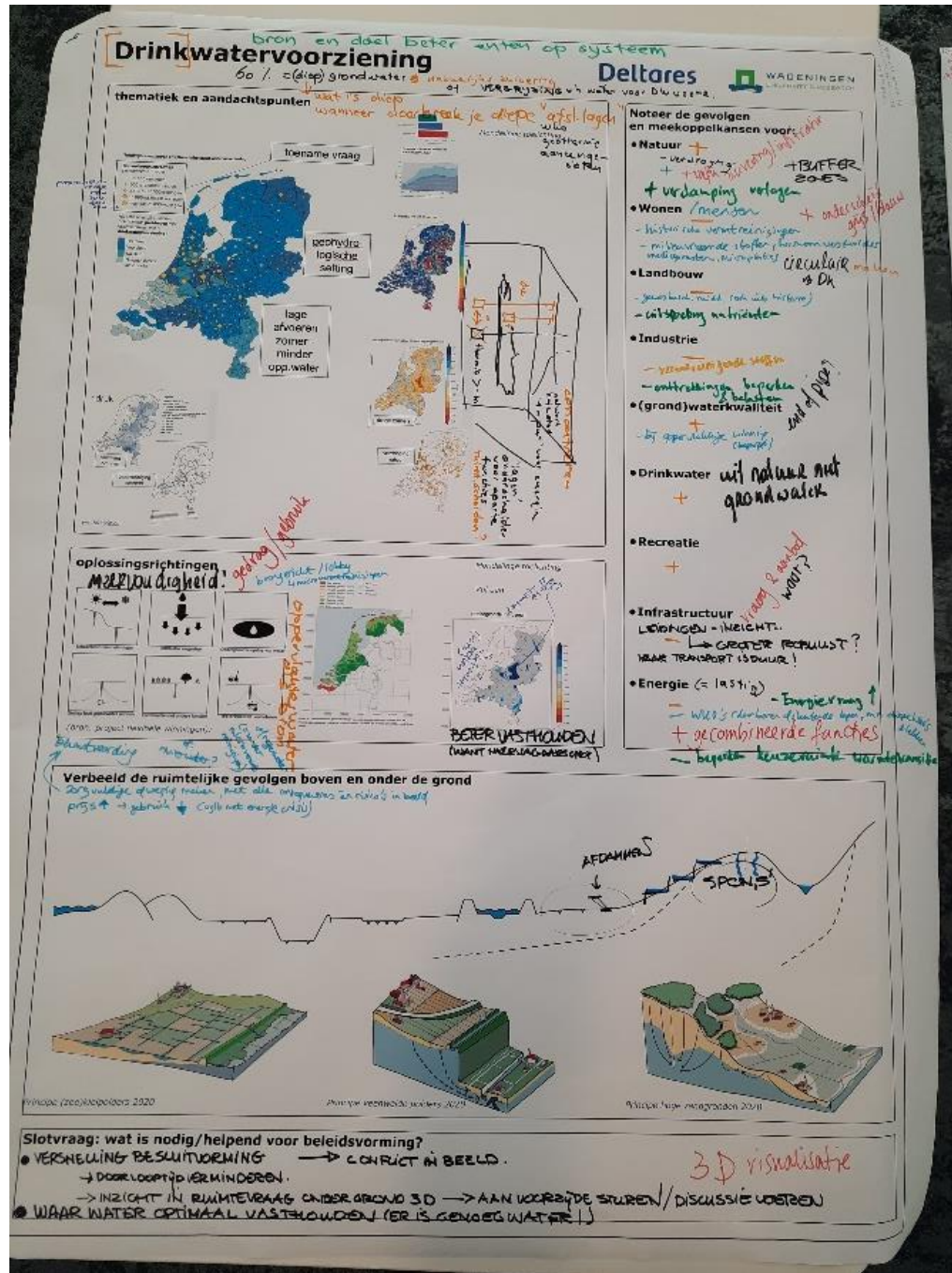
Functie	Meekoppelkansen	Mogelijk conflicterende effecten
Natuur	Buffer zones (natuur) Verlaging van verdamping	Verdroging (natuur)
Waterkwaliteit	Zuivering/infiltratie	Historische (micro)verontreinigingen (waterkwaliteit) Milieuvreemde stoffen als medicijnresten en microplastics
Landbouw		Uitspoeling van nutriënten vanuit landbouw Onttrekkingen
Energietransitie	Gecombineerde functies van energie	Hoge energievraag (energietransitie) WKO's die afsluitende lagen doorboren (energietransitie) Drinkwatervoorziening beperkt keuzeruimte van de warmtetransitie (energietransitie)

De koppelkans Energie wordt als lastig beschreven vanwege de energievraag en alles wat zich afspeelt in de ondergrond. Daarnaast zijn er ook vragen over infrastructuur over hoe het inzicht verkregen kan worden en of het groter en robuuster kan.

BELEIDSVORMING

Voor beleidsvorming zijn een tweetal dingen nodig; een 3D visualisatie en kaarten met waar we optimaal water kunnen bergen. Bij de 3D visualisatie wordt vooral gedacht aan de conflicten in de ondergrond in beeld brengen. Dit kan helpen om besluitvorming te versnellen

en de doorlooptijd te verminderen. Als er inzicht is in de ruimtevrage van de ondergrond kan er discussie gevoerd worden over waar wat kan.



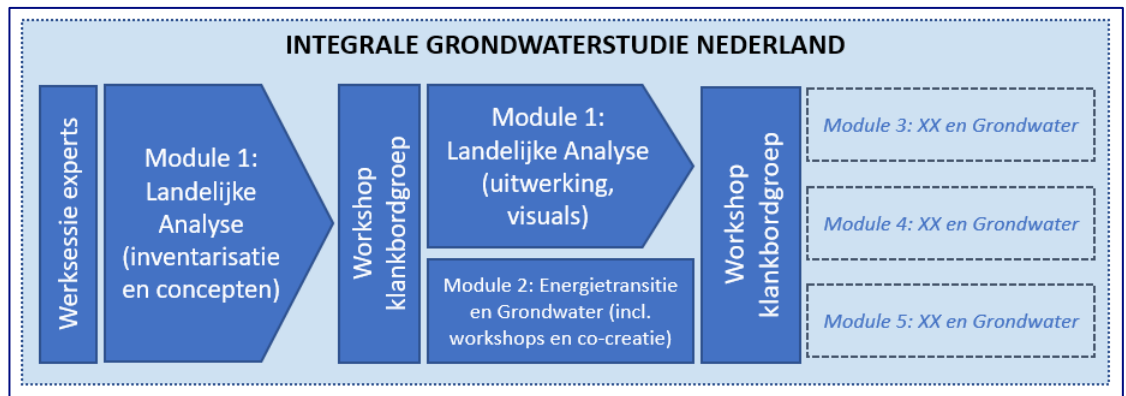
Rondvraag en afsluiting

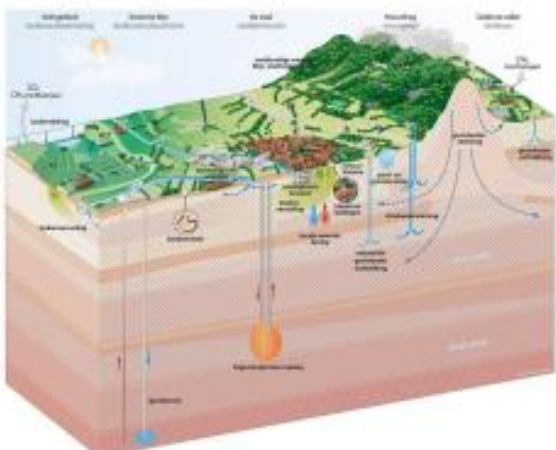
Tijdens de rondvraag en afsluiting werd plenair de posters gepresenteerd met de hoofdpunten per canvas. Na deze presentatie is het tijd voor de lunch en de lunchpresentaties over energietransitie en grondwater en Hoog Nederland.

Vervolgafspraken

- Planning activiteiten IGSN
 - Module 1: Landelijke analyse
 - Verhaallijnen ondersteunt door kaartbeelden en visualisaties

- input en inzichten workshop worden hierin verwerkt
- Eind november/ december: review concept producten door klankbordgroep (incl. workshop)
- Module 2: verdiepende cases 'Energietransitie en Grondwater'
 - Vandaag start: lunchmeeting
 - Komende maanden (2022):
 - keuzes maken, andere stakeholders betrekken
 - opstarten eerste casus
- Eerste helft 2023:
 - opstarten tweede casus
 - afronding casus, opleveren producten





Deltares

**Integrale
Grondwaterstudie
Nederland**

**workshop
klankbordgroep
19 oktober 2022**

Dimmie Hendriks, Hilde Passier
Experts Deltares, WUR, KWR, RIVM, TNO, PBL

Doelen workshop

- update projectactiviteiten tot nu toe
- concreet maken van relatie tussen grondwater, landgebruik en beleidsvorming: aandachtspunten, risico's, oplossingsrichtingen en (meekoppel)kansen
- basis leggen voor visualisaties en kaartbeelden

Wat hebben jullie nodig om de informatie "hands-on" / tastbaar te maken voor beleid?

Deltares

Voedklein / maatschappelijke

4

Programma workshop

- 09:00u Inloop, welkom, kennismaken
- 09:25u Toelichting IGSN project
- 09:40u Werksessie in groepjes (met landschapsarchitecten - ontwerpende setting)
- 11:15u Plenaire terugkoppeling werksessie
- 11:45u Rondvraag en afsluiting
- 12:00u Lunch

Optioneel: Lunchmeeting "Energietransitie en grondwater" (start Module 2)

Deltares

Voedklein / maatschappelijke

5

Toelichting IGSN project doelen, aanpak en stand van zaken

Deltares

Verkenning van de mogelijkheden

4

Doel IGSN: inzicht problematiek en oplossingen (landelijke schaal)

Aanvulling op andere activiteiten Studiegroep Grondwater

Beelden toestand van grondwater in Nederland

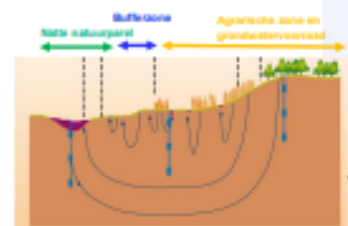
- Trends vanuit het verleden
- Aandachtspunten in het heden en toekomst (stapeling?)
- Oplossingsrichtingen voor de toekomst (meekoppelkansen?)

Inzicht in urgentie vanuit overzicht

- Op grotere schaal en langere termijn
- Opstapelende problemen, patronen ontdekken, meekoppelkansen
- Voor het maken van keuzes voor het gebruik van ruimte en water

Herstel van het grondwatersysteem

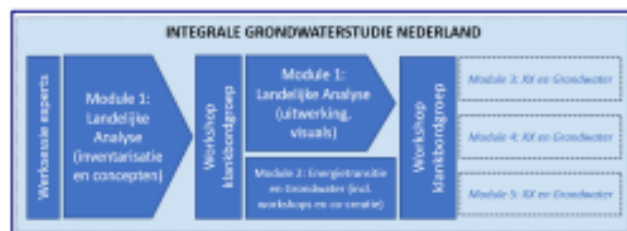
- Verdroging tegengaan, voorraden aanvullen, schoner water
- Een gezond grondwatersysteem kan klappen opvangen



Deltares

Planning IGSN

- Start project: expert werksessie (juli 2022)
 - Vijf thema's plus ruimtelijke stapeling en meekoppelkansen
- Verzamelen en opwerken GIS-data en kaarten (Q2 / Q3 2022)
 - GIS-online database, geaggregeerde GIS-kaarten per thema
- Landelijke analyse: Q3 / Q4 2022
 - Producten: verhaallijnen ondersteunt door kaartbeelden en visualisaties
- Verdiepende module Energietransitie en grondwater: Q4 2022 / Q1 2023



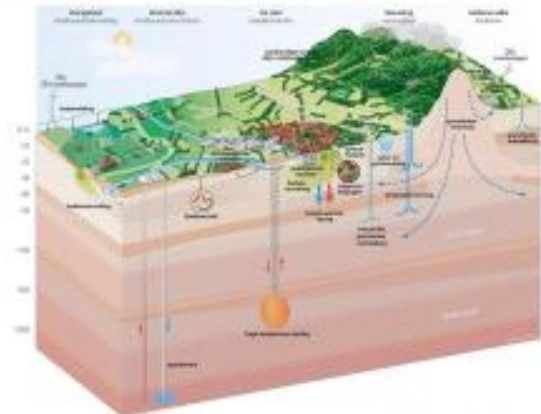
Deltares

Verkenning van de mogelijkheden

5

Vijf thema's Integrale Grondwater Studie Nederland

- Droogte en verdroging natuur
- Drinkwatervoorziening
- Bescherming grondwaterkwaliteit
- Energietransitie en grondwater
- Laag Nederland: stedelijk gebied en landelijk gebied



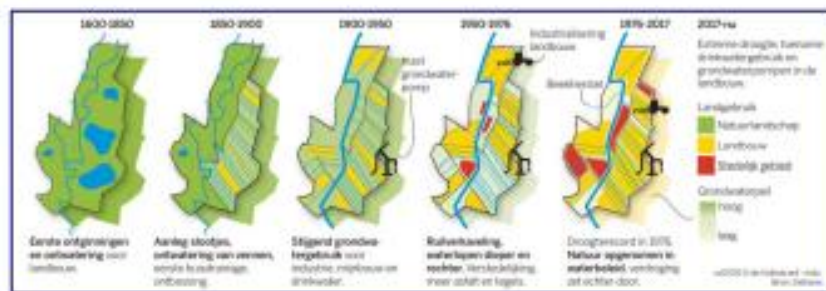
In ontwikkeling:
kaartbeelden/visuals over meekoppelkansen, synergie dossiers

Schematische dwarsdoorsnede met de functies in de ondergrond.
(Beeld: provincie Utrecht)

Verdroging - veranderend landgebruik en winningen

Waarde van ondiepe grondwaterkwaliteit aangetast:

- Afhankelijke ecosystemen, terrestrisch grondwater en in oppervlaktewater
- Bron voor landbouwirrigatie
- Stabiliteit bodems



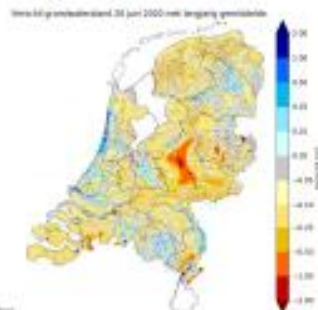
lagere grondwaterstanden - minder kwel - minder beekafvoer (vooral in zomer)

Verdroging, droogte en beregning landbouw

verdroogde gebieden (2000)



gws droge zomer (2020)



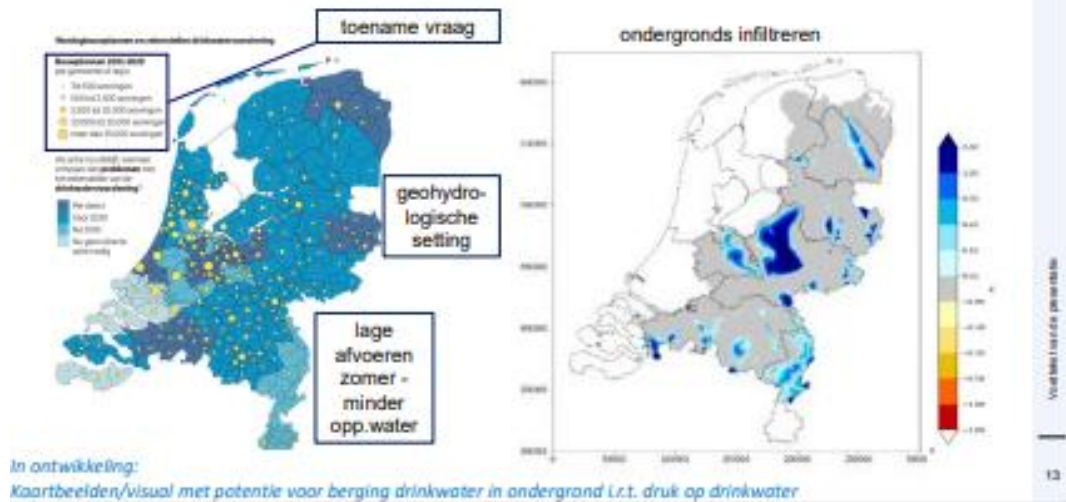
registreerde onttrekkingen beregning 2020



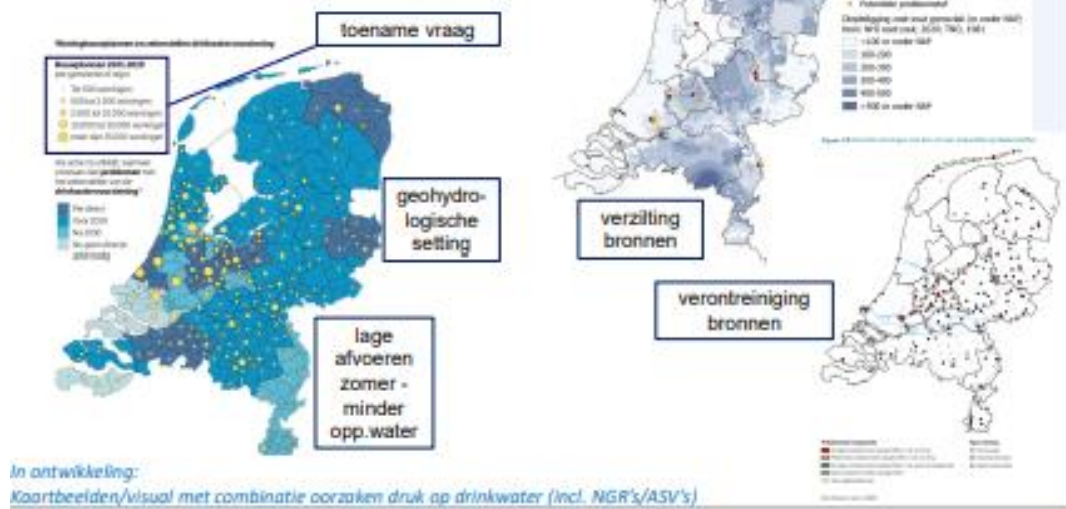
compleet overzicht ontbreekt

In ontwikkeling:
kaartbeelden met belangrijkste veranderingen landgebruik i.r.t. verdroging; bv. intensieve landbouw, areaal natuur

Drinkwatervoorziening - ondergronds infiltreren

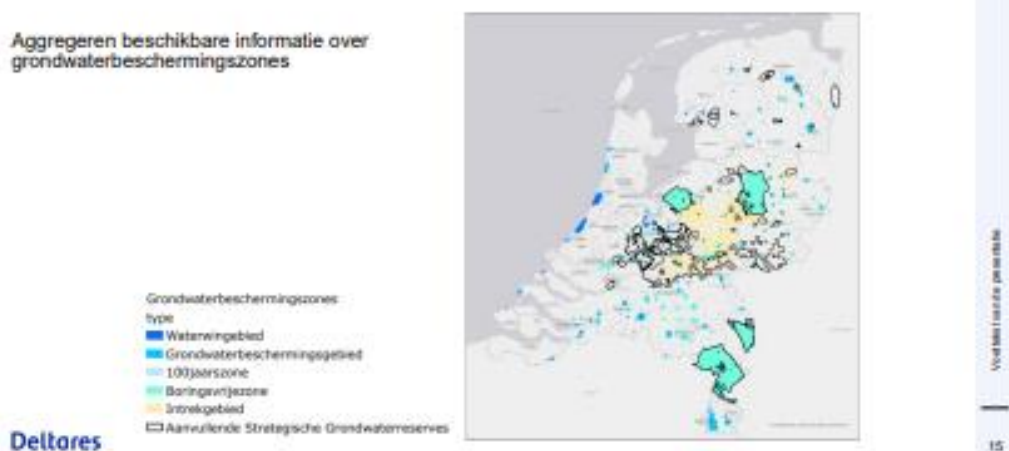


Drinkwatervoorziening onder druk



Drinkwatervoorziening onder druk

Aggregeren beschikbare informatie over grondwaterbeschermingszones

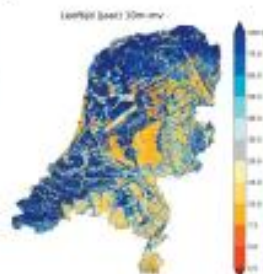


Bescherming grondwaterkwaliteit

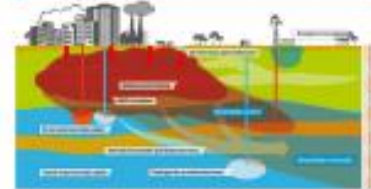
Waarde van goede grondwaterkwaliteit:

- Afhankelijke ecosystemen, terrestrisch en in oppervlaktewater
- Bron voor drinkwater
- Naast winningen voor drinkwater ook voor levensmiddelen, industrie, landbouw
- Bron oppervlaktewater en ecosystemendiensten daarin

Grondwater stroomt traag en gaat diep en ver
→ wat vies is wordt niet zomaar weer schoon...



Deltares



In ontwikkeling:
Kaartbeelden / visualisaties van processen en transport via grondwater voor hoog en laag Nederland (waar welke risico's en oplossingen)

Bescherming grondwaterkwaliteit

trend: vergrijzing van grondwater

- Meststoffen, nitraat, hardheid, gewasbeschermingsmiddelen, organische verontreinigingen, medicijnresten en opkomende stoffen, ZZS
- Toename ziekteverwekkende micro-organismen



Deltares

Figure 4.8: Grondwaterverontreiniging door landbouw (aanhoudende) op landbouwgebieden



17

Bescherming grondwaterkwaliteit

trend: verontreiniging oppervlaktewater

- Connectie over afstanden: grondwater hele stroomgebied draagt bij aan verontreiniging oppervlaktewater
- Traag systeem: lange nalevering vanuit grondwater (decennia)
- Zonder overschrijding grondwaternormen, wel overschrijding KRW-normen oppervlaktewater

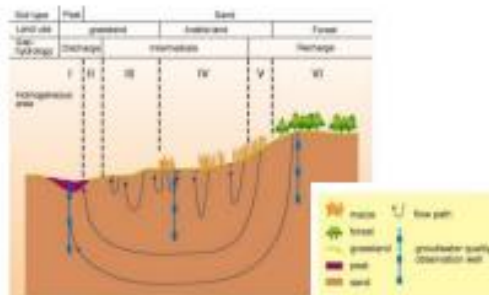
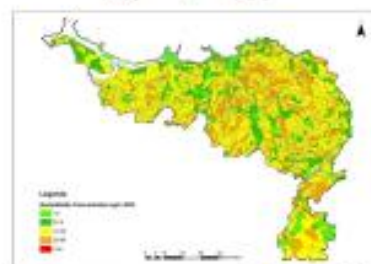
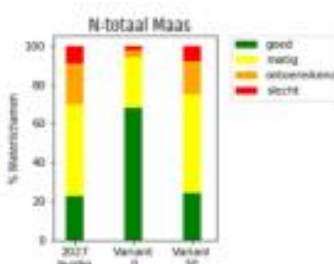


Figure 4.2: Indeling van het landschap in homogene gebiedstypen (v.l. Brons, 2002)



Deltares, 2020

18

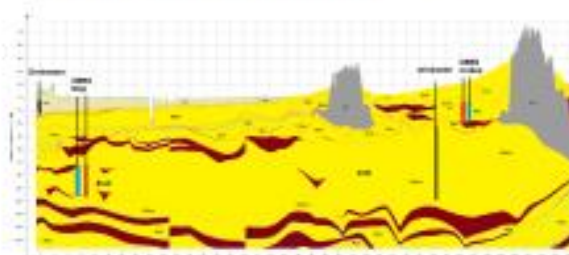
oplossingsrichtingen

-

Source: National Bureau of Economic Research, *Real Gross Domestic Product*, 1997.

410

- Sterke toename benutting grondwater voor energielevering en opslag (ecosysteemdienst)
→ interferentie en risico's andere functies?
- Drinkwaterwinningen nu voldoende beschermd (beleid en positionering hoog en laag Nid)



In ontwikkeling

kaartbeelden/3D-visu's met dichtheid-diepte ondergrondse energiesystemen (actueel en potentie)

Copyright © 2001 by John Wiley & Sons, Inc.

20

- Potentiele interferentie, risico's en kansen in beeld brengen
→ beperken risico's, befer benutten potentie
- Regionaal / lokaal mogelijk meer ruimte in drinkwater wingebieden (verder uitwerken)

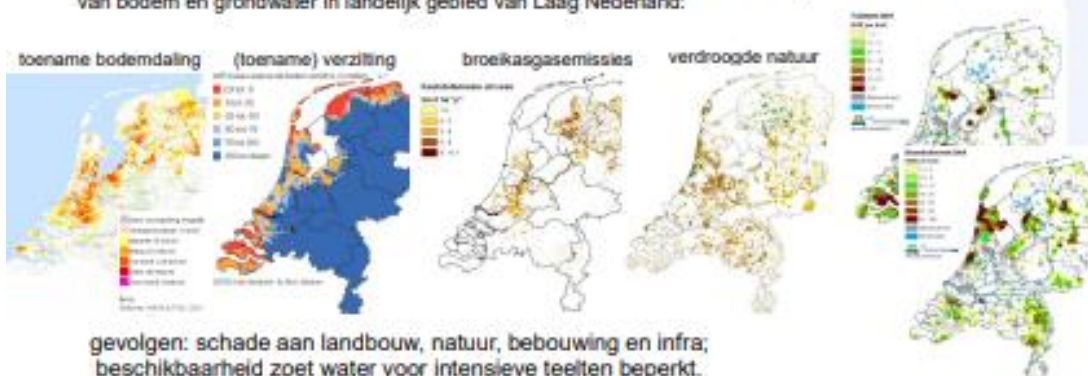
[illegible]

© 2000 Blackwell Science Ltd *Journal of Internal Medicine* 247: 399–406

21

Landelijk gebied: stapeling effecten

Als gevolg van dalende grondwaterstanden en verzilting verslechteren de ecosystemendiensten van bodem en grondwater in landelijk gebied van Laag Nederland:



Deltares

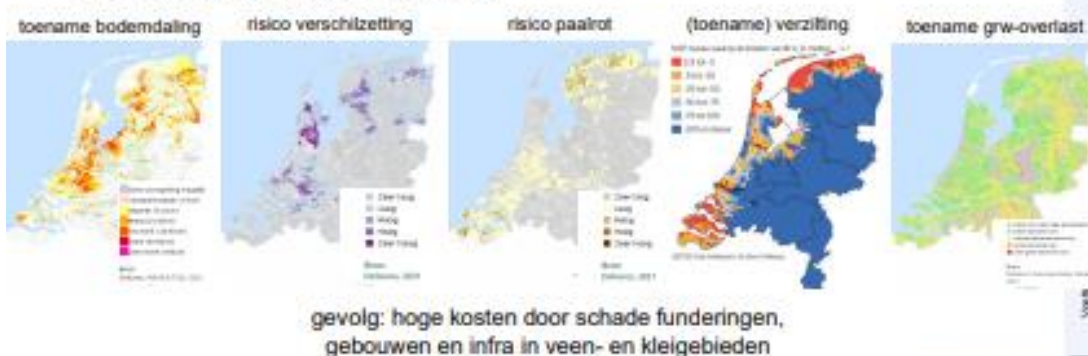
kaartbeelden/visuals met stapeling effecten i.r.t. ligging van natuur en intensive landbouw

In ontwikkeling:

22

Stedelijk gebied: stapeling effecten

Als gevolg van dalende (en stijgende) grondwaterstanden verslechteren de ecosystemendiensten van bodem en grondwater in Laag Nederland:



Deltares

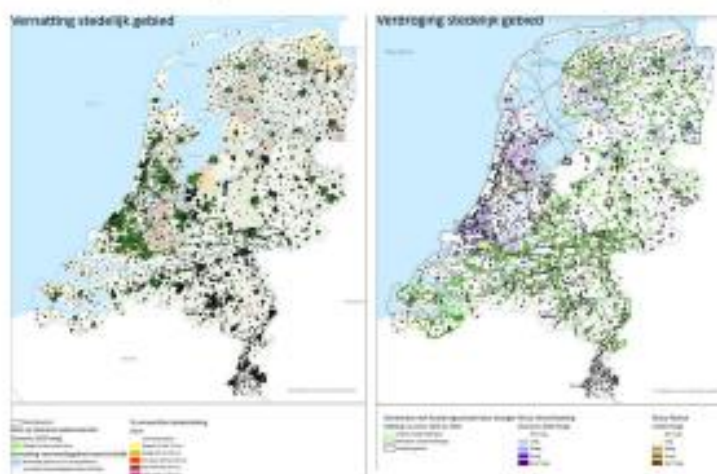
kaartbeelden/visuals met combinatie effecten, plus ligging kwetsbaar stedelijk gebied en infra

In ontwikkeling:

23

Stedelijk gebied – stapeling van effecten

Aggregeren beschikbare informatie aandachtspunten grondwater i.r.t. stedelijk gebied



Deltares

24

Stedelijk gebied: oplossingsrichtingen

Kennis effecten bodem- en watersysteem (oa. ruimtelijk)

→ als basis in plannen en uitvoeren woningbouw- en infrastructuurprojecten: geschiktheid van gebieden voor ontwikkelingen, gebiedsspecifieke randvoorwaarden (bv. levenscyclus benadering, innovaties bouwen)

Inzicht in wijken met grootste risico's

→ gericht waterbeheer en maatregelen om risico's te beperken (grondwaterzorgplicht, actief grondwaterbeheer)

Mogelijkheden voor stedelijke infiltratie om grondwaterstand te verhogen

- mogelijke interferentie met WKO-systemen ...

In ontwikkeling:

kaartbeelden/visuals over potentie stedelijke infiltratie en mogelijke interferentie met WKO's



Werksessie - ontwerpende principes o.l.v. landschapsarchitecten WUR

Deltares

Plenaire terugkoppeling

Deltares

Planning komende periode

Module 1: Landelijke analyse

- Verhaallijnen ondersteunt door kaartbeelden en visualisaties
 - input en inzichten workshop worden hierin verwerkt
- Eind november: review concept producten door klankbordgroep

Module 2: verdiepende cases 'Energietransitie en Grondwater'

- Vandaag start: lunchmeeting
- Komende maanden (2022):
 - keuzes maken, andere stakeholders betrekken
 - opstarten eerste casus
- Eerste helft 2023:
 - opstarten tweede casus
 - afronding casus, opleveren producten

Mogelijk meer aanvullende modules in 2023

Deltares



Lunch meetings (derde verdieping)

- Energietransitie en grondwater (IGSN module 2)
 Annemieke Marsman
 Kamer 3.36 (na 13:00 -> 2.24)
- Hoog NL
 Judith van Zijlen
 Kamer 3.23

Lunch meenemen s.v.p.

Deltares

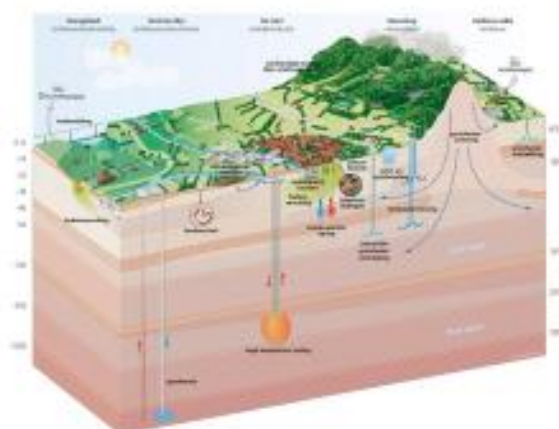
Afsluiting

Vragen en suggesties?

dimmie.hendriks@deltares.nl

hilde.passier@deltares.nl

Deltares



Schematische dwarsdoorsnede met de functies in de ondergrond. (Beeld: provincie Utrecht)

Bijlage C – verslag tweede workshop klankbordgroep

Datum en locatie: 14 december 2022, Deltares Utrecht

Aanwezig

Judith van Zuijlen, Ron Nap, Dolf Kern, Matthijs ten Harkel, Pieter Vlierhuis, Rob Eijnsink, Peter Rood, Jeanette van Eck, Mirjam de Paus Kruijswijk, Nicole Zantkuijl, Dimmie Hendriks, Hilde Passier, Annemieke Marsman, Otto Levelt, Naomi Lamers, Jan Maurits van Linge

Afwezig

Giacomo Galli, Meinte de Hoogh, Herman Mondeel, Jeroen Mekenkamp, Henk van den Berg, Mirja Baneke, Siep Groen, Sandra Hogenbirk, Bas Bougie, Nicole Hardon

Inleiding

Het programma van de werksessie bestond uit twee onderdelen:

- Module 1: landelijke analyse
- Module 2: verdiepende casussen 'Energietransitie en grondwater'

In dit verslag een beknopte weergave van de opbrengst van workshop voor deze twee onderdelen. De power point sheets van de presentaties zijn opgenomen in Bijlage A. .

Module 1: landelijke analyse

De sheets van de presentatie van hoofdboodschappen en visualisaties is te vinden als Bijlage A. Tijdens deze presentatie en de daarop volgende werksessie (canvassen per thema; zie Bijlage B) zijn de feedback en suggesties voor verdieping van de aanwezigen opgehaald en besproken. Deze opbrengst is hieronder beknopt beschreven per thema.

Verdroging Natuur

- Suggestie wordt gegeven om ipv "natuur verdroogd" in de hoofdboodschap op te nemen "natuur is verdroogd en verdroogt verder"
- Documenteer goed welke grondwaterafhankelijke natuurgebieden er op de kaart staan en wat de status is (Natura 2000, KRW, anders)
- Suggesties bij kaartje met "effectiviteit maatregelen":
 - Vaak, zo niet altijd, is een combinatie van verschillende maatregelen nodig om verdroging tegen te gaan
 - Opgemerkt wordt dat de effectiviteit van maatregel op de kaart, nog geen beeld geeft van of dit betekent dat de maatregel voldoende voor grondwaterstandstijging zal zorgen om natuur volledig te laten herstellen
 - Beschrijf goed wat het plaatje toont, zodat duidelijk is dat in de meeste gebieden meerdere maatregelen voor een verhoging van de grondwaterstand kunnen zorgen.
- Geef duidelijk aan dat deze resultaten gericht zijn op landelijke tot regionale schaal.
- Suggestie: Omdat het tegengaan van verdroging verandering van landgebruik vereist, is het noodzaak om aan te sluiten op NLPG.
- Suggesties voor vervolgonderzoek / kennisverdieping:
 - bepalen economische schade als gevolg van oplossen probleem natuur.
 - Bepalen wat de kosten zijn van de maatregelen
- *Kijk naar effecten van maatregelen in bufferzones (welke, hoe groot, etc)? In deze studie is hier niet aan gerekend, maar dit gebeurt momenteel wel in een andere studie (NLPG. DPZW). Ook in het project Droogte Zandgronden zijn eerste verkennende berekeningen gedaan (Eertwegh, 2021), dit is verwerkt in het achtergrondrapport.*

Bescherming grondwaterkwaliteit

- Term barrière verwarrend, misschien beschermende laag of andere term gebruiken
- Op plaatje met toekomst vervuiling laten zien dat bestaande vervuiling nog wel aanwezig is, maar niet meer aangevuld wordt
- Vervuiling grijs i.p.v. rood/bruin
- Voorbeeld van toestaan vergrijzing bij gebiedsgericht grondwaterbeheer o.a. Woerden
- Goed uitleggen termen
- Om ingewikkelde tegels/3d verbeeldingen beter leesbaar te maken zou je de verschillende aspecten los kunnen uitlichten in de visualisatie. Dan die toelichten en uiteindelijk alles in 1 beeld. zo maak je de tegel leesbaarder.
- Belangrijkste is beperken emissies en bronaanpak, rest is marginaal in vergelijk daarmee
- Onderscheid maken tussen:
 - Oplossingen bestaande problemen
 - Voorkomen toekomstige problemen (stoffen met wel/niet milieueffect)

Bestaand kan saneringen zijn, toekomstig kan Europees beleid zijn wat veranderd.

Onderscheid tussen bronverontreinigingen en de meer diffuse problematiek met een grote mate van vergrijzing.

- Hoe kan je de barrières versterken? Biologische barrière: bodemleven
- *Vraag: Komt de verontreiniging ook weer boven?* Plekken waar grondwater opkwelt kan risico vormen voor functies aan het oppervlak.
- *Vraag: Welke opties zijn er voor zuivering?* Vanaf de bron, moerassen, in de grond: inbouw van reactieve barrières. Zuivering aan plek waarbij het in de grondwaterwinning komt.
- Wordt thermische zuivering meegenomen? Is in ontwikkeling, wordt benoemd maar niet uitgewerkt. Niet stelregel hoe warmer hoe schoner.
- Vergrijzing meer door diffuse belasting.
- Ook energietransitie wil veel, bodemreiniging wordt onbetaalbaar. Nadenken over hoe je anders kan ingrijpen. Andere maatregelen ook meenemen, biologische zuivering meenemen. Als je weet hoe het in elkaar zit kan je misschien toch nog iets doen.
- Bio wasmachine Utrecht. Wat kunnen we hiermee oplossen. Bodem biologische laag is niet alleen toevoegen van bacteriën, maar ook waterrijke natuur (zuivert ook).
- Bij EU toelating rekening houden met PMT eigenschappen
- Kennisleemte kwaliteitseffecten bij grootschalige infiltratie benoemen
- Behoeft aan 'vlekkenkaarten' van de toestand van het grondwater

Energietransitie en grondwater

- Benoemen van andere risico's dan lekkage veroorzaakt door doorboringen van de kleilaag in combinatie met verontreinigingen, zoals lekkage in hetzelfde pakket van o.a. hulpstoffen vanuit de energiesystemen zoals koelvloeistof anti corrosie middelen etc.
- Er zijn meer doorboringen dan alleen voor energiesystemen die ook risico's kunnen vormen op lekkage (o.a. boeren/beregeningsputten, particulieren, etc.)
- Goede toelichting is nodig op wat je ziet op het kaartje met de lekfluxen. Is nu niet makkelijk te begrijpen. Misschien kan een doorsnede helpen, waarin het mechanisme van risico's op lekkage via doorboringen van de kleilaag uitgelegd worden. Daarnaast inzicht geven waar in Nederland wel/geen scheidende lagen liggen.
- Het potentieelkaartje voor geothermie is 2D. Er is behoefte aan informatie in de diepte. Kan het kaartje in 3D worden weer gegeven? In het rapport wordt verwezen naar ThermoGIS (bron van de data). Er is inmiddels een update van de kaart.
- Kwetsbare gebieden uit de kaart voor grondwaterkwaliteit zou meer aandacht aan besteed moeten worden. Het koppelen van risico's voor energietransitie moet integraal gezien worden met de kwetsbare gebieden voor grondwaterkwaliteit.
- Vraag wordt gesteld wat dit concreet betekent voor de aanleg van bodemenergiesystemen? Wat moet de kwaliteit zijn van de informatie? Er is aangegeven

wat de kwaliteit van de informatie moet zijn: er is al regelgeving voor de aanleg van bodemenergiesystemen en welke informatie bekend moet zijn.

Stedelijk gebied en grondwater

- Pas de hoofdboodschap wat aan: verander “Aanpassen” in “rekening houden met”
- Kan er in de hoofdboodschap een onderscheid worden gemaakt tussen “toekomstige steden” en “bestaande problematiek”?
- Gebiedsgericht grondwater moet zijn ‘actief’ grondwaterbeheer
- Actief grondwaterbeheer als tijdelijke maatregel aanduiden kan lastig vallen. Wel is belangrijk dat er bewustwording ontstaat dat deze maatregelen niet voor altijd een oplossing bieden.
- Verwijder Limburg uit de kaarten met GxG’s in 2050 en grondwaterstanddynamiek in 2050. Resultaten van het LHM zijn hier niet betrouwbaar.
- Kan het stedelijk gebied nog wat meer naar voren worden gehaald in de kaarten? Op basis van eerdere conceptkaarten is gebleken dat dit een heel rommelig / onduidelijk beeld geeft. Daarom is ervoor gekozen om een aantal steden “aan te wijzen” ter oriëntatie.
- Maak de combinatie met bodemenergie duidelijker.

Zoetwatervoorziening en grondwater

- Waar worden de grote hoeveelheden water gebruikt? Hier valt het meest te behalen.
- Voeg “water vasthouden” ook toe als maatregel . Wellicht zelfs voorop stellen. Ook: grondwater gebruik bewuster.
 - Voeg aan kaart over opslag/infiltratie grondwater ook maatregel “water ls er ook gekeken naar zilte landbouw? Dit kan een maatregel zijn in West-Nederland om aan te passen aan veranderende omstandigheden (toenemende verzilting)
- Wat is ondergrondse infiltratie: leg begrip goed uit.
- Voor ‘water vasthouden’ is ook bodemstructuur is een belangrijke voorwaarde.
- Een aanpassing van het bouwbesluit kan zorgen voor ‘regenwater inzetten voor eigen gebruik’
- Zilte landbouw als maatregel: aanpassen aan veranderende omstandigheden (toenemende verzilting)
- Leveringsplicht drinkwaterbedrijven – hoe ver strekt dit qua toepassing? (‘druk aan de tap’)
- termen van maatregelen (meeste besparing mogelijk).
- Let op welke termen je gebruikt in de teksten: drinkwater is niet hetzelfde als kraanwater.
- Beperken kraanwater tot hoogwaardig gebruik (dus wel voor drinkwater, maar bijv. niet voor douche of toilet)

Algemene opmerkingen

- Beeld geven van waar wat botst en hoe groot de risico’s zijn bij dat botsen
- Bij dwarsprofielen:
 - Hoe betrouwbaar is Regis? Meer detail nodig / wenselijk? Het gat hier om een conceptuele weergave. In principe is meer detail daarvoor niet nodig.
 - Kan ook de ondergrond van Noord-Brabant terugkomen in de doorsneden? Dit is nu niet (meer) mogelijk, maar kan wellicht in een verdiepende module (vervolg 2023)

Planning Module 1

Module 1 (landelijke analyse) wordt voor het einde van dit jaar afgerond; een eindconcept zal volgende week worden opgeleverd. De opbrengst van deze workshop wordt hier nog in verwerkt.

Op basis van het advies van de Studiegroep Grondwater, de landelijke analyse van de Studiegroep Grondwater en andere projecten, wordt in de eerste maanden van 2023 een gezamenlijk plan van aanpak opgesteld voor kennisverdieping (verdiepende casussen). De verdiepende casussen op het thema “Energietransitie en grondwater” is al gestart en zal in 2023 verder uitgewerkt worden; zie hieronder.

Binnen mogelijke nieuwe verdiepende casussen kan als dat logisch/wenselijk is gewerkt worden met Advocacy models, net als binnen de casus “Energietransitie en grondwater”. Er kan echter ook voor een andere aanpak worden gekozen.

Module 2: Energietransitie en Grondwater

Stand van zaken en ‘lessons learnt’

De stand van zaken van Module 2 wordt beknopt toegelicht en een overzicht van de aangeleverde cases, inclusief ‘lessons learnt’, wordt gegeven. De slides van deze presentatie bevinden zich in de bijlage.

Aanvullende cases

- Aanvulling geothermie: in Utrecht zijn ook al proefboringen gedaan, (Yoeri den Otter, provincie)
- Steden in oost NL → kan aangevuld worden met steden in zuidoost Nederland vanwege vergelijkbare situatie. Voorbeeld is bodemenergie in Eindhoven, gebeurt het al sinds 10 jaar in combinatie met drinkwaterwinning + bodemverontreiniging.
- Geothermie Nieuwegein, doorlopen of het mogelijk is. Proces is afgerond, project gaat niet door → informatie opvragen om te gebruiken als best practice/waar liggen kansen/lessons learnt
- Ander voorbeeld is de Gelderse vallei, o.a. papierfabriek in Renkum
- Den Haag , WKO in het grondwater bij het internationaal gerechtshof beschermingsgebied/geothermie → lessons learnt
- Geothermie Delft (project begonnen, maar fysiek nog niet in gebruik genomen)
- Utrecht beurskwartier in 2^e watervoerend pakket.
- Case Katwijk (staat al in de longlist) → is heel gecompliceerd vanwege rechtzaak
- Cases waarbij burgers de partij zijn die zorgen hebben over bodemenergie/geothermie. Er zijn geen cases bekend waarbij dat het geval is.
- Erik Kessels: WKO Brabant
- Ron heet contact met Jasper Lackin (Deventer, een van de cases)

Discussie selectiecriteria casussen

- Een criterium zou moeten zijn: representativiteit, wat komt meer of minder voor
- Specifiek 1 casus of oogst uit al het materiaal?
- Adhv lessons learnt nog een casus om aan te pakken.
- Zelf nadenken waar advocacy model het beste bij past → dan casus kiezen
- Behoeft EZK: waar kun je functies niet combineren → energie en drinkwater, waar wordt spanning ervaren en waar is deze werkelijk
- Hoog & laag Nederland?
- Is er (voldoende) interesse vanuit het gebied om mee te werken aan een casus?

Planning komende periode

- Begin 2023 wordt met Pieter Vlierhuis en Ron Nap een gedetailleerd plan gemaakt voor Module 2. EZK (Nicole Zantkuijl) sluit aan.
- De longlist wordt aangevuld met details via contact houders.



Deltares

Integrale Grondwaterstudie Nederland

2^{de} workshop klankbordgroep
14 december 2022

Dimmie Hendriks, Hilde Passier
Experts Deltares, WUR, KWR, RIVM, TNO, PBL

Doelen workshop

Module 1: Landelijke Analyse

- Evalueren resultaten landelijke analyse: visuals, beelden en hoofdboodschappen
- Suggesties voor verdieping

Module 2: Verdiepende cases 'energietransitie en grondwater'

- Toelichten stand van zaken: long-list cases en lessons learnt
- Van long-list naar 2 cases

Integrale Grondwaterstudie Nederland – 2^{de} klankbordgroep

Deltares

INTEGRALE GRONDWATERSTUDIE NEDERLAND

Basisgegevens experts Module 0: Landelijke Analyse (Inventarisatie en concepten)	Basisgegevens klankbordgroep Module 1: Landelijke Analyse (uitwerking, visuals) Module 2: Energietransitie en Grondwater (stand van zaken, workshop 14-15 dec)	Workshop klankbordgroep Module 3: 01 en 02 Module 4: 03 en 04 Module 5: 05 en 06
---	--	---

Integrale Grondwaterstudie Nederland – 2^{de} klankbordgroep

Programma workshop

09:00u Inloop (koffie/thee)

09:15u Welkom en (hernieuwde) kennismaking

09:30u Module 1: Landelijke Analyse

Presentatie hoofdboodschappen en visualisaties

Werkessie: aanscherpen en vervolgvragen

11:15u Module 2: energietransitie en grondwater

Stand van zaken, long-list cases, 'lessons learnt'

Vragen en korte brainstorm selecteren cases

12:00u Afsluiting en lunch

Verder met de presentatie

Deltares

Verder met de presentatie

Presentatie

hoofdboodschappen en visualisaties

Deltares

Doel IGSN: inzicht problematiek en oplossingen (landelijke schaal)

Aanvulling op andere activiteiten Studiegroep Grondwater

Beelden toestand van grondwater in Nederland

- Trends vanuit het verleden
- Aandachtspunten in het heden en toekomst (stapeling?)
- Oplossingsrichtingen voor de toekomst (meekoppelkansen?)

Inzicht in urgentie vanuit overzicht

- Op grotere schaal en langere termijn
- Opstapelende problemen, patronen ontdekken, meekoppelkansen
- Voor het maken van keuzes voor het gebruik van ruimte en water

Herstel van het grondwatersysteem

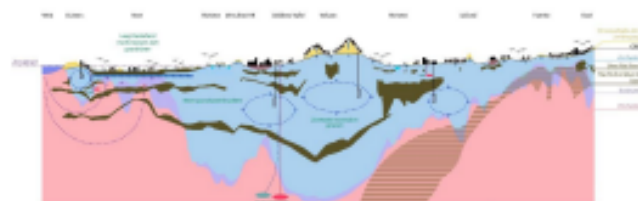
- Verdroging tegengaan, voorraden aanvullen, schoner water
- Een gezond grondwatersysteem kan klappen opvangen



Deltares

Vijf thema's Integrale Grondwater Studie Nederland

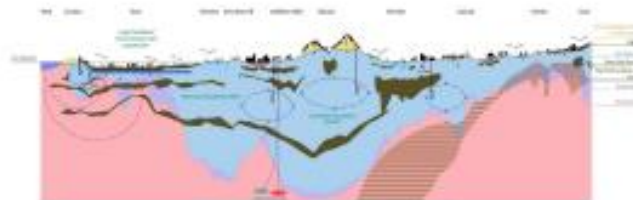
- Verdroging natuur (Hoog Nederland)
- Drinkwatervoorziening
- Bescherming grondwaterkwaliteit
- Energietransitie en grondwater
- Stedelijk gebied (focus op Laag Nederland)



Deltares

Vijf thema's Integrale Grondwater Studie Nederland

- Verdroging natuur (Hoog Nederland)
- Drinkwatervoorziening
- Bescherming grondwaterkwaliteit
- Energietransitie en grondwater
- Stedelijk gebied (focus op Laag Nederland)



Deltares

Verdroging natuur de presentatie

en

Verdroging Natuur

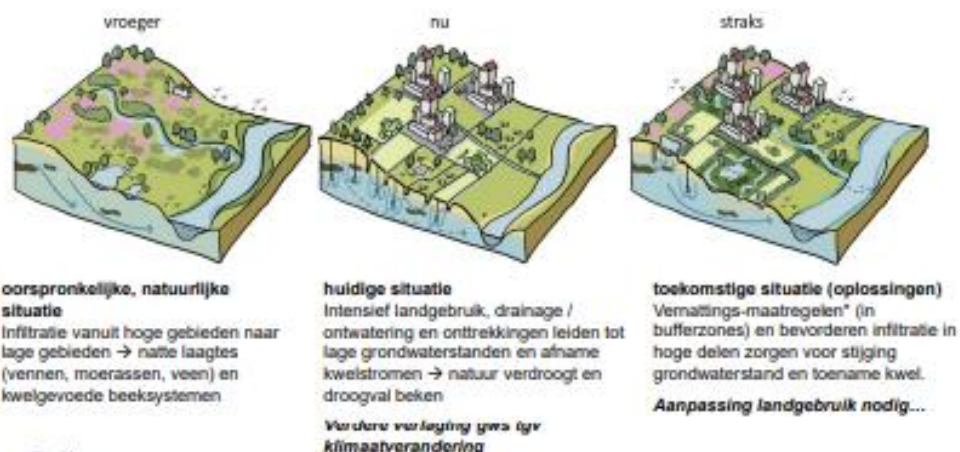
*Natuurgebieden in Hoog Nederland verdrogen;
noodzakelijke verhoging grondwaterpeil kan niet
zonder aanpassen land- en watergebruik*

Deltares

Verdroging natuur de presentatie

7

**Natuurgebieden in Hoog Nederland verdrogen; noodzakelijke verhoging
grondwaterpeil kan niet zonder aanpassen land- en watergebruik**



Deltares

Toename verdroging in 2050 (grw afhankelijke natuur)



Verdroging terrestrische natuur en aquatische natuur (beken)

Deltares



Welke maatregelen zijn effectief om sponswerking te vergroten?



Grondwaterstand (zomer) verhogen en kweldruk versterken

Deltares



Bufferzones rond grw afhankelijke natuur



— bufferzones rond grw afh. natuur
• beregeningslocaties

Bufferzones rond grw-afhankelijke natuur (500 meter)
→ beperking ontwatering en ontbrekkingen
→ hogere grondwaterstanden en toename kwel
→ aanpassing landgebruik nodig

Deltares



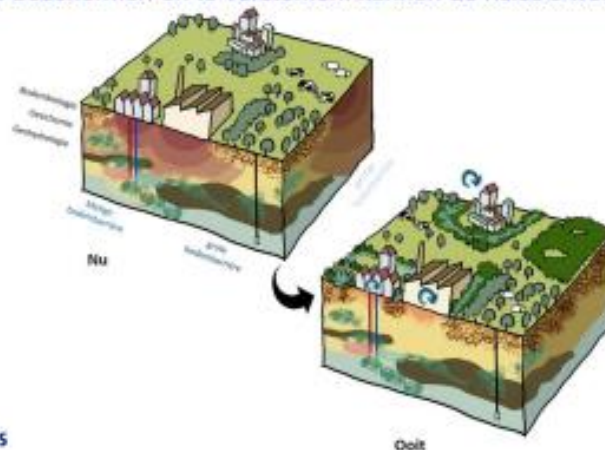
Bescherming Grondwaterkwaliteit

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door emissies te beperken en gebruik te maken van natuurlijke barrières en deze te beschermen en te versterken, kunnen de risico's worden beperkt.

Deltares

12

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door emissies te beperken en gebruik te maken van natuurlijke barrières en deze te beschermen en te versterken, kunnen de risico's worden beperkt.



Deltares

13

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door emissies te beperken en gebruik te maken van natuurlijke barrières en deze te beschermen en te versterken, kunnen de risico's worden beperkt.

- **Trend:** afgelopen decennia heeft voortgaande verontreiniging van het grondwater plaatsgevonden
- **Opgave/risico:** wat vies is wordt niet zomaar weer schoon, verontreinigingen worden dieper en verder verspreid in het grondwatersysteem met gevolgen voor drinkwater, natuur, recreatie, etc.



Bron: nationale analyse waterkwaliteit (2020)

Deltares

14

Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door emissies te beperken en gebruik te maken van natuurlijke barrières en deze te beschermen en te versterken, kunnen de risico's worden beperkt.

- Oplossingen: beperken emissies; zuiveren bron-pad-receptor; benutten, behouden en versterken natuurlijke barrières
- Aandachtspunt: grootschalige infiltraties en grondwaterstand verlaging kunnen effect hebben op grondwaterkwaliteit (positief en negatief)



Deltares

15

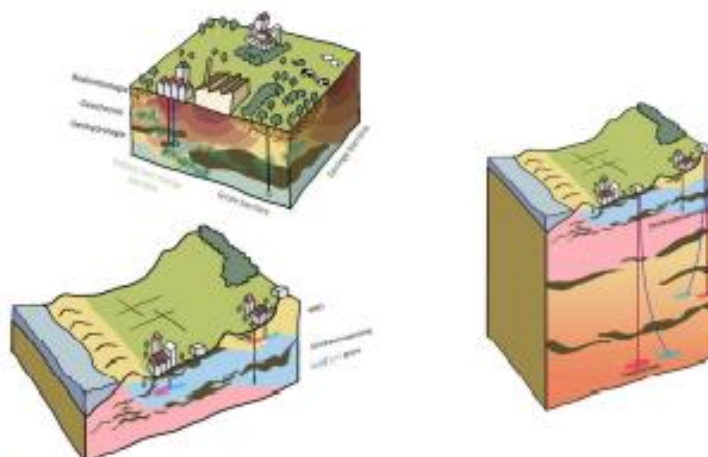
Energietransitie en Grondwater

Grondwater als bron of transportmiddel voor thermische energie heeft potentie, maar mag de grondwaterkwaliteit niet schaden

Deltares

16

Grondwater als bron of transportmiddel voor thermische energie heeft potentie, maar mag de grondwaterkwaliteit niet schaden

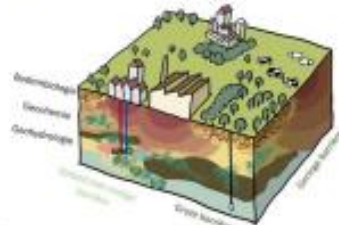


Deltares

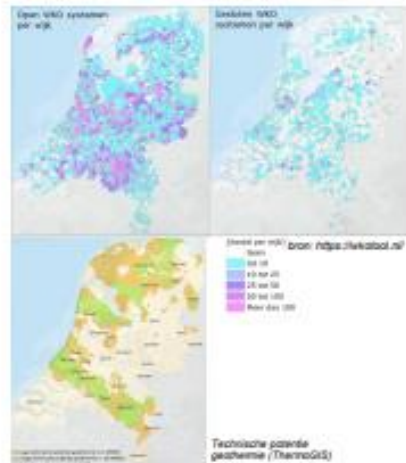
17

Grondwater als bron of transportmiddel voor thermische energie heeft potentie, maar mag de grondwaterkwaliteit niet schaden

- **Trend:** Toename van het aantal bodemenergie-systemen waarbij grondwater wordt gebruikt
- **Opgave/risico:** kans op lekkage bij doorboringen van afsluitende lagen bij aanleg



Deltares

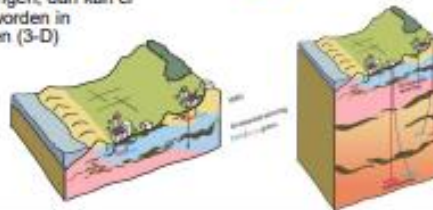


Voel de kans de grondwater

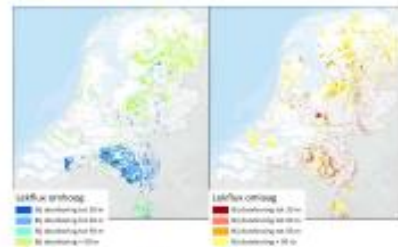
18

Grondwater als bron of transportmiddel voor thermische energie heeft potentie, maar mag de grondwaterkwaliteit niet schaden

- **Oplossing:** goed inzicht in het grondwatersysteem rondom drinkwatervoorzieningen kan de potentie voor bodemenergie mogelijk beter worden benut
- **Aandachtspunt:** combineer informatie over ligging en diepte van energiesystemen met de informatie over ligging en diepte van drinkwaterwinningen en verontreinigingen, dan kan er een inzicht verkregen worden in mogelijke risicogebieden (3-D)



Deltares



Voel de kans de grondwater

19

Grondwater in stedelijk gebied

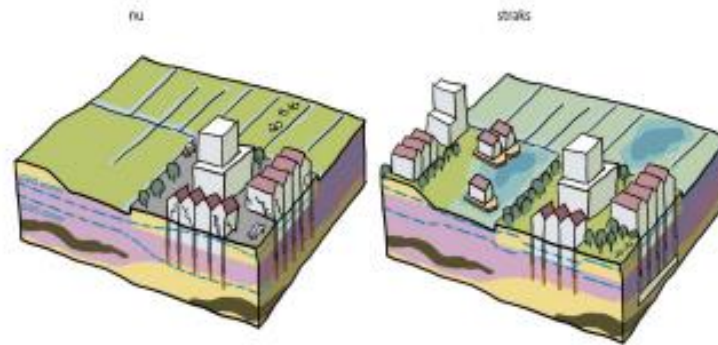
Aanpassen aan grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied

Deltares

Voel de kans de grondwater

20

Aanpassen aan grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied

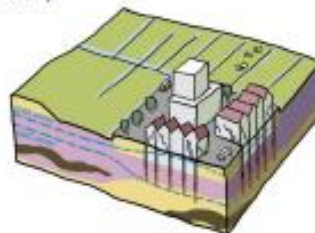


Deltares

21

Aanpassen aan grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied

- **Trend:** stedelijk gebied is niet bestand tegen grotere grondwaterdynamiek als gevolg van klimaatverandering en voortschrijdende bodemdaling
- **Opgeve/risico:** stapeling van effecten zoals versiltingen, paalrot, grondwateroverlast, mogelijke zoutschade (vooral in gebieden met slappe bodems).

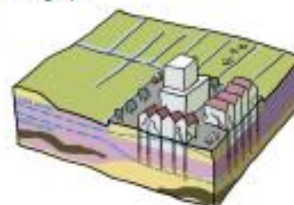


Deltares

22

Aanpassen aan grotere fluctuaties van het grondwater is de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied

- **Oplossing:** toekomstbestendig bouwen kan door het vermijden van kwetsbare gebieden en het robuust (her)ontwikkelen van (nieuw) stedelijk gebied en infrastructuur
- **Aandachtspunt:** hou nu al rekening met opzetten peilen in veenweidegebieden
- **Aandachtspunt:** gebiedsgericht grondwaterbeheer is een tijdelijke oplossing in wijken waar aanpassing op korte termijn niet mogelijk is



Deltares

23

Zoetwatervoorziening vanuit grondwater

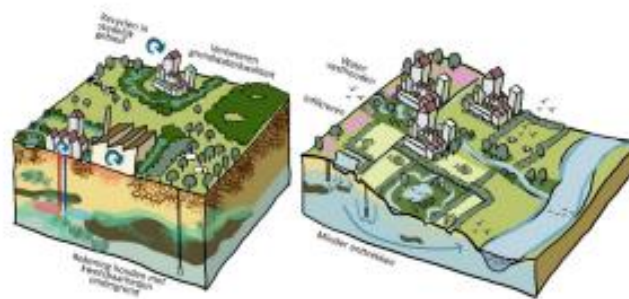
Om voldoende grondwatervoorraad voor zoetwater te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd

Deltares

Verduidelijk de presentatie

24

Om voldoende grondwatervoorraad voor zoetwater te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd

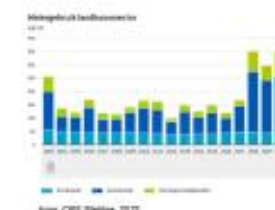
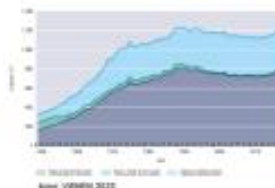


Deltares

25

Om voldoende grondwatervoorraad voor zoetwater te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd

- **Trend:** toenemende vraag naar grondwater voor oa. drinkwater en landbouw stijgt (en deze trend zet waarschijnlijk door)
- **Opgeve/risico:** grondwatervoorraden staan onder druk door verontreiniging, klimaatverandering en intensief landgebruik (ontwatering)



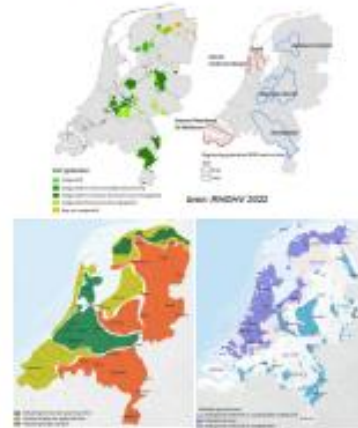
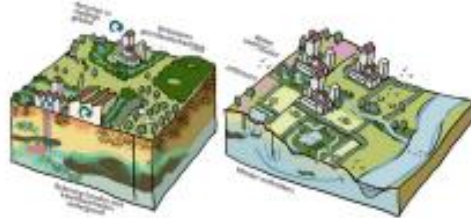
Deltares

Verduidelijk de presentatie

26

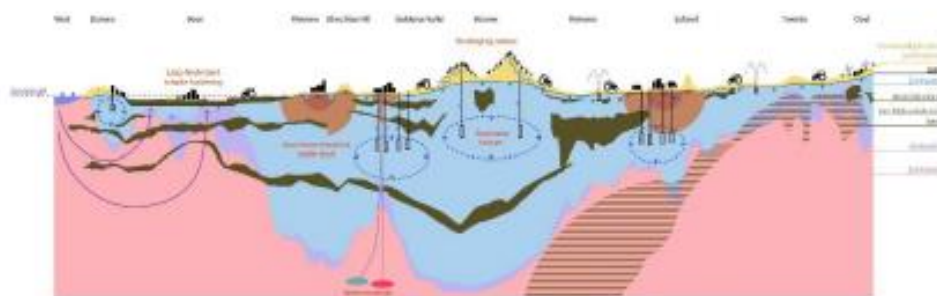
Om voldoende grondwatervoorraad voor zoetwater te borgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en moeten de voorraden worden aangevuld en beschermd

- **Oplossingen:** beperk grondwaterwinning tot hoogwaardig gebruik, bescherm grondwater-voorraden en vul ze aan door ondergrondse infiltratie, maak winningen flexibel
- **Aandachtspunten:** bewustwording van de waarde van grondwater, stimuleren innovaties, aanscherping regelgeving, beprizing van het gebruik van drinkwater



Opgaven en oplossingen samen in een dwarsprofiel van Nederland

Deltares



Deltares



Deltorez

30

Werkessie

Deltaires

31

Module 2: Energietransitie en grondwater

stand van zaken

brainstorm keuze casussen

Deltares

12



Integrale Grondwaterstudie Nederland Module 2 Energietransitie

Klankbordgroep workshop 2

Annemika Marman

Chris van Baak

Eva Balox

26 november 2023

Inhoudsopgave

- Doel Module 2
- Long list casussen
- Lessons learnt
- Vragen: selecteren 2 casussen

Deltares

Verder naar de presentatie

2

Doel Module 2 energietransitie en grondwater

- Van landelijk beeld (Module 1) naar twee verdiepende regionale cases.
- Cases waar knelpunt tussen energietransitie en ander gebruik een rol speelt: bijvoorbeeld geothermie en drinkwaterwinning of WKO en boringsverbod.
- Uitvoering met behulp van "advocacy models"
- 2022 verzamelen cases, 2023 vervolg Module 2

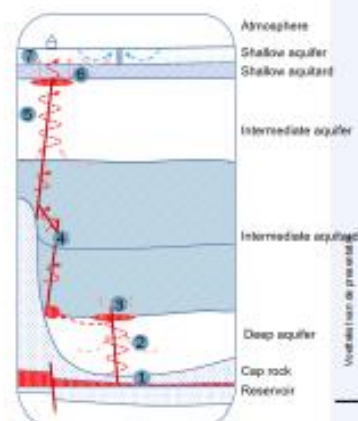
Deltares

Verder naar de presentatie

3

Advocacy models

- Conceptueel gebaseerd op interpretatie van minimaal 1 stakeholder
- Voorwaarden:
 - Fysisch mogelijk
 - Geohydrologisch plausibel
 - Consistent met beschikbare data
- Gelijkwaardige conceptuele modellen uitwerken
- Voorbeeld: gaslekage na verlaten van gasproductie.



Deltares

4

Advocacy models



Deltares

5

Geothermie	WKO en drinkwaterwinning (boringverbod)	Overige	Nog onbekend
Heemskerk (proces afgerond)	Zwolle	Gesloten systemen lekkages o.a. in diepe polders	Zeist (2 cases)
Katwijk (Dunea, juridisch proces)	Utrecht	Rotterdam: efficiënte inrichting WKO's	
Zwolle (in ontwikkeling)	Veenendaal (gecombineerd met aquathermie, stakeholder proces)	Utrecht (bemaling Catharijnesingel vs. WKO politiebureau)	
Veenendaal (potentie?)	Amhem		
	Brabant		
	Almere		
	Woerden (combinatie met verzuimingen)		
	Deventer?		
	Algemeen: steden in Oost Nederland		
	Radboud Universiteit Nijmegen (wateringsgebied, bronnen aan rand gebied)		
	High Tech Campus Eindhoven (tijdelijke vergunning 10 jaar vanwege grondwaterkwaliteit)		

Categorieën

- Boringsverbod
- Steden in Oost NL (met drinkwaterwinning/verontreinigingen in stedelijk gebied)
- Geothermie
- Optimalisatie WKO's, ondergrond optimaal benutten

Deltares

Lessons learnt tijdens verzamelen

Stakeholder proces heel belangrijk (Heemskerk, Veenendaal): inzicht in elkaars belang/wens/mogelijkheden in de ondergrond

Veel interesse vanuit gemeentes, ook als eigen cases niet bruikbaar is vanwege lopend stakeholder proces.

Zorg over handhaving wetgeving bij gesloten bodemenergie systemen.

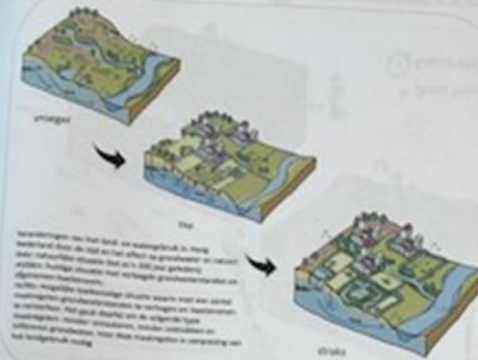
Deltares

Vragen

1. Toevoegingen aan longlist (graag via email aan annemieke.marsman@deltares.nl of christiaan.vanbaak@deltares.nl)
2. Opmerkingen/vragen longlist?
3. Hoe komen we van de longlist naar een short list? Criteria om keuzes te maken?
4. Hypothetische cases?

Deltares

Hoog Nederland



Veranderingen van het land- en watergebruik in Hoog Nederland door de tijd en het effect op grondwater en natuur

De huidige situatie (tot 2010) is gebaseerd op de huidige situatie met verhoogde grondwaterstanden en afgenomen landbouw.

De toekomstige situatie (2010-2050) is gebaseerd op de huidige situatie met verhoogde grondwaterstanden en afgenomen landbouw.

De toekomstige situatie (2050-2100) is gebaseerd op de huidige situatie met verhoogde grondwaterstanden en afgenomen landbouw.

Waar is aanscherping van de hoofdboodschappen nodig?

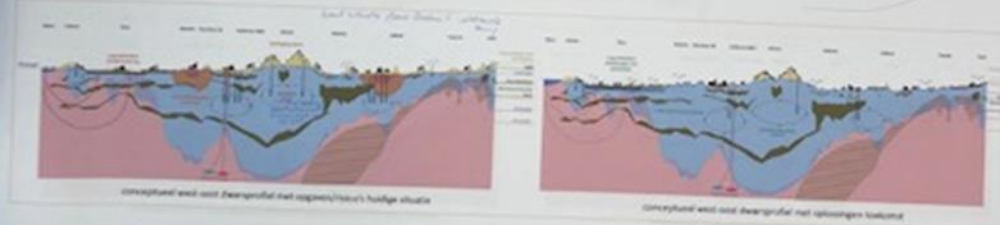
Waar is verdieping in het verhaal nodig, welke vraag/onderwerp moet in 2023 behandeld worden?

Hoofdboodschappen

Natuurgebieden in Hoog Nederland verdienen noodzakelijke verhoging grondwaterpeil kan niet zonder aanpassen land- en watergebruik

- Trendloze: de natuurverdroogt door intensief land- en watergebruik en klimaatverandering.
- Oplossing: verhogen grondwaterstanden en versterken kwelstromen door minder onttrekken, minder onttrekken en infiltreren van grondwater.
- Aandachtspunt: ingang van verdroging vereist verandering van landgebruik.
- Aandachtspunt: waar ligt potentie voor natuurontwikkeling?
- Aandachtspunt: houdt rekening met waterkwaliteit bij verzuimingsmaatregelen (langtermijn effecten, meekoppelingen)

Handwritten notes: "Bij de realisatie van de natuurontwikkeling moet rekening worden gehouden met de waterkwaliteit." "Bij de realisatie van de natuurontwikkeling moet rekening worden gehouden met de waterkwaliteit."



Checklist:

- Is het verhaal duidelijk voor je?
- Hoe ga je deze informatie gebruiken?
- Heb je een idee voor een vervolg?
- Wat is volgens jou de hoofdboodschap?

Deltares

WADENINGEN

Bescherming Grondwaterkwaliteit



Waar is opscherpings van de hoofdbeslissingen nodig?

Hoofdboodschappen

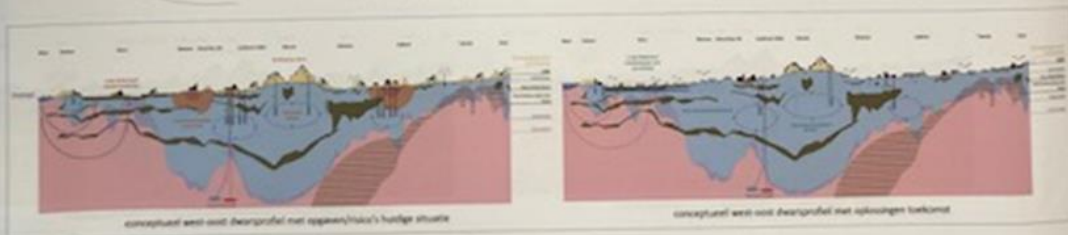
Goede grondwaterkwaliteit is van cruciaal belang, maar staat onder druk. Door emissies te beperken en gebruik te maken van natuurlijke barrières en deze te beschermen en te versterken kunnen de risico's worden beperkt.

- **Land**, aflopen decennia heeft voortgaande verontreiniging van het grondwater plaatsgevonden
- **Ondergrond**, wat wij is wordt net zomaar weer schoon
- **Verontreiniging** worden dieper en dieper verspreid in het grondwatersysteem met gevolgen voor drinkwater, natuur, recreatie, etc.
- **Ondergrond**, beperken emissies; zuiveren bron-pas receptor; benutten, behouden en versterken natuurlijke barrières
- **Aandachtspunt**, grootschalige infiltraties en grondwaterstand verlaging kunnen effect hebben op grondwaterkwaliteit (positief en negatief)

Waar is verdieping in het vervolg nodig, welke vraag/onderwerp moet in 2023 behandeld worden?

B.3 BU ABLATING
REARING, NOVEMBER
PMT 6190000.

Maak een lijst met de namen van de deelnemers en de naam van de persoon die de lijst heeft opgesteld.



Checklist:

- PLANE UND ORTHOGONALE PROJEKTIONEN
VON 2D-GEOMETRIE IN 3D-RÄUMEN

Is het verhaal
duidelijk voor je?

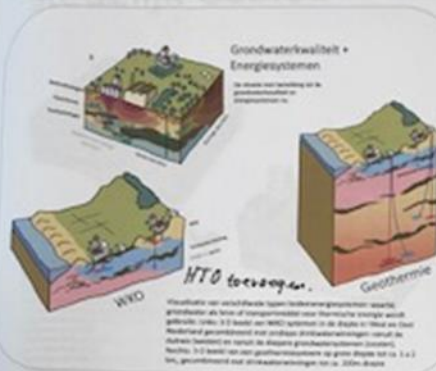
Hoe ga je deze informatie gebruiken?

Heb je een idee voor een vervolg?

Wat is volgens jou de hoofdboodschap?

Energietransitie en grondwater

Veel info op NLOG (TNO)
(bodendaling, opsporing s.v.v.g., Geothermie etc.)



ASV + NGR kaart



Waar is omschrijving van de
hoofdboodschappen nodig?

Hoofdboodschappen

Grondwater als bron of transportmiddel door
thermische energie ~~kan~~ maar mag de
grondwaterkwaliteit niet schaden

- **Trend:** Toename van het aantal bodemonergie-systeem
- **Coördinatie:** doorboringen van afzinkende lagen bij aanleg → *nu is wel innovatie op*
- **Oplossing:** goed inzicht in het grondwatersysteem rondom drinkwateropvoedingen kan de potentie voor bodemonergie mogelijk beter worden benut
- **Aandachtspunt:** combineer informatie over ligging en diepte van energiesystemen met de informatie over ligging en diepte van drinkwaterwinningen en verontreinigingen, dan kan er een inzicht verkregen worden in mogelijke risico's (3-0)

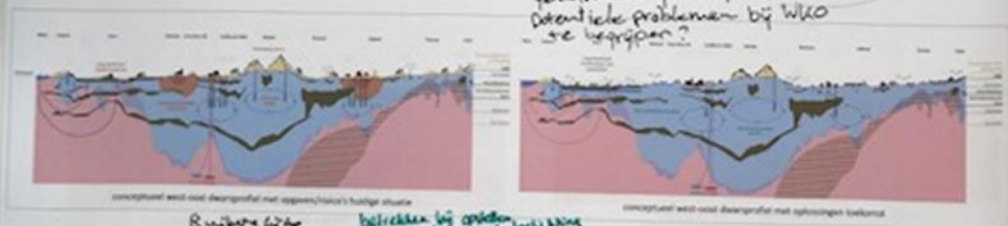
Waar is verdieping in het vervolg
nodig, welke vraag/onderwerp
moet in 2023 behandeld worden?

* kwantificeren
risico's alle technieken

Vat in schakel?
nut is de ene
fluctuaties is
"schaden"

Onderscheid maken:
op bodemonergie syst
gislisch
geothermie

zijn ondergrond modellen
gedetailleerd genoeg om
potentiele problemen bij WKO
te herkennen?



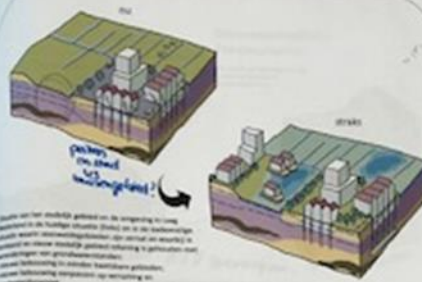
Checklist:

- 1. Is het verhaal duidelijk voor je?
- 2. Hoe ga je deze informatie gebruiken?
- 3. Wat is volgens jou de hoofdboodschap?

Deltares

WAGeningen
UNIVERSITY & RESEARCH

stedelijk Gebied



Staat van het stedelijk gebied en de omgeving in 2040. Het gebied is nu (links) en in de toekomstige situatie (rechts). Het gebied is nu (links) en in de toekomstige situatie (rechts). Het gebied is nu (links) en in de toekomstige situatie (rechts).



Handwritten notes in blue ink: 'Zuid' and 'Zuid'.

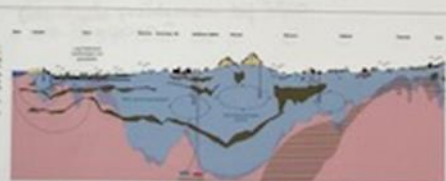
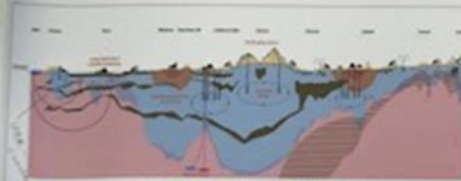
Waar is aanscherping van de hoofdboodschappen nodig?

Hoofdboodschappen

- Aanpakken van grotere fluctuaties van grondwater in de sleutel voor een toekomstbestendig stedelijk gebied
- Hand: stedelijk gebied is niet bestand tegen grotere grondwaterdynamiek als gevolg van klimaatverandering en voortschrijdende bodemdaling
- Oplossing: trapezing van effecten zoals verschuivingen, peilinst, grondwateroverlast, mogelijke zoutinval (vooral in gebieden met slappe bodems)
- Oplossing: toekomstbestendig bouwen kan door het vermijden van kwetsbare gebieden en het robuust (her)ontwikkelen van (nieuw) stedelijk gebied en infrastructuur
- Aandachtspunt: hoe nu al rekening met openbare peilen in veenwindergebieden
- Aandachtspunt: gebiedsgerichte grondwaterbeheer is een tijdelijke oplossing in wiken waar aanpassing op korte termijn niet mogelijk is

Waar is verdieping in het vervolg nodig, welke vraag/onderwerp moet in 2023 behandeld worden?

Handwritten notes in blue ink: 'combi met bestuurs-energie' and 'ackief grondwaterbeheer (prii)'.



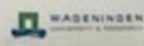
conceptueel west-oost dwarsprofiel met opgevoerde huidige situatie

conceptueel west-oost dwarsprofiel met oplossingen toekomst

Checklist:



Deltares



Zoetwatervoorziening



Huidwater kan verschillende oorzaken van grondwateraanvoer te bergen (zie tekenen van hoofdboodschap) gebruikt te door stroom van water voor belangrijke bescherming en bescherming op het gebied van grondwateraanvoer van de grondwateraanvoer te beschermen. Het water aanvoeren in de bodem en ondergrondse infiltratie van water stroomt op een heel andere manier van de grondwateraanvoer.



Waar is aanschrijving van de hoofdboodschappen nodig?

2.1% Landbouw
Vasthouden van water is belangrijk

Waar tekenen de grote hoofdboodschappen?

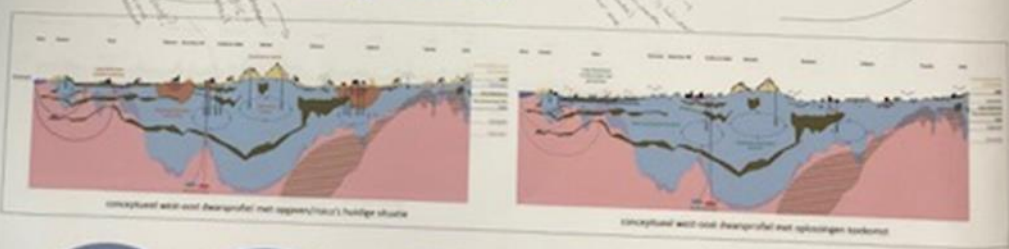
Hoofdboodschappen

- Om voldoende grondwateraanvoer voor zoetwater te zorgen moet het gebruik worden beperkt tot hoogwaardige toepassingen en voorwaarden worden aangevuld en beschermd.
- Trend: toenemende vraag naar grondwater voor de drinkwater en landbouw irrigatie.
- Opgave/Vraag: grondwateraanvoer staan onder druk door verontreiniging, klimaatverandering en intensief landgebruik (ontwatering).
- Oplossingen: beperk grondwaterwinning tot 10-15% (binnen 2023), hoogwaardig gebruik, bescherm grondwateraanvoer en vul te aan door ondergrondse infiltratie, maak winningen flexibel.
- Aandachtspunten: bewustwording van de waarde van grondwater, stimuleren innovatie, aanschrijving regelgeving, beperking van het gebruik van drinkwater.

Waar is verdieping in het vervolg nodig, welke vraag/onderwerp moet in 2023 behandeld worden?

→ waar kunnen grote hoeveelheden opgevoerd worden
→ vasthouden: waar en hoeveel

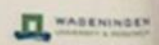
Aandachtspunten



Checklist:

- Levering is plicht drinkwaterbedrijven hoe ver strekt dit naar toepassing → drink water

Deltares



Bijlage D – verslag expert werksessie

Door: Dimmie Hendriks, Hilde Passier, Naomi Lamers
Datum en locatie: 4 juli 2022, Deltares Utrecht

Aanwezig: Hilde Passier (Deltares), Marjolein Mens (Deltares), Dimmie Hendriks (Deltares), Joost Delsman (Deltares), Perry de Louw (Deltares), Johan Valstar (Deltares), Naomi Lamers (Deltares), Geert-Jan Nijsten (Deltares), Guido Bakema (WUR), Willem Jan Zaadnoordijk (TNO), Cjestmir de Boer (TNO), Arnaut van Loon (KWR), Floris Naus (RIVM), Judith van Zuijlen (IenW)

Afgemeld: Annemieke Marsman (Deltares), Jan Maurits van Linge (WUR), Jan dirk Bulens (WUR), Ron Franken (PBL)

Agenda workshop

13:00u – 13:30u: Welkom, voorstellen en *journalling*
13:30u – 14:00u: Aanleiding en doelen project
14:00u – 14:45u: Inventariseren invalshoeken en aandachtspunten landelijke analyse
14:45u – 15:00u: Korte pauze (koffie, thee, fris)
15:00u – 15:45u: Inventariseren kaarten, datasets en modellen landelijke analyse
15:45u – 16:00u: Afronding en vervolgspraken

Welkom en voorstellen

- Dimmie Hendriks heet alle aanwezigen welkom bij de expert workshop van de Integrale Grondwaterstudie Nederland (hierna: IGSN). Er volgt een korte voorstelronde.
- De doelen van de workshop worden benoemd:
 1. Gezamenlijk overzicht maken van aandachtspunten en invalshoeken voor integrale landelijke analyse
 2. Inventariseren beschikbare kaarten, datasets en modellen
 3. Concrete afspraken maken over gebruik data en kaarten

Journalling

Door middel van *journalling* wordt een eerste overzicht gemaakt van belangrijke elementen voor de IGSN. De aanwezige experts schrijven daartoe binnen een tijdsbestek van 10 minuten hun antwoorden op de onderstaande vragen:

- Vraag 1: Kijk naar je huidige rol en de focus in je werk op dit moment, waar gaat je aandacht naartoe?
- Vraag 2: Kijk naar de doelen van je werk, waarover maak je je zorgen, en waar wil je helpen om oplossingen te brengen?
- Vraag 3: Hoe zie jij de collectieve opgave voor de integrale grondwaterstudie, wat willen we samen bereiken?

Vanuit de eerste vraag (‘Kijk naar je huidige rol en de focus in je werk op dit moment, waar gaat je aandacht naartoe?’ komt uit de antwoorden van de deelnemers naar voren: De experts die aanwezig zijn in de workshop, werken op terrein van grondwaterkwantiteit en grondwaterkwaliteit.

De aanwezigen zijn in hun dagelijks werk bezig met dossiers verdroging/droogte, verzilting, zoetwaterbeschikbaarheid, bodem/water sturend, energietransitie, warmtetransitie, verontreiniging, kwaliteit bodem en water, kwetsbaarheid bodem en ondergrond, gedeeld gebruik ondergrond, inrichting landelijk gebied, bufferzones, drinkwatervoorziening, grondwaterreserves.

De **antwoorden op de tweede vraag** ('Kijk naar de doelen van je werk, waarover maak je je zorgen, en waar wil je helpen om oplossingen te brengen?') maken duidelijk dat de aanwezigen zorgen hebben over het halen van de KRW en Natura 2000 doelen, balans in grondwatergebruik, het veiligstellen van grondwaterreserves, vergrijzing van grondwater, bodemverontreinigingen, meervoudig ruimtegebruik boven en onder de grond, water van goede kwaliteit voor natuur, landbouw, drinkwater, natuur versus techniek, waarbij de onderwerpen beschouwd worden in relatie tot klimaatverandering en grote opgaven en transities..

Ook zijn er zorgen om de lead in het grondwaterdossier: moet het Rijk meer de lead pakken? De aanwezigen spannen zich in om oplossingen te zoeken voor samenwerking over grenzen (sectoren, overheden, organisaties, landen), en daarbij groter te denken en verder te denken en dus niet teveel lokaal en korte termijn.

De **derde vraag** 'Hoe zie jij de collectieve opgave voor de integrale grondwaterstudie, wat willen we samen bereiken?' levert het beeld op dat de aanwezigen samen helder de aandachtspunten en mogelijke oplossingen voor grondwater helder in beeld willen brengen, waarbij de kwetsbaarheid van het grondwater wat betreft kwaliteit en kwantiteit inzichtelijk gemaakt wordt. Data op verschillende schaalniveaus en invalshoeken wordt gebruikt voor inzicht in de aandachtspunten en mogelijke oplossingen. Daarvoor zal kennis verbonden worden, en integraal worden gedacht. Er wordt daarmee een basis gelegd voor het maken van gefundeerde keuzes voor het gedeeld gebruik van water en ruimte in de ondergrond.

Aanleiding en doelen project

- Hilde geeft een toelichting op de aanleiding en inhoud van het project (zie Plan van Aanpak en ppt slides in bijlage). Naast de analyse op nationale schaal zal dit jaar ook gestart worden met een tweede module over Energietransitie en Grondwater. Reden daarvoor is de urgentie op dit onderwerp binnen de ministeries en andere betrokken organisaties. Mogelijk worden in de loop van dit jaar, of daarna, meer verdiepende aanvullende modules geformuleerd en uitgewerkt.
- Ten behoeve van de IGSN bundelen de verschillende kennisinstituten (Deltares, WUR, RIVM, KWR, TNO en PBL) hun expertise. De ervaringen die we opdoen worden gebruikt om een blijvende manier van ondersteuning met kennis te organiseren voor de ministeries en de Studiegroep Grondwater.
- Judith van Zuijlen geeft een toelichting op de Studiegroep en het Kernteam grondwater:
 - De IGSN is aanvullend op de andere activiteiten van de Studiegroep en het Kernteam en is bedoeld om ook het beeld op nationale schaal en de raakvlakken tussen de verschillende thema's in beeld te brengen.
 - De Studiegroep is voortgekomen uit een opdracht van de Stuurgroep Water (net zoals de beleidstafel droogte) en is actief tot eind 2022.
 - In de Studiegroep nemen directeuren/managers deel (IenW, LNV, EZK, RWS, IPO, UvW, VNG, VEWIN, Delta Commissaris); in het Kernteam van de Studiegroep Grondwater worden de werkzaamheden uitgevoerd.
 - De volgende thema's zijn door de Studiegroep opgepakt: Laag Nederland, Hoog Nederland, Grondwaterkwaliteit, Energietransitie en grondwater, Grondwater als asset (Waarde van Grondwater).
 - Vanuit IenW lopen ook het beleidsprogramma "Bodem en Water Sturend" en het project "Nationale Grondwater Reserves". Laten we zorgen voor zoveel mogelijk

synergie hiertussen. Ook met andere lopende trajecten wordt waar nodig en mogelijk afgestemd.

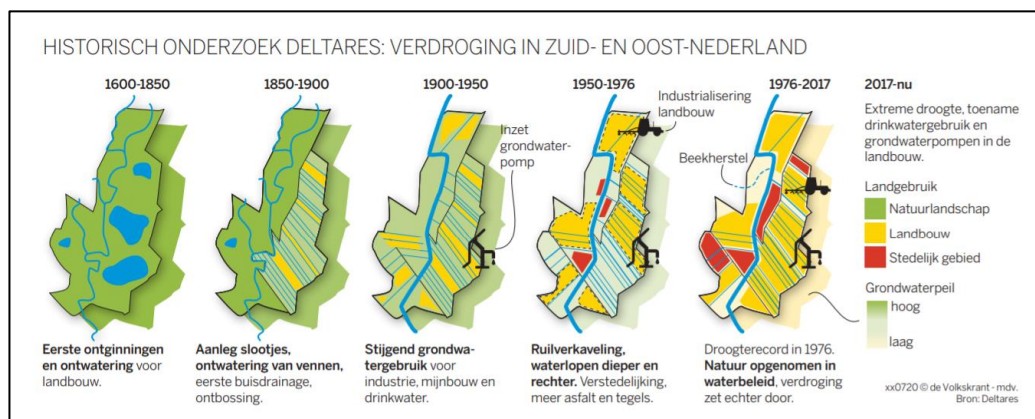
- Doelgroep van de IGSN zijn alle partijen aangesloten bij de Studiegroep Grondwater, plus andere organisaties die dagelijks met (grond)waterbeleid en/of ruimtelijke ordening bezig zijn.
- De eerste resultaten van de IGSN zullen, waar dat mogelijk en relevant is, op 1 oktober al meegenomen worden in de kamerbrief van IenW over het NPLG, hiertoe zal in augustus al input gegeven moeten worden.

Inventariseren invalshoeken en aandachtspunten

Tijdens dit onderdeel van de workshop is door de experts in 3 groepen gebrainstormd over belangrijke invalshoeken en aandachtspunten om op te pakken binnen de IGSN. De experts hebben daartoe aanvullingen gedaan op de tabel uit het PvA met *trends* (verleden), *aandachtspunten* (heden) en *oplossingen* (toekomst). Op basis van deze brainstorm komen een vijftal thema's naar voren als meest relevant voor de IGSN, om uit te werken in verhaallijnen in de rapportage met visualisaties. Tijdens de brainstorm is op de meeste onderwerpen ook een eerste inzicht gegeven wat betreft de benodigde / beschikbare kaarten, datasets en/of modellen.

Natuur en verdroging

Trend: Als gevolg van toenemende intensiteit van landgebruiksveranderingen, ontwatering en grondwateronttrekkingen voor drinkwater, landbouw, woningbouw/verstedelijking en industrie zijn de grondwaterstanden in de zandgebieden sinds het begin van de vorige structureel gedaald (zie onderstaande visualisatie) en zijn beekafvoeren in zomerperioden afgenomen.



Aandachtspunt: de verdroging heeft geleid tot schade aan natuur en biodiversiteit in grote delen van Nederland. Omdat er veerkracht van het watersysteem beperkt is als gevolg van de verdroging, hebben droge jaren een extra grote impact op de toestand van de natuur.

Oplossingsrichting: aanleg van bufferzones en infiltratiegebieden rond natuurgebieden om de grondwaterstanden in en rond de gebieden te verhogen. Prioritering kan plaatsenvinden op basis van de mate van verdroging van natuur in combinatie met de mate van urgentie vanuit de stikstofopgave.

Benodigde / beschikbare kaarten, datasets, modellen: de huidige kaart van verdroging van natuurgebieden is verouderd. Tijdens het project zaleen grofmazige update van deze kaart worden gemaakt aan de hand grondwaterstand-gegevens van de afgelopen decennia (metingen en /of modellen), met focus op een ruimtelijke visualisering die geschikt is voor een landelijke analyse.

Om de impact op beeksystemen en aquatische natuur in beeld te brengen wordt de kaart over verdroging gecombineerd met een over de afname van beekafvoeren (modelresultaten) en informatie over locaties van kwetsbare aquatische natuur. Om de prioritering van beleid in samenhang met de stikstofopgave inzichtelijk te maken, worden de kaarten op het gebied van grondwater, beekafvoer en natuur gecombineerd met de relevante kaarten uit het stikstofdossier.

Bescherming grondwaterkwaliteit

Trend: als gevolg van de toenemende intensiteit van landbouw en veeteelt in grote delen van Nederland is het grondwater en oppervlaktewater, waaronder beken, verontreinigd met nitraat. In gebieden waar (nog) pyriet in de bodem aanwezig is, zijn de bodem en de omgeving nog enigszins beschermd tegen de negatieve effecten van nitraat (bufferende werking pyriet). Daarnaast wordt het grondwater door de mens belast door diverse activiteiten en bronnen (landbouw, steden, energievoorziening, industrie) met allerlei stoffen die ook persistent, mobiel en toxisch kunnen zijn en in het grondwater verspreid kunnen worden. Naast meer lokale verontreinigingen speelt ook de algemene vergrijzing van het grondwater.

Aandachtspunt: de verontreiniging van het grondwater zorgt voor verontreiniging van aquatische en terrestrische ecosystemen die gevoed wordt door grondwater, wat schade aan terrestrische en aquatische natuur oplevert. Ook vormen de verontreinigingen een risico voor drinkwater en recreatie (zwemwater).

Oplossingsrichting: Voorbeeld nitraat in grondwater: Bij verplaatsen of opheffen van boerenbedrijven kan worden gekeken waar de ondergrond het kwetsbaarste is voor verontreiniging vanuit mest, en waar er bescherming is tegen verontreiniging (zoals door het pyrietgehalte). Naast relevantie voor het beleid rond verdroging en de stikstofopgave (zie vorige thema), heeft dit ook relevantie voor de nitraatrichtlijn en de derogatie voor Nederland voor mestuitgifte.

Benodigde / beschikbare kaarten, datasets, modellen: kaarten van nitraattrends en concentraties in grond en oppervlaktewater, pyrietgehalten (zoals beschikbaar vanuit de kennisimpuls waterkwaliteit) in de bodem worden gecombineerd met kaarten van kwetsbare natuur (terrestrisch en aquatisch) en de kaarten over het thema “natuur en verdroging” en stikstofopgave (zie vorige thema).

Energietransitie en grondwater

Trend: in heel Nederland is sinds een aantal jaar een sterke toename van ondergrondse energiesystemen in verschillende delen van het grondwatersysteem (diep, ondiep). Tegelijkertijd is er een stijging in de vraag naar schoon drinkwater en neemt de verontreiniging van het grondwater toe. Ook wordt, vooral in het stedelijk gebied, steeds meer hemelwater geïnfiltreerd in de ondergrond.

Aandachtspunten: op het gebied van ondergrondse energiesystemen zijn verschillende aandachtspunten benoemd, waaronder:

- Wanneer ondergrondse energiesystemen interfereren met vervuild grondwater, kan dit risico's opleveren zoals verspreiden of verergeren van de vervuiling. NB. Er zijn ook onderzoeken waarbij in gebiedsgericht grondwaterbeheer wordt gezocht naar het gebruiken van ondergrondse energiesysteem om juist zuivering in de ondergrond te versnellen.
- In het geval ze in hetzelfde gebied en op dezelfde diepte zitten, kunnen ondergrondse energiesystemen een effect hebben op een drinkwaterwinning (en vice versa), er is vanuit lopende projecten een globaal overzicht van waar in Nederland de energiesystemen beter passen in de ondergrond;
- Hemelwaterinfiltratie kan zorgen voor verstopping van WKO-systemen wanneer deze te dicht bij elkaar worden toegepast.

Het gaat bij deze aandachtspunten vaak om specifieke, lokale situaties. Deze komen inmiddels echter in veel gebieden in Nederland voor.

Oplossingsrichting: Het bestaande beleid en regelgeving ten aanzien van de ondergrondse energiesystemen is op bepaalde punten onvolledig en/of niet passend bij de werkelijke situatie. Zo wordt informatie over de diepte van de verschillende toepassingen (vaak) niet meegenomen en zijn er onduidelijkheden over grondwaterverontreinigingen. Door informatie over ligging en diepte van ondergrondse energiesystemen te combineren met informatie over ligging en diepte van grondwaterwinningen, verontreinigingen en hemelwaterafvoer kan een aanzet worden gemaakt tot het inzichtelijk maken van de werking van dergelijke systemen in verschillende delen van Nederland en potentie- en risicogebieden.

Benodigde / beschikbare kaarten, datasets, modellen: bestaande datasets en kaarten van de verspreiding (kaarten) en diepte (3D-modellen) van bestaande en geplande ondergrondse energiesystemen worden waar mogelijk verrijkt en gecombineerd met bestaande kaarten en datasets op het gebied van grondwaterwinningen, verontreinigingen en hemelwaterinfiltratie. In hoeverre de informatie op landelijke schaal beschikbaar is wordt de komende periode uitgezocht.

Stedelijk gebied Laag Nederland: bodemdaling, verzilting en grondwateroverlast

Trend: als gevolg van het intensieve landgebruik in Laag Nederland worden de waterpeilen steeds verder omlaag bijgesteld, met een dalende grondwaterstand en bodem tot gevolg. Tevens treedt (mede door zeespiegelstijging) in toenemende mate verzilting van het grondwater op.

Aandachtspunten: bodemdaling zorgt voor schade aan fundering van woningen, gebouwen en infrastructuur; verzilt grondwater tast daarnaast het beton aan. Tegelijkertijd treedt in toenemende mate (grond)wateroverlast op als gevolg van de ondiepe grondwaterstanden in het laag gelegen stedelijk gebied. Steden zijn over het algemeen ingeregeld voor een weinig dynamische grondwaterstand. In sommige gebieden zijn al maatregelen genomen om de situatie te verbeteren, bijvoorbeeld via aanpassingen in het oppervlaktewaterpeil.

Oplossing: door in kaart te brengen waar de risico's op deze grondwater gerelateerde schades relatief groot zijn, kunnen gerichte keuzes gemaakt worden wat betreft het waterbeleid en -beheer in en rond steden in Laag Nederland. Daarnaast kan voorkomen worden dat nieuwe woningbouwlocaties en infrastructuur gepland worden in gebieden met een groot risico op schade.

Benodigde / beschikbare kaarten, datasets, modellen: actuele kaarten op nationale schaal over grondwaterstanden in het stedelijk gebied zijn niet op het gewenste detailniveau beschikbaar. Binnen dit project is het niet haalbaar om deze kaarten te maken. Wel beschikbaar zijn kaarten op basis van het LHM model over grondwatertrends, kaarten met informatie de trends wat betreft bodemdaling en verzilting van het grondwater. Deze kaarten worden gecombineerd met informatie over (veranderingen in) peilbeheer, data/kaarten over ouderdom van woningen en data/kaarten over plan- of zoekgebieden voor uitbreiding van stedelijk gebied (woningbouwopgave, bestemmingsplannen).

1. Drinkwatervoorziening

Trend: de afgelopen decennia is de vraag naar drinkwater gestegen. De kans is groot dat de deze stijgende trend zich de komende decennia doorzet en dat de drinkwatervraag zich uitbreidt naar andere delen van het land (uitbreiding stedelijk gebied; woningbouwopgave). Naast rivierwater is grondwater in grote delen van Nederland een belangrijke bron van drinkwater. Er wordt gekeken naar alternatieve bronnen voor drinkwatervoorziening.

Aandachtspunten: door afname van de beschikbaarheid van rivierwater in droge perioden, vergrijzing van het grondwater, verzilting van grondwater (kustgebieden) en toename van

grondwatergebruik in andere sectoren (oa. woningbouw, energiesector, landbouw) komt de beschikbaarheid van voldoende schoon grondwater onder druk te staan. Daarbij speelt ook het tegengaan de verdroging van natuurgebieden door bescherming van grondwater een rol.

Oplossing: ruimtelijke informatie op nationale schaal over de druk op grondwater als bron voor drinkwater (hoog, gemiddeld of laag), kan inzicht bieden bij sociaaleconomische planvorming (zoals woningbouwopgave en energietransitie).

Benodigde / beschikbare kaarten, datasets, modellen: landelijke kaarten van trends van de drinkwaterbehoefte (verleden, toekomst), drinkwatervergunningen/capaciteiten en strategische grondwatervoorraden en -reserves (ASV's en NGR's), kaarten en 3D-beelden van grondwatervergrijzing en verzilting, kaarten met een (potentiele) toename van grondwatergebruik vanuit andere sectoren (oa. oa. woningbouw, energiesector, landbouw) en verdroogde natuurgebieden. De komende periode wordt onderzocht welke van deze kaarten beschikbaar zijn voor gebruik in dit project.

Inventariseren kaarten, datasets en modellen

Om de beschikbare kaarten, datasets en modellen te inventariseren wordt een ronde gemaakt waarin de verschillende experts aangeven wat bij hen of hun organisatie beschikbaar is en wat de status is van deze kaart/dataset/model. De experts zullen de komende weken door Deltares benaderd worden om de genoemde kaarten/datasets/modellen aan te leveren met daarbij een overzicht van een aantal "metadata" (zie bijlage).

De kaart over verdroging van natuurgebieden is sterk verouderd. Om dit aspect goed op te pakken dient een update van de kaart gemaakt te worden. Tijdens het project zal nagegaan worden of en hoe het mogelijk is om op eenvoudige wijze een eerste update te maken die op nationale schaal bruikbaar is. In een later stadium kan een meer gedetailleerde actualisatie van de verdrogingskaart worden uitgevoerd.

Ook wordt op sommige punten besproken dat het maken van een landelijke dataset en kaart op basis van lokaal en regionaal beschikbare informatie (zeer) wenselijk zou zijn voor het uitvoeren van een goede en actuele analyse. Behalve als dit binnen beperkte tijd mogelijk is, of als proces en ontwerp ideeën meegegeven kunnen worden, is dit type werk in principe niet voorzien binnen IGSN.

Afronding en vervolgafspraken

- Planning activiteiten IGSN
 - Juli 2022: verslag werksessie, aanvullingen vanuit kennisinstituten (uitgezet door Deltares); aanvullingen vanuit Studiegroep en Kernteam Grondwater; verzamelen datasets, kaarten, modellen in GIS-database
 - Augustus/september 2022: eerste analyse integraal landelijk beeld
 - September/oktober 2022: werksessie klankbordgroep; vervolg analyse integraal landelijk beeld; vormgeven eindproducten
 - Najaar: afronding; review rapport en visualisaties door experts; Werksessie klankbordgroep
- Judith van Zuijlen vraagt om ondersteuning bij het beoordelen van teksten IenW ten behoeve van de bijeenkomst van de Studiegroep Grondwater in juli. Perry de Louw geeft aan Judith daarbij te kunnen ondersteunen.

Bijlage E - Beschikbare data en kaarten

Ten behoeve van de landelijke analyse van de Integrale Grondwaterstudie is een werksessie met kennisinstituten gehouden

Algemeen

Kaartlaag	Grens brak-zout grondwater
Bestandsnaam	3dchloride_depthfreshbrack_mMSL_filtered.tif
Bron	COASTAR (Deltares, 2021)
Beschrijving	<i>Het bestand toont de ligging van het grensvlak tussen zoet en brak/zout water ten opzichte van maaiveld. Als grens is hier een chlorideconcentratie van 1000 mg/l gehanteerd</i>
Opmerkingen	

Verdroging natuur

Kaartlaag	Droogtegevoeligheid Grondwaterafhankelijke Natuur (3.01)
Bestandsnaam	DroogtegevoeligheidGrondwaterafhankelijkeNatuur
Bron	Klimaat-effectatlas/ Droogte / Impact (8/2022) (https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/)
Beschrijving	<i>Op basis van de Landelijke natuurbeheertypekaart is gekeken welke vegetaties afhankelijk zijn van ondiep grondwater. Deze zijn in verschillende gradaties (Weinig gevoelig, Gevoelig, Zeer gevoelig) onderverdeeld. Op de kaart zijn alleen de klassen gevoelig en zeer gevoelig in beeld gebracht.</i>
Opmerkingen	Natte vegetaties met een zeer diepe grondwaterstand zijn van de kaart uitgesloten, omdat die niet via het grondwaterbeheer kunnen worden beïnvloed. Het gaat dan om vegetaties op zogenaamde schijngrondwaterspiegels. Verder zegt deze kaart alleen iets over de algemene droogtegevoeligheid van het type natuur en nog niets over de verwachte lokale ontwikkelingen op een specifieke locatie. Bovendien is de gevoeligheid alleen gebaseerd op vegetatie.

Kaartlaag	KRW wateren (3.02)
Bestandsnaam	3c_oppervlaktewaterlichamen_SGBP3_20220518_lijn
Bron	Waterkwaliteitsportaal (https://www.waterkwaliteitsportaal.nl/)
Beschrijving	<i>Het bestand met alle kleine rivieren, beken en andere waterlopen die onder de Kaderrichtlijn Water (KRW) vallen. Hieruit zijn alleen de boven- en middenlopen van rivieren en beken onderscheiden van de overige waterlopen</i>
Opmerkingen	Wateren die niet onder de KRW vallen zijn niet in de kaart opgenomen.

Kaartlaag	Natura2000 gebieden (3.03)
Bestandsnaam	B4_Natura_2000-gebiedenPolygon
Bron	PDOK (laatste update 2020)
Beschrijving	<i>Begrenzing van de gebieden die vallen Natura2000</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand, scenario 2050 Laag (3.04)
Bestandsnaam	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand 2050 Laag.tif
Bron	Klimaat-effectatlas/ Droogte / Fysieke gevolgen (8/2022) (https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/)
Beschrijving	<i>Verschil ten opzichte van de huidige situatie in de laagste grondwaterstand in 2050 onder het klimaatscenario Laag. Alleen veranderingen van 10 cm of meer zijn opgenomen.</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand, scenario 2050 Hoog (3.05)
Bestandsnaam	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand 2050 Hoog.tif
Bron	Klimaat-effectatlas/ Droogte / Fysieke gevolgen (8/2022) (https://www.klimaat-effectatlas.nl/nl/)
Beschrijving	<i>Verschil ten opzichte van de huidige situatie in de laagste grondwaterstand in 2050 onder het klimaatscenario Hoog. Alleen veranderingen van 10 cm of meer zijn opgenomen.</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Grondwaterafhankelijke natuur + GLG effect (3.06)
Bestandsnaam	Veranderinggrondwaterstanden_Interessegebied
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2023)
Beschrijving	<i>Om dit bestand te vervaardigen is een GIS-analyse uitgevoerd met de volgende bestanden:</i> • Droogtegevoeligheid Grondwaterafhankelijke Natuur (3.01) • Verandering GLG a.g.v. klimaatverandering in het WH scenario voor 2050 (3.05) <i>Per droogtegevoelig gebied is de gemiddelde verandering van de grondwaterstand bepaald. Vervolgens zijn alle effecten van meer dan 5 cm als veranderingen (verhogingen en verlagingen) beschouwd. Alle kleinere effecten zijn als niet significant (en dus als geen verandering) beschouwd.</i> <i>Omdat de effecten van maatregelen op deze gebieden (3.08 t/m 3.11) alleen voor hoog Nederland excl. Zuid Limburg bepaald is, zijn de delen die buiten dit gebied vallen er afgeknipt.</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	KRW-beken + GLG effect (3.07)
Bestandsnaam	KRW_GLG2050WH_interessegebied_exclLimburg
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2023)
Beschrijving	<i>Om dit bestand te vervaardigen is een GIS-analyse uitgevoerd met de volgende bestanden:</i> • KRW-beken (3.02) • Verandering GLG a.g.v. klimaatverandering in het WH scenario voor 2050 (3.05) <i>Per Beek(deel) is de gemiddelde verandering van de grondwaterstand bepaald. Vervolgens zijn alle effecten van meer dan 5 cm als veranderingen (verhogingen en verlagingen) beschouwd. Alle kleinere effecten zijn als niet significant (en dus als geen verandering) beschouwd.</i> <i>Omdat de effecten van maatregelen op deze gebieden (3.08 t/m 3.16) alleen voor hoog Nederland excl. Zuid Limburg bepaald is, zijn de delen die buiten dit gebied vallen er afgeknipt.</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Effect Maatregelen: Afkoppelen regenwater bebouwd gebied, bevorderen infiltratie, 100m/jaar (3.08)
Bestandsnaam	maatregel 8 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' Fse 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) tov 2018 als gevolg van afkoppelen van bebouwd gebied met een extra infiltratie van 100 mm/jaar. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen, terwijl deze maatregelen ook hier mogelijk effect heeft.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Omvorming van naaldbos naar heide (3.09)
Bestandsnaam	maatregel 7 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van verandering van naaldbos naar heide vanaf begin 2013. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Ondergrondse zoetwaterberging, infiltratie van 100 mm gedurende het winter halfjaar voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m (3.10)
Bestandsnaam	maatregel 6 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Effect op de freatische grondwaterstand (LG3) voor 2018 als gevolg van extra infiltratie gedurende de winter van 100 mm/jaar voor gebieden met een GHG dieper dan 2,5 m. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen, terwijl deze maatregelen ook hier mogelijk effect heeft.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Peilverhoging +30 primair en secundair en verhoging +30 ontwateringsbasis tertiair systeem (3.11)
Bestandsnaam	maatregel 5 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Effect van een Peilverhoging + 30 cm in het primaire en secundair ontwateringssysteem (veelal leggerwaterlopen) en een verhoging + 30 cm in de ontwateringsbasis van het tertiair systeem (veelal het haarvatensysteem) Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Reductie van beregenen uit grondwater (2018, Laag 1) (3.12)
-----------	--

Bestandsnaam	maatregel 2X lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Het effect op de grondwaterstand (L1-modellaag) als gevolg van een reductie Van 100% in de berekening uit grondwater. Let op: in het LHM-model wordt veel meer berekend in Noord-Brabant en Limburg dan elders in het land waardoor de effecten ook groter zijn. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Stopzetten van drinkwaterwinning (2018 Laag1) (3.13)
Bestandsnaam	maatregel 1X lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Het effect op de grondwaterstand (LG3) in 2018 na modelmatig stopzetten van de drinkwaterwinningzomer vanaf 2013. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen, terwijl deze maatregelen ook hier mogelijk effect heeft.

Kaartlaag	Effect maatregelen: Samengesteld scenario (3.14)
Bestandsnaam	maatregel 9 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Het effect van een combinatie van de hierboven beschreven maatregelen Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 10 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen.

Kaartlaag	Grondwaterafhankelijke natuur + effect maatregelen (3.15)
Bestandsnaam	Effect_maatregelen_GLG_2023
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2023)
Beschrijving	Om dit bestand te vervaardigen is een GIS-analyse uitgevoerd met de volgende bestanden: • Droogtegevoeligheid Grondwaterafhankelijke Natuur (3.01) • Effecten van maatregelen (3.06 t/m 3.11) Per droogtegevoelig gebied is voor alle effecten bepaald of deze optreden en hoe groot het effect daar gemiddeld is. Alle effecten groter dan 5 cm zijn als significant beschouwd (en alle kleinere effecten dus als niet optredend). Op de kaart zijn de effecten afgebeeld van de volgende typen maatregelen: • Water vasthouden (effect voor de kaarten 3.07 en/of 3.11) • Minder onttrekken (effect voor de kaarten 3.09 en/of 3.11 en/of 3.12) • Ondergronds infiltreren (effect voor de kaart 3.09) Meerdere maatregelen (een combinatie van bovenstaande).

Opmerkingen	De effecten van het meer vasthouden en minder onttrekken zijn vergeleken met het effect van de combinatie van maatregelen (3.14). Als een van de onderliggende maatregelen meer dan 60% van het effect geeft is dat op de kaart aangegeven. Hieronder vallen dus de gebieden waar dit laatste het geval is en de gebieden waar de maatregel de enige effectieve lijkt te zijn.
-------------	--

Kaartlaag	Effect maatregelen op zomerafvoer 2018: Stopzetten van drinkwaterwinning (3.16)
Bestandsnaam	M1x_zomerafvoer_2018_verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Het effect op de zomerafvoer in 2018 na modelmatig stopzetten van de drinkwaterwinningen vanaf 2013. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen, terwijl deze maatregelen ook hier mogelijk effect heeft.

Kaartlaag	Effect maatregelen op zomerafvoer 2018: Stopzetten berekening (3.17)
Bestandsnaam	M2x_zomerafvoer_2018_verschil.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Het effect op de zomerafvoer in 2018 na modelmatig stopzetten van de drinkwaterwinningenzomer vanaf 2013. Er is alleen gekeken naar effecten groter dan 5 cm</i>
Opmerkingen	Dekt slechts Zandgronden in Nederland. Laag Nederland is in de analyse niet meegenomen, terwijl deze maatregelen ook hier mogelijk effect heeft.

Kaartlaag	KRW beken + effect maatregelen (3.18)
Bestandsnaam	Effect maatregelen GLG_2023
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 20232)
Beschrijving	<i>Om dit bestand te vervaardigen is een GIS-analyse uitgevoerd met de volgende bestanden:</i> <i>KRW-beken (3.02)</i> <i>Effecten van maatregelen (3.06 t/m 3.09 en 3.16, 3.17)</i> <i>Per KRW-beek (deel) is voor alle effecten bepaald of deze optreden en hoe groot het effect daar gemiddeld is voor de effecten van 3.6 t/m 3.09 en maximaal (dus grootste stijging). Dit laatste is gedaan omdat als ergens in de loop van de beek het effect van een maatregel voor meer afvoer zorgt, dat op de beek als geheel zal doorwerken. Alle effecten groter dan 5 cm zijn als significant beschouwd (en alle kleinere effecten dus als niet optredend).</i> <i>Op de kaart zijn de effecten afgebeeld van de volgende typen maatregelen:</i> <i>Water vasthouden (effect voor de kaarten 3.07 en/of 3.11)</i> <i>Minder onttrekken (effect voor de kaarten 3.09 en/of 3.11 en/of 3.12)</i> <i>Ondergronds infiltreren (effect voor de kaart 3.09)</i> <i>Meerdere maatregelen (een combinatie van bovenstaande).</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Effect van stopzetten beregening in bufferzones (3.19)
Bestandsnaam	Effect: B1_LG3_2018_verschil.asc Bufferzones: buffer_dissolved.shp Potentieel beregend gebied: REF_beregening_onttrekking_gw_2018.asc
Bron	Eindrapport project 'Droogte Zandgronden Nederland' (Fase 3): Droogte in zandgebieden van Zuid-, Midden- en Oost-Nederland (2021)
Beschrijving	<i>Kaart toont het effect van het stopzetten van beregening in een bufferzone van 500 m rond natuurgebieden. Het getoonde effect treedt op 3 jaar na stopzetting van de beregening en is het effect dat optreedt in een droge zomer (zoals die van 2018)</i>
Opmerkingen	

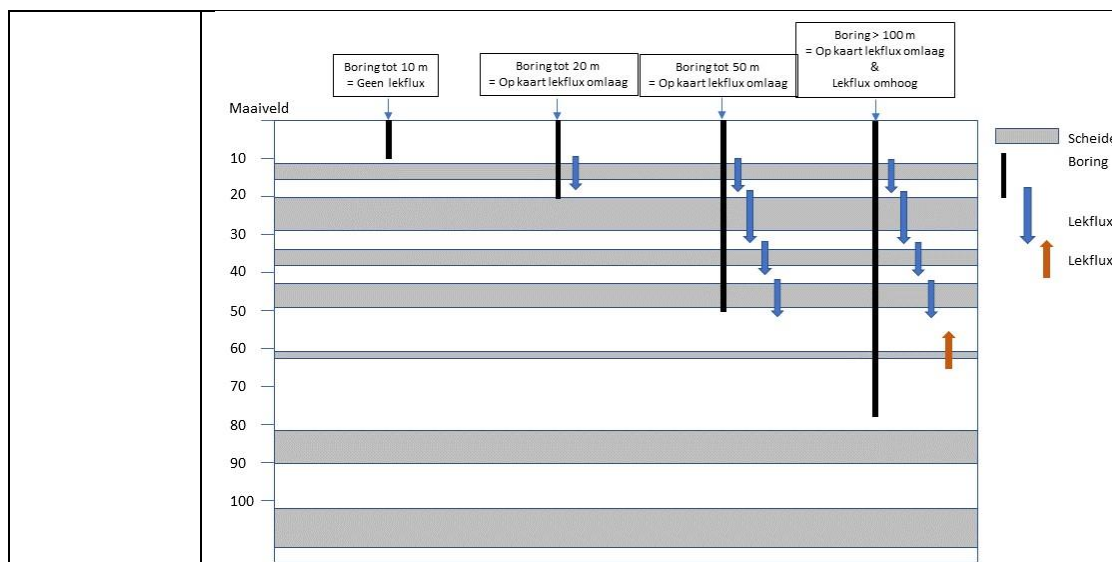
Bescherming grondwaterkwaliteit

Kaartlaag	Lekflux bij doorboringen (4.01)
Bestandsnaam	Lekkage flux SDL 1.tif t/m Lekkage flux SDL 7.tif
Bron	Landelijk Hydrologisch Model (LHM)
Beschrijving	<i>Deze kaart geeft een beeld van de risico's op het ontstaan van lekfluxen (Waarbij de doorlatendheid van de opvulling van het boorgat op 1 m/dag is gesteld). Deze gegevens zijn beschikbaar per scheidende laag in de ondergrond (7 lagen).</i>
Opmerkingen	De lagen lopen niet continu door in heel Nederland. Dit betekent dat op sommige plekken alle lagen aanwezig zijn terwijl op andere locaties het aantal scheidende lagen beperkt is (of er in het geheel geen scheidende laag aanwezig is!). Ook liggen ze niet overal op dezelfde diepte.

Kaartlaag	Grenzen scheidende lagen (4.02)
Bestandsnaam	Onderkant: MDL_BOT_L1.ASC t/m MDL_BOT_L8.ASC Bovenkant: MDL_TOP_L1.ASC t/m MDL_TOP_L8.ASC
Bron	Landelijk Hydrologisch Model (LHM)
Beschrijving	<i>Deze kaart geeft een beeld van de ligging van de boven- en onderkant van de scheidende lagen die in het LHM zijn opgenomen. Op basis hiervan kan de dikte van de scheidende laag afgeleid worden door het verschil tussen de top en bottom (onderkant) van de scheidende laag van elkaar af te leiden.</i>
Opmerkingen	In sommige gebieden in Nederland (met name op de zandgronden) is in het geheel geen eerste scheidende laag aanwezig

Kaartlaag	Lekflux bij doorboringen (4.03)
Bestandsnaam	Lekflux_SL1_10m t/m Lekflux_SL1_100m
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2022)
Beschrijving	<i>Deze kaart geeft een beeld van de risico's op het ontstaan van lekfluxen bij doorboren tot verschillende dieptes in de ondergrond. Deze zijn afgeleid uit:</i> <i>De risico's bij doorboren van een scheidende laag (4.01)</i> <i>De boven- en onderkant van de scheidende lagen (4.02)</i> <i>Deze zijn gecombineerd om af te leiden of er een lekflux bij doorboring tot verschillende dieptes. Voor heel Nederland is afgeleid of er een lekflux</i>

	omhoog, omlaag of geen lekflux ontstaat (als gevolg van het doorboren van een scheidende laag). Op basis van bovenstaande zijn de beelden gemaakt met de lekfluxen omhoog en omlaag. De omvang van het risico op het ontstaan van een lekflux is hierin niet gekwantificeerd. Ook is (op de kaart) niet in beeld gebracht bij het doorboren van welke laag een lekflux ontstaan kan. Het kan ook zo zijn dat er verschillende lagen doorboord worden. De kaart geeft dus vooral een beeld waar in Nederland extra goed opgelet moet worden bij het boren in de ondergrond. De kaarten laten niet zien of er daadwerkelijk een lekflux ontstaat. Die zal alleen ontstaan als het boorgat niet goed gedicht wordt. De kaart is als volgt gemaakt: - Eerst is per scheidende laag de diepte onderkant tov van NAP berekend (eigenlijk tov top eerste watervoerende pakket). Dat is bijv. voor 1e scheidende laag gedaan door top 1e watervoerende pakket en top 2e watervoerende pakket te gebruiken. Zo krijg ik 7 bestanden - Vervolgens is voor de lekfluxen die ik heb per scheidende laag alleen gekeken of die omhoog of omlaag gaan. (-1 omlaag, 1 omhoog). Alle waarden tussen de -0,01 en 0,01 zijn op 0 gesteld (in de afgeleide figuren waren die ook transparant gemaakt en dus is geconcludeerd dat die als "geen noemenswaardige flux" beschouwd moeten worden) - Hierna zijn van de bestanden met de onderkant van de scheidende lagen bestanden afgeleid waarbij met per diepte is bepaald of de onderkant van de scheidende laag dieper of ondieper ligt. Die bestanden zien er dan als volgt uit: Ligt de onderkant dieper dan 5 m (tov maaiveld) => in afgeleide bestand waarde 0, als ondieper dan 0 => waarde 1. Dit bestand is dan weer vermenigvuldigd met het hiervoor gemaakte fluxenbestand. Op die manier krijg je bestanden waarin voor verschillende dieptes bekend is of er een flux is en welke kant die op is. Die flux is er natuurlijk alleen als je doorboort. - Door dit voor alle scheidende lagen te doen is de kaart gemaakt die laat zien of er ergens in de ondergrond een flux ontstaat bij boren tot diepte x (dus worden er dan scheidende lagen, met een risico op het ontstaan van een lekflux, geheel doorboord) De kaart moet niet gelezen worden als een kaart met de enige gebieden waar een lekflux kan ontstaan. Die kan overal ontstaan, maar de kaart geeft de gebieden weer waar het ontstaan het meeste kans heeft. De berekeningen zijn gedaan met het LHM, dat een vereenvoudigde weerspiegeling geeft van wat er zich in de ondergrond bevindt (of liever van wat er aan lagen in REGIS te vinden is).
Opmerkingen	Op de plekken waar geen scheidende laag aanwezig is, kan toch een lekflux berekend zijn. Deze lekfluxen zijn verwijderd uit de figuren en worden dus beschouwd als gebieden waar geen lekflux ontstaan kan. De kaart geeft alleen een beeld van de lekflux die kan ontstaan als gevolg van het doorboren van een scheidende laag. In de onderstaande figuur is weergegeven is in dwarsdoorsnede weergegeven wat er op de kaart te zien is.



Kaartlaag	Zelfreinigend vermogen in de toplaag van de bodem (4.04)
Bestandsnaam	rivm_R5_20150315_gm_Naturalatt.tif
Bron	RIVM via Atlas Natuurlijk Kapitaal (https://www.atlasnatuurlijkkapitaal.nl/zelfreinigend-vermogen-in-toplaag-van-bodem)
Beschrijving	De kaart is gemaakt voor een beschrijving van het zelfreinigende vermogen van de bodem in de bovenste bodemlaag, op basis van metingen met een samengestelde indicatorenset (bodemindicatoren) en modellen. De volgende indicatoren gebruikt: SOM, pH, totaal N, totaal P, bacteriebiomassa, bacterie activiteit, potentiële N mineralisatie, potentiële C mineralisatie. De kaart toont slechts de relatieve waarden op basis van de 20, 40, 60 en 80% percentielen van de berekende waarden: ze is ongeschikt om de kwaliteit te beoordelen. Een goed zelfreinigend vermogen indiceert het vermogen van de bodem om hoge concentraties gebiedseigen en gebiedsvreemde stoffen te verwerken, tot normale concentraties, via afbraakprocessen, transportprocessen of adsorptieprocessen.
Opmerkingen	Voor het maken van de kaart die de barrière in de ondergrond tegen verontreiniging weergeeft (4.07) is zijn de gehalten als volgt opgedeeld: • Relatief gering: Lager dan gemiddeld tot Gemiddeld • Gemiddeld: Gemiddeld • Bovengemiddeld: Gemiddeld tot Hoger dan gemiddeld

Kaartlaag	Dikte eerste scheidende laag (4.05)
Bestandsnaam	Op basis van BOT_L1.MDL_TOP_L2.ASC
Bron	Landelijk Hydrologisch Model (LHM)
Beschrijving	De dikte van de eerste scheidende laag is vervaardigd door het verschil tussen de ligging van de bovenkant en de onderkant van de eerste scheidende laag te berekenen.
Opmerkingen	Voor het maken van de kaart die de barrière in de ondergrond tegen verontreiniging weergeeft (4.07) is zijn de gehalten als volgt opgedeeld: • Dun: minder dan 0,5 m • Gemiddeld: 0,5 m tot 5 m • Dik: meer dan 5 m

Kaartlaag	Pyriet op 10 m onder maaiveld (4.06)
Bestandsnaam	PYRIET_PERCENTAGE_ADJUSTE.tif
Bron	Kennis Impuls Water Kwaliteit (KIWK)
Beschrijving	<i>De kaart geeft een beeld van de pyrietgehalte op 10 m beneden maaiveld in m</i>
Opmerkingen	Voor het maken van de kaart die de barriere in de ondergrond tegen verontreiniging weergeeft (4.07) is zijn de gehalten als volgt opgedeeld: • Geen: 0% • Weinig (tot 1%) • Gemiddeld (1% – 2,5%) • Veel (> 2,5%)

Kaartlaag	Barrière in ondergrond tegen verontreiniging (4.07)																																																																																																																																																																																																																
Bestandsnaam	CBH_2811_3Classc																																																																																																																																																																																																																
Bron	Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2022)																																																																																																																																																																																																																
Beschrijving	Om dit bestand te maken zijn de volgende kaarten gecombineerd: • Chemische barriere: Pyriekgehalte 10 m onder maaivel (4.06) • Fysische barriere: Dikte eerste schiedende laag (4.05) • Biologische barriere: zelfreinigend vermogen toplaag (4.04) Deze kaarten zijn over elkaar heengelegd en vervolgens als volgt geclassificeerd: <table><tr><th></th><th colspan="4">Dikte scheidende laag</th><th></th><th colspan="3">Zelfreinigend vermogen</th><th></th><th colspan="3">Chemische</th></tr><tr><th></th><th>Geen</th><th>Dun</th><th>Gemiddeld</th><th>Dik</th><th></th><th>Relatief gering</th><th>Gemiddeld</th><th>Dik</th><th></th><th>Geen</th><th>Weinig</th><th>Gemiddeld</th></tr><tr><td>Relatief geringe barriere</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Relatief matige barriere</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Relatief grote barriere</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>Relatief zeer grote barriere</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>		Dikte scheidende laag					Zelfreinigend vermogen				Chemische				Geen	Dun	Gemiddeld	Dik		Relatief gering	Gemiddeld	Dik		Geen	Weinig	Gemiddeld	Relatief geringe barriere																																							Relatief matige barriere																																																				Relatief grote barriere																																																				Relatief zeer grote barriere																																						
	Dikte scheidende laag					Zelfreinigend vermogen				Chemische																																																																																																																																																																																																							
	Geen	Dun	Gemiddeld	Dik		Relatief gering	Gemiddeld	Dik		Geen	Weinig	Gemiddeld																																																																																																																																																																																																					
Relatief geringe barriere																																																																																																																																																																																																																	
Relatief matige barriere																																																																																																																																																																																																																	
Relatief grote barriere																																																																																																																																																																																																																	
Relatief zeer grote barriere																																																																																																																																																																																																																	
Opmerkingen	Heirvan is weer een kaart afgeleid met 3 klassen. Bij het maken van die kaart is vooral gekeken naar de verdeling tussen de klassen in en gebied. als in een gebied relatief veel van het gebied een grote barriere heeft maar er wel ook enkele gebieden matig tussen liggen worden die laatste genegeert, terwijl als de verhoudingen omgekeerd liggen de grote barrieres genegeert worden .																																																																																																																																																																																																																

Energietransitie en grondwater

Kaartlaag	Open WKO systemen per wijk (5.01)
Bestandsnaam	Alle systemen: WKO_OpenBodemenergiesystemen_20220808 Systemen per wijk: EnergiesystemenPerWijk_20220808
Bron	WKO tool (zomer 2022) CPB (2022) Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2022)
Beschrijving	<i>De kaart toont het aantal open WKO systemen per wijk in Nederland. Hiervoor is gebruik gemaakt van het puntbestand met alle open WKO systemen in Nederland (voor zover bekend binnen de WKO tool). Per wijk (op basis van CPB Wijk en buurt bestand) is met een GIS-analyse het aantal open WKO-systemen per wijk afgeleid</i>
Opmerkingen	De kaart wordt op de WKO-Tool steeds aangepast zodra nieuwe WKO-systemen daar worden aangemeld. De hier getoonde kaart geeft dus niet het meest recente beeld.

Kaartlaag	Gesloten WKO systemen per wijk (5.02)
Bestandsnaam	Alle systemen: WKO_GeslotenBodemenergiesystemen_20220808 Systemen per wijk: EnergiesystemenPerWijk_20220808
Bron	WKO tool (zomer 2022) CPB (2022) Integrale Grondwaterstudie Nederland (Deltares, 2022)
Beschrijving	<i>Voor het maken van deze kaart is een zelfde analyse gedaan als voor de open WKO systemen per wijk (5.01), maar dan op basis van het puntenbestand met de gesloten WKO-systemen</i>
Opmerkingen	De kaart wordt op de WKO-Tool steeds aangepast zodra nieuwe WKO-systemen daar worden aangemeld. De hier getoonde kaart geeft dus niet het meest recente beeld.

Kaartlaag	Diepte gesloten WKO systemen (5.03)
Bestandsnaam	WKO_GeslotenBodemenergiesyst
Bron	WKO tool
Beschrijving	<i>De kaart toont de diepte tot waar gesloten WKO systemen in Nederland aangelegd zijn. De kaart geeft een beeld van de verspreiding van de verschillende systemen in Nederland en is ook indicatief voor de diepte tot waar open WKO systemen aangelegd zijn.</i>
Opmerkingen	De kaart wordt op de WKO-Tool steeds aangepast zodra nieuwe WKO-systemen daar worden aangemeld. De hier getoonde kaart geeft dus niet het meest recente beeld.

Kaartlaag	Technische potentie Geothermie (5.04)
Bestandsnaam	Overview technical potential
Bron	Thermogis (zomer 2022)
Beschrijving	<i>Geeft beeld van de potentie van de ondergrond voor geothermie. De technische potentie geeft het beste beeld van de geothermie die op termijn gewonnen kan worden. Zoals op de kaart te zien is, is er op dit moment voor veel gebieden in Nederland nog onvoldoende informatie om de potentie in te schatten.</i>
Opmerkingen	De kaart wordt op Thermogis steeds aangepast zodra nieuw onderzoek naar de potentie beschikbaar is. De hier getoonde kaart geeft dus niet het meest recente beeld.

Stedelijk gebied en grondwater

Kaartlaag	Inschatting grondwaterdynamiek (6.01)
Bestandsnaam	Gemiddelde Laagste Grondwaterstand 2050 Laag.tif Gemiddelde Laagste Grondwaterstand 2050 Hoog.tif Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand 2050 Laag.tif Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand 2050 Hoog.tif
Bron	Klimaat-effectatlas en Deltares
Beschrijving	<i>In de klimaat-effectatlas zijn de veranderingen in de GLG en GHG in 2050 ten opzichte van de nu in beeld gebracht. Deze zijn bepaald onder klimaat-scenario 2050 Hoog. De veranderingen van de GLG en GHG zijn van elkaar afgetrokken om te bepalen in hoeverre de grondwaterdynamiek toeneemt (aannemende dat het verschil tussen de GHG en GLG hier een eerste indicatie voor geeft). Vooral voor</i>
Opmerkingen	De grondwaterstanden zijn berekend met behulp van een model, waarin tal van aannames gedaan zijn. De kaarten geven dus niet meer dan een indicatie van de gebieden waar wel/geen veranderingen in de grondwaterstanden te verwachten is en de mate waarin.

Kaartlaag	Bodemdaling (6.02)
Bestandsnaam	Bodemdaling 2020 2050 Laag Bodemdaling 2020 2050 Hoog
Bron	Deltares via Klimaat-effectatlas
Beschrijving	<i>Geeft de te verwachten bodemdaling voor de periode tot 2050 en tot 2100. De grids zijn gemaakt voor een tweetal klimaat-scenario's te weten:</i> <i>Laag waarin de klimaatverandering beperkt is en de peilen gefixeerd worden (gelijk gehouden worden)</i> <i>Hoog waarin klimaatverandering sterk is en de peilen geïndexeerd worden (peilen worden aangepast aan het landgebruik)</i> <i>Op de kaart is een onderscheid gemaakt tussen de gebieden waarin een matige tot zeer grote bodemdaling te verwachten is (10 cm of meer) en gebieden waar een kleine bodemdaling verwacht wordt (3 tot 10 cm). De gebieden die in de laatste klasse vallen worden beschouwd als de aandachtsgebieden bodemdaling. Dit zijn met andere woorden de gebieden waar rekening gehouden moet worden met bodemdaling op termijn. De gebieden met een grotere bodemdaling is al op korte termijn rekening met bodemdaling gehouden moet worden (en ook met het instellen van maatregelen die dit tegengaan en die ook effecten kunnen hebben (o.a. vernatting)).</i>
Opmerkingen	De mate van bodemdaling is bepaald met behulp van een model, waarin tal van aannames gedaan zijn. De kaarten geven dus niet meer dan een indicatie van de gebieden waar wel/geen bodemdaling te verwachten is en de mate van bodemdaling.

Kaartlaag	Verwachte toename grondwateroverlast (6.03)
Bestandsnaam	ToenameGrondwateroverlast_2050Hoog
Bron	Klimaat-effectatlas

Beschrijving	De kaart toont de mate waarin de kans op grondwateroverlast voor stedelijke functies (gebouwen, infrastructuur, tuinen en groenvoorziening) toeneemt tussen nu en 2050. Voor het bepalen van de verandering in de kans op grondwateroverlast is het Deltascenario 'Warm' gebruikt. Dit scenario combineert het KNMI'14 scenario WH met een lage economische groei en leidt tot de relatief grootste toename van de GHG, voornamelijk als gevolg van een nat winterhalfjaar, hoge neerslagintensiteit in de zomer en gematigde grondwateronttrekking. Ook bodemdaling is in dit scenario verwerkt.
Opmerkingen	De mate van wateroverlast is bepaald met behulp van een model, waarin tal van aannames gedaan zijn. De kaarten geven dus niet meer dan een indicatie van de gebieden waar wel/geen wateroverlast te verwachten is en de mate waarin.

Kaartlaag	Risico op verschilzetting (6.04)
Bestandsnaam	Risico Verschilzetting Huidig Risico Verschilzetting 2050 Laag Risico Verschilzetting 2050 Hoog
Bron	Klimaat-effectatlas
Beschrijving	De risicokaart verschilzetting geeft een indicatie van het risico op verschilzetting van panden op staal. De risicokaart verschilzetting is opgebouwd uit twee onderliggende kaarten: Percentage funderingen op staal en Kwetsbaarheid. Een hoge score kan meerdere oorzaken hebben. Het kan betekenen dat er relatief veel panden op staal zijn gefundeerd in een buurt met een laag tot gemiddeld verwacht schadeniveau. Maar het kan ook betekenen dat er een laag percentage panden met een fundering op staal is, maar wel met een hoge verwachte schade in 2050. Tot slot kan ook de combinatie van deze factoren zorgen voor een hoge score. Omdat de risicokaart de bodemdalingsprognosekaart als vertrekpunt heeft zijn niet alle gebieden meegenomen in de analyse, waaronder Zuid-Limburg. Ook gebieden waar krimp-zwel gedrag van kleibodems tot schade kan leiden zijn nog niet meegenomen in deze kaart. Het percentage panden in een buurt dat op staal is gefundeerd is gebaseerd op een landelijke schattingen van funderingsexperts over de funderingspraktijken in verschillende periodes en regio's. Lokaal zijn soms meer gedetailleerde gegevens beschikbaar: deze zijn niet meegenomen in deze kaart. De kwetsbaarheid geeft een relatieve indicatie van de kans op problemen en schade. Het schadeniveau hangt af van verschillende factoren, zoals de snelheid van bodemdaling, de lokale gevoeligheid van de ondergrond voor verschilzetting en de gevoeligheid van een pand zelf voor verschilzetting.
Opmerkingen	Door het gebruik van landelijke data en expertkennis hebben de resultaten van de drie kaarten een hoge onzekerheid

Kaartlaag	Risico op paalrot (6.05)
Bestandsnaam	Risico Paalrot Huidig Risico Paalrot 2050 Laag Risico Paalrot 2050 Hoog
Bron	Klimaat-effectatlas

Beschrijving	<i>De risicokaart paalrot geeft een indicatie van het risico op paalrot op buurniveau. De risicokaart paalrot is opgebouwd uit twee onderliggende kaarten: Percentage houten palen en kwetsbaarheid. Een hoge risicoscore kan meerdere oorzaken hebben. Het kan betekenen dat er relatief veel panden op houten palen zijn in een buurt met een laag tot gemiddeld verwacht schadeniveau in 2050. Maar het kan ook betekenen dat het percentage panden op houten palen laag is, maar dat die panden wel een hoge gemiddelde schade hebben: een hoge gemiddelde schade krijgt een zwaardere weging mee bij de bepaling van het risico</i> <i>Het percentage panden in een buurt dat op houten palen is gefundeerd is gebaseerd op landelijke schattingen van funderingsexperts over de funderingspraktijken in verschillende periodes en regio's.</i> <i>De kwetsbaarheid per buurt geeft een relatieve indicatie van de kans op problemen en schade. Het schadeniveau hangt af van verschillende factoren, zoals de diepte van het funderingshout, de gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG), het bouwjaar en het type ondergrond.</i> <i>De kaarten zijn gemaakt voor de huidige situatie en voor de situatie 2050 onder de klimaatscenario's Laag en Hoog.</i>
Opmerkingen	Door het gebruik van landelijke data hebben de resultaten van de drie kaarten een hoge onzekerheid

Kaartlaag	Funderingsschades droogte (6.06)
Bestandsnaam	Meldingen_2018_2020_RD
Bron	Deltares op basis van Fundamaps
Beschrijving	<i>De kaart geeft weer in welke gemeentes na de (droge) zomers van 2018 en 2020 schademeldingen werden gedaan bij het KCF (Kenniscentrum Funderingsschade).</i> <i>De kaart geeft daarmee een indicatie van de gebieden waar ook in de toekomst bij droogte schade te verwachten is.</i>
Opmerkingen	Binnen de verschillende gemeentes komen de schadegevallen natuurlijk slechts op een beperkt aantal locaties voor. Waar dat het geval is zal samenhangen met de grondwatersituatie en de bodemsamenstelling.

Kaartlaag	Vernatting veengebieden (6.07)
Bestandsnaam	Risicogebieden landelijk gebied_new
Bron	Studie "Water en bodem sturend" en Deltares
Beschrijving	<i>In de studie is voor een selectie van veengebieden de verwachting uitgesproken dat deze vernat (grondwaterstand verhoogd) zullen worden.</i> <i>Om dit bestand is vervolgens een buffer van 1 km gelegd.</i> <i>Op de kaart is onderscheid gemaakt tussen de twee bovengenoemde gebieden.</i>
Opmerkingen	kaart geeft een indicatie van de gebieden die op termijn vernat zouden kunnen worden en/of daar beïnvloed door zullen worden.

Kaartlaag	Infiltratiepotentie ondergrond stedelijk gebied (6.08)
Bestandsnaam	Potentie infiltratie stedelijk.tif
Bron	Klimaat-effectatlas
Beschrijving	<i>De kaart geeft voor het stedelijk gebied de relatieve capaciteit weer van de bodem om water in de ondergrond te bergen. Hiervoor is een kaart</i>

	<i>gemaakt door de score op basis van de infiltratiecapaciteit, bergingscapaciteit en helling maaiveld te combineren.</i>
Opmerkingen	De mate van wateroverlast is bepaald met behulp van een model, waarin tal van aannames gedaan zijn. de kaarten geven dus niet meer dan een indicatie van de gebieden waar wel/geen wateroverlast te verwachten is en de mate waarin.

Zoetwatervoorziening en grondwater

Kaartlaag	Grondwaterbeschermingszones (7.01)
Bestandsnaam	rivm_20220701_gwb2022
Bron	RIVM via PDOK
Beschrijving	<i>Bevat de verschillende beschermingszones voor drinkwater. Onderscheid wordt gemaakt tussen:</i> <i>Waterwingebied, het gebied waar het water daadwerkelijk gewonnen wordt</i> <i>Grondwaterbeschermingsgebied, een zone rond het wingebied waarbinnen regels gelden die de kwaliteit van het gewonnen water beschermen</i> <i>100jaarszone, een zone veelal rond het grondwaterbeschermingsgebied, waarbinnen eveneens regels gelden om de kwaliteit van het water te beschermen</i> <i>Boringsvrije zone, zone waarbinnen beperkingen gelden voor het boren in de bodem. Deze beperkingen worden opgelegd om de kwaliteit van het water te waarborgen</i> <i>Intrekgebied, gebied waar het water dat gewonnen wordt in trekt. Ook hier gelden beperkingen ten aanzien van het gebruik van de onder- en bovengrond om de kwaliteit van het water te waarborgen</i>
Opmerkingen	Begrenzingsen van andere zones dan de waterwingebieden lijken regelmatig te worden aangepast. Ook komen er gebieden bij en vallen er af.

Kaartlaag	Potentie voor zoetwaterberging in de ondergrond (7.02)
Bestandsnaam	Ondergronds infiltreren: ASR_geschikt_Poly Brakwaterwinning: Brakwaterwinning.tif Ondergronds infiltreren zand: maatregel 6 lg3 2018 L1 verschil.asc
Bron	COASTAR, 2021
Beschrijving	<i>Ondergronds infiltreren in zoute/brakke ondergrond</i> <i>Brakwaterwinning</i> <i>Ondergronds infiltreren in zandgronden</i> <i>Op de kaart zijn deze drie gebieden gecombineerd. Daarvoor zijn de volgende gebieden in beeld gebracht:</i> <i>Gebieden waar ondergronds infiltreren in zandgronden meer dan 10 cm effect heeft</i> <i>Gebieden die voor brakwaterwinning geschikt of zeer geschikt zijn</i> <i>Gebieden die voor infiltreren in de zoute of brakke ondergrond geschikt of zeer geschikt zijn</i>
Opmerkingen	

Kaartlaag	Diepte drinkwaterwinningen
Bestandsnaam	Drinkwaterwinningen

Bron	Landelijk Hydrologisch Model (LHM)
Beschrijving	<i>Het bestand geeft een overzicht van de dieptes van de ligging van de drinkwaterwinningsfilters in de ondergrond. Daarbij is los de ligging van de bovenkant en de onderkant van het filter beschikbaar. Onderscheid is gemaakt tussen de drinkwaterwinningen door de drinkwaterbedrijven en die door de overige winners (voornamelijk industrie). De nabewerking is geweest dat de ligging ten opzichte van NAP gegeven was en deze is omgezet naar een ligging t.o.v. maaiveld.</i>
Opmerkingen	Gegevens zijn relatief oud (2010). Er is een update nodig. Met name van de drinkwaterwinningen die niet door de drinkwaterbedrijven gedaan worden is moeilijk een overzicht te krijgen. Het kan dus zijn dat er winningen inmiddels zijn bijgekomen of gestopt zijn.

Bijlage F - Aanbevelingen en acties uit Advies Studiegroep Grondwater

Aanbeveling 1: Houd grondwater vast. Zorg voor waterbeheer en landgebruik gericht op de sponswerking van de bodem (Hoog NL)

Actie 1A. Zorg voor een 'natuurlijk' grondwaterpeil en houd water vast

Aanbeveling 2: Draag bij aan natuurherstel door een duurzaam evenwicht tussengrondwater en landgebruik te realiseren (inclusief drinkwaterwinning) (Hoog NL)

Actie 1B. Houd grondwater beter vast door een vitale bodemstructuur

Actie 2A. Ontwikkel een onttrekkingsplafond met voorkeursvolgorde voor grondwateronttrekkingen per regionaal stroomgebied

Actie 2B. Pas grondwaterbeheer aan rondom natuurgebieden en in infiltratiegebieden

Actie 2C. Zorg dat alle onttrekkingen in beeld zijn, zodat hier beter op gestuurd kan worden

Aanbeveling 3: Beperk en borg kosten grondwateronder- en overlast via levenscyclusbenadering in bodemdalingsgevoelig stedelijk gebied (Laag NL)

Actie 3A. Ga uit van de levenscyclusbenadering bij nieuwbouwprojecten

Actie 3B. Ga ook bij bestaande bebouwing uit van de levenscyclusbenadering

Aanbeveling 4: Vul de grondwater-zorgplicht van gemeenten effectief in (Laag NL)

Actie 4A. Zorg voor kennisontwikkeling, -deling en doorwerking

Actie 4C. Actief grondwaterbeheer

Aanbeveling 5: Beperk en accepteer verzilting vanuit grondwater (Laag NL)

Actie 5A. Neem maatregelen om verzilting te beperken waar dat duurzaam kan

Actie 5B. Bekijk waar een aanpassing/transitie van functies nodig is

Aanbeveling 6: Voorkom verdere achteruitgang grondwaterkwaliteit door bronaanpak

Actie 6A. Scherp het toelatingsbeleid en gebruik aan

Actie 6B. Beperk emissie en lozing geneesmiddelen door mens en dier

Actie 6C. Dring emissies verder terug door gebiedsgerichte aanpak en maatregelen Herzie het land

Actie 6D: Creëer inzicht in de wijze waarop provincies uitvoering geven aan de Kaderrichtlijn Water en Grondwaterrichtlijn in relatie tot het beheer van historische bodem- en grondwaterverontreinigingen

Aanbeveling 7: Verhoogde handelingssnelheid door frequent te meten in het bovenste grondwater

Actie 7A. Stem bestaande monitoring op elkaar af

Actie 7B. Meet in het ondiepe grondwater om snel problemen te signaleren

Actie 7C. Ontwikkel een indicator voor vergrijzing (mengseltoxiciteit)

Aanbeveling 8: Stimuleer kennisontwikkeling en -deling op het gebied van grondwaterkwaliteit en energietransitie

Actie 8A. Zorg voor inzicht in de risico's van de verschillende bodemenergiesystemen en geothermie, HTO, MTO en energieopslag voor de grondwaterkwaliteit

Actie 8B. Borg kennis en beleidsvorming in Nationaal Programma Bodem & Ondergrond

Aanbeveling 9: Verbeter vergunningverlening, toezicht en handhaving in het grondwaterdomein

Actie 9. Verbeter VTH-stelsel door vergroten kennis en capaciteit op het gebied van grondwater bij toezichthoudende partijen

Aanbeveling 10: Zorg voor voldoende aandacht voor grondwater in beleid(sinstrumenten) en plannen

Actie 10. Zorg voor voldoende aandacht voor grondwater in beleid(sinstrumenten) en plannen: Neem in de ruimtelijke gebiedsprocessen, Watertoets, stresstest Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) en de waterbeschikbaarheidsdialogen grondwater volwaardig mee, zowel kwantitatief als kwalitatief.